

РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 629.7.018:2.001.2

КОЛЛИМАТОРНЫЙ ПРИЦЕЛ НА БАЗЕ ДЕЦЕНТРИРОВАННОЙ МЕНИСКОВОЙ СХЕМЫ

© 2014 г. Н. В. Сенаторов, канд. техн. наук

Предприятие специального приборостроения "Арсенал", Киев, Украина

E-mail: v.senatorov@ndibk.gov.ua

Разработана методика расчета оптической схемы коллиматорного прицела на базе децентрированной менисковой схемы. Оценено влияние формы мениска на точность прицеливания короткоствольного стрелкового оружия.

Ключевые слова: мениск, коллиматорный прицел.

Коды OCIS: 230.1150

Поступила в редакцию: 20.12.2012

Впервые применяемые в авиации коллиматорные системы прицеливания на базе децентрированной менисковой схемы [1] нашли широкое использование и в стрелковом прицелостроении [2]. Этому способствовала их удачная компоновочная схема, при которой коллимирующий объектив – мениск со светоделителем на вогнутой поверхности – занимает вертикальное положение на линии визирования пространства целей. То есть, с одной стороны, мениск работает в слабо расходящихся пучках лучей от удаленной цели, а с другой – его вогнутая поверхность со светоделителем (спектроделителем или голографическим покрытием) участвует в формировании изображения прицельной сетки. Однако применению этой схемы в авиации предшествовали фундаментальные исследования, связанные с влиянием формы мениска на условия наблюдения окружающего пространства и на точность прицеливания при совместной работе зеркальной поверхности и линзового проекционного объектива [3]. Для стрелкового оружия подобных исследований не проводилось. Автоматический перенос результатов исследований из авиации на стрелковое оружие некорректен из-за разных условий работы глаз оператора. Если летчик наблюдает пространство целей обоими глазами

через крупногабаритный мениск, а прицельную сетку – обоими глазами после отражения от светоделителя на мениске, то стрелок воспринимает все это одним глазом, в то время как другой глаз тоже видит пространство целей прямо перед собой. Изображение прицельной сетки здесь формируется перекрестием с подсветкой или самим светодиодом (прицел "red dot"). Дальности цели в обоих случаях также существенно отличаются.

Цель данной работы – разработка методики расчета менискового коллиматорного прицела (КП) на примере короткоствольного автоматического оружия.

Дальность прицельной стрельбы из короткоствольного автоматического оружия ограничивается $L_{\max} = 150$ м [4, 5]. Если в качестве типовой цели принять средние размеры взрослого человека 1670×410 мм [6], то предельная ошибка стрельбы δ'_i не должна превышать, соответственно, по горизонтали и по вертикали

$$\delta'_h = 410/2L_{\max} = 1,37 \text{ мрад}, \quad (1)$$

$$\delta'_v = 1670/2L_{\max} = 5,57 \text{ мрад}.$$

То есть горизонтальная составляющая ошибки стрельбы является определяющим фактором при расчете прицела.

С точки зрения оптики, ошибка стрельбы складывается из ошибки наводки (точность совмещения прицельной сетки с целью) и параллактической ошибки (смещение прицельной сетки относительно цели при перемещении глаза стрелка в пределах выходного зрачка прицела). На основании опытов Штемпфера [7] установлено, что ошибка наводки с использованием любого КП составляет $0,15 \pm 0,08$ мрад, т.е. она пренебрежимо мала по сравнению с предельной ошибкой стрельбы короткоствольного оружия. Параллактическая ошибка прицельной сетки, сформированной зеркальной сферической поверхностью, определяется известной зависимостью [8]

$$\delta = 124,8(h/f')^3, \quad (2)$$

где h – удаление глаза от оптической оси, f' – фокусное расстояние зеркального объектива. В децентрированной менисковой схеме (см. рисунок) имеем

$$h = D \cos \varphi, \quad (3)$$

где D – радиус апертуры заготовки 2, из которой вырезан круглый мениск 1, а 2φ – угол,

характеризующий направление перемещения глаза стрелка из точки C_0 . При нормировании по условию $f' = 1$ формула (2) с учетом (3) принимает вид

$$\delta = 124,8D^3 \cos^3 \varphi. \quad (4)$$

Разложим параллактическую ошибку на составляющие, соответственно, сагиттальную и меридиональную

$$\begin{aligned} \delta_s &= \delta \sin \varphi, \\ \delta_m &= \delta \cos \varphi. \end{aligned} \quad (5)$$

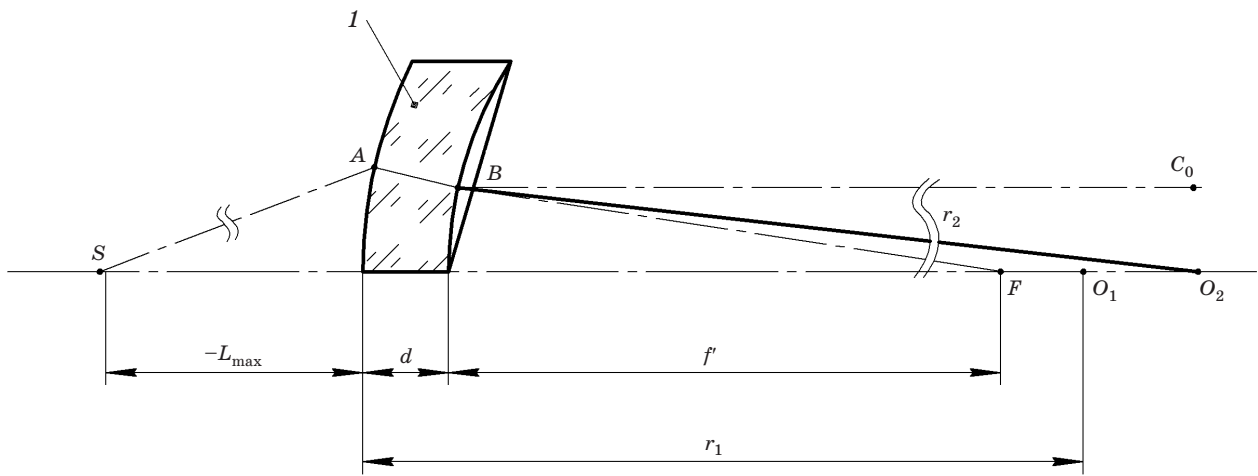
При подстановке соотношения (4) в (5) получаем окончательное выражение для сагиттальной составляющей параллактической ошибки в зависимости от угла φ

$$\delta_s = 124,8D^3 \cos^3 \varphi \sin \varphi. \quad (6)$$

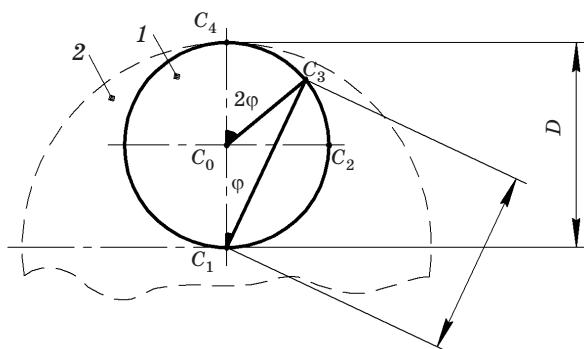
Экстремальное значение угла φ определяется из условия $\partial \delta_s / \partial \varphi = 0$ и составляет 30° , т.е.

$$\delta_s^{\max} = 40,53D^3. \quad (7)$$

Если принять во внимание, что $\delta_s \approx \delta'_h = 1,37$ мрад, то отсюда следует, что нормиро-



Вид по линии визирования



Оптическая схема прицела. 1 – мениск, 2 – заготовка, O_i – центры кривизны преломляющих поверхностей (остальные обозначения см. в тексте).

Конструктивные параметры мениска

Параметры	$r_1 = r_2 + d$				$r_1 = r_2$				$r_1 = r_2 + d(1 - 1/n)$			
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3	C_4
δ_s , мрад	0	0,51	0,88	0	0	0,5	0,86	0	0	0,52	0,87	0
δ_m , мрад	0	0,51	1,53	3,04	0	0,5	1,49	3,04	0	0,52	1,5	3
r_1 , мм	158,74				156,25				157,1			
$f'_{\text{мен}}$, мм	-29065				55195				∞			

Примечание. $f'_{\text{мен}}$ – фокусное расстояние мениска.

ванное значение диаметра зеркального мениска составляет не более

$$D = (1,37/40,53)^{1/3} = 0,32. \quad (8)$$

Опыт размещения КП на короткоствольном стрелковом оружии [9] показывает, что диаметр мениска не может превышать 25 мм. Подставляя это значение в выражение (8), находим минимальное значение фокусного расстояния зеркального объектива $f' = 78,125$ мм и радиус кривизны его отражающей поверхности $r_2 = 156,25$ мм.

Учитывая, что мениск находится на линии визирования пространства целей, можно рассматривать три варианта его формы

- концентрический мениск, у которого $r_1 = r_2 + d$, где d – его толщина,
- мениск, у которого $r_1 = r_2$,
- телескопический мениск, у которого $r_1 = r_2 + d(1 - 1/n)$, где n – показатель преломления материала мениска.

Для оценки влияния формы мениска на процесс прицеливания рассмотрим его работу в равных условиях (рисунок).

Исходя из условий прочности, толщину мениска l вдоль оптической оси принимаем равной 2,5 мм. В качестве материала выбираем стекло К108 ($n = 1,5183$). За цель принимаем условную точку S на оптической оси, удаленную от стрелка на 150 м. Нулевой линией визирования цели будем считать ломаную линию, проходящую через точки S , A (геометрический центр мениска l), B (пересечение преломленного луча с вогнутой поверхностью мениска) и C_0 (расчетная точка на преломленном луче, в которой должен находиться глаз стрелка).

Нулевой линией визирования прицельной сетки будем считать ломаную линию, проходящую через точки C_0 , B и F (пересечение с оптической осью луча C_0B после его отражения от светоделителя на мениске). При таком подходе сагиттальная составляющая параллактической ошибки при произвольном положении глаза стрелка в пределах выходного зрачка прицела определяется формулой (6) при $D = h$, что существенно упрощает расчет.

В таблице приведены конструктивные параметры мениска при его разной форме и, соответственно, модули составляющих параллактической ошибки в четырех точках C_i (см. рисунок).

Анализируя данные таблицы, можно сделать следующие выводы. Параллактическая ошибка в КП на базе децентрированной менисковой схемы практически не зависит от рассмотренных форм мениска. Это объясняется, в первую очередь, его малой толщиной. Поэтому при выборе его формы следует исходить из восприятия пространства целей двумя глазами.

Как следует из таблицы, оптическая сила линзы на линии визирования лежит в диапазоне от $-0,03$ до $0,02$ дпт. Относительно глаза такая диоптрийность является практическим нулем. С этой точки зрения для прицела короткоствольного стрелкового оружия возможна любая рассмотренная форма мениска.

Автором рассмотрена методика расчета прицела короткоствольного оружия. Очевидно, что такой же подход можно использовать и при проектировании прицелов для других видов стрелкового оружия.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые тенденции в развитии систем отображения информации и управления боевых самолетов. (Обзор по материалам зарубежной печати) / Под общ. ред. Федосова Е.А. М.: Научно-информационный центр, 1984. 64 с.
2. Сенаторов Н.В., Микитенко В.И. Сопоставительный анализ оптических схем коллиматорных прицелов // Междунар. научно-техн. сб. "Артиллерийское и стрелковое вооружение". В. 7. Киев: НТЦ АСВ, 2003. С. 11–19.
3. Ган М.А. Теория и методы расчета оптических систем с голографическими оптическими элементами // Автореф. докт. дис. СПб.: ГОИ им. С.И. Вавилова, 1992. 32 с.
4. Skorpio 9 mm // Проспект фирмы Česka Zbrojovka (Чехия), 1994. 2 с.
5. Эльф, Гоблин // Проспект КБ СТ (Украина), 1995. 6 с.
6. Справочник конструктора оптико-механических приборов / Под ред. Кругера М.Я., Панова В.А. Л.: Машиностроение, 1967. 760 с.
7. Ананьев И.Н. Основы устройства прицелов. М.: Воениздат, 1947. 440 с.
8. Хадсон Р. Инфракрасные системы. М.: Мир, 1972. 534 с.
9. Сенаторов Н.В. Повышение эффективности оптических прицелов для стрелкового оружия // Автореф. канд. дис. Киев: НТУУ "КПИ", 2005. 20 с.