

ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ СОЗДАНИИ МАЛОГАБАРИТНЫХ КОЛЛИМАТОРНЫХ ПРИЦЕЛОВ

Н.В.СЕНАТОРОВ канд. техн. наук, В.В.ПОЛЕЖАЕВ, инж. (“ЦКБ “Арсенал”, г. Киев),
В.И.МИКИТЕНКО канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»),
В.Н.СЕНАТОРОВ, канд. техн. наук (НИИСК, г. Киев)

Рассмотрены два варианта построения оптической схемы малогабаритного коллиматорного прицела, в котором для сокращения длины применен голографический оптический элемент, и теоретически исследована точность формирования линии прицеливания, которая при этом достигается.

Розглянуто два варіанти побудови оптичної схеми малогабаритного колімаційного прицілу, в якому для зменшення довжини застосовано голографічний оптичний елемент, і теоретично досліджено точність формування лінії прицілювання, яка при цьому досягається.

Two variants for construction of optical scheme for small dimension collimator sight (using) with holographic optical element for length decrease are examined. Accuracy for formatting relevant line of arm is (researched) evaluated theoretically.

Испытания линзового моноблочного (без воздушных промежутков между оптическими компонентами) коллиматорного прицела (КП), в котором прицельная сетка наблюдается одним глазом, а цель другим, выявили следующее [1]. Если время прицеливания превышает 4 с, то у отдельных стрелков наблюдалось скачкообразное изменение наблюдаемого положения прицельной сетки в пределах 1^0 . Поэтому, несмотря даже на то, что этот прицел обеспечивает прицеливание за время менее 4 с, некоторые специалисты относятся к нему скептически. Именно это обстоятельство подтолкнуло авторов к созданию иных схем моноблочного КП.

Патентные исследования [1] показали, что требованию наблюдать цель обоими глазами, а прицельную марку одним, сохраняя при этом моноблочность конструкции, отвечает лишь децентрированная зеркальная оптическая схема (пат. США № 4390276), изображенная на рис. 1а и построенная по принципу «обратный Гершель».

Здесь сетка 4 находится в фокальной поверхности зеркального объектива, сформированного отражающим покрытием на вогнутой поверхности децентрированного линзового элемента 1. В качестве отражающего покрытия используется либо нейтральный светоделитель, либо спектроделитель, спектр отражения которого согласован со спектром свечения светодиода (на рис. 1а не показан). Линзовые элементы 1 и 2, изготовленные из одинакового оптического материала и склеенные по сферической поверхности, образуют толстую плоско-параллельную пластину, через которую стрелок наблюдает одним глазом окружающее пространство и цель. Второй глаз видит окружающее пространство прямо перед собой. Пучки лучей от сетки 4 (на рис. 1а пунктиром показан пучок лучей от центральной точки), освещаемой светодиодом, отражаются зеркальным покрытием на призме 3 в направлении зеркального объектива. Отражаясь объективом, эти пучки лучей создают коллимированное изображение сетки, наблюдаемой стрелком на фоне окружающего пространства.

Конструктивной особенностью этой схемы является то, что для обеспечения заданной точности углового положения линии прицеливания ($\sigma = 3$ мрад для большинства видов стрелкового оружия [1]) необходимо минимизировать угол децентрировки $2u$. Т.е. угол между нулевой линией прицеливания, которая проходит через геометрический центр

линзового элемента 1 параллельно оси канала ствола оружия, и отрезком оптической оси, который соединяет центр линзового элемента с центральной точкой сетки 4. Эта особенность приводит к большой длине моноблока, что приемлемо не для всех видов стрелкового оружия, на которые устанавливается прицел, например, пистолетов.

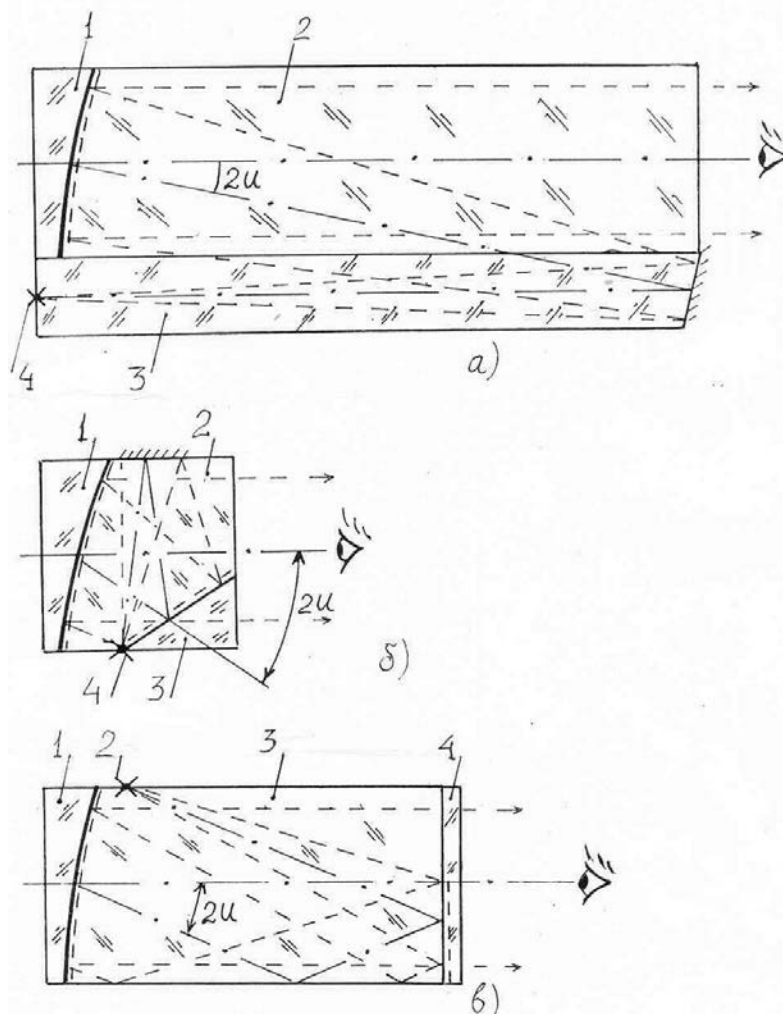


Рис. 1. Принципиальные оптические схемы КП (обозначения см. в тексте)

Цель данной статьи – показать принципиальный путь создания малогабаритного моноблочного зеркального КП и оценить достигаемую при этом точность построения линии прицеливания.

Известно [2], что голографические оптические элементы (ГОЭ) на основе бихромата желатина обладают угловой селективностью: квази-монохроматическое излучение дифрагирует на них при падении до определенного (критического) угла, и это же излучение проходит ГОЭ при углах падения больше критического. Именно это свойство голограмм было использовано в СССР в конце 80-х годов прошлого столетия при создании авиационного пилотажно-прицельного индикатора по схеме, предложенной инженером В.А.Саенко [3]. При этом возможны два варианта построения оптической схемы. В первом варианте (рис. 1б) пучки лучей от сетки последовательно отражаются зеркалом, плоским ГОЭ и сферическим интерференционным зеркалом. Во втором (рис. 1в) – последовательно отражаются плоским ГОЭ, зеркалом и сферическим интерференционным зеркалом.

Первый вариант построения оптической схемы прицела Проектирование моноблока

На рис. 1б изображена принципиальная оптическая схема зеркального моноблочного КП, реализующая свойство угловой селективности ГОЭ применительно к

прицелу для стрелкового оружия. Моноблок представляет собой параллелепипед, образованный при склеивании четырех оптических деталей, изготовленных из одинакового оптического материала:

1 – линзового элемента с интерференционным отражающим покрытием на вогнутой сферической поверхности, выполняющим функцию зеркального коллимирующего объектива;

2 – линзового элемента с зеркальным покрытием на плоской боковой грани;

3 – призмы с ГОЭ на гипотенузной грани;

4 – сетки, освещаемой светодиодом типа STAR/OLXHL-ND98 (световой поток 27 лм; $\lambda_{\max} = 625$ нм; $\Delta\lambda_{0,5} = 20$ нм [4]; светодиод на схеме не показан).

Моноблочность конструкции обеспечивается за счет совмещения зеркального покрытия и сетки 4 с противоположными боковыми гранями линзового элемента 2. Пучки лучей от сетки 4 (на рис. 1б пунктиром показан пучок лучей от центральной точки), сначала отражается зеркалом на плоской боковой грани линзового элемента 2 в направлении ГОЭ на призме 3. Дифрагируя на ГОЭ, пучок заполняет апертуру зеркального объектива. Отражаясь объективом, пучок коллимируется и проходит ГОЭ под постоянным углом, который превышает угол падения пучка после первого отражения. В итоге, стрелок визирует коллимированное изображение прицельной сетки на фоне окружающего пространства, наблюдаемого через ГОЭ и интерференционное зеркало.

Для того, чтобы создать условия для реализации свойства угловой селективности ГОЭ, необходимо децентрировать зеркальный объектив на угол $2u$. Установим зависимость разности δ углов падения на ГОЭ крайнего луча, отраженного зеркалом на боковой грани, и коллимированного луча, сформированного зеркальным объективом.

Рассмотрим в параксиальной области лучей моноблок с линейной апертурой выходного зрачка h_1 (высота) \times h_2 (ширина) с учетом децентрировки $2u$. На рис. 2 центр зрачка обозначен буквой A , угловые точки зрачка – C_i , а центральная точка прицельной сетки – буквой O .

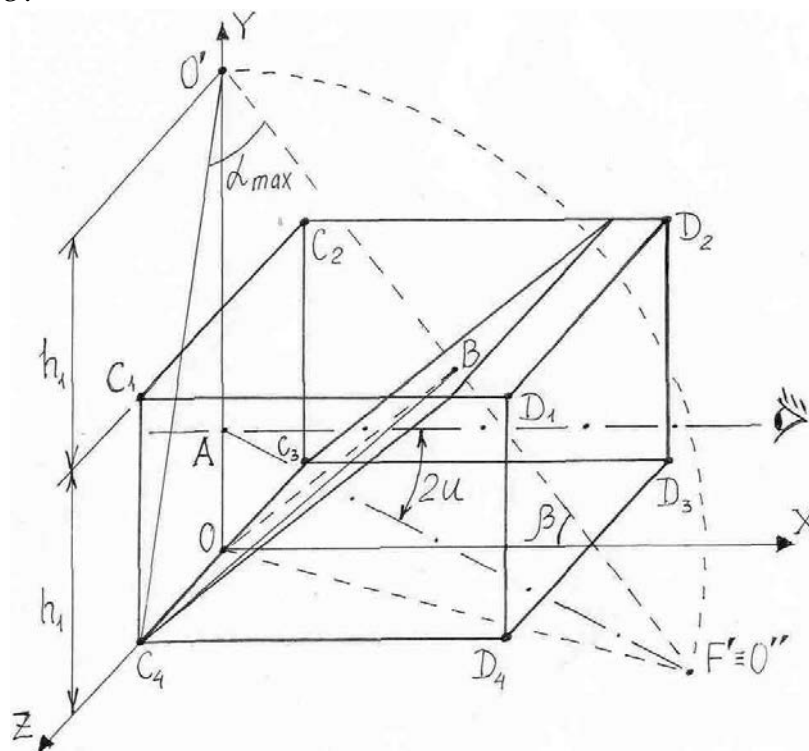


Рис. 2. Схема построения моноблока

Для минимизации длины моноблока сетка должна размещаться вблизи его ребра C_3C_4 . Если зеркальная плоскость совмещена с гранью $C_1C_2D_2D_1$, то изображение точки O занимает положение O' , удаленное от зеркальной плоскости на расстояние h_1 . Совместим

нижнее ребро гипотенузной грани призмы с ребром C_3C_4 . При этом наклон гипотенузной грани призмы с ГОЭ должен выбираться из условия совмещения изображения O'' точки O' с фокальной поверхностью F' зеркального объектива. Т.е. отрезок $O'F'$ является нормалью к гипотенузной грани, точка B лежит на середине нормали, а $OO' = OF'$.

Выберем систему координат $OXYZ$, начало которой совмещено с центральной точкой сетки, ось X совпадает с нулевой линией прицеливания, ось Y совпадает с отрезком OO' , а ось Z совпадает с отрезком OC_4 . Примем условие нормировки $h_1 = 1$ и введем предложенную инженером И.М.Алексеевко взаимосвязь между параметрами h_1 и h_2 вида: $h_2 = kh_1$, где $k = 3/4$ или $k = 4/3$ в зависимости от того, с какими противоположными боковыми гранями совмещены зеркальное покрытие и сетка. Если они совмещены с более удаленными гранями, то $k = 3/4$. Если же они совмещены с менее удаленными гранями, то $k = 4/3$.

В принятой системе координат отрезок AF' оптической оси описывается уравнением:

$$y = 0,5 - xtg2u, \quad (1)$$

а окружность, на которой лежат точки O' и F' , - уравнением:

$$y^2 + x^2 = 4. \quad (2)$$

Совместное решение уравнений (1) и (2) дает координату $x_{F'}$ фокуса F' объектива как функцию угла $2u$:

$$x_{F'} = [tg2u + (15 + 16 tg^2 2u)^{1/2}] / 2(1 + tg^2 2u). \quad (3)$$

Зная координаты точки $O'(0,2)$ и $x_{F'}$, определим удаление точки O' от плоскости ГОЭ:

$$O'B = [x_{F'}^2 + (1,5 x_{F'} tg2u)^2]^{1/2}. \quad (4)$$

Далее, из $\Delta OO'B$ определим длину отрезка BO :

$$BO = [(OO')^2 - (O'B)^2]^{1/2} = [16 - x_{F'}^2 - (1,5 + x_{F'} tg2u)^2]^{1/2}. \quad (5)$$

Из рис. 2 видно, что угол β , под которым лучи от центральной точки прицельной сетки проходят через ГОЭ, определяется из $\Delta OO'B$:

$$tg \beta = O'B / BO. \quad (6)$$

После подстановки в (6) формул (4) и (5) получаем окончательное выражение для вычисления угла β :

$$tg \beta = \{ [x_{F'}^2 + (1,5 x_{F'} tg2u)^2] / [16 - x_{F'}^2 - (1,5 + x_{F'} tg2u)^2] \}^{1/2}. \quad (7)$$

Из ΔBOC_4 находим удаление точки C_4 (крайней точки в плоскости ГОЭ), в которую приходит под максимальным углом падения α_{max} луч, отраженный зеркалом на боковой грани линзового элемента 2:

$$BC_4 = [(BO)^2 + (h_2/2)^2]^{1/2} = [16 - x_{F'}^2 - (1,5 + x_{F'} tg2u)^2 + k^2]^{1/2}. \quad (8)$$

При этом сам угол α_{max} находится из $\Delta C_4BO'$:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\max} = BC_4 / OB' = \{[16 - x_{F'}^2 - (1,5 + x_{F'} \operatorname{tg} 2u)^2 + k^2] / [x_{F'}^2 + (1,5 x_{F'} \operatorname{tg} 2u)^2]\}^{1/2}. \quad (9)$$

Таким образом, разностный угол $\delta = f(2u, k)$ определяется формулой:

$$\delta = \beta - \alpha_{\max}, \quad (10)$$

где углы β и α_{\max} определяются из выражений (7) и (9), а координата $x_{F'}$ – зависимостью (3).

Анализ ряда ГОЭ, проведенный инженером В.А.Саенко, показал, что для обеспечения высоких светотехнических показателей (дифракционная эффективность $\rho_\lambda \geq 0,7$, а спектральный коэффициент пропускания $\tau_\lambda \geq 0,7$) минимальный угол δ должен лежать в диапазоне $15 \pm 3^\circ$. На рис. 3 показан график зависимости (10) для обоих значений k . Как видно из графика, для среднего значения $\delta = 15^\circ$ требуемая угловая селективность достигается при угле $2u = 28,9^\circ$, если $k = 3/4$, и при угле $2u = 31,3^\circ$, если $k = 4/3$. Это означает, что наиболее благоприятные условия для точности имеют место при $k = 3/4$, т.е. когда зеркальное покрытие и сетка совмещены с более удаленными противоположными боковыми гранями линзового элемента 2. Это обстоятельство следует учитывать при компоновке прицела на оружии. Если прицел размещается сбоку ($h_1 = 1, h_2 = 3/4$), то зеркальное покрытие должно наноситься на верхнюю/нижнюю грань, а сетка должна совмещаться с нижней/верхней гранью линзового элемента 2. Если же прицел размещается на месте прицельной планки ($h_1 = 1, h_2 = 4/3$), то зеркальное покрытие должно наноситься на левую/правую боковую грань, а сетка должна совмещаться с правой/левой боковой гранью линзового элемента 2.

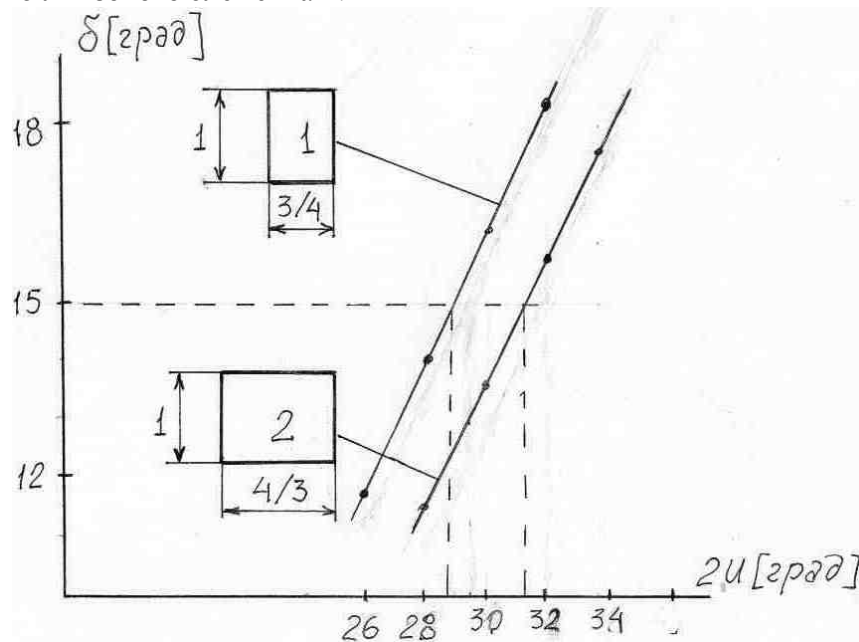


Рис. 3. Графики зависимости $\delta = f(2u)$: 1- при $k = 3/4$, 2 – при $k = 4/3$

Решение системы уравнений (1) и (2) при $2u = 28,9^\circ$ дает: $x_{F'} = 1,92$; $y_{F'} = -0,56$. Фокусное расстояние f' зеркального объектива связано с координатами точки F' зависимостью:

$$(x_{F'} + f')^2 + (0,5 - y_{F'})^2 = 4 f'^2,$$

решение которого дает значение $f' = 2,2$. Таким образом, зеркальный объектив имеет относительное отверстие 1:1,4 при угле децентрировки $2u = 28,9^\circ$. Подстановка значения

$2u = 28,9^0$ в (7) определяет угол $\beta = 53,1^0$, с которым связана относительная длина l моноблока:

$$l = \operatorname{tg} \beta + t^*,$$

где t^* - относительная толщина линзового элемента 1. Если принять $t^* \rightarrow 0$, то при $2u = 28,9^0$ получаем $l \approx 1,33$.

Анализ точности

Точный расчет хода лучей в обоих вариантах компоновки прицела по известным алгоритмам [1] дал следующие результаты. При размещении моноблока сбоку оружия предельная параллактическая ошибка линии прицеливания, обусловленная сферической формой отражающей поверхности зеркального объектива и произвольным положением глаза стрелка в пределах выходного зрачка прицела, составляет $3\sigma = 21$ мрад по вертикали и $3\sigma = 0,6$ мрад по горизонтали. При размещении моноблока на месте прицельной планки та же предельная ошибка составляет 0,6 мрад по вертикали и 21 мрад по горизонтали.

Технологические аспекты

Технологический процесс изготовления моноблока должен включать следующие основные операции.

1. Изготовление призмы с ГОЭ на гипотенузной грани, сетки и двух крупногабаритных линз: плоско-выпуклой и плоско-вогнутой.
2. Нанесение на вогнутую поверхность линзы интерференционного отражающего покрытия типа $\{(90\text{ИЭ} \times 3)(41\text{ИЭ} \times 3)\}[\times 9](90\text{ИЭ} \times 3)(41\text{ИЭ} \times 1,5)$ для $\lambda_{\max} = 0,625$ мкм.
3. Склеивание линз по сферической поверхности.
4. Формирование наружных габаритов моноблока, фрезеруя из склеенной детали одновременно два моноблока (рис. 4).

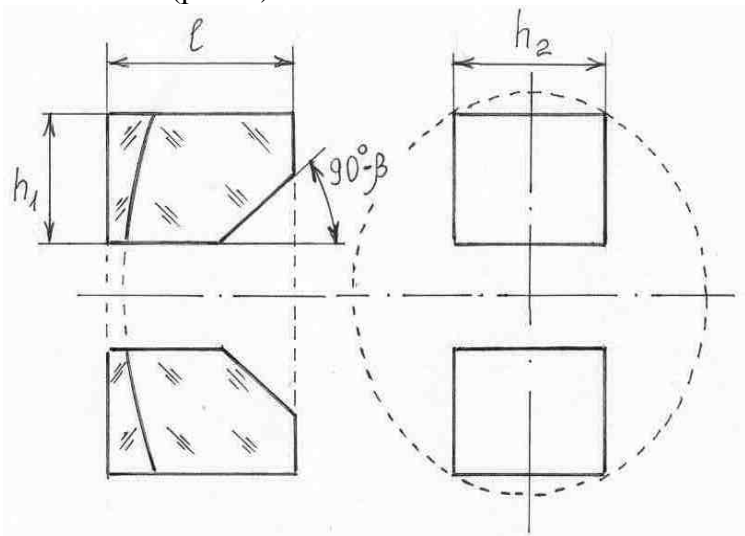


Рис. 4. Формирование моноблоков из склеенной детали

5. Полирование наружных рабочих плоскостей моноблока на участке, где будет наноситься зеркальное покрытие, и на наклонной плоскости.
6. Склеивание призмы с моноблоком.
7. Нанесение зеркального покрытия типа 1И21Е на плоскую боковую грань моноблока.
9. Приклеивание сетки к моноблоку с использованием контрольно-юстировочного приспособления.
10. Нанесение черной матовой эмали типа ХС1107М на нерабочие поверхности моноблока.

Особое внимание необходимо уделить ГОЭ на гипотенузной грани призмы. При разработке схемы голографирования следует иметь в виду особенности его работы: лучи квази-монохроматического спектра ($\lambda_{\max} = 0,625$ мкм) дифрагируют на ГОЭ при углах

падения $13...38,1^\circ$, ГОЭ пропускает всю видимую область спектра в диапазоне углов падения $49...57^\circ$ и это же квази-монохроматическое излучение при угле падения $53,1^\circ$.

Второй вариант построения оптической схемы прицела

Проектирование моноблока

На рис. 1в изображена вторая принципиальная оптическая схема зеркального моноблочного КП. Моноблок представляет собой параллелепипед, образованный при склеивании трех оптических деталей, изготовленных из одинакового оптического материала:

- 1 – линзового элемента с интерференционным отражающим покрытием на вогнутой сферической поверхности, выполняющим функцию зеркального коллимирующего объектива;
- 2 - сетки, освещаемой светодиодом (на рис. не показан);
- 3 – толстого плоско-выпуклого линзового элемента;
- 4- плоско-параллельной пластины с ГОЭ на рабочей плоскости.

Пучки лучей от сетки 2 (на рис. 1в пунктиром показан пучок лучей от центральной точки), сначала дифрагируют на ГОЭ в направлении нижней полированной грани моноблока. Претерпевая полное внутреннее отражение, пучок заполняет апертуру зеркального объектива, коллимируется и проходит по нормали к ГОЭ на пластине 4. В итоге, стрелок визирует коллимированное изображение прицельной сетки на фоне окружающего пространства, наблюдаемого через ГОЭ и интерференционное зеркало.

Рассмотрим в параксиальной области лучей моноблок с линейной апертурой выходного зрачка h_1 (высота) \times h_2 (ширина) с учетом децентрировки $2u$ (рис. 5).

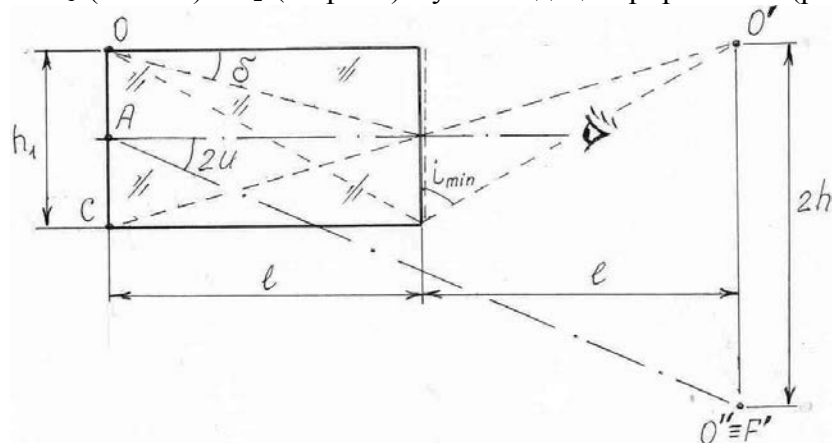


Рис. 5. Схема моноблока (обозначения см. в тексте)

Для минимизации длины моноблока сетка (на рисунке ее центральная точка обозначена буквой O) должна размещаться вблизи верхнего края зеркального объектива. Для того, чтобы создать условия для реализации свойства угловой селективности ГОЭ в этой схеме, крайний луч, исходящий из точки O под углом δ к нулевой линии прицеливания, должен прийти в крайнюю точку C апертуры объектива после всех отражений. При этом удаление l ГОЭ от точки A – центра объектива - находится по формуле:

$$l = h_1 / 2 \operatorname{tg} \delta.$$

При $\delta = 15^\circ$ и условия нормировки $h_1 = 1$ находим: $l = 1,87$. При таком l изображение O' точки O в ГОЭ удалено от сетки на расстояние $2l = 3,74$. Изображение O'' точки O' в нижней боковой грани моноблока удалено от верхней грани на расстояние $2h_1 = 2$ и совмещено с фокусом зеркального объектива F' . Угол децентрировки $2u$ в этой схеме определяется по формуле

$$\operatorname{tg} 2u = 1,5 h_1 / 2 l = 1,5 \operatorname{tg} \delta,$$

т.е. не зависит от параметра h_1 и составляет $21,9^0$. Фокусное расстояние f' зеркального объектива связано с углом децентрировки зависимостью:

$$2,25 h_1^2 + (2l + f')^2 = 4 f'^2$$

и при принятой нормировке составляет 3,88. Таким образом, зеркальный объектив имеет относительное отверстие 1:2,5 при угле децентрировки $2u = 21,9^0$.

Из рис. 5 видно, что минимальный угол i_{min} падения лучей на нижнюю полированную грань моноблока после дифракции на ГОЭ определяется зависимостью:

$$tg i_{min} = l/h_1$$

и при известных значениях l и h_1 составляет $61,9^0$. Поэтому, даже при использовании стекла с малым показателем преломления, на нижней грани моноблока имеет место полное внутренне отражения падающего луча. Это означает, что, теоретически, на эту плоскость можно не наносить отражающее покрытие. Однако практически, учитывая жесткие условия эксплуатации прицелов, на нижнюю грань линзового элемента 3 целесообразно наносить зеркальное покрытие. При чем, для минимизации паразитных рефлексов в канале наблюдения окружающего пространства это зеркальное покрытие должно быть таким же, как и на линзовом элементе 1.

Анализ точности

Точный расчет хода лучей в обоих вариантах компоновки КП по известным алгоритмам [1] дал следующие результаты. При размещении моноблока сбоку оружия ($h_1 = 1, h_2 = 3/4$), нанесении зеркального покрытия на верхнюю/нижнюю грань и совмещении сетки с нижней/верхней гранью линзового элемента 3 предельная параллактическая ошибка линии прицеливания, обусловленная сферической формой отражающей поверхности зеркального объектива и произвольным положением глаза стрелка в пределах выходного зрачка прицела, составляет $3\sigma = 7,5$ мрад по вертикали и $3\sigma = 0,1$ мрад по горизонтали. При таком же размещении моноблока на оружии, но нанесении зеркального покрытия на левую/правую грань и совмещении сетки с правой/левой гранью линзового элемента 3 та же предельная параллактическая ошибка линии прицеливания составляет 0,6 мрад по вертикали и 7,5 мрад по горизонтали. При размещении моноблока на месте прицельной планки ($h_1 = 1, h_2 = 4/3$), нанесении зеркального покрытия на верхнюю/нижнюю грань и совмещении сетки с нижней/верхней гранью линзового элемента 3 предельная параллактическая ошибка линии прицеливания составляет 7,5 мрад по вертикали и 0,6 мрад по горизонтали. При таком же размещении моноблока на оружии, но нанесении зеркального покрытия на левую/правую грань и совмещении сетки с правой/левой гранью линзового элемента 3 предельная параллактическая ошибка линии прицеливания составляет 0,1 мрад по вертикали и 7,5 мрад по горизонтали.

Технологические аспекты

Технологический процесс изготовления моноблока должен включать следующие основные операции.

1. Изготовление сетки, ГОЭ на тонкой плоско-параллельной пластине и двух крупногабаритных линз: толстой плоско-выпуклой и плоско-вогнутой.
2. Нанесение на вогнутую поверхность линзы интерференционного отражающего покрытия типа $\{(90ИЭх3)(41ИЭх3)\}[x9\}(90ИЭх3)(41ИЭх1,5)$ для $\lambda_{max} = 0,625$ мкм.
3. Склеивание линз по сферической поверхности.
4. Формирование наружных габаритов моноблока, фрезеруя из склеенной детали одновременно два моноблока.
5. Полирование наружной рабочей плоскости моноблока на участке, где будет наноситься зеркальное покрытие.

6. Нанесение интерференционного отражающего покрытия типа $\{(90\text{ИЭ} \times 3)(41\text{ИЭ} \times 3)\}[\times 9](90\text{ИЭ} \times 3)(41\text{ИЭ} \times 1,5)$ для $\lambda_{\max} = 0,625$ мкм на плоскую боковую грань моноблока.

7. Приклеивание пластины с ГОЭ к моноблоку.

8. Приклеивание сетки к моноблоку с использованием контрольно-юстировочного приспособления.

9. Нанесение черной матовой эмали типа ХС1107М на нерабочие поверхности моноблока.

Особое внимание необходимо уделить ГОЭ на плоско-параллельной пластине. При разработке схемы голографирования следует иметь в виду особенности его работы: лучи квази-монокроматического спектра ($\lambda_{\max} = 0,625$ мкм) дифрагируют на ГОЭ при углах падения $15 \dots 29,4^\circ$, ГОЭ пропускает всю видимую область спектра в диапазоне углов падения $0 \dots 6^\circ$ и квази-монокроматическое излучение при угле падения 0° .

Заключение. Как следует из проведенного анализа, оба варианта построения оптической схемы позволяют создать более короткий прицел, чем прицел, реализующий принцип схемы «обратный Гершель», но уступают ему в точности. Второй вариант построения оптической схемы в три раза превосходит первый в точности, но в полтора раза длиннее. Поэтому принятие решения о достаточности этой точности и необходимых габаритах прицела следует принимать после моделирования применительно к конкретному типу оружия и решаемой им боевой задаче. Если при моделировании использовать ростовую мишень № 8 (эквивалентные габаритные размеры 60 x 160 см) на дальности 50 м, то ее наблюдаемые угловые размеры составят 12 x 32 мрад. Поэтому второй вариант построения оптической схемы с горизонтальной составляющей параллактической ошибки 0,1 мрад ($\pm 0,5$ см на дальности стрельбы 50 м в горизонтальном направлении) и вертикальной – 7,5 мрад ($\pm 37,5$ см на дальности стрельбы 50 м в вертикальном направлении) можно считать приемлемым. Если же результаты моделированию покажут необходимость повышения точности, то единственным эффективным методом в обоих вариантах построения схемы является использование асферической оптики. В частности, при использовании параболической отражающей поверхности вида $y^2 = 8,2 x$ ($f' = 2,05$) в первом варианте и поверхности вида $y^2 = 15,52 x$ ($f' = 3,88$) во втором варианте - линия прицеливания строится без погрешности при перемещении глаза во всем диапазоне выходного зрачка. Однако не следует забывать о дороговизне технологии формообразования несферических поверхностей на оптическом стекле. Технология же получения асферики на оптических пластмассах с помощью алмазного инструмента намного дешевле, однако отсутствует технология нанесения специальных покрытий на оргстекло.

Проблемным вопросом схемы, изображенной на рис. 1в, могут быть паразитные рефлексы от окружающего пространства, наблюдаемые вне поля зрения КП при отражении от нижней полированной грани моноблока. По нашему мнению, здесь свою ведущую роль должен показать глаз, который видит цель не через прицел и заставляет другой глаз ориентироваться не на перевернутое изображение, а на цель. В любом случае, надежность этой схемы необходимо оценить на макете. Для уменьшения паразитных рефлексов полированную грань следует совмещать с верхней плоскостью моноблока, а сетку – с нижней. Тогда конструкция оружия будет играть роль шторки для лучей, проходящих на полированную грань.

1. *Сенаторов Н.В.* Повышение эффективности оптических прицелов для стрелкового оружия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Киев: НТУУ «Киевский политехнический институт». – 2005. – 20 с.
2. Новые тенденции в развитии систем отображения информации и управления боевых самолетов. (Обзор по материалам зарубежной печати). Под общ. ред. Е.А.Федосова. - М.: Научно-информационный центр, 1984.- 64 с.
3. *Полежаев В.В., Сенаторов В.Н.* Авиационные стрелковые прицелы и пилотажно-прицельные индикаторы // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Межд. науч.-техн. журнал. – Киев: НТЦ АВ. – 2008.- № 1 (26).- С. 15-23.
4. <http://www.rct.ru>.