

УДК 535.317: 681.75

В. И. З а в а р з и н

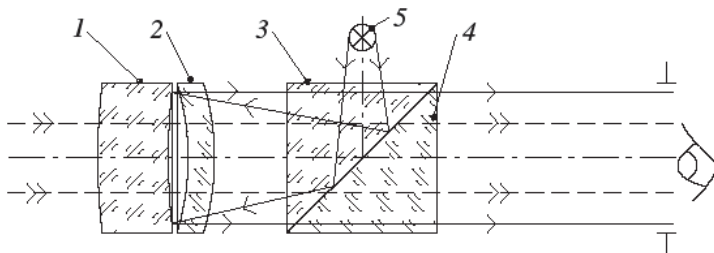
## КОЛЛИМАТОРНОЕ ПРИЦЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

*Предложена схема оптического прицельного приспособления для стрелкового оружия. Рассмотрено влияние дефектов элементов схемы на качество изображения.*

Оптические системы (ОС), применяемые совместно со стрелковым оружием, должны удовлетворять ряду противоречивых требований, они должны иметь:

- малые габаритные размеры и массу, определяемые жесткими требованиями к изделию в целом;
- максимально возможное относительное отверстие, что влияет на светосилу и достаточность освещенности изображения;
- определенный угол поля, зависящий от марки оружия и условий его применения;
- минимальные потери для длин волн, соответствующих выбранному спектральному диапазону;
- малое виньетирование при перемещении изображения от центра к краю поля;
- стабильность оптических характеристик при изменении климатических условий;
- сохранение оптических характеристик в условиях тряски, вибраций и ударных нагрузок.

Интересно и многообещающе применение коллиматорных прицельных устройств (КПУ). Оптические системы КПУ обеспечивают возможность одновременного наблюдения прицельной световой марки на цели и района расположения цели, что позволяет быстро и точно осуществлять прицеливание. Однако известные КПУ имеют недостаточно высокую точность прицеливания из-за большого числа узлов, блоков и оптически сопряженных компонентов и отсутствия оптимального согласования линейных размеров марки с параметрами объектива [1–3]. Кроме того, к недостаткам упомянутых устройств следует отнести то, что прицельная ось составляет острый угол с оптической осью системы, формирующей изображение прицельной марки, вследствие этого появляется параллакс (двоение изображения) и вносятся неустраняемые аберрации, приводящие к ухудшению качества изображения и возникновению дополнительного параллакса.



**Рис. 1. Оптическая схема коллиматорного прицела с ходом лучей**

При разработке ОС нового КПУ руководствовались устранением отмеченных недостатков и достижением повышенного качества изображения, устранения параллакса, уменьшения габаритных размеров и упрощения конструкции.

**Выбор схемы, габаритный и аберрационный расчет.** Оптическая система разрабатываемого КПУ (рис. 1) включает в себя объектив, выполненный в виде отрицательного (1) и положительного (2) квази-фокальных менисков, обращенных вогнутыми поверхностями друг к другу, с интерференционным спектроделительным покрытием на вогнутой поверхности первого мениска и расположенного за вторым мениском светоделительного кубика, склеенного из двух одинаковых призм 3 и 4 с интерференционным спектроделительным покрытием на склеенной гипотенузной грани одной из призм, причем источник света 5 располагается под углом  $45^\circ$  к склеенной грани и под углом  $90^\circ$  к оптической оси прицела.

Предлагаемая ОС работает следующим образом: свет от фона и цели, расположенных в бесконечности от первого мениска, проходит, преломляясь, через менискообразные линзы 1 и 2 объектива, светоделительный кубик, состоящий из призм 3 и 4, и формирует в бесконечно удаленной плоскости изображение фона и цели; одновременно свет от источника проходит через призму 3, отражаясь от гипотенузной грани с интерференционным спектроделительным покрытием, проходит, преломляясь, через мениск 2 объектива, отражается от покрытия вогнутой поверхности мениска 1 и проходит, преломляясь, мениск 2, светоделительный кубик и формирует в бесконечно удаленной плоскости изображение прицельной марки. При расположении глаза в выходном зрачке одновременно просматриваются фон, цель и прицельная марка, что повышает точность прицеливания.

Благодаря тому обстоятельству, что ОС имеет однократное увеличение, ее можно использовать как при монокулярном, так и бинокулярном способах прицеливания. Способ прицеливания выбирает стрелок из условий освещенности, требуемой оперативности прицеливания и собственных опыта и навыков.

При монокулярном способе прицеливания стрелок, совмещая глаз со световой трубкой, проходящей через оптическую ось прицельного устройства и имеющей размер (диаметр), равный световому диаметру последней оптической детали, одновременно наблюдает цель и прицельную марку, формируемую источником излучения при помощи светоделительного кубика и объектива.

В условиях сумеречной освещенности при недостаточной яркости изображения цели, видимой через прицельное устройство, возможно использование бинокулярного способа прицеливания, при котором правый глаз стрелка видит изображение прицельной марки, а левый глаз визирует цель. Изображения, фиксируемые правым и левым глазом, синтезируются в единый образ, и в итоге стрелок видит цель, на фоне которой четко различается прицельная марка. При этом ось ствола оружия совмещается с выбранным участком на поверхности цели.

Радиус кривизны второй поверхности первого мениска можно найти из условия получения заданного удаления прицельной марки от грани светоделительного кубика:

$$r_2 = 2(s' + d_2 + d_3 + d_4 + d_5), \quad (1)$$

где  $d_2, d_3, d_4, d_5$  — толщина оптических элементов и воздушных промежутков;  $s'$  — удаление прицельной марки от грани светоделительного кубика.

Оптическая сила второго мениска определяется из условия компенсации хроматизма положения разделительного кубика. Форма первого и второго менисков определяется из условия устранения сферической аберрации, а оптическая сила первого мениска — из условия устранения остаточной хроматической аберрации в канале наблюдения.

Выполнение оптического прицельного устройства в соответствии с предполагаемой схемой обеспечивает: монокулярный и бинокулярный способы прицеливания; отсутствие эффекта параллакса; небольшие габаритные размеры устройства; возможность ведения стрельбы навскидку и по быстро перемещающимся целям; устойчивость к ударным нагрузкам.

**Особенности сборки и юстировки схемы.** От точности совмещения оптической оси прицела с осью канала ствола зависит точность стрельбы. Так, при отклонении осей на одну угловую минуту на дистанции 100 м погрешность составит порядка 40 мм. На точность, прежде всего, влияют погрешности сборки и юстировки оптической схемы прицела.

Рассмотрим, какие дефекты возникнут при взаимном развороте главных сечений прямоугольных призм при склейке разделительного кубика.



нормали входной и выходной граней станут непараллельными друг другу, т.е. возникнет клиновидность кубика, значение и направление которой и требуется найти.

Воспользуемся векторными выражениями для орта направления отраженного от плоского зеркала или преломленного плоскостью, разделяющей две среды с различными показателями преломления [4]:

$$\vec{A}' = \vec{A} - 2\vec{N}(\vec{A} \cdot \vec{N}) \quad (2)$$

и, соответственно,

$$\begin{aligned} \vec{A}' &= \frac{n}{n'} (\vec{A}) - \vec{N} \left\{ \frac{n}{n'} (\vec{A} \cdot \vec{N}) - \sqrt{1 + \left(\frac{n}{n'}\right)^2 [(\vec{A} \cdot \vec{N})^2 - 1]} \right\} = \\ &= \frac{n}{n'} \vec{A} + \vec{N} \left( \frac{n}{n'} \cos i - \cos i' \right). \quad (3) \end{aligned}$$

Здесь  $\vec{A}$  — орт направления падающего луча;  $\vec{N}$  — орт направления нормали отражающей или преломляющей плоскости, направленной навстречу падающему лучу;  $n, n'$  — показатели преломления первой и второй сред, разделяемых преломляющей плоскостью;  $i, i'$  — углы падения и преломления луча на плоскости;  $(\vec{A} \cdot \vec{N})$  — скалярное произведение ортов (единичных векторов):  $(\vec{A} \cdot \vec{N}) = |\vec{A}| \cdot |\vec{N}| \cos(\widehat{AN}) = \cos(\widehat{AN}) = A_x N_x + A_y N_y + A_z N_z$ .

Значение угла преломления  $i'$  можно найти из выражения для закона преломления

$$n \sin i = n' \sin i'. \quad (4)$$

На рис. 2 показаны две неподвижные системы координатных осей:  $XYZ$  ориентирована так, что ось  $Z$  перпендикулярна входной грани кубика, а ось  $X$  перпендикулярна главному сечению призмы  $I$ ; вторая система осей  $X_1 Y_1 Z_1$  повернута по отношению к первой вокруг оси  $X$  на угол  $\omega = 45^\circ$  против хода часовой стрелки так, что ось  $Z_1$  перпендикулярна гипотенузной грани призмы  $I$ . Гипотенузная грань имеет светоделительное покрытие, и свет частично отражается, а остальная его часть проходит через кубик насквозь.

Рассмотрим *отражающую ветвь* разделительного кубика.

По формуле (2) находим направление пучка света, отраженного от гипотенузной грани, нормаль к которой направлена по орту  $\vec{N}$ , совпадающему с осью  $Z_1$ .

Решаем задачу отражения в системе координат  $XYZ$ :

$$\vec{A}'_1 = \vec{A} - 2\vec{N}(\vec{A} \cdot \vec{N}); \quad \vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}; \quad \vec{N} = N_x \vec{i} + N_y \vec{j} + N_z \vec{k};$$

$$\left. \begin{array}{l} A_x = 0, \\ A_y = 0, \quad \bar{A} = -\bar{k}; \\ A_z = 0, \end{array} \right| \begin{array}{l} N_x = 0, \\ N_y = -\sin \omega, \quad \bar{N} = -\sin \omega \bar{j} + \cos \omega \bar{k}, \\ N_z = \cos \omega. \end{array}$$

Скалярное произведение ортов  $(\bar{A} \cdot \bar{N}) = A_x N_x + A_y N_y + A_z N_z = -\cos \omega$ , тогда  $\bar{A}'_1 = -\bar{k} - 2(-\sin \omega \bar{j} + \cos \omega \bar{k})(-\cos \omega)$ .

Поскольку  $\omega = 45^\circ$ , то  $\sin \omega = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ;  $\cos \omega = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , следовательно,

$$\bar{A}'_1 = -\bar{k} - \frac{2}{\sqrt{2}} (-\bar{j} + \bar{k}) \left( -\frac{1}{\sqrt{2}} \right) = -\bar{k} + (-\bar{j} + \bar{k}) = -\bar{j}.$$

Таким образом, отраженный луч направлен в сторону, противоположную направлению оси  $Y$ , что видно и непосредственно из рис. 2 без всяких расчетов.

Решим ту же задачу в системе осей  $X_1 Y_1 Z_1$ . Для этой системы осей (рис. 2, д) можно записать:

$$\left. \begin{array}{l} A_{x_1} = 0, \\ A_{y_1} = -\sin \omega, \\ A_{z_1} = -\cos \omega, \end{array} \right| \bar{A} = -\sin \omega \bar{j}_1 - \cos \omega \bar{k}_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{j}_1 + \bar{k}_1);$$

$$\left. \begin{array}{l} N_{x_1} = 0, \\ N_{y_1} = 0, \\ N_{z_1} = +1, \end{array} \right| \begin{array}{l} \bar{N} = \bar{k}_1; \\ (\bar{A} \cdot \bar{N}) = A_{x_1} N_{x_1} + A_{y_1} N_{y_1} + A_{z_1} N_{z_1} = -\cos \omega = -\frac{1}{\sqrt{2}}. \end{array}$$

По формуле (2) имеем

$$\bar{A}'_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} (\bar{j}_1 + \bar{k}_1) - 2\bar{k}_1 \left( -\frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} (-\bar{j}_1 + \bar{k}_1).$$

Здесь отраженный луч направлен так же, как и в первом случае, но он повернут относительно оси  $Z_1$  под углом  $45^\circ$  против хода часовой стрелки.

Угол между падающим ( $\bar{A}$ ) и отраженным ( $\bar{A}'_1$ ) лучами составит

$$\cos(\widehat{\bar{A}\bar{A}'_1}) = (\bar{A}\bar{A}'_1) = A_x A'_{1x} + A_y A'_{1y} + A_z A'_{1z} = 0;$$

$$\left. \begin{array}{l} X, Y, Z \\ A_x = 0, \quad A'_{1x} = 0, \\ A_y = 0, \quad A'_{1y} = -1, \\ A_z = -1, \quad A'_{1z} = 0, \end{array} \right\} (\bar{A}\bar{A}'_1) = 0;$$

$$\left. \begin{array}{l} X_1 Y_1 Z_1 \\ A_{x_1} = 0, \quad A'_{1x_1} = 0, \\ A_{y_1} = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \quad A'_{1y_1} = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \\ A_{z_1} = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \quad A'_{1z_1} = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \\ (\bar{A}\bar{A}'_1) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0. \end{array} \right|$$

Равенство нулю скалярных произведений ортов падающего и отраженного лучей соответствует ортогональности этих лучей (т.е. отраженный луч перпендикулярен падающему лучу, что видно и из рис. 2).

Рассмотрим *прямую преломляющую ветвь*.

В исходном положении двух призм кубика  $\bar{N}_1 = \bar{N}_{20} = \bar{k}$  (в системе осей  $XVZ$ ).

При развороте призмы 2 вокруг оси  $Z_1$  на угол  $\gamma_1$  против хода часовой стрелки (при наблюдении со стороны положительного направления оси  $Z_1$ ), орт  $\bar{N}_2$  опишет поверхность кругового конуса с углом раствора  $90^\circ$  вокруг оси  $Z_1$  (см. рис. 2, в). Проектируя орт  $\bar{N}_{20}$  на оси  $X_1, Y_1, Z_1$ , получаем проекции  $N_{2y_1} = \sin \omega$  (на ось  $Y_1$ ) и  $N_{2z_1} = \cos \omega$  (на ось  $Z_1$ ) (последняя не меняет своего направления при повороте призмы). Проекция  $N_{2y_1}$  вращается вместе с призмой и при повороте призмы на угол  $\gamma_1$  орт нормали  $\bar{N}_2$  можно записать как

$$\bar{N}_2 = N_{2x_1} \bar{i}_1 + N_{2y_1} \bar{j}_1 + N_{2z_1} \bar{k}_1,$$

где  $N_{2x_1} = -\sin \omega \sin \gamma_1$ ;  $N_{2y_1} = \sin \omega \cos \gamma_1$ ;  $N_{2z_1} = \cos \omega$ .

Выражение повернутой нормали  $\bar{N}_2$  в системе осей  $XVZ$  имеет вид  $\bar{N}_2 = N_{2x} \bar{i} + N_{2y} \bar{j} + N_{2z} \bar{k}$ .

Спроектировав найденные составляющие нормали  $\bar{N}_2$  на оси  $X, Y, Z$ , получаем

$$\begin{aligned} N_{2x} &= N_{2x_1} = -\sin \omega \sin \gamma_1; \\ N_{2y} &= N_{2y_1} \cos \omega - N_{2z_1} \sin \omega; \\ N_{2z} &= N_{2y_1} \sin \omega + N_{2z_1} \cos \omega, \end{aligned}$$

тогда

$$\bar{N}_2 = -\sin \omega \sin \gamma_1 \bar{i} + (\sin \omega \cos \gamma_1 \cos \omega - \cos \omega \sin \omega) \bar{j} + (\sin \omega \cos \gamma_1 \sin \omega + \cos^2 \omega) \bar{k}. \quad (5)$$

Поскольку угол  $\omega = 45^\circ$ , то  $\sin \omega = \frac{1}{\sqrt{2}} \cong 0,707$ ,  $\cos \omega = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

Подставляя эти значения в выражение (5) орта  $\bar{N}_2$ , находим

$$\begin{aligned} \bar{N}_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ -\sin \gamma_1 \bar{i} + \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos \gamma_1 - 1) \bar{j} + \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos \gamma_1 + 1) \bar{k} \right] = \\ &= -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin \gamma_1 \bar{i} + \frac{1}{2} (\cos \gamma_1 - 1) \bar{j} + \frac{1}{2} (\cos \gamma_1 + 1) \bar{k}. \quad (6) \end{aligned}$$

Используя функции половинного угла, приводим выражение (6) к виду

$$\bar{N}_2 = -\frac{1}{\sqrt{2}} \sin \gamma_1 \bar{i} - \sin^2 \frac{\gamma_1}{2} \bar{j} + \cos^2 \frac{\gamma_1}{2} \bar{k}.$$

Учитывая, что угол  $\gamma_1$  мал, и считая  $\sin \gamma_1 \approx \gamma_1$ ,  $\sin^2 \frac{\gamma_1}{2} \approx \frac{\gamma_1^2}{4} \approx 0$ ;  $\cos^2 \frac{\gamma_1}{2} \approx 1$ , можно записать

$$\bar{N}_2 \approx -\frac{1}{\sqrt{2}}\gamma_1\bar{i} + \bar{k} \approx -0,707\gamma_1\bar{i} + \bar{k}.$$

Таким образом, нормаль  $\bar{N}_2$  отклонилась от своего первоначально-го направления и орта  $\bar{N}_1$  нормали входной грани в плоскости  $XZ$  на угол  $\approx 0,7\gamma_1$  в сторону разворота призмы 2 (см. рис. 2, б). Развертка кубика стала теперь клиновидной, причем ребро клина почти параллельно оси  $Y$ .

По формуле (3) определяем направление преломленного кубиком выходящего луча:  $n = 1,5$ ;  $n' = 1$ ;  $\bar{A}_2 = -\bar{K}$ ;  $\bar{N}_2 = -0,7\gamma_1\bar{i} + \bar{k}$  ( $A_{2x} = 0$ ;  $A_{2y} = 0$ ;  $A_{2z} = -1$ ;  $N_{2x} = -0,7\gamma_1$ ;  $N_{2y} = 0$ ;  $N_{2z} = 1,0$ ).

Поскольку падающий луч и нормаль к преломляющей грани направлены в противоположные стороны, то перед квадратным корнем следует поставить знак минус.

С учетом изложенного можно записать

$$(\bar{A}_2 \cdot \bar{N}_2) = A_{2x}N_{2x} + A_{2y}N_{2y} + A_{2z}N_{2z} = -1; \quad (\bar{A}_2 \cdot \bar{N}_2)^2 = 1,$$

тогда формула (3) принимает вид

$$\bar{A}'_2 = n\bar{A}_2 - \bar{N}_2 \{ n (\bar{A}_2 \cdot \bar{N}_2) + \sqrt{1 + n^2[(\bar{A}_2 \cdot \bar{N}_2)^2 - 1]} \},$$

или

$$\begin{aligned} \bar{A}'_2 &= n\bar{A}_2 - n\bar{N}_2 \cdot (\bar{A}_2\bar{N}_2) - \bar{N}_2\sqrt{1 - n^2 + n^2(\bar{A}_2 \cdot \bar{N}_2)^2} \approx \\ &\approx -n\bar{k} - n\left(-\frac{\gamma_1}{\sqrt{2}}\bar{i} + \bar{k}\right)(-1) - \left(-\frac{\gamma_1}{\sqrt{2}}\bar{i} + \bar{k}\right)\sqrt{1 - n^2 + n^2} = \\ &= (1 - n)\frac{\gamma_1}{\sqrt{2}}\bar{i} - \bar{k} \approx -0,35\gamma_1\bar{i} - \bar{k}. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что выходящий из кубика преломленный луч при развороте призмы 2 на угол  $\gamma_1$  отклонится от своего номинального направления в плоскости  $XZ$  на угол  $-0,35\gamma_1$  в сторону, противоположную направлению разворота призмы 2. При этом возникает соответствующий угловой хроматизм изображения. На рис. 2, б изображен орт прошедшего луча  $\bar{A}'_2$ , а на рис. 2, г — составляющие его по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Следует отметить, что составляющая по оси  $Y$ , равная приблизительно  $\gamma_1^2/8$ , пренебрежимо мала.

**Особенности конструкции и дизайн.** Опыт ведущих фирм показывает, что изделия, соответствующие более высокому уровню технической эстетики, не только пользуются большим спросом, но и обеспе-



чивают более высокие эксплуатационные показатели. Последнее объясняется еще и тем, что при работе с прибором, имеющим высокие эстетические качества, чисто психологически обеспечивается более внимательное и бережное отношение к нему, а эффективность работы повышается просто потому, что человек получает удовольствие от работы с таким прибором, даже если это прибор специального назначения.

Вся конструкция должна соответствовать мощности патрона, силе отдачи, климатическим условиям. В процессе разработки конструкции желательно сохранить возможность выстрела с открытого прицела, которая позволяет прикинуть на глаз, не сбилось ли перекрестие прицела после транспортировки или удара.

Кроме обеспечения внешней выразительности элементов изделия, разработчикам необходимо следить за тем, чтобы внешний вид прибора создавал впечатление гармоничности, целостности и, как правило, скрытности от окружающей обстановки, предметов и элементов одежды.

**Пример.** В соответствии с предложенным техническим решением был рассчитан вариант ОС прицельного устройства [5], конструктивные параметры которого представлены в таблице. Фокусное расстояние первого мениска  $f'_1 = -1370$  мм, второго мениска —  $f'_2 = 1500$  мм.

**Конструктивные параметры оптической схемы коллиматорного прицела**

$r$	$d$	Материал
119,4	12	стекло К8
99,08	12	воздух
-45,29	4	стекло К8
-44,26	4,5	воздух
$\infty$	17	стекло К8
$\infty$	31	воздух

Оптическая система прицельного устройства имеет следующие характеристики: видимое увеличение  $\Gamma = 0,997^*$ ; угловое поле  $2\omega = 3^\circ$ ; диаметр входного зрачка  $D_{вх} = 26$  мм. Для осевой точки телескопическая ОС в спектральном диапазоне  $\Delta\lambda = F \dots C$  и  $\lambda_0 = \lambda_e$  имеет суммарные aberrации порядка одной угловой минуты. Оптическая система, формирующая прицельную марку в обратном ходе лучей, имеет характеристики: фокусное расстояние  $f' = 50,05$  мм; вершинный отрезок  $s'_e = 5,23$  мм; относительное отверстие 1:2; угловое поле  $2\omega = 3^\circ$ . Поперечная сферическая aberrация для  $\lambda = 650$  нм не более  $\Delta y' = 0,005$  мм (для осевой точки) и не более  $\Delta y' = 0,01$  мм (для внеосевой точки).

Конструкция прицела отработана на технологичность и серийно выпускается ФНПЦ ОАО “Красногорский завод имени С.А. Зверева” (рис. 3).



**Рис. 3. Внешний вид коллиматорного прицела**

**Выводы.** Разработана схема оптического прицельного приспособления, которая использована при создании коллиматорных прицелов для стрелкового оружия. Рассмотрены дефекты, возникающие при изготовлении элементов схемы, и их влияние на качество изображения. Высокое качество изображения, небольшие габаритные размеры и масса позволили увеличить точность ведения стрельбы навскидку и по быстро перемещающимся целям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П а т е н т С Ш А № 4695159, НКИ 356/247, МКИ G 01 09/02, публ. 1987.
2. П а т е н т С Ш А № 4764011, НКИ 356 / 25 , МКИ G 02 B 23/10, публ. 1988.
3. П а т е н т С Ш А № 4665622, НКИ 33/241, МКИ F41G 1/32, публ. 1987.
4. Р е ш е н и е пространственных юстировочных задач: Учеб. пособие / А.И. Гоев, В.И. Заварзин, В.А. Перов, В.В. Потелов; Под ред. В.И. Заварзина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 31 с.
5. П а т е н т на изобретение № 2276802. Оптическое прицельное устройство / А.И. Гоев, В.И. Заварзин, С.Н. Складов, В.В. Шмыга. 20.05.2006. Бюл. № 14.

Статья поступила в редакцию 14.02.2008

Валерий Иванович Заварзин родился в 1956 г., окончил в 1980 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Оптико-электронные приборы научных исследований”, декан факультета “Оптико-электронное приборостроение” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 научных работ в области оптического приборостроения.

V.I. Zavarzin (b. 1956) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1980. D. Sc. (Eng.), professor of “Optic & Electronic Devices for Scientific Applications” department, Dean of “Optic & Electronic Devices Technology” faculty at the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 80 publications in the field of optical instrument engineering.