

10. R.G. Driggers, P. Cox, M. Kelley, National imagery interpretation rating system and the probabilities of detection, recognition, and identification // Opt. Eng. – 1997. – № 36(7). – P. 1952–1959.
11. J. C. Leachtenauer, W. Malila, J. Irvine, General image-quality equation: GIQE// Appl. Opt. – 1997. – № 36. – P. 8322–8328.
12. Хребтов И.А., Маляров В.Г., Неохлаждаемые тепловые матричные приемники ИК излучения // Оптический журнал – 1997. – Т. 64. - № 6. – С. 3–17.
13. N. Schuster, V.G. Kolobrodov. Infrarotthermographie. – Berlin.: WILEY-VCH, 2000. – 340 p.
14. Ллойд Дж. Системы тепловидения / Пер. с англ.; Под ред. А.И. Бурячева. – М.: Мир, 1979. – 416 с.
15. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. Пособие для приборостроительных вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с.

<p>Лихолит Н.И., Колобродов В.Г., Овечкин В.С. <b>Определение дальности распознавания объектов тепловизором с микроболометрической матрицей.</b></p> <p>Предложена новая методика определения максимальной дальности распознавания (MRR), основанная на NIIRS. Проведен расчет по представленной методике и результат сопоставлен с результатами, полученными по другим наиболее распространенным методикам.</p>	<p>Liholit N.I., Kolobrodov V.G., Ovechkin V.S., <b>Determination of the range of recognition of the objects by thermal imaging device on microbolometric detection array.</b></p> <p>The new method of determining of the maximal range of recognition (MRR) based on the NIIRS is proposed. The calculation of MRR by the proposed method have been done and was compared with the MRR which were calculated by other most overspread methods.</p>
--	--

*Надійшло до редакції  
25 травня 2004 року*

УДК 629.7.018:2.001.2

## МОНОБЛОЧНЫЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЙ ВИЗИР МАЛОГО УВЕЛИЧЕНИЯ

<sup>1)</sup>Сенаторов Н.В., <sup>2)</sup>Микитенко В.И., <sup>1)</sup>Казенне підприємство "ЦКБ "Арсенал", г. Киев, Украина; <sup>2)</sup>Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина

*Предложена конструкция моноблочного телескопического визира и разработаны методики его габаритного и абберационного расчетов на основе толстой телескопической линзы. Рассчитаны погрешности визирования в зависимости от конструкции визира.*

### Введение

Многие переносные диагностические, измерительные и регистрирующие приборы требуют предварительного наведения на объект наблюдения. Это могут быть, например, радиометры или другие устройства дистанционного измерения параметров объектов, теодолиты, фото-, кино- и видеотехника, дальномеры. В таких случаях обычно изображение объекта совмещается с изображе-

нием прицельной марки и часто нет необходимости в значительном увеличении масштаба изображения объекта. Основным требованием является простота и надежность устройства наведения, обеспечение необходимой точности.

### **Постановка задачи**

В составе сложных приборов, либо в учебных целях, используются толстые телескопические линзы [1, 2]. С точки зрения теории оптических систем эти устройства являются телескопами галилеевского типа. В то же время, при соответствующем усложнении конструкции толстая телескопическая линза может использоваться как телескопический визир (ТВ). Как оптический элемент в моноблочном исполнении толстая телескопическая линза обеспечивала бы максимальную надежность при невысокой цене. Однако, для создания ТВ на основе телескопической линзы требуются соответствующие расчетные методики, которых в настоящее время не существует.

Цель данной статьи – разработать методику габаритного расчёта моноблочного ТВ на основе телескопической линзы и оценить достижимые характеристики (увеличение, поле зрения и качество изображения).

### **Методика расчета и конструкция моноблочного ТВ**

Условие телескопичности толстой линзы описывается известным уравнением [3]

$$d = (r_1 \cdot r_2) / (1 - \mu), \quad (1)$$

где:  $d$  - толщина линзы по оптической оси,  $r_i$  - радиусы кривизны преломляющих поверхностей и  $\mu$  - величина, обратная показателю преломления стекла  $n$ . При этом увеличение визира  $\Gamma^x$  определяется отношением [2]:

$$\Gamma^x = r_1 / r_2. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) определяют недостающие конструктивные параметры линзы при заданных габаритах моноблока и увеличении визира, известном сорте стекла:

$$r_1 = d (1 - \mu) / (1 - 1/\Gamma^x), \quad (3)$$

$$r_2 = d (1 - \mu) / (\Gamma^x - 1). \quad (4)$$

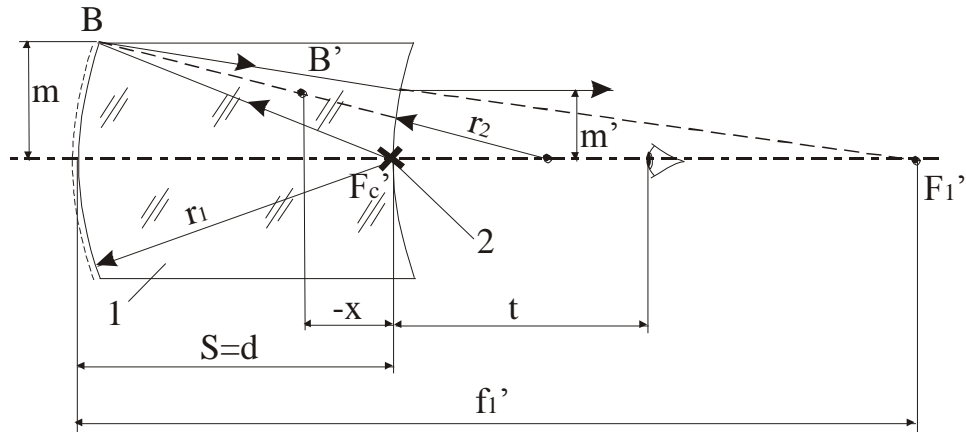
С целью создания вспомогательного оптического канала для ввода в поле зрения визирной сетки, на первую преломляющую поверхность линзы 1 радиуса  $r_1$  можно нанести светоделитель (рис. 1).

При этом в обратном ходе лучей эта поверхность становится зеркальным объективом, фокусное расстояние которого составляет  $r_1/2$ . Удаление  $s$  точки  $F'_c$ , в которую должен помещаться центр перекрестия визирной сетки, от зеркального объектива определяется известной формулой Гаусса применительно к сопряжению фокуса первой преломляющей поверхности  $F'_1$  и точки  $F'_c$ :

$$s = r_1 / (2 - r_1 / f'_1), \quad (5)$$

где  $f'_1$  - фокусное расстояние первой преломляющей поверхности линзы, которое находится по известной формуле геометрической оптики [3]:

$$f'_1 = r_1 / (1 - \mu). \quad (6)$$



1 – линза, 2 – визирная сетка

Рисунок 1 – Оптическая схема моноблочного ТВ

После подстановки (6) в (5) и преобразований находим

$$s = r_1 / (1 + \mu). \quad (7)$$

Для того, чтобы ввести сетку 2 во вспомогательный оптический канал, её можно совместить со второй преломляющей поверхностью линзы, т.е.  $s = d$ . Подставляя (3) и (7) в это равенство, находим

$$\Gamma^* = (1 + \mu) / 2\mu. \quad (8)$$

Из (8) следует, что для достижения большого увеличения необходимо изготавливать линзу из стекла с высоким показателем преломления. В частности, при использовании стекла марки ТФ10, у которого  $n_e = 1,8138$  [4], получаем  $\Gamma^* = 1,41$ .

Практически сетка наносится на поверхность в виде светоотражающих штрихов, которые освещаются естественным светом через светоделиватель и боковую полированную поверхность моноблока или искусственным источником через торец линзы. Эквивалентное фокусное расстояние вспомогательного канала, значение которого  $f'_3$  необходимо знать для расчёта размеров сетки, определяется зависимостью

$$d = f'_3 [(1 + d(1 - \mu) / r_2)]$$

или с учётом (2) и (3):

$$f'_3 = d / \Gamma^*. \quad (9)$$

Как известно [3], в телескопической системе Галилея выходным зрачком является зрачок глаза, а его изображение в обратном ходе лучей - входным. Входным окном и диафрагмой поля зрения служит оправа объектива, а её изображение через окуляр является выходным окном системы.

Применительно к рассматриваемому ТВ положение выходного окна определяется точкой В', которая является изображением края оправы (точка В на рис.1) через линзу. Половина поля зрения ТВ в пространстве изображений  $\beta'$  определяется зависимостью

$$\text{tg} \beta' = m' / (t - x),$$

где:  $2m'$  - линейная апертура выходного окна,  $t$  - удаление глаза от ТВ и  $x$  - удаление выходного окна от второй преломляющей поверхности. Удаление  $x$  определяется известной формулой Гаусса:

$$\mu / x - 1/d = (\mu - 1) / r_2,$$

а  $m'$  связано с диаметром линзы  $2m$  габаритным соотношением

$$m' = m (r_2 - x) / (r_2 - d). \quad (10)$$

Соответственно, половина поля зрения ТВ в пространстве предметов  $\beta$  определяется известной формулой [3]

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta' / \Gamma^x. \quad (11)$$

Подставляя в (3), (4), (9), (10) и (11) известные значения  $n$  и  $\Gamma^x$  получаем рабочие формулы для габаритного расчёта моноблочного ТВ:

$$\begin{aligned} r_1 &= 1,543 \text{ d}; \\ r_2 &= 1,094 \text{ d}; \\ f_3 &= 0,709 \text{ d}; \\ m' &= 0,709 \text{ m}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,5028 \text{ m} / (t + 0,391 \text{ d}).$$

Угловая сферическая aberrация моноблочного ТВ  $(\delta g')_{\text{сф}}$  определяется известной формулой [1]

$$(\delta g')_{\text{сф}} = 0,5 (m / r_1)^3 (d / r_1) \mu (1 - \mu)^2. \quad (13)$$

Подставляя сюда известные значения  $n$  и  $\Gamma^x$  и принимая во внимание (12), получаем рабочую формулу для оценки угловой сферической aberrации визира:

$$(\delta g')_{\text{сф}} = 0,0098 (m / d)^3.$$

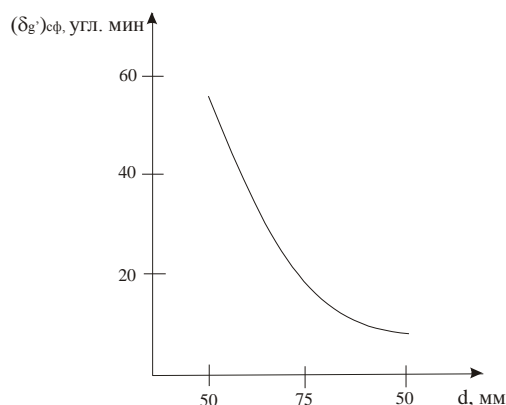


График зависимости  $(\delta g')_{\text{сф}}$  от толщины линзы при  $m = 15$  мм приведен на рис. 2. Из него следует, что при диаметре линзы до 30 мм и её длине не менее 50 мм, угловая сферическая aberrация соизмерима с разрешающей способностью глаза, и ею можно пренебречь.

Рисунок 2 – Зависимость сферической aberrации от толщины линзы

Выражение для углового хроматизма ТВ  $(\delta g')_{\text{хр}}$  можно получить дифференцированием выражения (13) по параметру  $n$ :

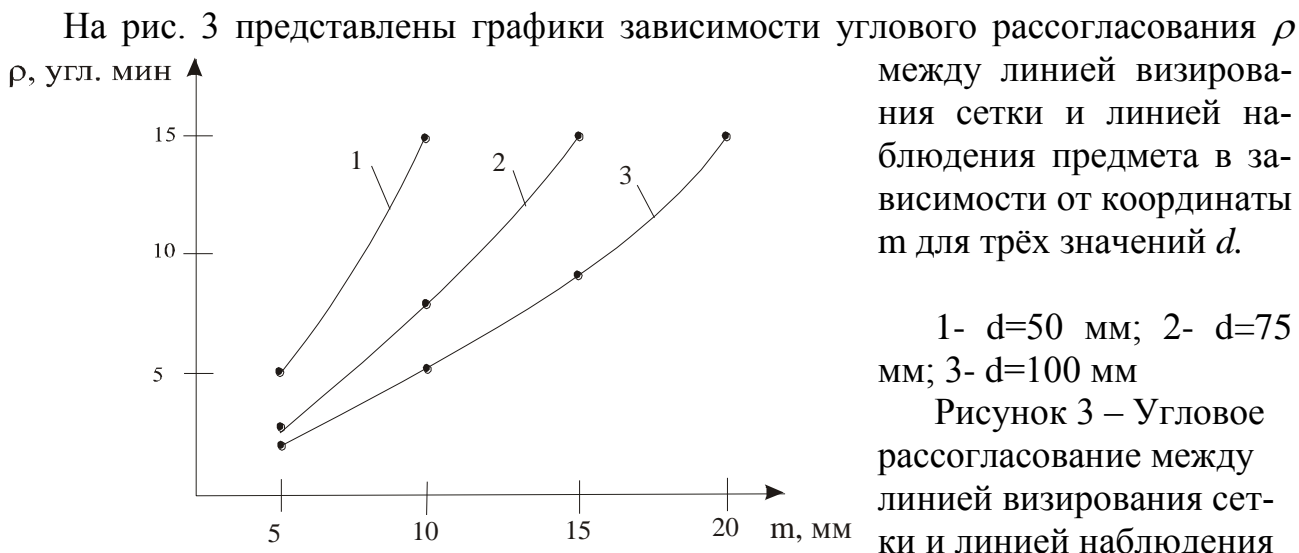
$$(\delta g')_{\text{хр}} = \partial(\delta g')_{\text{сф}} / \partial n = -0,5 (m / r_1)^3 (d / r_1) \mu^2 (1 - 4\mu + 3\mu^2) \Delta n, \quad (14)$$

где  $\Delta n$  – средняя дисперсия стекла, которая у ТФ10 составляет 0,03232 [4]. Подставляя в (14) значения  $n$ ,  $\Delta n$  и принимая во внимание (12), получаем рабочую формулу для оценки углового хроматизма визира:

$$(\delta g')_{\text{хр}} = 0,000255 (m / d)^3.$$

При  $m = 15$  мм и  $d$ , изменяющемся в диапазоне от 50 до 100 мм, угловой хроматизм не превышает угловой секунды и им также можно пренебречь.

Параллактическая ошибка перекрестия визирной сетки определяется в ходе расчёта луча, исходящего из точки  $F'_c$ , по стандартному алгоритму [5].



Анализ этих графиков позволяет сделать следующие выводы. При ограничении рассогласования  $\rho$  значением  $17,2$  угл.мин ( $5$  мрад) линейная апертура ТВ не должна превышать:

- $40$  мм при длине моноблока  $100$  мм;
- $30$  мм при длине моноблока  $75$  мм;
- $20$  мм при длине моноблока  $50$  мм.

При удалении глаза от моноблока на  $75$  мм такая линейная апертура обеспечивает поля зрения  $2\beta$ , равные, соответственно,  $10,0^0$ ;  $8,2^0$  и  $6,1^0$ .

Зона, в пределах которой наблюдатель может перемещать глаз, не теряя из поля зрения изображение визирной сетки, соответствует линейной апертуре  $2m'$  выходного окна, которая вычисляется по формулам (10) или (12).

### Выводы

Таким образом, предложенная методика позволяет проводить габаритный расчёт и оценивать качество изображения ТВ в моноблочном исполнении. Такое исполнение решает проблемы запотевания внутренних оптических поверхностей при перепаде температуры и разъюстировки при жёстких условиях эксплуатации визира. Кроме того, значительно уменьшается стоимость изготовления ТВ.

Дальнейшее совершенствование разработанной методики позволит создавать эффективные средства автоматизированного проектирования недорогих моноблочных ТВ.

### Литература

1. Слюсарев Г.Г. Методы расчёта оптических систем. -Л.: Машиностроение, 1969. – 670 с.
2. Фефилов Б.В. Задачник по прикладной оптике. -М.: Высшая школа, 1974. – 160 с.
3. Сакин И.Л. Инженерная оптика. -Л.: Машиностроение, 1976. – 255 с.
4. Трубка С.В. Расчёт двухлинзовых склеенных объективов. Справочник. -Л.: Машиностроение». – 1984. – 142 с.
5. Агапов Н.А., Ашихмин В.Н., Богданов В.Ф. и др. Практикум по автоматизации проектирования оптико-механических приборов. -М.: Машиностроение, 1989. – 271 с.

Сенаторов Н.В., Микитенко В.И. <b>Моноблочний телескопічний візер малого збільшення.</b> Запропонована конструкція і розроблені методики габаритного і абераційного розрахунків моноблочного телескопічного візера на основі товстої телескопічної лінзи. Розраховані похибки візування в залежності від конструкції візера.	Senatorov N.V., Mykytenko V.I. <b>Monoblock telescopic viewfinder with little magnification.</b> The construction and design methods for monoblock telescopic viewfinder with thick telescopic lens were developed. Also observation errors according to viewfinder design were calculated.
---	--

*Надійшла до редакції  
27 травня 2004 року*

УДК 623.4.052.5: 623.4.023.43

## СИСТЕМЫ СОГЛАСОВАНИЯ КАНАЛОВ НАБЛЮДЕНИЯ И ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ В КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ПРИБОРАХ НАБЛЮДЕНИЯ И ПРИЦЕЛИВАНИЯ

*Соловьев Г.Я., Гордиенко В.И., Мазурин И.В., Замосенчук В.Н., Сухомлинов П.А.,  
НПК «Фотоприбор», г. Черкассы, Украина*

*Рассмотрены способы согласования линии наблюдения (прицеливания) и оси излучающих каналов лазерных дальномеров, а также методы контроля рассогласования. Предложена система встроенного контроля и выверки осей. Рассмотрены особенности согласования осей в приборах с тепловизионными каналами наблюдения*

### **Вступление. Постановка задачи**

В состав современных приборов наблюдения и прицеливания (далее – приборы), как правило, входят каналы наблюдения и лазерные дальномеры (ЛД), содержащие излучающие и приемные каналы.

Измерение дальности до обнаруженного и опознанного объекта (цели) с помощью лазерного дальномера производится в момент, когда на объект наведена прицельная марка, поэтому точность согласования оптических осей каналов наблюдения (ось определяется маркой) и дальнометрирования является одной из основных составляющих, которые приводят к увеличению погрешности измерения дальности.

В современных ЛД с дальностью работы до 5 – 10 км расходимость излучения составляет примерно 1,5 угл. мин. (0,5 мрад), а в более точных системах – 1 угл. мин. (0,3 мрад) и менее [1]. Отсюда следует, что в приборах с ЛД необходимо обеспечивать согласование с каналом наблюдения оси излучающего канала ЛД с погрешностью не более 1 угл. мин. (до 30 угл. с и менее для более точных систем).

В настоящей статье дан краткий обзор систем, используемых для согласования каналов и контроля согласования в различных изделиях, как правило, выпускаемых нашим предприятием.