

УДК 681.7.08, 528.7

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗЕРКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ С ЭКСЦЕНТРИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫМ ПОЛЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ**В.И. Заварзин, А.В. Ли**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

e-mail: alvik87@gmail.com

Зеркально-линзовые объективы с эксцентрично расположенным полем изображения получили широкое распространение при создании авиационной и космической оптико-электронной аппаратуры наблюдения Земли. Большое угловое поле объектива и вынесенный за пределы оптических компонентов на значительное расстояние входной зрачок создают трудности при проверке его качества на крайних углах поля, в то же время предъявляются жесткие требования по точности фотограмметрической аттестации элементов внутреннего ориентирования. Предложена схема проверки качества крупногабаритных зеркальных объективов с эксцентрично расположенным полем изображения, которая обеспечивает неподвижное расположение проверяемого объектива и коллиматора, а также точное задание угловой связки лучей на входе в объектив благодаря использованию двух поворотных плоских зеркал. Применение предложенной схемы в практике контроля позволяет упростить процедуру фотограмметрической калибровки и повысить достоверность результатов вычисления элементов внутреннего ориентирования.

Ключевые слова: коллиматор, зеркальный объектив, фотограмметрическая калибровка, эксцентрично расположенное поле изображения.

QUALITY CONTROL OF LARGE-SCALE MIRROR OBJECTIVES WITH ECCENTRIC IMAGE FIELD**V.I. Zavarzin, A.V. Li**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

e-mail: alvik87@gmail.com

Catadioptric lens with eccentric image field have become widespread at production of aeronautical and space electrooptical equipment for Earth observation. Wide camera angle and entrance pupil which is brought out beyond the bounds of optical components at a considerable distance present problems during its quality control at extreme camera angles. At the same time they rigidly require the accuracy of photogrammetric certification of inner orientation elements. The quality control method of large-size mirror objectives with eccentric image field which ensures a fixed position of the tested lens and collimator lens is proposed. Moreover, it ensures accurate assignment of angular bunch of rays at the inlet to lens owing to application of two rotating planar mirror. Application of suggested method in actual practice allows to simplify the process of photogrammetric calibration and increase the reliability of the calculation results of inner orientation elements.

Keywords: collimator lens, mirror objective, photogrammetric calibration, eccentric image field.

В последнее время при создании авиационной и космической оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) наблюдения Земли широко используют схемы зеркальных объективов с эксцентрично расположенным полем изображения [1]. Это обусловлено рядом важных преимуществ, таких как широкий спектральный диапазон, отсутствие центрального экранирования, большие угловые поля, высокое качество изображения, разнообразие оптических схем различной светосилы [2, 3].

Оптические системы с эксцентрично расположенным полем работают с наклонными пучками лучей. Главный луч входного пучка, попадающий в центр поля изображения, наклонен к оптической оси на угол γ . Зачастую стремятся получить телецентрический ход лучей в пространстве изображений для наилучшего согласования с приемником изображения.

В силу приведенных особенностей построения входной зрачок у объективов данного типа оказывается вынесенным за пределы оптических компонентов на значительное расстояние, сравнимое с фокусным расстоянием объектива (рис. 1).

К оптическим системам для ОЭА наблюдения Земли из космоса предъявляются высокие требования в отношении качества и эксплуатационной надежности. Как правило, в съемочной аппаратуре высокого разрешения применяют объективы с дифракционным качеством изображения, у которых практически отсутствуют остаточные аберрации. Одними из основных задач, решаемых с помощью такой аппаратуры, являются фотограмметрические задачи, т.е. геометрическая коррекция изображений, определение размеров, формы и координат объектов по их снимкам. Однако для этого необходимо иметь подробную информацию об элементах ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования — зависимость координат точки на снимке от углового положения входной связки лучей — вычисляются во время фотограмметрической калибровки аппаратуры и заносятся в ее паспорт.

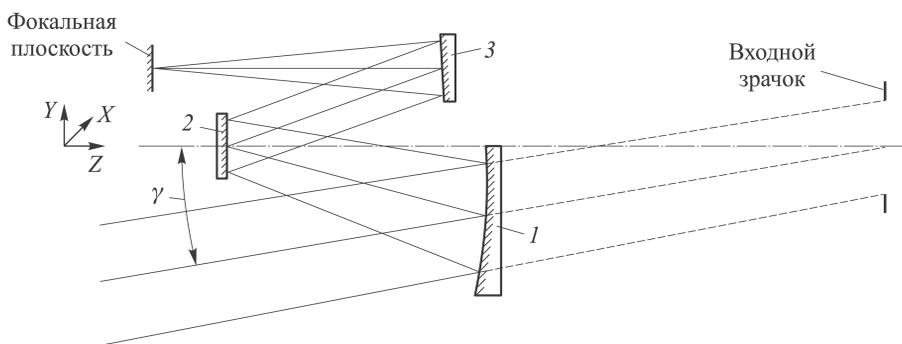


Рис. 1. Оптическая схема зеркального объектива с эксцентрично расположенным полем изображения

Элементы внешнего ориентирования — угловые и линейные координаты ОЭА в момент съемки, направление и разворот визирной оси ОЭА — определяют положение связки визирующих лучей в инерциальной системе координат.

Известные методы фотограмметрической аттестации элементов внутреннего ориентирования требуют точного знания угловой связки лучей на входе в систему [4].

Большое угловое поле объектива (10° и более) создает трудности при проверке его качества: коллиматорная установка для проверки качества должна иметь в 4–5 раз большее фокусное расстояние и угловое поле обычно не удастся получить более чем $1^\circ \dots 2^\circ$. Чтобы проверить объектив не только на оси, но и на крайних углах поля необходимо засвечивать входной зрачок объектива коллимированными пучками под углом к оптической оси, а следовательно, разворачивать объектив вокруг центра входного зрачка, который вынесен за пределы оптической системы и не материализован элементами оптической системы, кроме того объектив имеет большие габаритные размеры и массу, для его перемещений необходимо конструировать сложные и точные механизмы.

На рис. 2 приведена схема контроля с использованием плоских зеркал для проверки качества объектива. В данной схеме объектив при контроле на крайних углах поля остается неподвижным. Если использовать одно плоское зеркало, то его поворот будет уводить пучок лучей из центра входного зрачка, поэтому используется два зеркала — одно зеркало уводит, а второе возвращает пучок в центр входного зрачка

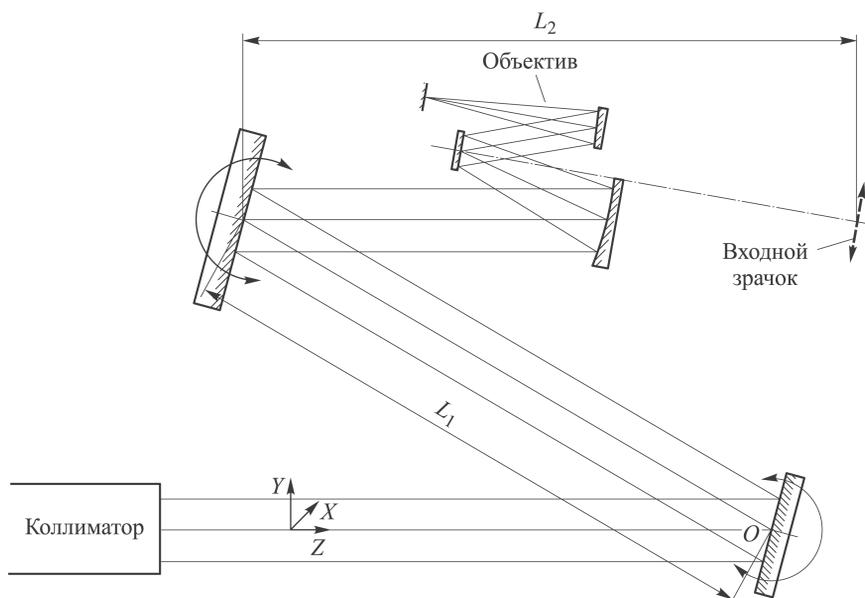


Рис. 2. Схема контроля с использованием плоских зеркал

под необходимым углом. Расстояние между центрами первого и второго зеркал равно L_1 , расстояние от центра второго зеркала до центра входного зрачка аппаратуры — L_2 .

Каждое зеркало должно быть установлено в двухступенном подвесе с возможностью точного разворота на необходимые углы вокруг вертикальной и горизонтальной осей. Углы разворота зеркал должны отсчитываться с помощью прецизионных углоизмерительных приборов — автоколлиматоров или автоколлимационных теодолитов, автономно стоящих напротив отражающих поверхностей зеркал, методом автоколлимационного визирования. Сравнительные характеристики нескольких моделей автоколлимационных теодолитов приведены в таблице.

Сравнительные характеристики автоколлимационных теодолитов

Параметр	YOM3 3T2KA	Leica Geosystems TM6100A
Точность	$\sigma \leq 2''$ по горизонтали $\sigma \leq 2,4''$ по вертикали	$\sigma \leq 0,5''$
Диаметр объектива	48 мм	40 мм
Угловое поле	$1^\circ 35''$	$1^\circ 08''$
Увеличение	30×	13× на 0,6 м 32× на 10 м, нелинейная
Минимальное расстояние измерения	1,5 м	0,6 м
Фокусировка	Нет	Да
Диапазон работы: вертикальные углы при двух положениях трубы	$30^\circ \dots 145^\circ$	$-55^\circ \dots + 47^\circ$
Отсчетное устройство	Шкалы с лимбами с оптическим совмещением	LCD сенсорный экран 1/4 VGA (320×240)
Сохранение данных	—	Карта памяти CompactFlash, 256 МБ внутренней памяти
Интерфейс	—	RS232, программируемый

К плоским поворотным зеркалам предъявляются высокие оптические требования: среднеквадратическое отклонение формы поверхности не более $0,015\lambda$, пиковое отклонение формы рабочей поверхности не более $0,1\lambda$. Также зеркала необходимо аттестовать вместе с коллиматором и проверить, что они не вносят в волновой фронт деформаций более допустимого предела.

Прежде всего для расчетов необходимо ввести основную систему координат (ОСК). Ось Z ОСК расположена вдоль выходного пучка

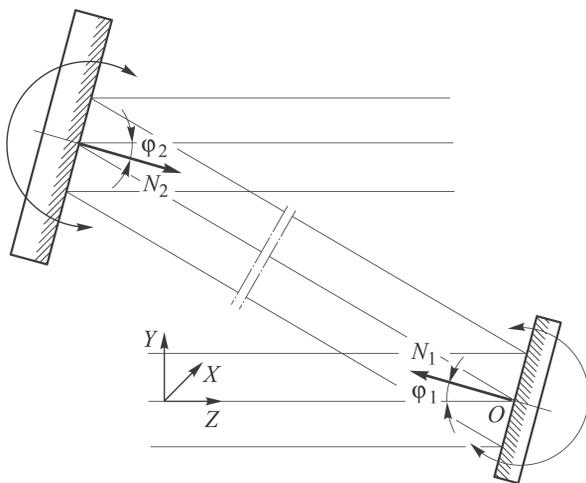


Рис. 3. Расположение зеркал в основной системе координат

коллиматора, ось X направлена вертикально вниз, ось Y дополняет систему до правой. Начало ОСК установим на пересечении осей вращения первого по ходу луча зеркала.

На рис. 3 зеркала стоят в исходном положении — вертикально с разворотом вокруг вертикальной оси на углы φ_1 и φ_2 от оси Z ОСК. Координаты вектора нормали первого и второго зеркал в исходном положении соответственно описываются формулами:

$$\mathbf{N}_1^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \varphi_1 \\ -\cos \varphi_1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{N}_2^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ -\sin \varphi_2 \\ \cos \varphi_2 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Направляющий вектор выходного пучка коллиматора имеет координаты

$$\mathbf{A}_1^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

На выходе системы коллиматор + зеркала координаты направляющего вектора в исходном положении зеркал находятся как

$$\mathbf{A}_{\text{вых}}^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ -\sin(2\varphi_2 - 2\varphi_1) \\ \cos(2\varphi_2 - 2\varphi_1) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Проверяемый объектив устанавливается так, чтобы в исходном положении центральный луч из коллиматора на выходе системы коллиматор + зеркала совпадал с главным лучом объектива, который попадает в центр входного зрачка.

Зеркала будут разворачиваться от начального положения на углы (α_1, β_1) и (α_2, β_2) вокруг своих осей вращения. Углы α — разворот

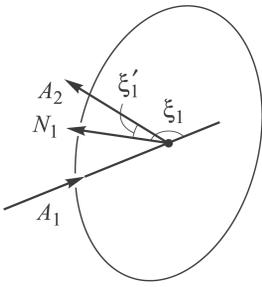


Рис. 4. Отражение луча света от плоской зеркальной поверхности

вокруг оси X , углы β — разворот вокруг оси Y , при этом важна последовательность, первым выполняется разворот вокруг оси X . После разворота вектора нормаль зеркала станут описываться выражениями:

$$\mathbf{N}_1 = \begin{pmatrix} \sin \beta_1 \\ \cos \beta_1 \sin(\alpha_1 + \varphi_1) \\ -\cos \beta_1 \cos(\alpha_1 + \varphi_1) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\mathbf{N}_2 = \begin{pmatrix} \sin \beta_2 \\ -\cos \beta_2 \sin(\alpha_2 + \varphi_2) \\ \cos \beta_2 \cos(\alpha_2 + \varphi_2) \end{pmatrix}.$$

Аналогично, после отражения от первого зеркала, координаты направляющего вектора изменятся следующим образом:

$$\mathbf{A}_2 = \begin{pmatrix} \sin \omega_1 \\ \cos \omega_1 \sin(\psi_1 + 2\varphi_1) \\ -\cos \omega_1 \cos(\psi_1 + 2\varphi_1) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где угол ω_1 соответствует развороту пучка в вертикальной плоскости, а угол ψ_1 — в горизонтальной.

Согласно закону отражения, направление распространения луча после отражения меняется на противоположное, угол отражения по абсолютному значению равен углу падения, падающий и отраженный лучи вместе с нормалью в точке падения лежат в одной плоскости. Из этого следует, с учетом расположения векторов (рис. 4), что угол между ортом нормали и отраженным лучом вычисляется по формуле

$$\xi'_1 = \pi - \xi_1.$$

Угол между падающим лучом и нормалью к поверхности раздела сред можно вычислить из формулы скалярного произведения ортов \mathbf{A}_1 и \mathbf{N}_1 :

$$\cos \xi_1 = \frac{\mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{N}_1}{|\mathbf{A}_1| \cdot |\mathbf{N}_1|} = \mathbf{A}_1(x) \cdot \mathbf{N}_1(x) + \mathbf{A}_1(y) \cdot \mathbf{N}_1(y) + \mathbf{A}_1(z) \cdot \mathbf{N}_1(z).$$

Зная координаты векторов \mathbf{A}_1 и \mathbf{A}_2 , остается лишь по формулам векторной алгебры найти координаты вектора \mathbf{N}_1 нормали к поверхности первого плоского зеркала:

$$\mathbf{N}_1 = \begin{pmatrix} \frac{\sin \omega_1}{\sqrt{2 + 2 \cos(\psi_1 + 2\varphi_1) \cdot \cos \omega_1}} \\ \frac{\cos \omega_1 \sin(\psi_1 + 2\varphi_1)}{\sqrt{2 + 2 \cos(\psi_1 + 2\varphi_1) \cdot \cos \omega_1}} \\ \frac{-\cos \omega_1 \cos(\psi_1 + 2\varphi_1) - 1}{\sqrt{2 + 2 \cos(\psi_1 + 2\varphi_1) \cdot \cos \omega_1}} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Соответственно, сопоставив формулы (5) и (3), можно вычислить углы (α_1 , β_1):

$$\alpha_1 = -\arctan \frac{\mathbf{N}_1(y)}{\mathbf{N}_1(z)} - \varphi_1, \quad (6)$$

$$\beta_1 = \arcsin(\mathbf{N}_1(x)).$$

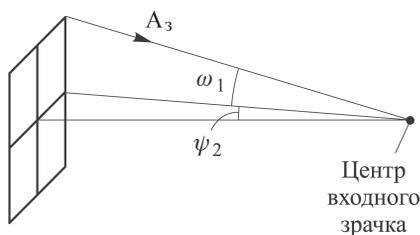


Рис. 5. Ориентация вектора \mathbf{A}_3 при проверке качества объектива по полю

Именно эти углы необходимо выставлять и контролировать при развороте зеркала.

Далее пучок лучей отражается от второго зеркала. Координаты направляющего вектора преобразуются тем же образом, что и в формулах (2):

$$\mathbf{A}_3 = \begin{pmatrix} \sin \omega_2 \\ -\cos \omega_2 \sin(\psi_2 - 2\varphi_1 + 2\varphi_2) \\ \cos \omega_2 \cos(\psi_2 - 2\varphi_1 + 2\varphi_2) \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где (ω_2 , ψ_2) — углы разворота пучка света от исходного положения на выходе системы коллиматор + зеркала, которые соответствуют задаваемым значениям поля проверяемого объектива (рис. 5).

Вектор \mathbf{N}_2 нормали к поверхности второго плоского зеркала:

$$\mathbf{N}_2 = \begin{pmatrix} \frac{\sin \omega_2 - \sin \omega_1}{\sqrt{2 - 2 \sin \omega_1 \sin \omega_2 + 2 \cos \omega_1 \cos \omega_2 \cos(\psi_1 - \psi_2 + 4\varphi_1 - 2\varphi_2)}} \\ \frac{-\cos \omega_2 \sin(\psi_2 - 2\varphi_1 + 2\varphi_2) - \cos \omega_1 \sin(\psi_1 + 2\varphi_1)}{\sqrt{2 - 2 \sin \omega_1 \sin \omega_2 + 2 \cos \omega_1 \cos \omega_2 \cos(\psi_1 - \psi_2 + 4\varphi_1 - 2\varphi_2)}} \\ \frac{\cos \omega_2 \cos(\psi_2 - 2\varphi_1 + 2\varphi_2) + \cos \omega_1 \cos(\psi_1 + 2\varphi_1)}{\sqrt{2 - 2 \sin \omega_1 \sin \omega_2 + 2 \cos \omega_1 \cos \omega_2 \cos(\psi_1 - \psi_2 + 4\varphi_1 - 2\varphi_2)}} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

откуда получим углы (α_2 , β_2) разворота второго плоского зеркала по формулам:

$$\alpha_2 = -\arctan \frac{\mathbf{N}_2(y)}{\mathbf{N}_2(z)} - \varphi_2, \quad (9)$$

$$\beta_2 = \arcsin \mathbf{N}_2(x).$$

Найдем координаты точки центра второго зеркала:

$$\mathbf{O}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ L_1 \sin 2\varphi_1 \\ -L_1 \cos 2\varphi_1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Аналогично можно определить координаты точки $\mathbf{O}_{\text{вх.зр}}$ центра входного зрачка:

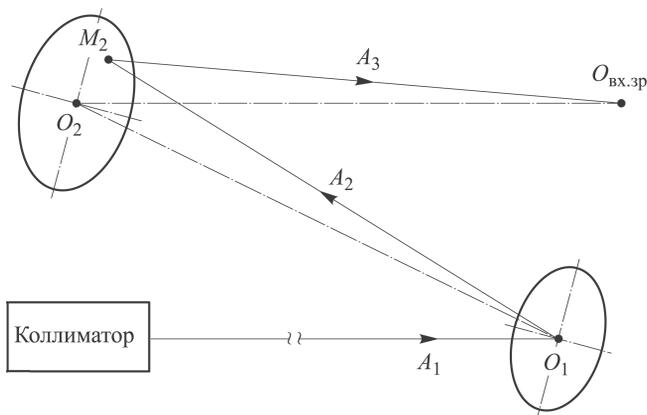


Рис. 6. Схема для расчета хода центрального луча при произвольном задании связки углов в системе

$$O_{\text{вх.зр}} = \begin{pmatrix} 0 \\ L_1 \sin 2\varphi_1 + L_2 \sin(2\varphi_1 - 2\varphi_2) \\ -L_1 \cos 2\varphi_1 + L_2 \cos(2\varphi_1 - 2\varphi_2) \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Находим точку M_2 пересечения центрального луча после отражения от первого зеркала с отражающей поверхностью второго зеркала (рис. 6). Орт нормали \mathbf{N}_2 и точка O_2 определяют уравнение плоскости зеркала:

$$\mathbf{N}_2(x)(x - O_2(x)) + \mathbf{N}_2(y)(y - O_2(y)) + \mathbf{N}_2(z)(z - O_2(z)) = 0. \quad (12)$$

Запишем уравнение прямой центрального луча после отражения от первого зеркала в параметрической форме:

$$\frac{x}{\mathbf{A}_2(x)} = \frac{y}{\mathbf{A}_2(y)} = \frac{z}{\mathbf{A}_2(z)} = t \Rightarrow \begin{cases} x = \mathbf{A}_2(x)t \\ y = \mathbf{A}_2(y)t \\ z = \mathbf{A}_2(z)t \end{cases}. \quad (13)$$

Далее из формул (12) и (13) находим параметр t_1 :

$$\begin{aligned} &\mathbf{N}_2(x)(\mathbf{A}_2(x)t_1 - O_2(x)) + \\ &+ \mathbf{N}_2(y)(\mathbf{A}_2(y)t_1 - O_2(y)) + \mathbf{N}_2(z)(\mathbf{A}_2(z)t_1 - O_2(z)) = 0 \\ \Rightarrow t_1 &= \frac{\mathbf{N}_2(x)O_2(x) + \mathbf{N}_2(y)O_2(y) + \mathbf{N}_2(z)O_2(z)}{\mathbf{N}_2(x)\mathbf{A}_2(x) + \mathbf{N}_2(y)\mathbf{A}_2(y) + \mathbf{N}_2(z)\mathbf{A}_2(z)} = \\ &= -L_1 \frac{\cos \omega_2 \cos(\psi_2 - 2\varphi_2) + \cos \omega_1 \cos \psi_1}{\sin \omega_1 \sin \omega_2 - \cos \omega_1 \cos \omega_2 \cos(\psi_2 - \psi_1 - 2\varphi_2) - 1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Точка M_2 будет иметь координаты

$$M_2 = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_2(x)t_1 \\ \mathbf{A}_2(y)t_1 \\ \mathbf{A}_2(z)t_1 \end{pmatrix}.$$

Составим уравнения прямой центрального луча после отражения от второго плоского зеркала:

$$\frac{x - \mathbf{A}_2(x)t_1}{\mathbf{A}_3(x)} = \frac{y - \mathbf{A}_2(y)t_1}{\mathbf{A}_3(y)} = \frac{z - \mathbf{A}_2(z)t_1}{\mathbf{A}_3(z)}. \quad (15)$$

Подставив в это уравнение координаты точки $O_{\text{вх.зр}}$ центра входного зрачка найдем $\omega_1(\psi_2, \omega_2, \varphi_1, \varphi_2, L_1, L_2)$ и $\psi_1(\psi_2, \omega_2, \varphi_1, \varphi_2, L_1, L_2)$.

Решение уравнений (10) может быть найдено только для ограниченного множества значений ω_1 и ω_2 , а также требует громоздких вычислений, поэтому для упрощения расчетов допускается воспользоваться приближенными зависимостями:

$$\psi_1 = \frac{L_2}{L_1}\psi_2, \quad \omega_1 = -\frac{L_2}{L_1}\omega_2, \quad (16)$$

если при этом не нарушаются требования по заполнению апертуры входного зрачка и равномерности освещенности.

Пример. В качестве примера рассмотрим систему: $L_1 = L_2 = 2500$ мм, $\varphi_1 = \varphi_2 = 20^\circ 0' 0''$, $\psi_2 = 2^\circ 0' 0''$, $\omega_2 = 5^\circ 0' 0''$. По результатам расчетов получим:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 2^\circ 0' 0'', & \alpha_1 &= 0^\circ 57' 29'', & \alpha_2 &= 2^\circ 0' 0'', \\ \omega_1 &= -5^\circ 0' 0'', & \beta_1 &= -2^\circ 40' 39'', & \beta_2 &= 5^\circ 19' 8''. \end{aligned}$$

Смещение центрального луча от центра входного зрачка в поперечном сечении составило 14,87 мм, что при световом диаметре пучка не менее чем 200 мм вполне допустимо.

Выводы. Разработана схема проверки качества крупногабаритных длиннофокусных объективов с эксцентрично расположенным полем изображения, с использованием коллиматора и двух плоских зеркал, разворот которых обеспечивает засвечивание входного зрачка объектива коллимированными пучками лучей под необходимыми углами к оптической оси. Преимущество данной схемы заключается в том, что проверка качества изображения по полю осуществляется при неподвижно установленных коллиматоре и объективе. Применение предложенной схемы в практике контроля обеспечит возможность точного задания угловой связи коллимированных лучей на входе в объектив, что в конечном итоге позволит упростить и повысить достоверность фотограмметрической калибровки, а следовательно, повысить точность решения фотограмметрических задач по снимкам, получаемым при эксплуатации оптико-электронной аппаратуры наблюдения Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Грамматин А.П., Харченко А.А.* Трехзеркальный объектив без экранирования с бинарной асферикой // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 4. С. 76–78.

2. Токарев А.А. Длиннофокусные объективы с эксцентрично расположенным полем изображения // Изв. вузов. Т. XXXI. № 7. С. 74.
3. Патент 2461030 РФ, МПК G 02 В 5/10. Зеркально-линзовый объектив (варианты) / С.А. Архипов, В.И. Заварзин, В.В. Заварзина, С.О. Кравченко, С.А. Морозов, Б.Н. Сенник
4. Архипов С.А., Гасич Г.В., Заварзин В.И., Морозов С.А. Фотограмметрические параметры оптико-электронной аппаратуры // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2008. № 4. С. 103–115.

REFERENCES

- [1] Grammatin A.P., Kharchenko A.A. Three-mirror lens without shielding with a binary asphere. *Optic. zhur.* [J. Opt. Tech.], 2011, vol. 78, no. 4, pp. 76–78 (in Russ.).
- [2] Tokarev A.A. Long-focus lens with an eccentric image field. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Radioelektron.* [Radioelectron. Commun. Syst.], 1988, vol. 31, no. 7, pp. 74–74 (in Russ.).
- [3] Arkhipov S.A., Zavarzin V.I., Zavarzina V.V., Kravchenko S.O., Morozov S.A., Senik B.N. Zerkal’no-linzovyy ob’ektiv (varianty) [Catadioptric lens (versions)]. Patent RF no. 2461030, 2012.
- [4] Arkhipov S.A., Gasich G.V., Zavarzin V.I. Photogrammetric parameters of optoelectronic equipment. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2008, no. 4, pp. 103–115 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.01.2014

Заварзин Валерий Иванович — д-р техн. наук, профессор кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы”, декан факультета “Оптико-электронное приборостроение” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области оптического приборостроения.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Zavarzin V.I. — Dr. Sci. (Eng.), professor of “Laser and Opto-Electronic Systems” department, Dean of “Opto-Electronic Devices Engineering” faculty of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications in the field of optical device engineering.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Ли Александр Викторович — аспирант кафедры “Лазерные и оптико-электронные системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 17 научных работ в области оптического приборостроения.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Li A.V. — post-graduate of “Laser and Opto-Electronic Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 17 publications in the field of optical device engineering.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.