

УДК 681.7.028

С. А. Архипов, В. И. Заварзин,
В. А. Малыхин, С. А. Морозов

ЮСТИРОВКА И АТТЕСТАЦИЯ ДЛИННОФОКУСНОГО ТРЕХЗЕРКАЛЬНОГО ОБЪЕКТИВА С ЭКСЦЕНТРИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫМ ПОЛЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассмотрена методика юстировки трехзеркального объектива с эксцентрично расположенным полем изображения. Предложено использовать для юстировки компенсационный метод контроля асферической поверхности с помощью сферического зеркала (метод Максутава). Также предложена схема интерферометра, позволяющего одновременно наблюдать в поле изображения интерференционные картины от разных зеркальных поверхностей. Рассмотрены вопросы фокусировки, контроля и фотограмметрической аттестации оптико-электронной аппаратуры на основе трехзеркального объектива с эксцентричным полем изображения.

E-mail: rl-3@bmstu.ru

Ключевые слова: юстировка, трехканальный объектив, эксцентрично расположенное поле изображения, фотограмметрическая аттестация.

В последнее время активное развитие получили работы по созданию принципиально новой оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) для перспективных малых космических аппаратов. Создание малогабаритной многофункциональной ОЭА стало возможным благодаря новым конструкционным и оптическим материалам, принципиально новым оптическим схемам зеркальных объективов с малым числом асферических поверхностей. Применение таких схем обеспечивает возможность регистрации оптической информации в широком спектральном диапазоне от ультрафиолета до дальнего инфракрасного диапазона. Наиболее актуальной задачей при разработке таких объективов является снижение коэффициента центрального экранирования и, как следствие, повышение значений модуляционной передаточной функции на средних пространственных частотах, являющихся рабочими для приемников с зарядовой связью (ПЗС). Одним из решений этой проблемы являются оптические системы (ОС) с эксцентрично расположенным полем изображения, в которых благодаря использованию только наклонных пучков лучей удастся избежать центрального экранирования.

Учитывая, что конструкция ОС и ее качество в значительной мере определяют возможности всей ОЭА, ее массу, габаритные характеристики и функциональные возможности, конструкторы ОЭА стали

предъявлять более жесткие требования к проектируемым ОС, требовать многовариантности решений при построении оптического тракта в целях поиска более оптимальной и интересной его реализации. На выбор схмотехнических и конструктивных решений, наряду с технологией изготовления и контроля прецизионной крупногабаритной асферической оптики в значительной степени влияет наличие отработанной технологии сборки и юстировки ОС.

Постановка задачи. Имеющийся у нас в стране и за рубежом научно-технический задел [1, 2] показывает возможность построения компактного длиннофокусного ($f'_{об} \approx 1000 \dots 5000$ мм) зеркального объектива для ОЭА из трех зеркал, причем поверхности двух из них асферические второго порядка (рис. 1). Система эксцентрична в меридиональном сечении.

Как правило, первая по ходу лучей поверхность — вогнутый гиперболоид, образованный вращением гиперболы вокруг действительной оси; используемая рабочая зона не содержит вершину поверхности. Вторая поверхность — выпуклый эллипсоид, образованный вращением эллипса вокруг большой оси; используемая рабочая зона в общем случае смещена относительно оси эллипсоида. Третья поверхность — вогнутая сфера, также расположенная вне оптической оси. Схема размещения зеркал приведена на рис. 1.

К ОС предъявляются высокие требования в отношении качества и эксплуатационной надежности. Как правило, в съемочной аппаратуре высокого разрешения применяют ОС с дифракционным качеством изображения, у которых практически отсутствуют остаточные аберрации. На качество решающим образом влияет сборка и особенно ее завершающий этап — юстировка. В процессе юстировки компенсируются систематические погрешности прибора, вызванные ошибками

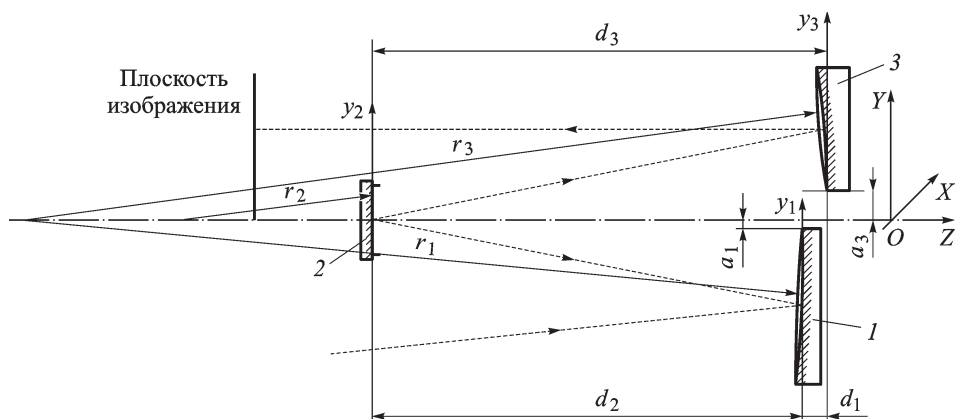


Рис. 1. Схема размещения зеркал:

1 — гиперболическое зеркало; 2 — эллиптическое зеркало; 3 — сферическое зеркало; r_1 и r_2 — вершинные радиусы гиперболы и эллипса; r_3 — радиус кривизны сферы; ось OX перпендикулярна плоскости чертежа

изготовления и сборки его отдельных частей, и в результате получается изделие, удовлетворяющее техническим условиям.

Необходимо разработать схему юстировки длиннофокусного трехзеркального объектива с эксцентрично расположенным полем изображения.

Решение задачи. Юстировка объектива состоит из ряда процедур, последовательное выполнение которых приводит к правильной взаимной установке каждого элемента ОС относительно базовых опорных точек, линий, поверхностей, оптических или механических элементов.

Эти процедуры предусматривают [3, 4] выставление расстояний между зеркалами, положения зеркал относительно оптической оси и углового положения зеркал, а также выставление плоскости фотоприемника нормально к оптической оси.

Для материализации базовой системы координат ($OXYZ$) (см. рис. 1) в конструкции объектива должна быть предусмотрена базовая плоскость, на которую устанавливается специальный контрольно-юстировочный элемент (КЮЭ), жестко связанный с установочными базами ОЭА. В качестве КЮЭ обычно используют куб-призму в оправе. Куб-призма имеет три ортогональные ($3\sigma \leq 2''$) грани и располагается таким образом, чтобы одна зеркальная грань (XY) была перпендикулярна оптической оси объектива, вторая грань (YZ) — перпендикулярна направлению строки приемника изображения.

При юстировке объектива за базовую поверхность можно принять вспомогательное плоское зеркало 4, которое устанавливается между зеркалами 1 и 3 (рис. 1). На зеркале должно быть нанесено перекрестие, вертикальная и горизонтальная оси которого выставляются параллельно соответственно осям OY и OX базовой системы координат. Нормаль к плоскости зеркала будет определять направление оптической оси OZ объектива, которая должна проходить через центр перекрестия.

Оптическая ось объектива (линия, на которой расположены центры кривизны поверхностей зеркал) проходит между зеркалами 1 и 3.

Предлагается проводить юстировку в следующем порядке (см. рис. 1):

1. Выставить зеркало 1 на расстоянии a_1 от оптической оси симметрично относительно оси OY ;
2. Выставить зеркало 3 на расстоянии a_3 от оптической оси симметрично относительно оси OY и на расстоянии d_1 от зеркала 1; при этом d_1 — расстояние между точками пересечения образующих зеркал 1 и 3 с оптической осью;
3. Выставить центры кривизны зеркал 1 и 3 на оптическую ось;
4. Выставить зеркало 2 на расстояние d_2 от зеркала 1 симметрично относительно оси OY ;

5. Выставить центр кривизны зеркала 2 на оптическую ось.

При осуществлении операций по пунктам 1, 2, 4 линейные расстояния a_1 , a_3 , d_1 , d_2 контролируются с помощью линейного мерительного инструмента с погрешностью не хуже 0,05 мм.

Для совмещения центров кривизны зеркал 1 и 3 с оптической осью предлагается метод с использованием интерферометра, создающего одновременно два волновых фронта: сферический волновой фронт для зеркала 3 и волновой фронт, падающий по нормали к гиперболической поверхности зеркала 1. Для создания второго волнового фронта используется метод Максудова — контроль гиперболической поверхности компенсационным методом с помощью сферического зеркала [4]. Схема интерферометра для совмещения центров кривизны зеркал 1 и 3 с оптической осью приведена на рис. 2. Точечный источник света, расположенный в точке M , через вспомогательные плоское зеркало 4 и сферическое зеркало 2 освещает зеркала 1 и 3. Точка M находится в центре сферической поверхности 3 (с учетом отражения от плоского зеркала 4) и на рассчитанном расстоянии от вспомогательного сферического зеркала 2. Лучи падают на поверхности зеркал 1 и 3 по нормали и, отразившись, идут обратно по тому же пути.

Это обстоятельство можно использовать для получения интерференционных картин от двух поверхностей одновременно, применив специальную интерферометрическую схему (рис. 3). Пучок от лазера 1 через коллимирующую систему 2 направляется на светоделитель 7, который делит пучок на два — рабочий и референтный. Референтный пучок отражается от эталонного плоского зеркала 8 и идет обратно. Рабочий пучок направляется на объектив 6, который формирует точечный источник на поворотном зеркале 5, и далее, отразившись от

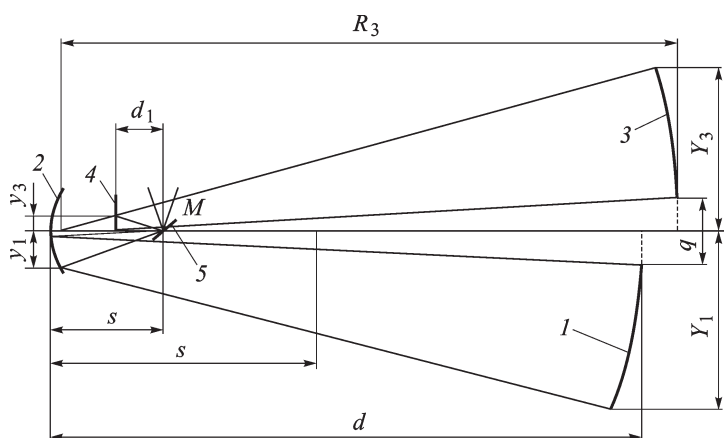


Рис. 2. Схема интерферометра для совмещения центров кривизны зеркал 1 и 3 с оптической осью:

1 — гиперболоид; 2 — вспомогательное сферическое зеркало; 3 — сферическое зеркало; 4 — вспомогательное плоское зеркало; 5 — поворотное зеркало

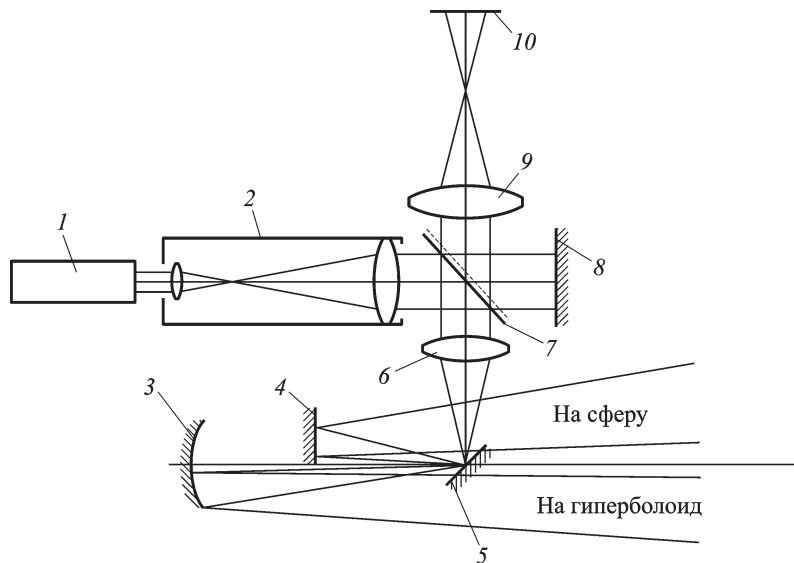


Рис. 3. Схема интерферометра:

1 — лазер; 2 — коллимирующая система; 3 — вспомогательное сферическое зеркало; 4 — вспомогательное плоское зеркало; 5 — поворотное зеркало; 6, 9 — объективы; 7 — светоделитель; 8 — эталонное плоское зеркало; 10 — плоскость изображения

вспомогательных зеркал 3 и 4, направляется двумя пучками соответственно на гиперболическое и сферическое зеркала.

Отраженные от зеркал пучки идут по тому же пути обратно и интерферируют на светоделителе 7 с референтным пучком (рис. 3), отраженным от эталонного плоского зеркала 8. Объектив 9 фокусирует изображение интерференционной картины на плоскость изображения 10.

Интерферометр выставляется на оптическую ось по плоскому зеркалу и перекрестию на нем, которое, изменив схему интерферометра, можно использовать в качестве эталонного зеркала интерферометра. Это даст возможность существенно уменьшить влияние вибраций на результаты измерений.

При точной настройке интерферометра и идеальных поверхностях зеркал в плоскости изображения 10 интерферометра будет наблюдаться две интерференционные картины, разделенные промежутком q (рис. 4), соответственно от сферы и от гиперболоида.

Центры интерференционных колец будут находиться на оптической оси, а промежуток q соответствует расстоянию между зеркалами.

Если в интерферометре использовать в качестве приемника ПЗС, то при соответствующей математической обработке можно определить координаты центров колец и расстояние между отражающими поверхностями зеркал.

Координаты центров колец должны быть равны, когда оптические оси зеркал 1 и 3 совмещены.

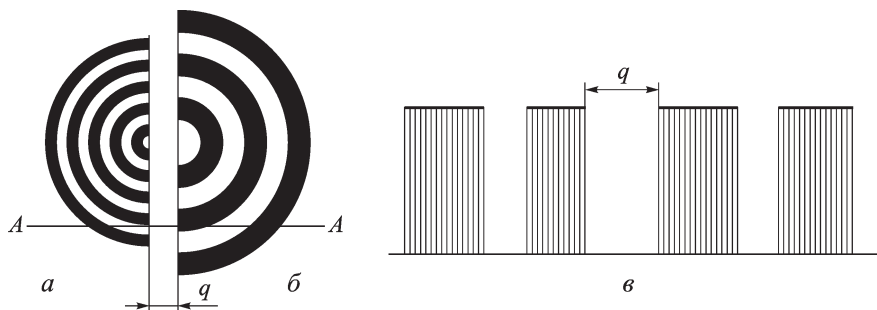


Рис. 4. Интерференционная картина от сферы (а) и гиперboloида (б); в — сечение А-А; q — промежуток между зеркалами 1 и 3

Расстояние между отражающими поверхностями зеркал при соответствующем увеличении изображения интерферограммы можно определить с точностью $\sim 30 \dots 40$ мкм.

После выставления зеркал 1 и 3 соосно, зеркало 2 устанавливается в конструкцию с линейными погрешностями, определяемыми конструкторской документацией. Объектив ставится на длиннофокусную оптическую скамью с тест-объектом в фокусе коллиматора. В фокальной плоскости объектива изображение тест-объекта рассматривается с помощью микроскопа или принимается ПЗС и выводится на экран монитора. По получаемому изображению определяются ошибки юстировки и проводится точная юстировка зеркала 2.

Если в фокальной плоскости объектива установить плоское зеркало, а в фокальном узле коллиматора — неравноплечий интерферометр, то получаемая интерференционная картина будет характеризовать волновой фронт, формируемый объективом.

Фокусировка и контроль качества ОЭА. В процессе юстировки ОЭА осуществляется установка приемников изображения (ПИ) в расчетное положение, а также контроль качества сборки и выходных параметров изделия в лабораторных условиях.

Для обеспечения требований по точности установки ПИ в ОЭА необходимо осуществить фокусировку — нахождение плоскости наилучшего изображения (ПНИ). Для решения этой задачи необходимо использовать многофункциональный оптический стенд, главной составной частью которого является коллиматор с $f' = 25000$ мм, предназначенный для формирования бесконечно удаленных объектов (“искусственная бесконечность”). Коллиматор передает изображения специального глубинного тест-объекта (миры абсолютного контраста со штрихами одного направления с прямоугольным распределением плотности и определенной частоты). При подборе миры необходимо учитывать, что максимальная пространственная частота в системе — частота Найквиста.

Тест-объект должен устанавливаться в фокальный узел коллиматора с учетом поправок на температуру, давление в момент проведения

испытаний, продольного хроматизма объектива коллиматора, соответствующего конкретному спектральному диапазону, обеспечиваемому установкой в фокальный узел коллиматора интерференционных светофильтров.

Все испытания ОЭА должны проводиться с использованием испытательного программного обеспечения, обеспечивающего получение и обработку необходимой видеoinформации: вычисление коэффициента передачи контраста или коэффициента передачи модуляции; вычисление положения ПНИ.

Полученные поканальные характеристики (усредненное по точкам поля изображения значение расфокусировки в каждом спектральном канале, угол наклона чувствительных поверхностей ФПЗС), обобщенные характеристики (усредненное по каналам значение расфокусировки и усредненный угол наклона чувствительных поверхностей ФПЗС), графики поканальных фокусируемых кривых позволят отфокусировать прибор и проконтролировать качество фокусировки.

Прибородержатель оптической скамьи должен обеспечивать соосность коллиматора и объектива ОЭА, а также возможность разворота изделия в двух взаимно перпендикулярных плоскостях вокруг осей, лежащих в плоскости входного зрачка объектива ОЭА.

Фотограмметрическая аттестация ОЭА. Под фотограмметрической аттестацией ОЭА понимают определение взаимного углового положения элементов дискретизации ПИ ОЭА и их положения относительно приборной системы координат (ПСК) [5]. Под визирной осью ОЭА понимают условную ось, образованную лучом, проходящим через центр входного зрачка объектива и попадающим на элемент ФПЗС, для которого в ПСК угол между лучом и плоскостью XOY принимается за нулевой (начальный).

Предлагаемый принцип аттестации заключается в следующем:

- на входе ОЭА задаются идущие из бесконечности пучки лучей (широкие, соответствующие размеру выходного зрачка коллиматора (рис. 5, а), или узкие, сечения которых определяются диаметром диафрагм задающего тест-объекта (рис. 5, б). Угловые расстояния α в этой связке и ее положение относительно ПСК должны быть аттестованы с требуемой точностью;

- изображения диафрагм тест-объекта — “связка” проецирующихся лучей, равномерно распределенных по полю изображения, регистрируются приемником ОЭА;

- для каждого изображения диафрагмы определяется номер элемента ФПЗС, соответствующий его энергетическому центру.

На точность аттестации угловой связки лучей будут оказывать влияние следующие параметры: степень компенсации гравитационных

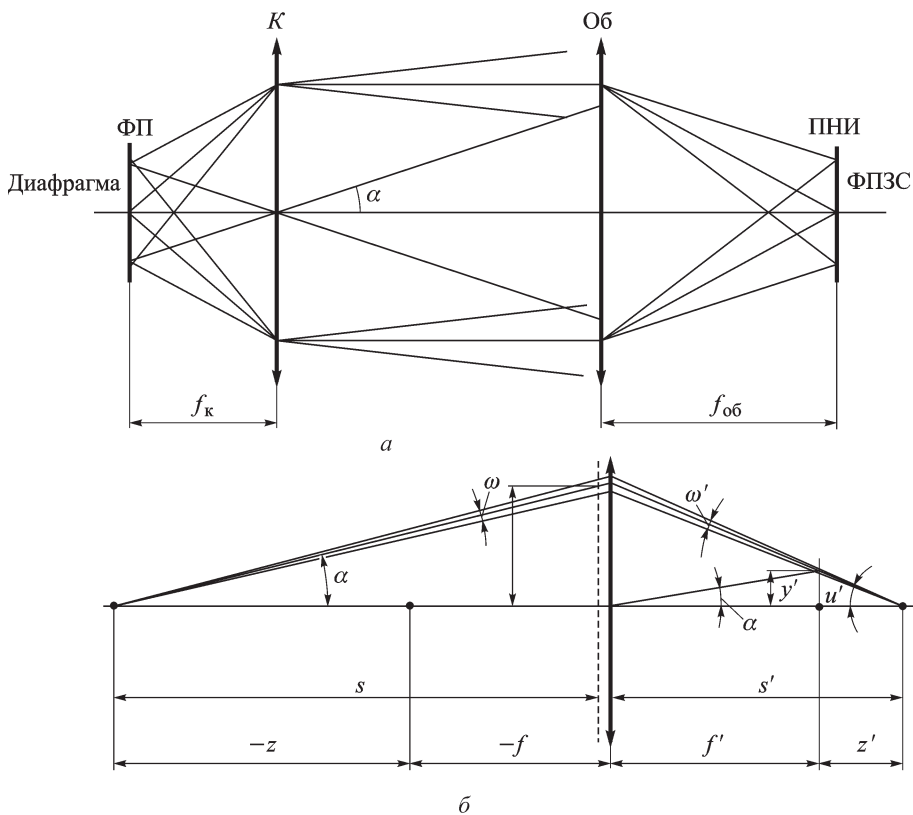


Рис. 5. Ход широких (а) и узких (б) пучков лучей

деформаций и жесткость конструкции ОЭА; точности метода аттестации и измерительного оборудования; температура конструкции (в том числе ее неоднородность, приводящая к изменению дисторсии оптической системы даже при сохранении качества изображения); температурный режим ФПЗС, определяющий изменение линейных координат светочувствительных элементов в системе координат ОЭА; фактические параметры внешних условий (качество виброизоляции, динамика температурных и барических условий измерений).

Для ОЭА высокого разрешения угловой размер пиксела составляет $\gamma \cong 0,36''$. Погрешность измерения не должна превышать $0,5\gamma$, что для ошибки определения взаимного углового положения элементов дискретизации составит $\Delta\gamma \approx 0,2''$.

Даже при использовании высокоточных теодолитов ($3\sigma = 1,5''$ при многократных измерениях) ошибка измерения угла оказывается в 4–5 раз больше погрешности инструмента, так как в каждом измерении используются 4–5, а иногда и более теодолитов. Это делает метод последовательного измерения лучей в связке непригодным.

Меры, принимаемые в залах производственно-испытательного комплекса для уменьшения влияния внешних условий (ограничение номинала температуры до $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, ограничение суточных градиентов температуры примерно до $0,2^\circ\text{C}/\text{сутки}$, виброизоляция фундамента) недостаточны при требуемых точностях относительных угловых измерений. Таковую высокую точность можно обеспечить только в случае одновременного измерения углов для всех выбранных элементов; точного $(0,1 \dots 0,3\gamma)$ задания угловой связки лучей на входе в систему; стабилизации температурных, барических условий измерений не только во времени, но и в пространстве (в пределах апертурного пучка системы); пространственной стабилизации (исключения температурных, барических, гравитационных деформаций) ОЭА и схемы контроля.

Поскольку число элементов дискретизации приемника, как правило, слишком велико, зависимость угловых координат на входе ОЭА от номера элемента ФПЗС, на который попало изображение аппроксимируется полиномом по нескольким измеренным точкам. Минимальное число точек измерения определяется наибольшей степенью полинома, а максимальное ограничивается оценочной точностью аппроксимации и практическими соображениями.

При широком коллимированном входном пучке в фокальной плоскости ОЭА формируется пятно рассеяния, структура и положение которого определяются аберрациями объектива на полном зрачке (сферическая аберрация, астигматизм, кома, дисторсия и т.д.). Если используются узкие пучки, то структура и положение пятна рассеяния могут определяться влиянием отдельных аберраций и зависят от высоты пучка на входном зрачке ОЭА.

При нарушении коллинеарности во входных пучках в фокальной плоскости ОЭА образуются пятна размытия. Их размеры зависят или от фокусного расстояния и точности установки коллиматора на бесконечность или от расстояния до источника света.

Поскольку центр пятна определяется как центр тяжести фигуры под кривой зависимости уровня сигнала от номера элемента, то распределение облученности в пятне рассеяния будет влиять на положение его центра и, соответственно, на аттестацию углового положения. Поэтому положение центра пятна широкого пучка может отличаться от положения центра пятна узкого пучка, идущего под тем же углом. Центр тяжести пятна Z_C и погрешность его определения ΔZ_C вычисляются по формулам:

$$Z_C = \frac{\sum_i iU(i)}{\sum_i U(i)}; \quad (1)$$

$$\Delta Z_C = \frac{\sum_i i \sum_i U(i) - n \sum_i i U(i)}{\left(\sum_i U(i) \right)^2} \Delta U(i), \quad (2)$$

где i — номер элемента; $U(i)$ — уровень сигнала элемента i ; n — число облученных элементов; $\Delta U(i)$ — погрешность уровня сигнала элемента i .

Аттестация ОЭА широким коллимированным пучком. Для калибровки ОЭА широким пучком необходим коллиматор с фокусным расстоянием $f'_{\text{коллим}} \geq 5f'_{\text{ОЭА}}$ и угловым полем не менее поля объектива ОЭА.

Для объектива с $f'_{\text{об}} = 2000$ мм требуется коллиматор с $f'_{\text{коллим}} \geq 10000$ мм, угловым полем $2\beta_{\text{коллим}} \geq 3^\circ$. Тест-объект — это сетка калиброванных диафрагм в непрозрачном экране. Погрешность измерения расстояний между центрами диафрагм тест-объекта не превысит $\Delta y = 0,001$ мм, погрешность измерения фокусного расстояния по ГОСТ13095–85 $\Delta f' = 0,01\%$. Отсюда следует, что погрешность задания взаимного углового положения лучей в связке составит $\Delta\alpha \cong 0,1''$.

Аттестация ОЭА узкими расходящимися пучками. Поскольку в ОЭА предполагается использование объектива с качеством исправления аберраций, близким к дифракционному, то возможна аттестация угловой связки не полным зрачком, а его зонами, угловая погрешность положения которых относительно центра изображения не превышает сотых долей секунды. Для этого остаточные аберрации широких наклонных пучков системы не должны превышать радиуса кружка Рэлея ($\rho = 1,22\lambda f'/D = (0,01 \dots 0,005)$ мм в рабочей области спектра (450 ... 900) нм).

При калибровке ОЭА узкими пучками они разделяются с помощью непрозрачного экрана с рядом калиброванных отверстий, расстояние между которыми известно с погрешностью не хуже 1 мкм. Экран устанавливается на измеренном с высокой точностью расстоянии от точечного источника света с таким расчетом, чтобы узкие пучки заполняли входной зрачок объектива (см. рис. 5, б). Критичным в этом варианте является максимальное расстояние от источника света до переднего фокуса объектива ОЭА, которое может быть установлено в залах производственно-испытательного комплекса, так как “отступление от бесконечности” приведет к расфокусировке изображений источника на приемнике ОЭА и снижению точности измерения их взаимного положения. Ошибка зависит не только от фокусного расстояния объектива, но и от его схемного решения. Для объектива $f' = 2000$ мм ошибка может достигать $0,2''$, что является приемлемым для решения большинства фотограмметрических задач.

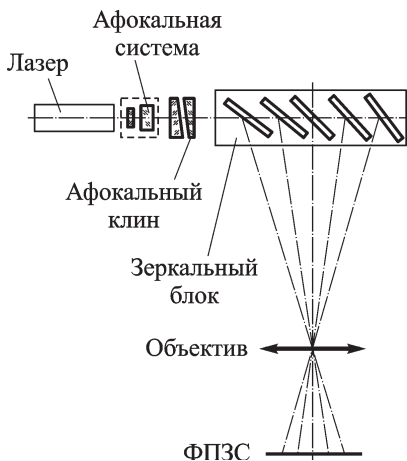


Рис. 6. Схема разделения и расширения лазерного пучка

Параллельные штрихи тест-объекта должны располагаться перпендикулярно линейке ФПЗС. Положение изображения тест-объекта вдоль линейки определяется средним арифметическим значением координат энергетических центров параллельных штрихов. Наклон изображения определяется по углу, который образуют линия, соединяющая энергетические центры изображения среднего штриха на каждой строке линейки, и любой столбец линейки.

Расширение лазерного пучка обеспечивает телескопическая система (см. рис. 6). Юстировка взаимного положения телескопической системы и зеркального блока обеспечивается афокальным клином, установленным перед блоком зеркал. По предварительной оценке погрешность аттестации углов для любой пары коллимированных пучков в таком устройстве: горизонтальных — не более $0,1''$; вертикальных — не более $0,3''$.

Таким образом, обеспечить задание углов в связке с точностью $\delta\gamma < (0,15 \dots 0,2)''$ проблематично. В любом из предложенных методов ожидаемая погрешность определения взаимного углового положения элементов дискретизации ПИ составит примерно $\Delta\gamma \approx (0,4 \dots 0,6)''$.

Аттестация углов. Аттестация больших углов с погрешностями в пределах $0,01 \dots 0,05$ угловых секунд представляет сложную проблему. Это обусловлено трудностями технологического характера, а также влиянием условий внешней среды (температурными условиями, вибрациями). Для повышения точности измерения используются интерферометрические методы. Известна схема угломерного интерферометра с призмой Кестерса [6]. Экспериментальные испытания прибора дали среднюю погрешность измерения углов $0,042''$, и при устранении выявленных недостатков возможно измерение плоских углов в диапазоне $\pm 5^\circ$ с погрешностью не выше $0,05''$.

Аттестация ОЭА узкими коллимированными пучками. Задача создания разнонаправленных коллимированных пучков может быть решена разделением пучка лазера по нескольким направлениям с помощью блока светоделительных зеркал (рис. 6). Коллимированные пучки должны нести информацию о специальном тест-объекте. Конфигурация и параметры тест-объекта должны обеспечивать измерение двух координат в плоскости ФПЗС. Такому условию удовлетворяет, к примеру, тест-объект, выполненный в виде латинской буквы *N* с прозрачными штрихами на темном фоне.

Заключение. Создание малогабаритной многофункциональной оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования в настоящее время актуально для перспективных малых космических аппаратов, предназначенных для детального спектрального исследования Земли. Создание такой аппаратуры стало возможным благодаря новым конструкционным и оптическим материалам, принципиально новым оптическим схемам зеркальных объективов с небольшим числом асферических поверхностей. Для перспективной схемы зеркального объектива высокого разрешения с эксцентрично расположенным полем изображения, состоящего из трех зеркал, два из которых — асферические поверхности второго порядка, разработана схема юстировки, приведение прибора в рабочее состояние установкой и ориентировкой базовых зеркальных элементов во взаимно правильное положение, при котором аппаратура имеет требуемые параметры и характеристики. Это позволяет конструктору аппаратуры создавать оптические системы с дифракционным качеством изображения, анализировать многовариантные решения при построении оптического тракта, что, в свою очередь, позволяет найти наиболее оптимальное значение показателя цена/качество аппаратуры с уменьшением массогабаритных характеристик. Применение такой оптико-электронной аппаратуры обеспечивает возможность регистрации оптической информации в широком спектральном диапазоне от ультрафиолета до дальнего инфракрасного диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т о к а р е в А. А. Длиннофокусные объективы с эксцентрично расположенным полем изображения // Изв. вузов. – Т. XXXI, № 7. – С. 74.
2. K o r s c h D. Closed form solution for three mirror telescopes // Applied Optics, 10, 2987 (1972).
3. С б о р к а и юстировка оптико-электронных приборов: Учеб. пособие / А.И. Гоев, В.И. Заварзин, В.А. Перов и др.: Под ред. В.И. Заварзина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 80 с.
4. М а к с у т о в Д. Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
5. Ф о т о г р а м м е т р и ч е с к и е параметры оптико-электронной аппаратуры / С.А. Архипов, Г.В. Гасич, В.И. Заварзин и др. // Вестник МГТУ. Серия “Приборостроение”. – 2008. – № 4. – С. 103–114.
6. М о к р о ш И. Угломерный интерферометр // Автометрия. – 1990. – № 3.

Статья поступила в редакцию 16.02.2009

Сергей Алексеевич Архипов родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Канд. техн. наук, начальник СКБ-1 НТЦ ОАО “Красногорский завод им. С.А. Зверева”. Автор более 30 научных работ в области оптического приборостроения.

S.A. Arkhipov (b. 1955) graduated from the Leningrad Institute for Precise Mechanics and Optics in 1978. Ph. D. (Eng.), Head of the Special Design Department of the “S.A. Zverev Krasnogorsky Zavod”, JSC. Author of more than 30 publications in the field of optical device engineering.

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 "Optical-and-Electronic Devices for Scientific Applications" department, dean of "Optical-and-Electronic Device Engineering" faculty of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 80 publications in the field of optical device engineering.

Валентин Алексеевич Малыхин родился в 1937 г., окончил в 1962 г. Всесоюзный заочный машиностроительный институт. Ведущий инженер НТЦ ОАО “Красногорский завод им. С.А. Зверева”. Автор 2 научных работ в области оптического приборостроения.

V.A. Malykhin (b. 1937) graduated from the All-Union Correspondence Institute of Machine Building in 1962. Leading engineer of the Research and Design Center of the “S.A. Zverev Krasnogorsky Zavod”, JSC. Author of 2 publications in the field of optical device engineering.

Сергей Александрович Морозов родился в 1982 г., окончил в 2006 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры “Оптико-электронные приборы научных исследований” МГТУ им. Н.Э. Баумана, инженер-конструктор НТЦ ОАО “Красногорский завод им. С.А. Зверева”. Автор 4 научных работ в области оптического приборостроения.

S.A. Morozov (b. 1982) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2006. Post-graduate of “Optical-and-Electronic Devices for Scientific Applications” department of the Bauman Moscow State Technical University, engineer-designer of the Research and Design Center of the “S.A. Zverev Krasnogorsky Zavod//, JSC. Author of 4 publications in the field of optical device engineering.