

# ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 681.7

## КОНСТРУКТОРСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕНТРИРОВКИ ЛИНЗОВЫХ СИСТЕМ

© 2013 г. С. М. Латыев, доктор техн. наук; Д. М. Румянцев; П. А. Курицын, аспирант  
СПбНИУ ИТМО, Санкт-Петербург  
E-mail: smlatyev@yandex.ru

Рассмотрены причины возникновения децентрировок линз в объективах, а также технологические и конструктивные методы их уменьшения и компенсации влияния на качество изображения.

**Ключевые слова:** центрировка линз, объектив, качество изображения, компенсация погрешностей.

Коды OCIS: 220.0220, 230.0230.

Поступила в редакцию 10.10.2012.

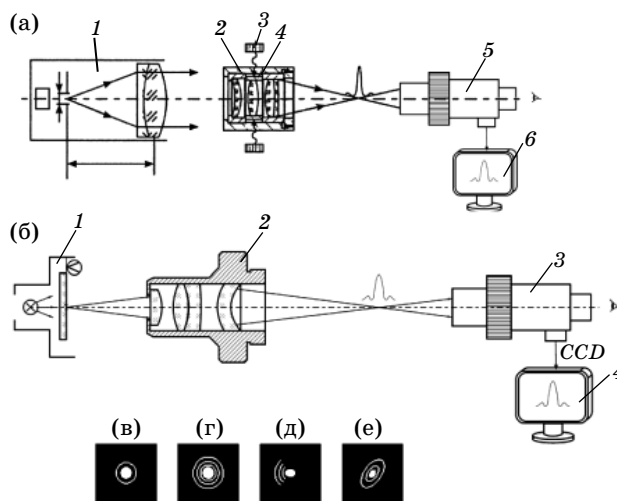
Хорошо известно, что децентрировки линз в линзовых системах, особенно в объективах, существенно ухудшают качество создаваемого изображения. Наиболее сильно они влияют на абберацию “кома”.

На рис. 1 представлены схемы контроля качества изображения микро- (б) и фотообъективов (а) по дифракционному изображению точечной диафрагмы и виды дифракционных изображений (1в–е) при отсутствии и наличии различных aberrаций.

Изображение, представленное на рис. 1д, показывает присутствие в объективе комы, возникающей из-за технологических погрешностей изготовления и сборки его элементов, приводящих к децентрировке компонентов.

Рассмотрим эти погрешности, возникающие в оптических и механических деталях и узлах объективов.

Одной из причин появления децентрировок является децентрировка собственно линз при их изготовлении. Под децентрировкой линзы в общем случае понимается смещение центра(ов) кривизны рабочей(их) поверхности(ей) с базовой осью линзы или неперпендикулярность плоской рабочей поверхности линзы к ее базовой оси. Децентрировка задается позиционным допуском, разнотол-



**Рис. 1.** Схемы контроля качества изображения микро- (б) и фотообъективов (а). а: 1 – коллиматор с точечной диафрагмой, 2 – контролируемый фотообъектив, 3 – юстировочный винт, 4 – сдвигаемая оправа, 5 – видеокамера, 6 – монитор; б: 1 – предметный узел с точечной диафрагмой, 2 – контролируемый микрообъектив, 3 – видеокамера, 4 – монитор; в–е – дифракционные изображения.

цинностью по диаметру линзы или биением плоской поверхности [1]. Децентрировка линзы может привести при сборке к ее децентри-



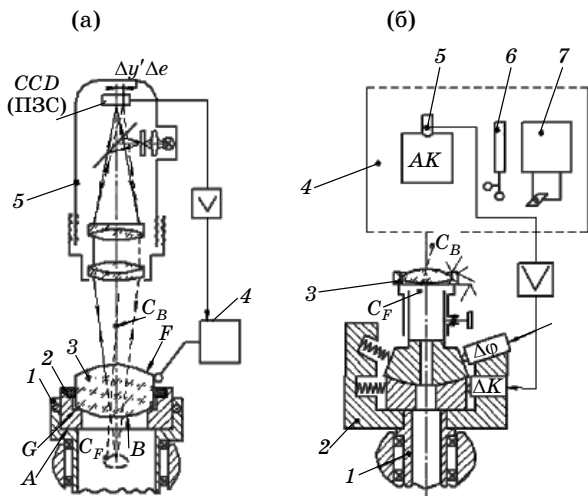


Рис. 3. Функциональные схемы станций для центрировки линз в оправе. Пояснения в тексте.

можно либо путем юстировки линзы в оправе (сдвигая или наклоняя ее в увеличенном зазоре посадки относительно базовой оси оправы в процессе закрепления), либо результативной обработкой наружных поверхностей оправы в номинальный размер от оптической оси закрепленной линзы [2].

В настоящее время имеется автоматизированное оборудование, позволяющее осуществлять эти операции. Например, фирма TRIOPTICS производит автоматизированную станцию, OptiCentric [3] (см. рис. 3а), которая центрирует линзу 3 при ее вклейке в оправу 2 быстроотвердевающим клеем под действием ультрафиолетового излучения. Здесь 1 – патрон (цанга) для крепления оправы, 4 – автоматизированный манипулятор для смеще-

ния линзы, 5 – автоматизированный автоколлиматор.

Недостатком этой и подобных станций является то, что здесь производится центровка только одной поверхности линзы. Поэтому если опорный торец (G) не перпендикулярен базовой оси оправы или отверстие  $D_2$  выполнено эксцентричным к базовой оси, то децентрировка второй (опорной) поверхности линзы остается. Это обстоятельство требует минимизации данных погрешностей поверхностей G и D при изготовлении оправы.

На рис. 4 приведены фотография станции OptiCentric и конструкция проекционного объектива, линзовые компоненты которого вклеены и центрированы на этой станции, что позволило существенно повысить производительность сборки объектива и в большинстве случаев устранить необходимость его юстировки для компенсации децентрировок компонентов.

Результативная обработка наружных поверхностей оправы позволяет получить наиболее высокую точность центровки линзы. Она осуществляется на специализированных станках (станциях), некоторые из которых снабжены также трехкоординатными измерительными машинами, позволяющими измерять погрешность линейных размеров оправы после ее обработки. На рис. 3б представлена функциональная схема подобной станции, используемой фирмой “Carl Zeiss” [4]. Здесь 1 – шпиндель станка, 2 – патрон для автоматизированной центровки оправы с линзой 3, 4 – “суппорт” станции, содержащий автоколлиматор 5, щуп измерительной машины 6 и резец 7.

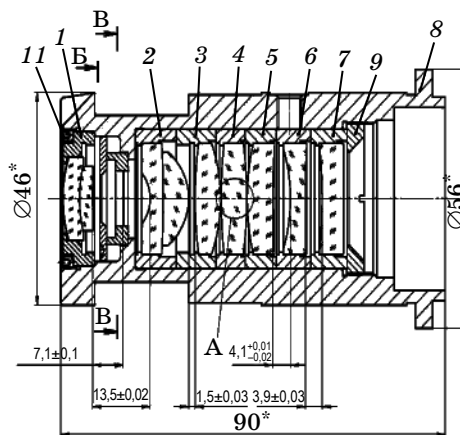
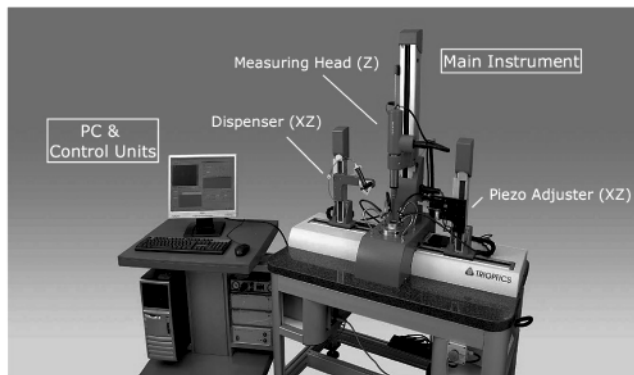
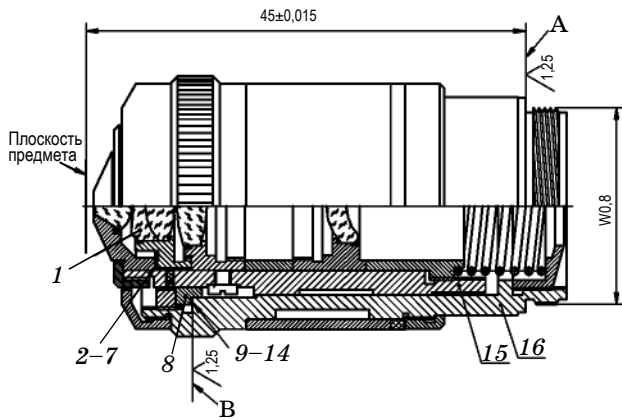
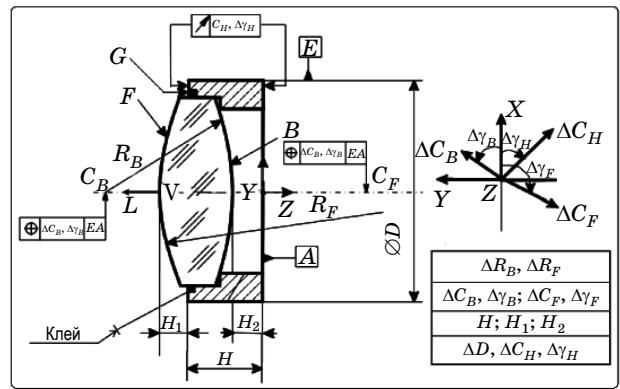


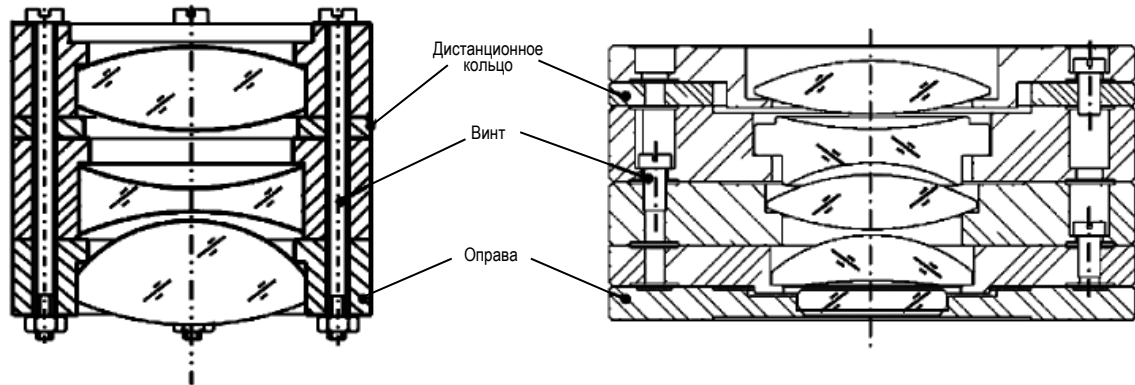
Рис. 4. Центрировочная станция (а) и конструкция проекционного объектива (б). 1–7 – линзовые компоненты, 8 – корпус объектива, 9, 11 – резьбовые кольца.



**Рис. 5.** Базовая конструкция унифицированного микрообъектива. 1 – линзовый компонент, 2–7 – коррекционное кольцо для компенсации сферической аберрации, 8 – втулка с пазом, 9–14 – коррекционное кольцо для обеспечения высоты объектива, 15 – обшая оправа, 16 – корпус микрообъектива.



**Рис. 6.** Измеряемые погрешности линзового узла. А, Е – базовые поверхности оправы; F, В – рабочие сферические поверхности линзы;  $C_B, C_F$  – центры кривизны сферических поверхностей с радиусами  $R_B, R_F$  соответственно; D – диаметр оправы, H – толщина оправы,  $H_1, H_2$  – расстояния от поверхностей G и А оправы до вершин сферических поверхностей,  $\Delta \gamma_{B, F, H}$  – фазовые углы погрешностей центрировки,  $\Delta$  – знак, обозначающий погрешность значения величины, стоящей за этим знаком.



**Рис. 7.** “Штабельная” конструкция высококачественных объективов.

Несмотря на возможность получения на таких станках высокой точности центрирования отдельных линз (и склеек линз) в оправе, в ряде многокомпонентных высококачественных объективов (фотолитографических, микрообъективов, фотограмметрических, проекционных) не удается получить требуемого качества изображения из-за остаточных децентрировок линзовых компонентов, их радиального смещения в зазорах с корпусом и наклонов. В таких объективах предусматривают конструктивную компенсацию влияния децентрировок компонентов или взаимоцентрировку всех или отдельных компонентов в корпусе объектива.

На рис. 5 представлена унифицированная конструкция микрообъектива [5–7] в котором предусмотрена подобная юстировка. Для компенсации влияния децентрировок линзовых компонентов здесь, при неавтоматизированной сборке микрообъектива, предусмотрена возможность радиального смещения линзового компонента 1 (технологическими винтами, заворачиваемыми в резьбовые отверстия общей оправы 15). При смещении этого компонента возникает аберрация противоположного знака, компенсирующая аберрацию (кому) из-за децентрировок других компонентов.

Так как эту юстировку трудно автоматизировать, то при автоматизированной сборке ми-

крообъективов предусмотрена установка каждого линзового узла с разворотом (вокруг оси отверстия общей оправы 15) на определенный угол, обеспечивающий отсутствие комы в собранном микрообъективе. Естественно, что децентрировки оптических поверхностей линзовых компонентов узлов, а также погрешности, определяющие значение радиального смещения в зазорах должны быть заранее измерены (рис. 6).

В некоторых сложных объективах для обеспечения требуемого качества изображения достаточно центрировать при сборке только несколько компонентов. Примером может

служить объектив с переменным фокусным расстоянием “Агат-14”, содержащий 8 компонентов, в котором взаимно центрируют только три последних (наиболее сильно влияющих) компонента [2]. Примеры центрировки линзовых компонентов и компенсации влияния aberrаций наклоном и разворотом компонентов объективов представлены в работах [2, 8].

На рис. 7 [9] представлены “штабельные” конструкции фотолитографических объективов и “последовательная” центрировка их компонентов радиальным сдвигом, а при необходимости – и разворотом.

\* \* \* \* \*

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.412-81. Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий.
2. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб.: Политехника, 2007. 580 с.
3. <http://www.trioptics.com> Automated Centering and Bonding Machine.
4. Stefan Frank. Justierdreher- eine Technologie fuer Hohleistungsoptik. Bericht IMK № 14, Technische Universitaet Ilmenau, 2008. 150 s.
5. Табачков А.Г., Латыев С.М., Фролов Д.Н. Унификация конструкций линзовых микрообъективов // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 1. С. 38–44.
6. Латыев С.М., Смирнов А.П., Фролов Д.Н., Табачков А.Г., Тезка Г. Обеспечение целевых показателей качества при автоматизации сборки микрообъективов // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 1. С. 49–53.
7. Смирнов А.П., Латыев С.М. Математическая модель автоматизированной сборки микрообъективов // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. № 11. С. 22–28.
8. Латыев С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л.: Машиностроение, 1985. 248 с.
9. Mario Sonderrmann. Mechanische Verbindungen zum Aufbau optischer Hohleistungssysteme. Bericht IMGK, Band 19, Technische Universitaet Ilmenau, 2011. 165 s.