

## КОНЦЕПЦИЯ ЛИНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ МИКРООБЪЕКТИВОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ СЕЛЕКЦИИ ИХ КОМПОНЕНТОВ

© 2009 г. С. М. Латыев\*; А. П. Смирнов\*; А. А. Воронин\*; Б. С. Падун\*; Е. И. Яблочников\*; Д. Н. Фролов\*\*; А. Г. Табачков\*\*; Р. Тезка\*\*\*; П. Цохер\*\*\*

\* Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

\*\* НПП “Фокус”, Санкт-Петербург

\*\*\* Технический Университет Ильменау, г. Ильменау, Германия

Рассматриваются проблемы и концепция построения автоматизированной линии сборки, юстировки и контроля качества серийных микрообъективов.

*Ключевые слова:* микрообъектив, унификация конструкций, адаптивно-селективная сборка, виртуальная сборка.

Коды OCIS: 220.4610

Поступила в редакцию 18.03.2009

### Введение

Автоматизация сборки многих оптико-механических и оптико-электронных функциональных устройств и узлов является весьма сложной задачей. Обусловлено это тем, что отклонения характеристик материалов оптических деталей, погрешности их размеров, формы рабочих и базовых поверхностей, а также погрешности механических деталей не позволяют достичь необходимых целевых показателей качества собираемого устройства. Необходима их юстировка для устранения или компенсации влияния погрешностей на те или иные показатели качества собираемого узла, выполняемая вручную и являющаяся наиболее трудоемкой операцией сборки.

Для проведения необходимых исследований по реализации автоматизации сборки оптических устройств, а также подготовки квалифицированных специалистов Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий, механики и оптики в рамках инновационных образовательных программ (с участием сотрудников Технического Университета Ильменау и ряда оптических фирм) создается учебно-научная лаборатория и линия автоматизации сборки микрообъективов [1, 2].

Задача автоматизации сборки микрообъективов (МО) поставлена в связи с тем, что такие объективы производятся относительно большими сериями, а трудоемкость их сборки очень высока.

МО являются одними из наиболее сложных линзовых систем, создающих изображение на уровне дифракционного (разрешающая способность  $\varepsilon = \lambda/(2A)$ , где  $\lambda$  – длина волны света,  $A$  – числовая апертура объектива).

### Концепция линии автоматизированной сборки микрообъективов

Автоматизация сборки МО требует унификации их конструкций, выявления погрешностей изготовления отдельных компонентов системы, влияющих на целевые показатели качества, разработки технологического процесса сборки без применения дополнительной обработки деталей резанием и многократных сборок и разборок, создания методов контроля и обеспечения показателей качества МО на основе возможностей современных информационных средств и технологий. Ниже рассматриваются основные аспекты разработанной концепции линии автоматизированной сборки микрообъективов.

**Унификация конструкций микрообъективов.** Существующее до сих пор большое разнообразие конструкций МО затрудняет создание автоматизированной линии их сборки, так как требует переналадок сборочных станций и применения специальной оснастки для каждого вида конструкций. Кроме того, в большинстве типовых конструкций МО базовые внутренние цилиндрические поверхности несущих (корпусных)

деталей являются полуглухими. Данное обстоятельство затрудняет контроль базового цилиндра и обуславливает сборку и доступ к компонентам только с одной стороны, что ограничивает гибкость процесса автоматизированной сборки.

Унификация конструкций МО осуществлялась с позиций их структуры, конфигурации компонентов, видов, форм и размеров деталей, высоты МО, расчетной длины тубуса, технологии сборки и контроля. На рис. 1 представлена конструкция из разработанного унифицированного ряда (унифицированной линейки) наиболее востребованных типов МО.

Коэффициент применяемости механических деталей для унифицированной линейки из 6 базовых конструкций МО, из которых можно собрать порядка 200 различных МО:  $K = [(N_{\Sigma} - N)/N_{\Sigma}] 100\% = (52 - 100)\%$ , где  $N_{\Sigma}$  – общее количество типоразмеров деталей,  $N$  – количество типоразмеров оригинальных деталей.

В унифицированной конструкции с целью улучшения контроля и сборки компонентов внутреннее базовое цилиндрическое отверстие несущей детали 8 выполнено сквозным, а для обеспечения некоторых показателей качества МО (см. ниже) предусмотрены не только коррекционные прокладные кольца 1–5, но и 9–11.

**Технологические погрешности элементов, влияющие на целевые показатели качества микрообъективов.** Отклонения показателей преломления материалов линз ( $\Delta n_e$ ), погрешности их толщин ( $\Delta d$ ), воздушных промежутков ( $\Delta t$ ),

радиусов кривизны рабочих поверхностей ( $\Delta R$ ) приводят в собранном МО к сферической аберрации. Она обычно устраняется путем подрезки торца оправы одного из компонентов или подборки сборщиком необходимой толщины коррекционного прокладного кольца (позиции 1–5), что требует повторных разборок и сборки МО.

Указанные погрешности, а также погрешности в изготовлении других деталей (например, корпуса) не позволяют обеспечить с требуемой точностью высоту МО (расстояние от опорного торца корпуса до плоскости предмета), гарантирующей отсутствие недопустимых расфокусировок создаваемого объективом изображения.

Неточности в расположении центров кривизны рабочих поверхностей линз (децентрировка) относительно оси базового цилиндра (поз. 8) приводят к появлению комы. Для уменьшения этого вида аберраций обычно применяется результирующая обработка (проточка) оправ компонентов от их оптических осей [3]. Если кома наблюдается в уже собранном объективе (как правило, это бывает в объективах, имеющих большое увеличение и апертуру), то ее устраняют (компенсируют) путем сдвига одного из компонентов (поз. 6) МО перпендикулярно оси через отверстия в цилиндре 8.

Цилиндричность рабочих поверхностей линз, возникающая чаще всего из-за деформаций при креплении линз в оправы, может привести к появлению в некоторых экземплярах собранного МО недопустимого астигматизма, который

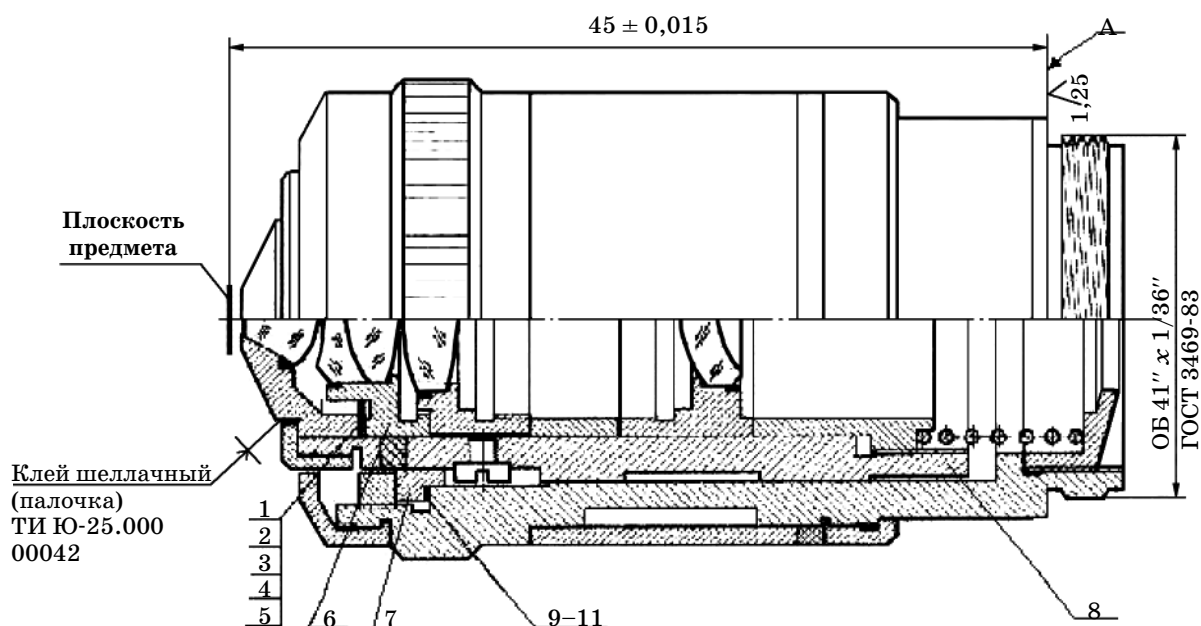


Рис. 1. Конструкция унифицированного микрообъектива.

устраняют заменой дефектного компонента при разборке МО.

Несоосность оптической оси МО и его базовой (механической) оси (оси резьбового цилиндра корпуса, перпендикулярной торцу А, рис. 1) приводит к радиальному смещению изображения. Допустимое значение этого смещения, равное половине поля зрения окуляра или половине приемной площадки матрицы ПЗС, а также высота МО обеспечиваются при обычной технологии сборки результирующей (от оптической оси) подрезкой торца А при наклоне корпуса объектива с помощью специального патрона [3].

**Адаптивно-селективная сборка микрообъективов.** При автоматизированном процессе сборки МО желательно исключение его многократных разборок и сборок, а также дополнительной обработки деталей (особенно резанием) в процессе монтажа. В связи с этим, сборка МО построена на адаптивной селекции и сборке его компонентов на основе измерения значений погрешностей конструктивных параметров узлов и деталей, влияющих на целевые показатели качества МО. Принципиальная схема адаптивно-селективной сборки (АСС) изображена на рис. 2. Она отличается от обычной селективной сборки тем, что на основании результатов определения погрешностей изготовления деталей и узлов производится не только комплектация, но и осуществляется корректировка процесса сборки, а при необходимости и изготовление деталей.

На рис. 3 представлен чертеж компонента МО с перечнем измеряемых для АСС конструктивных параметров (значение отклонения показателя преломления материала линзы известно в пределах соответствующего класса его однородности в партии заготовок). Определение погрешностей позволяет осуществить виртуальную сборку МО подбором его элементов таким образом, чтобы обеспечить требуемое качество при устранении или уменьшении числа юстировочных операций. Естественно, что виртуальная сборка должна основываться на математических моделях и алгоритмах, связывающих первичные погрешности с требуемыми показателями качества МО.

В результате виртуальной сборки для каждого комплекта элементов МО подбираются коррекционные дистанционные кольца (поз. 1–5), обеспечивающие отсутствие сферической аберрации, и кольца (поз. 9–11) для обеспечения высоты МО, которые фиксируются прижимным кольцом 7.

С целью исключения возникновения комы при виртуальной сборке для каждого компонента

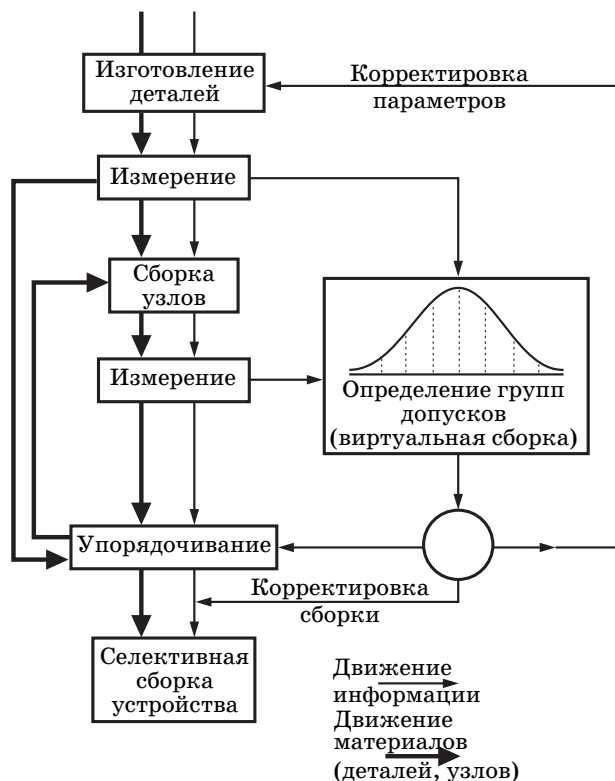


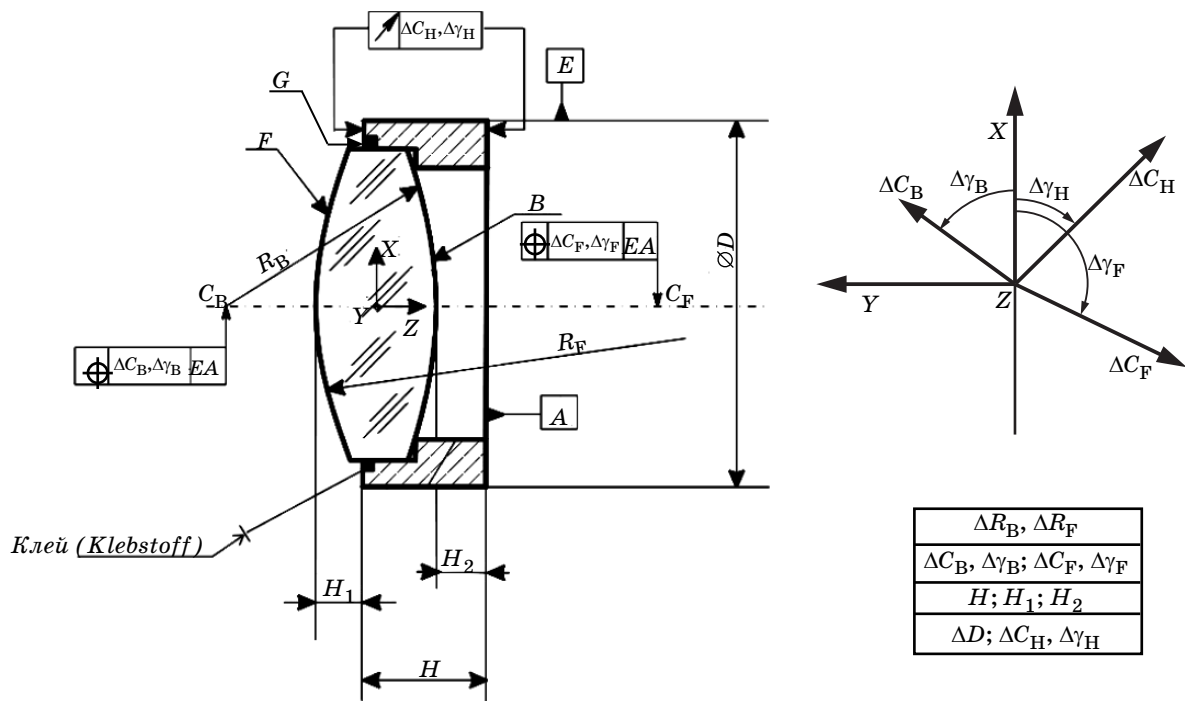
Рис. 2. Схема адаптивно-селективной сборки.

определяется его разворот (вокруг внутренней базовой оси цилиндра 8) относительно других компонентов, обуславливающий компенсацию влияния децентрировок оптических поверхностей. Успешное решение этой задачи возможно только в случае, когда децентрировка оптических поверхностей компонентов невелика. Так как по условию автоматизации сборки нежелательна результирующая проточка оправ компонентов, линзы при вклейке в оправы должны центрироваться на специальных автоматизированных станциях [4].

После вклейки оптических компонентов в оправы проводят их контроль для выявления деформаций рабочих поверхностей, которые могут привести к астигматизму изображения собираемого МО, и отбраковку.

На основе результатов виртуальной сборки осуществляется реальная сборка МО, производится контроль качества создаваемого изображения и других показателей качества, а также, при необходимости, выполняется юстировка тех показателей, допустимые значения которых не удалось достигнуть.

**Контроль и обеспечение целевых показателей качества микрообъектива.** Контроль качества изображения микрообъектива осуществляется



**Рис. 3.** Эскиз конструкции сборочной единицы линзы в оправе.  $D$  – номинальный диаметр центрирующего пояска оправы;  $H$  – номинальная толщина оправы;  $H_1, H_2$  – номинальные расстояния между соответствующими торцами и вершинами сферических поверхностей  $F$  и  $B$ ;  $A, E$  – базовые поверхности;  $C_B, C_F$  – центры кривизны сферических поверхностей с радиусами соответственно  $R_B, R_F$ ;  $\Delta\gamma_B, \Delta\gamma_F$  – фазовые углы погрешностей децентрировок поверхностей соответственно  $B$  и  $F$ ,  $\Delta\gamma_H$  – фазовый угол погрешности торцевого биения плоскости  $G$  относительно базовой плоскости  $A$ ; знак  $\Delta$  в остальных случаях означает погрешность значения величины, стоящей за этим знаком.



**Рис. 4.** Структурная схема автоматизированной линии сборки.

на соответствующей станции по дифракционному изображению точки, создаваемому им на матрице видеокамеры. Такой контроль весьма информативен, так как по виду дифракционной картины можно оценить не только качество изображения, но и определить вид aberrаций и погрешности, их вызывающие.

Контроль высоты, а также контроль и обеспечение соосности оптической и механической осей (эту операцию называют центровкой) производят измерением значения смещения и расфокусировки

изображения по отношению к изображению, созданному эталонным МО, по которому была настроена соответствующая станция. Если центровка МО не обеспечена, то разворотом цилиндра 8 (рис. 1), имеющего некоторый эксцентриситет внутреннего отверстия относительно своего наружного диаметра, добиваются требуемой центровки МО.

**Структурный состав линии сборки.** Структурная схема процесса автоматизированной сборки МО с необходимыми станциями, соединенными транспортной линией, изображена на рис. 4.

## Заключение

Представленная концепция линии автоматизированной сборки МО позволяет отказаться от дополнительной обработки деталей и узлов в процессе сборки, обеспечить ряд целевых показателей качества МО путем адаптивной селекции их компонентов и монтажа, а также исключить или существенно уменьшить число юстировочных операций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Latyev S.M., Jablotschnikov E.I., Padun B.S., Frolov D.N., Tabatschkov A.G., Theska R., Zocher K.-P.*

Laboratory for automated assembly of microscope lenses // 53 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universitaet Ilmenau. 8–12 September 2008. P. 247–250.

2. *Latyev S.M., Jablotschnikov E.I., Padun B.S., Frolov D.N., Tabachov A.G., Theska R., Zocher K.-P.* Laboratorium zur automatisierten Montage von Mikroskopobjektive // Interner Workshop “Flexible Montage” TU Ilmenau. 12 September 2008.

3. *Латыев С.М.* Конструирование точных (оптических) приборов. СПб.: Политехника, 2007. 587 с.

4. <http://www.trioptics.com> Automated Centering and Bonding Machine.