

УНИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛИНЗОВЫХ МИКРООБЪЕКТИВОВ

© 2011 г. А. Г. Табачков*; С. М. Латыев **; Д. Н. Фролов*

* ОАО “ЛОМО”, НПП “Фокус”, Санкт-Петербург

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

E-mail: latyev@grv.ifmo.ru

Рассмотрены результаты унификации микрообъективов, позволившие создать рациональную базовую конструкцию и типовой ряд наиболее востребованных линзовых микрообъективов, а также повысить эффективность их изготовления, сборки и контроля.

Ключевые слова: микрообъектив, унификация, конструирование.

Коды OCIS: 180.0110, 110.0110

Поступила в редакцию 25.05.2010

Введение

Микрообъективы являются одними из основных и наиболее ответственных функциональных устройств микроскопа. Многообразие методик работы на микроскопах обуславливает потребность в широкой гамме объективов, различающихся увеличениями и числовыми апертурами, работающими в широком диапазоне длин волн, отличающихся аберрационной коррекцией, габаритными и другими характеристиками.

Микрообъективы (МО) должны создавать изображение высокого качества, соответствующее дифракционному пределу разрешения: $\varepsilon = \lambda/(2A)$, где λ – длина волны света, A – числовая апертура МО. Благодаря существующей теории образования изображения в микроскопе, наличию компьютерных программ по расчету и оптимизации конструкций оптических систем, а также широкой номенклатуре оптических материалов и сред, источников и приемников оптического излучения удастся разработать МО с необходимыми показателями качества для всевозможных условий их работы.

В настоящее время разработка новых конструкций МО осуществляется с целью повышения информативности оптических систем. Это достигается благодаря расширению и улучшению их основных оптических характеристик, а также качества создаваемого изображения. Одновременно ведутся работы по разработке рациональной конструкции МО и совершен-

ствуется технология их изготовления, сборки и контроля.

Нет сомнения, что проектирование и конструирование МО должны основываться на системности и преемственности конструкций, широком использовании базовых элементов, параметрических рядов и агрегатирования (метод “группового проектирования”) – т. е. базироваться на принципах унификации конструктивных решений как оптических, так и “механических” его систем [1, 2]. Это позволяет создать не только более рациональную типовую конструкцию, но и облегчает использование эффективного метода групповой технологии производства [3] и создание автоматизированных линий сборки МО.

В данной статье рассмотрены вопросы унификации “механической” части конструкций линзовых МО.

1. Состояние и задачи унификации основных конструктивных параметров микрообъективов

Структура и конфигурация большинства МО сложилась на основе более чем двухсотлетней истории их существования и постоянного совершенствования. Оптотехники, рассчитывая оптические схемы МО, используют базовые оптические элементы, обладающие необходимыми свойствами, для создания оптимальных показателей качества изображения. Вместе с тем достаточно долгое время “механическая”

часть конструкции каждого МО разрабатывалась отдельно от других, и фактически создавалась заново. Конструктивное исполнение недостаточно использовало заимствование известных решений, не проводилась активная унификация отдельных деталей и узлов, не разрабатывались базовые конструкции различных видов МО на основе которых можно было бы создать их унифицированные ряды. Отсутствие унификации не только увеличивает сроки и затраты на проектирование, но и увеличивает номенклатуру деталей, оснастки, мерительного инструмента, переналадок технологического оборудования и затрудняет автоматизацию производственного процесса изготовления и сборки МО.

Таким образом, весьма актуальным является проведение работ по стандартизации и унификации конструкций МО, которые должны обеспечивать: установление их типов и размеров на основе параметрических рядов; взаимозаменяемость групп узлов и деталей; ограничение конструктивных вариантов целесообразным минимумом; снижение удельного расхода материалов и себестоимости продукции; возможность автоматизации их сборки и юстировки.

Несмотря на то, что в нашей стране давно ведутся работы по унификации оптических и “механических” характеристик МО [1, 4–6], до настоящего времени производятся объективы, отвечающие разным стандартам и нормам по значениям их оптических, габаритных и присоединительных параметров.

При рассмотрении типовых конструкций МО как отечественных, так и зарубежных, выявлено следующее: значения высот МО (расстояния от опорного торца до предметной плоскости) могут изменяться в широких пределах (от 10 до 90 мм), что создает проблемы при работе на револьверном устройстве микроскопа; при расчетах оптических систем МО используются разные виды аберрационной коррекции, что вынуждает применять окуляры с разными коррекциями; наличие различных конструктивных параметров присоединительной резьбы лишает возможности применять МО на одном револьверном устройстве; значения линейных увеличений существующих МО не всегда отвечают рекомендованному параметрическому ряду; конструкции иммерсионных и безиммерсионных (сухих) МО существенно отличаются друг от друга; существует излишнее разнообразие тубусных значений МО; конструктивные параметры “механических” деталей и узлов МО

не унифицированы по видам, формам и размерам; конструкции МО не продуманы с позиции их автоматизированной сборки и юстировки.

При создании базовой конструкции линзового МО была принята следующая унификация ее **основных** конструктивных параметров, характеристик и свойств: МО имеет бесконечную длину тубуса и независимую аберрационную коррекцию; высота МО должна быть равна 45 мм в соответствии со стандартом DIN или 33 мм по стандарту RMS; значения собственных фокусных расстояний МО рассчитываются исходя из использования в микроскопе дополнительной тубусной линзы (системы) с фокусным расстоянием $F' = 160$ мм; значения линейных увеличений МО соответствуют ряду, изменяющемуся по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6; присоединительная резьба МО к револьверному устройству микроскопа имеет значение 0,8"; толщина покровного стекла равна 0,17 мм; конструктивное решение “механической” части сухих и иммерсионных МО, по возможности, должно быть одинаковым; унифицированная конструкция МО должна иметь возможность адаптации к различным условиям работы микроскопа.

2. Базовая и модифицированные конструкции линзового микрообъектива

Базовой конструкцией (основанием ряда) считается та, которая обладает наибольшим числом общих признаков, присущих всем видам разрабатываемого ряда линзовых МО. Остальные конструкции МО являются модификациями базовой и незначительно отличаются от нее количеством и некоторыми конструктивными параметрами “механических” деталей (оптические элементы в них, естественно, разные). На основе анализа многообразия существующих конструкций МО, с учетом вышеперечисленных задач унификации, была разработана структура и конфигурация (модель) базовой конструкции МО, представленная на рис. 1.

Отличительной особенностью этой конструкции является то, что все оправы оптических элементов имеют одинаковый наружный диаметр и устанавливаются в общую оправу (стакан) открытого типа, которая может перемещаться и разворачиваться в корпусе МО. Базовая конструкция содержит большое количество наружных деталей, которые могут быть одинаковыми в различных ее модификациях. Модифицированные ряды МО в основном отли-

чаются диаметрами и продольными размерами узлов и деталей, для которых было установлено ограниченное число типоразмеров. После изготовления и испытаний опытных образцов МО унифицированной конструкции были уточнены их оптимальные продольные и диаметральные размеры, которые были установлены одинаковыми для соответствующих групп.

На рис. 2а представлены варианты унифицированных модификаций базовой конструкции

МО, имеющие различные диаметры и значения увеличений, но одинаковые продольные размеры. На рис. 2б, 2в представлен вариант внутрирядовой модификации (различия имеются только у корпуса и стакана в их габаритной длине). Это позволило уменьшить номенклатуру деталей и создать оптимальную линейку из 6-ти модифицированных рядов, каждый из которых содержит большое количество конкретных унифицированных конструкций. В табл. 1

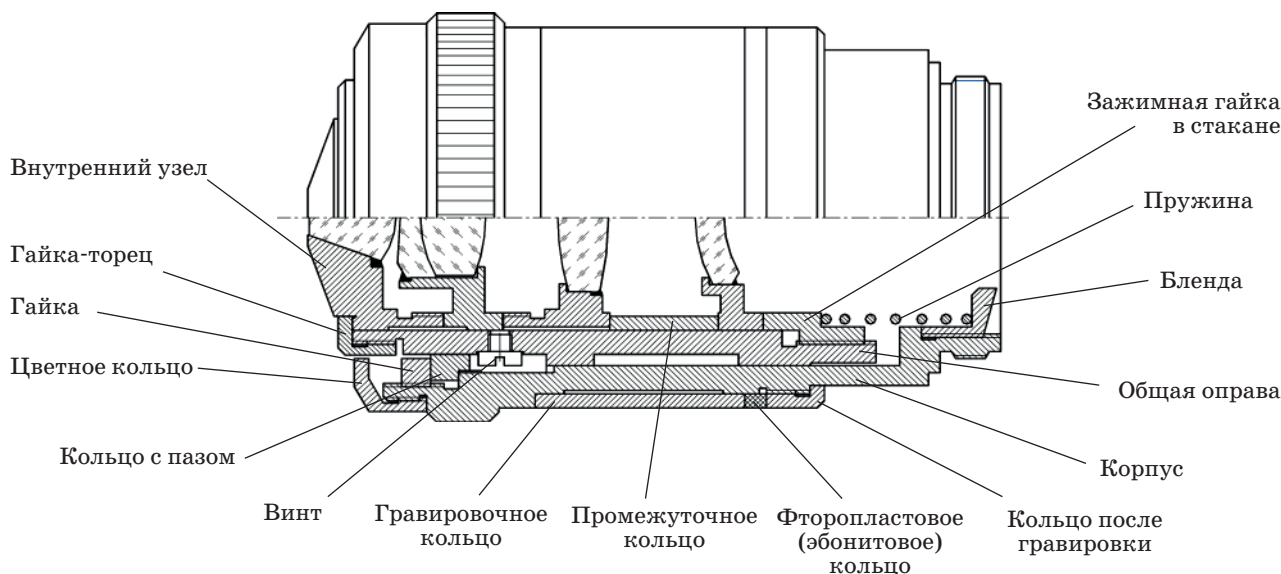


Рис. 1. Модель конструкции базового микрообъектива.

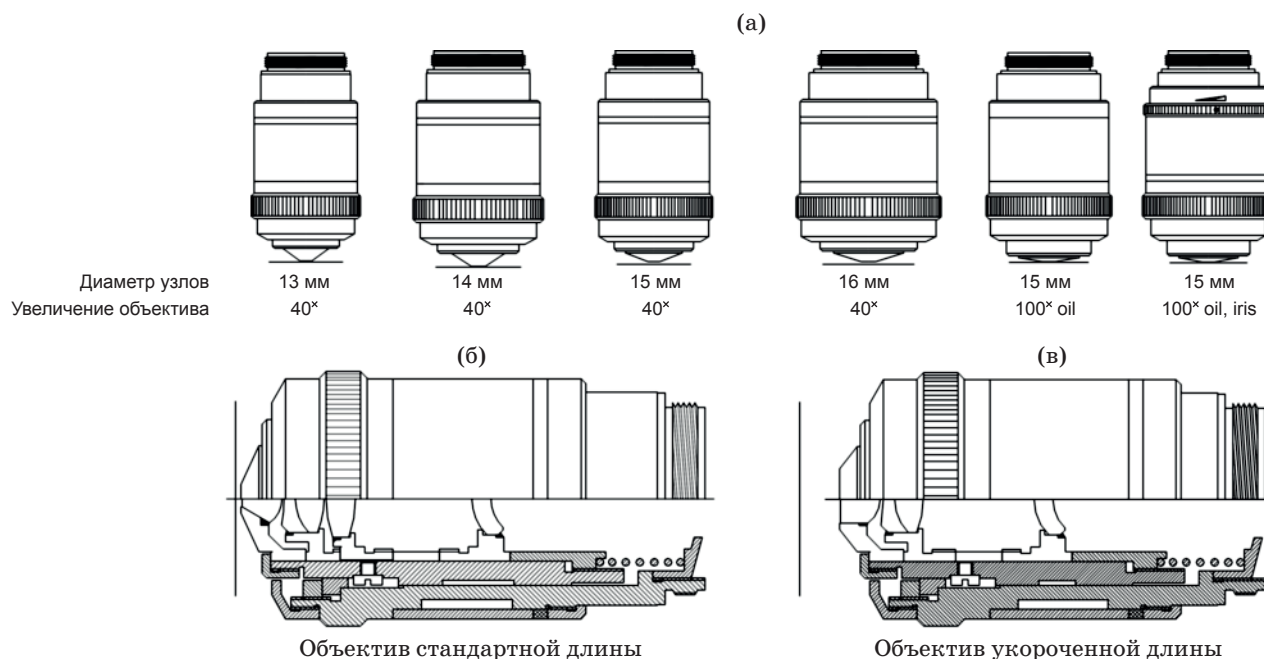


Рис. 2. Варианты унифицированных модификаций базовой конструкции.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели унификации

Перечень показателей	“Старая” конструкция	“Новая” конструкция	
	Средн. значение для каждого МО (650 шт)	Модифиц. ряды МО (6 шт)	Внутриряд. униф. МО (370 шт)
Кол-во оригинальных деталей	100%	90%	10%–1%
K_{np} (изделия) [коэф. применяемости]	1%	12%	64%–100%
K_{np} (техн. оснастки) [коэф. применяемости]	1%	12%	90%–100%
Временные затраты на разработку конструкции	100%	120%	30%–20%
Временные затраты на разработку техн. оснастки	100%	80%	20%–5%

представлены технико-экономические показатели не унифицированных (старых) и унифицированных МО на основе базовой конструкции. Уровень унификации конструкций МО и оснастки определяется коэффициентом применяемости $K_{np} = (n - n_0)/n \cdot 100\%$, где n_0 – количество типоразмеров оригинальных составных частей, n – общее количество типоразмеров составных частей, включая оригинальные, унифицированные, нормализованные, стандартные и покупные.

Так как унифицированные МО могут использоваться в микроскопах при различных усло-

виях работы, необходимо было предусмотреть варианты их адаптации к этим условиям. На рис. 3а–г представлены варианты конструкций МО, адаптированных к различным толщинам покровных стекол (0; 0,17; 0,5; 1,5; 2 мм), освещенности и фазово-контрастному эффекту.

Другим аспектом адаптации является использование унифицированной конструкции МО в микроскопах с различной длиной тубуса, рис. 3д, 3е. Например, базовый объектив, рассчитанный на бесконечную длину тубуса (при использовании дополнительной системы с фокусом 160 мм) требуется адаптировать к ис-

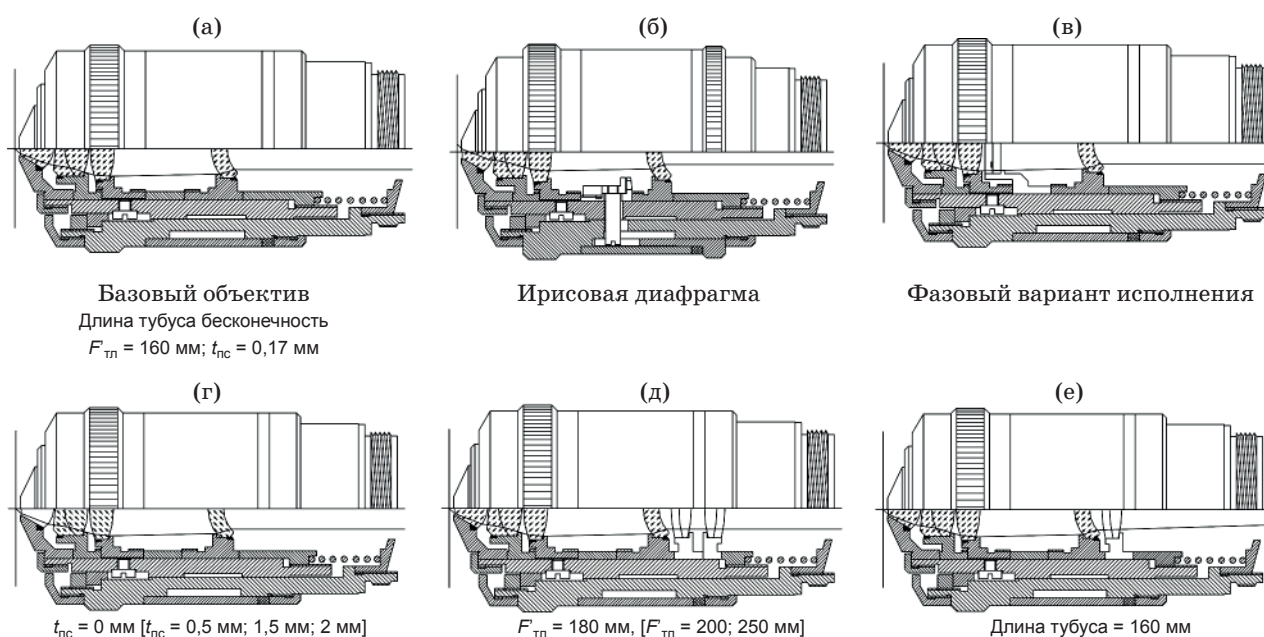


Рис. 3. Адаптация унифицированной конструкции к различным условиям наблюдения и параметрам тубуса.

пользованию в микроскопе с конечной длиной тубуса 160 мм. В этом случае конструкция МО может быть дополнена узлом с собственным фокусным расстоянием $F' = 160$ мм. Если требуется тот же объектив адаптировать к микроскопу, в котором используется система с фокусом 180, 200 или 250 мм, конструкция объектива может быть оснащена дополнительным узлом.

При разработке объективов использовали метод группового проектирования, при котором заранее предусматриваются все возможные вариации исполнения МО с унификацией и заимствованием как внутри группы (линейки) объективов, на которые они были разбиты, так и межгрупповой унификации. В табл. 2 представлены результаты унификации “механической” части конструкции МО различных оптических схем и характеристик.

3. Технологические аспекты создания унифицированной конструкции микрообъективов

Благодаря базовому методу унификации конструкций МО удалось получить достаточно большое количество различных вариантов из ограниченного числа типоразмеров деталей (т. е. унифицированных по конфигурации, размерам и форме). Это существенно повышает технологические показатели МО не только благодаря уменьшению количества оригинальных деталей, но и путем использования групповой

технологии их производства, уменьшения количества оснастки и мерительного инструмента. Для повышения производительности сборки МО в конструкции была предусмотрена возможность автоматизации некоторых процессов его сборки и юстировки. Рассмотрим эти возможности на примере элемента сборочного чертежа базовой конструкции МО (рис. 4).

Как видно из чертежа, крепление оптических компонентов (линз и склеек) в оправках унифицированной конструкции осуществляется методом приклеивания. Этот метод имеет ряд преимуществ перед завальцовкой компонентов в оправы [2], обладает большей возможностью повышения производительности, особенно в связи с появлением фотополимеризующихся (под действием УФ-излучения в течение 10–15 с) клеев и автоматизированных клеяющих станций с возможностью центрировки оптических компонентов [7]. Сборка внутренних узлов в общую оправу (стакан) может осуществляться как вручную, так и роботом с передней (с “носика”) или с задней ее части. Для компенсации влияния децентрировок компонентов на aberrации (кому) при неавтоматизированной сборке предусмотрена возможность радиального сдвига узла 1 через отверстия в стакане 15. При автоматизированной сборке каждый внутренний узел устанавливается роботом с разворотом (вокруг внутренней базовой оси стакана) на определенные углы, значения которых рассчитывают по математическим мо-

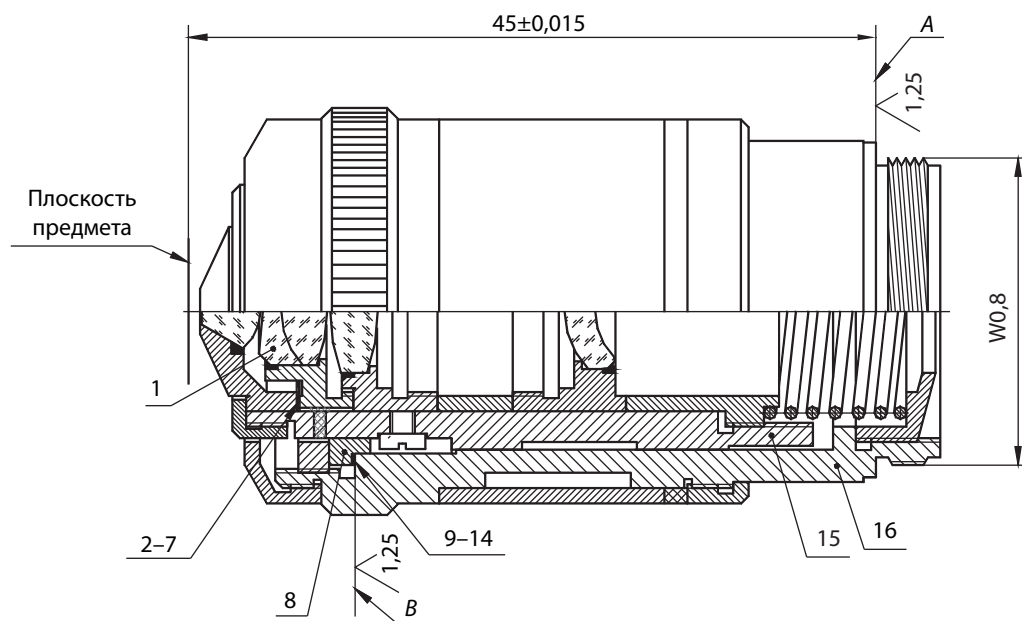


Рис. 4. Фрагмент сборочного чертежа базового микрообъектива.

Таблица 2. Применяемость деталей в конструкции МО различных оптических расчетов

Шифр объектива	№	Общ/опр	корпус	кольцо п/грав	фтор. кольцо	эбонит. кольцо	промеж. кольцо	гравир. кольцо	винт	кольцо с пазом	цветное кольцо	гайка	гайка торец	зажим. гайка	пруж.	бленда	палец	диафр. в сборе
		∅																
		1																
ОСХ-40-0 (0.17) 40/0.65 (б/и)	1	1 (∅13)	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	—	—
ПП-ОПА-100Б-0 100/0.95	2	2 (∅14)	2	2	2	—	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	—	—
ОСХ-100-0-1 100/1.25 ми (б/и)	3	3 (∅15)	3	2	—	3	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	—	—
ОФ-40Л-0 40/0.85	4	4 (∅16)	4	3	4	—	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	—	—
ОФ-20Л-0 20/0.70	7	4	4	4	4	—	—	4	1	4	4*	4	4	4*		7	—	—
ОФ-100-0-1 100/1.30 ми (б/и)	8	3	3	3	—	3	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	—	—
ОФ-100Л-0-1-И 100/1.30 ми (ир)	9	3*	3*	3	—	3	—	3	1	3	3	3	3	3	1	1	9	9
ОФ-100Л-0-2 100/1.20 ви (б/и)	10	3	3	3	10	—	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	—	—
ОСХ-10-0 10/0.25 (б/и)	11	4**	4**	2	2	—	—	2	—	—	11	11	4	1	—	7	—	—
ОСХ-20Б-0 (d = 0) 20/0.45 (б/и)	12	4	4	4	4	—	4**	4	1	4	4*	4	4	4	1	14	—	—
ОСХ-20Б-0-И (d = 0) 20/0.45 (ирис)	13	4*	4*	4	4 13	—	—	13	1	4	4*	4	4	4	1	13	3	17
ОСХ-20-0 (0.17) 20/0.45 (б/и)	14	4	4	4	4	—	4**	4	1	4	4*	4	4	4	1	14	—	—
ОСХ-20-0-И (0.17) 20/0.45 (ирис)	15	4*	4*	4	4 15	—	—	15	1	4	4*	4	4	4	1	12	3	15
ОСХ-40ЛБ-0-2 40/0.75 ви	16	1	1	1	1	16	1	1	1	1	1	1	1	1	—	1	—	—
ОСХ-40Б-0 (d=0) 40/0.65 (б/и)	17	1	1	1	1	—	1**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—
ОСХ-40-0 (0.5) 40/0.65 (б/и)	18	1	1	1	1	—	1**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—
ОСХ-100-0-1И 100/1.25 ми (ир)	19	3*	3*	3	—	3	—	3	1	3	3	3	3	3	1	3		9

Принятые обозначения:

- 4 — Деталь применяется в первый раз
- 4 — Деталь заимствуется
- 4* — Деталь заимствуется с незначительной доработкой
- 4** — Деталь подобная по размерам, но отличная по габариту
- 4, 13 — Применяются две детали (новая деталь и деталь из комплекта 1–4)

– Для сокращения размеров таблицы приведены данные относительно четырех базовых объективов (базовая линейка состоит из шести МО: 1 – ∅13, 2 – ∅14, 3 – ∅15, 4 – ∅16, 5 – ∅17, 6 – ∅18).

– Во второй части таблицы приведен неполный перечень унифицированных МО.

делям виртуальной сборки [8, 9]. Для компенсации сферической аберрации МО предусмотрено коррекционное прокладное кольцо (поз. 2–7), толщину которого при автоматизированном процессе рассчитывают заранее на основе виртуальной сборки.

Высота МО при автоматизированной сборке обеспечивается подбором специального дистанционного прокладного кольца (поз. 9–14), значение толщины которого также рассчитывают заранее. При сборке “ручным” способом высота МО достигается подрезкой торца *B* кольца с пазом 8, после измерения реальной высоты объектива.

Расположение эквивалентной узловой точки МО на базовой механической оси (оси резьбы корпуса 16, перпендикулярной опорному торцу *A*) осуществляют (при ослабленном креплении кольца с пазом 8) разворотом собранного цилиндра 15 в корпусе 16, благодаря наличию эксцентриситета у этих деталей. Как исключение, необходимое расположение эквивалентной узловой точки (называемое на практике “центровкой оптической и механической осей” МО) может быть достигнуто подрезкой торца *A* на специальном станке [2].

Более подробно с концепцией линии автоматизированной сборки унифицированных МО можно ознакомиться в работе [8].

Заключение

Созданная базовая конструкция механической части линзового МО и комплект его унифицированных рядов позволяют:

- значительно сократить сроки проектирования МО;
- снизить номенклатуру деталей и уменьшить затраты на их производство при обеспечении потребностей в различных модификациях МО;
- вывести на уровень международных стандартов технические характеристики и дизайнерские показатели МО;
- заложить возможность автоматизации сборки и юстировки МО;
- продолжить работы по унификации конструкций МО других типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Л.Н., Панов В.А. Оптика микроскопов. Расчет и проектирование. Л.: Машиностроение, 1976. 430 с.
2. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб.: Политехника, 2007. 587 с.
3. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1983.
4. Скворцов Г.Е. и др. Микроскопы. Машиностроение, 1969.
5. Панов В.А., Кругер М.Я. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980. 742 с.
6. Технические Условия на микрообъективы ТУ 3-3.870-83.
7. <http://www.trioptics.com> Automated Centering and Bonding Machine.
8. Латыев С.М., Смирнов А.П., Табачков А.Г., Фролов Д.Н. Концепция линии автоматизированной сборки МО на основе адаптивной селекции их компонентов // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 7. С. 79–83.