

С. М. ЛАТЫЕВ, А. Г. ТАБАЧКОВ, Д. Н. ФРОЛОВ, А. С. РЕЗНИКОВ

УНИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЛИНЗОВЫХ МИКРООБЪЕКТИВОВ

Рассматриваются принципы 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.

Введение. В настоящее время при разработке новых конструкций микрообъективов (МО) одним из основных факторов является повышение информативности оптических систем. Это достигается благодаря повышению качества создаваемого изображения путем расширения и улучшения основных оптических характеристик систем. Одновременно ведутся исследования по разработке рациональной конструкции МО и совершенствуется технология их изготовления, сборки и контроля.

Нет сомнения, что проектирование и конструирование МО должно 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“ систем МО [1, 2]. Это позволяет не только разработать более рациональную типовую конструкцию, но и эффективно использовать метод групповой технологии производства [3], а также облегчает создание автоматизированных линий сборки МО.

В настоящей статье рассмотрены аспекты унификации оптических и „механических“ частей конструкций линзовых МО.

Задачи унификации основных конструктивных параметров микрообъективов. Структура и конфигурация большинства МО сложилась на основе более чем двухсотлетней истории их существования и совершенствования. При расчете оптических схем МО используются базовые оптические элементы, обладающие необходимыми свойствами для обеспечения оптимальных показателей качества изображения. Вместе с тем в течение долгого времени „механическая“ часть конструкции каждого МО разрабатывалась отдельно и фактически создавалась заново. При этом недостаточно использовались известные решения, не проводилась активная унификация отдельных деталей и узлов, не разрабатывались базовые конструкции тех или иных видов МО, на основе которых можно было бы создать унифицированные их ряды.

Отсутствие унификации не только увеличивает сроки и затраты на проектирование, но и приводит к расширению номенклатуры деталей, оснастки, мерительного инструмента, обуславливает необходимость переналадки технологического оборудования и затрудняет автоматизацию производственного процесса изготовления и особенно сборки МО.

Несмотря на то, что в России достаточно давно ведутся работы по унификации оптических и „механических“ характеристик МО [1, 4—6], до настоящего времени производятся объективы, соответствующие разным стандартам и нормам.

Анализ ряда типовых конструкций как отечественных, так и зарубежных микрообъективов выявил следующие особенности:

— значения высот МО 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 абберационной коррекции, что вынуждает применять разные коррекционные окуляры;
- наличие различных конструктивных параметров присоединительной резьбы не позволяет применять МО на одном револьверном устройстве;
- значения линейных увеличений существующих МО иногда не отвечают рекомендованному стандартам параметрическому ряду;
- конструкции иммерсионных и безымерсионных (сухих) МО существенно различаются;
- существует множество значений тубусов МО;
- конструктивные параметры „механических“ деталей и узлов МО не унифицированы по видам, формам и размерам;
- конструкции МО недостаточно продуманы в отношении их автоматизированной сборки и юстировки.

Таким образом, не вызывает сомнений актуальность проведения 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.

При создании базовой конструкции линзового микрообъектива авторами было принято следующее решение по унификации ее *основных* параметров, характеристик и свойств:

- МО имеет бесконечную длину тубуса и независимую абберационную 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 условия использования в микроскопе дополнительной тубусной линзы (системы) с фокусным расстоянием $f'_{т.л.} = 160$ мм;
- линейные увеличения 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 составляет 0,17 мм;
- конструктивное решение „механической“ части сухих и иммерсионных МО, по возможности, должно быть одинаковым;
- унифицированная конструкция МО в целом должна обладать возможностью адаптации к различным условиям работы микроскопа.

Унификация оптических конструкций. При синтезе оптических систем МО осуществляется разработка их принципиальных оптических схем, подбор необходимых оптических материалов и конструктивных параметров компонентов, определяются виды оптических покрытий и т.п. Унификация конструктивных решений при этом может быть основана на использовании и композиции некоторых базовых оптических компонентов с заранее известными свойствами и абберациями для определения оптимальных характеристик и показателей качества изображения, формируемого проектируемым МО. К таким компонентам можно отнести одиночные мениски, положительные одиночные линзы и склейки, используемые в „средней“ части оптической схемы.

В качестве примера рассмотрим модель унифицированной оптической конструкции (рис. 1) стигмахромата (отечественный шифр ОСХ) [7]. Эта конструкция используется как базовая в ряде изготавливаемых в настоящее время МО, имеющих различные линейные увеличения и апертуры. Конструкция содержит две части, первая из которых включает

n фронтальных одиночных линз 1 и склейку 2 (из двух линз), а вторая часть состоит из одиночной положительной линзы 3 и мениска 4; на варьируемом расстоянии L от мениска расположена материальная диафрагма для оптимизации параметров астигматизма (в предельном случае ее роль может выполнять механический торец объектива). Благодаря использованию данного решения были получены варианты ахроматических МО с различным количеством фронтальных компонентов ($n = 0 \dots 3$), обеспечивающих разные увеличения и числовые апертуры A_n : 0,1 (при $n=0$); 0,25 и 0,4 (при $n=1$); 0,6—0,65 (при $n=2$); 1,25—1,30 (при $n=3$). Количество необходимых фронтальных линз при этом может быть определено из следующего соотношения: $n = (f'_2 / f'_{об}) - 1$, где f'_2 и $f'_{об}$ — приведенные фокусные расстояния второй части и МО в целом.

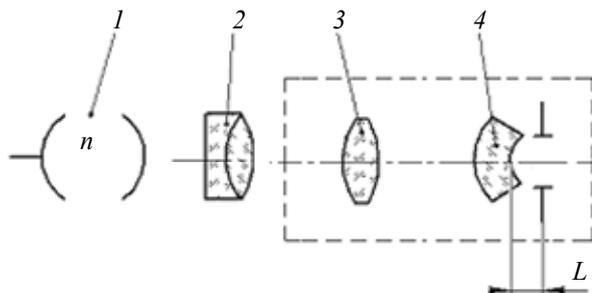


Рис. 1

Унификация механических конструкций. Базовой унифицированной 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, авторами была разработана структура и конфигурация (модель) базовой механической конструкции МО (рис. 2).

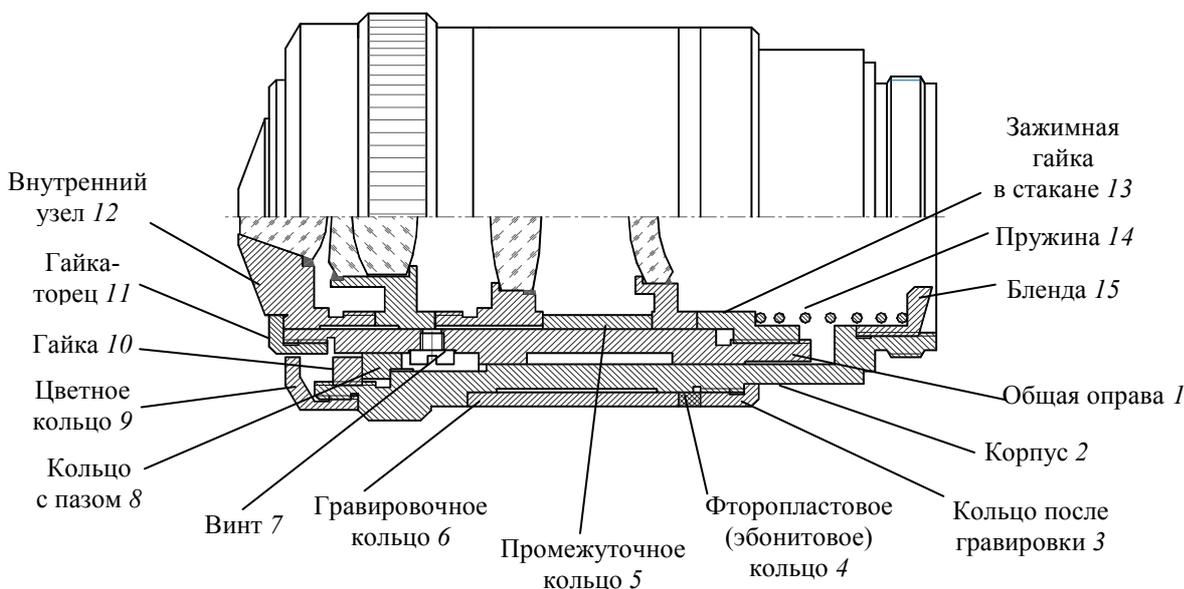


Рис. 2

Отличительной особенностью этой конструкции является то, что все оправы оптических элементов (внутренние узлы) 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 модификациях. Модифицированные ряды МО в основном отличаются диаметрами и продольными размерами узлов и деталей, для которых установлено ограниченное число их типоразмеров.

После изготовления и испытаний опытных образцов МО унифицированной конструкции были уточнены оптимальные продольные размеры и диаметры МО, которые были установлены одинаковыми для соответствующих групп.

На рис. 3, *а* представлены варианты унифицированных модификаций базовой конструкции МО, имеющих различные диаметры и увеличения, но одинаковые продольные размеры, а на рис. 3, *б, в* — варианты внутрирядовой модификации (различия имеются только по длине корпуса и стакана).

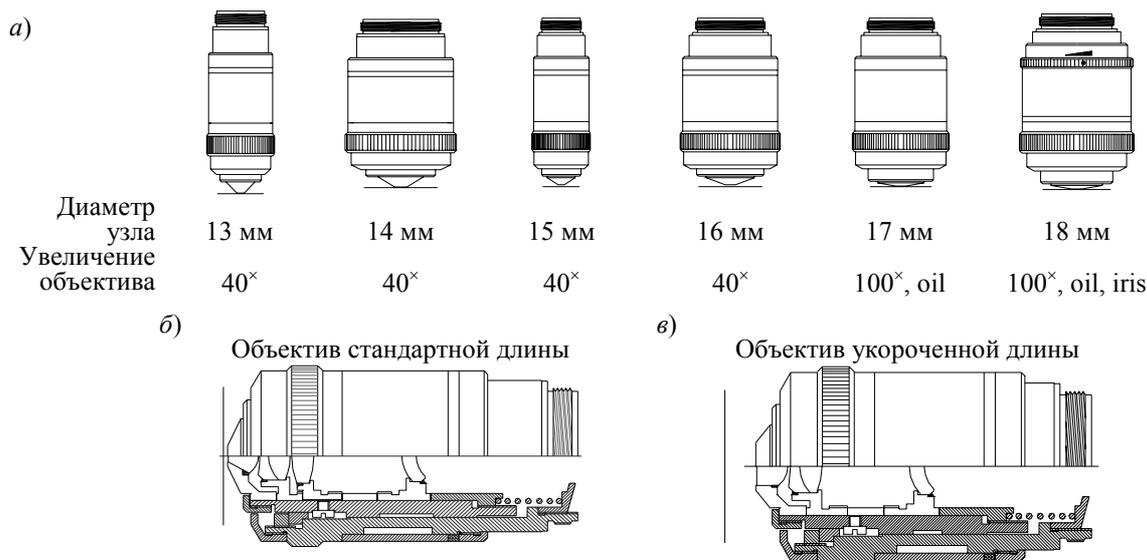


Рис. 3

Использование разработанной унифицированной конструкции позволило уменьшить номенклатуру деталей и создать оптимальную линейку из шести модифицированных рядов, каждый из которых содержит большое количество конкретных унифицированных элементов.

В табл. 1 представлены технико-экономические показатели не унифицированных (прежних) и унифицированных микробъективов, разработанных на основе базовой конструкции.

Таблица 1

Показатель	Прежняя конструкция	Новая конструкция	
	Среднее значение для каждого МО (650 шт)	Модифицированные ряды МО (6 шт)	Внутрирядная унификация МО (370 шт)
Количество оригинальных деталей, %	100	90	10—1
Коэффициент применяемости, %:			
	изделия	1	12
технической оснастки	1	12	90—100
Временные затраты, %:			
	на разработку конструкции	100	120
на разработку технической оснастки	100	80	20—5

Уровень унификации конструкций МО и оснастки определяется коэффициентом применяемости $K = \frac{N_{\Sigma} - N}{N_{\Sigma}} \cdot 100\%$, где N — количество типоразмеров оригинальных составных

деталей, N_{Σ} — общее количество типоразмеров составных деталей, включая оригинальные, унифицированные, нормализованные, стандартные и покупные.

Унифицированные МО могут быть использованы в микроскопах при различных вариантах работы, поэтому необходимо было также предусмотреть возможность их адаптации к различным условиям. На рис. 4, *a—г* представлены варианты конструкций МО, адаптированных к разным толщинам покровных стекол ($t_{п.с} = 0; 0,17; 0,5; 1,5; 2$ мм) и значениям освещенности, а также к фазово-контрастному эффекту.

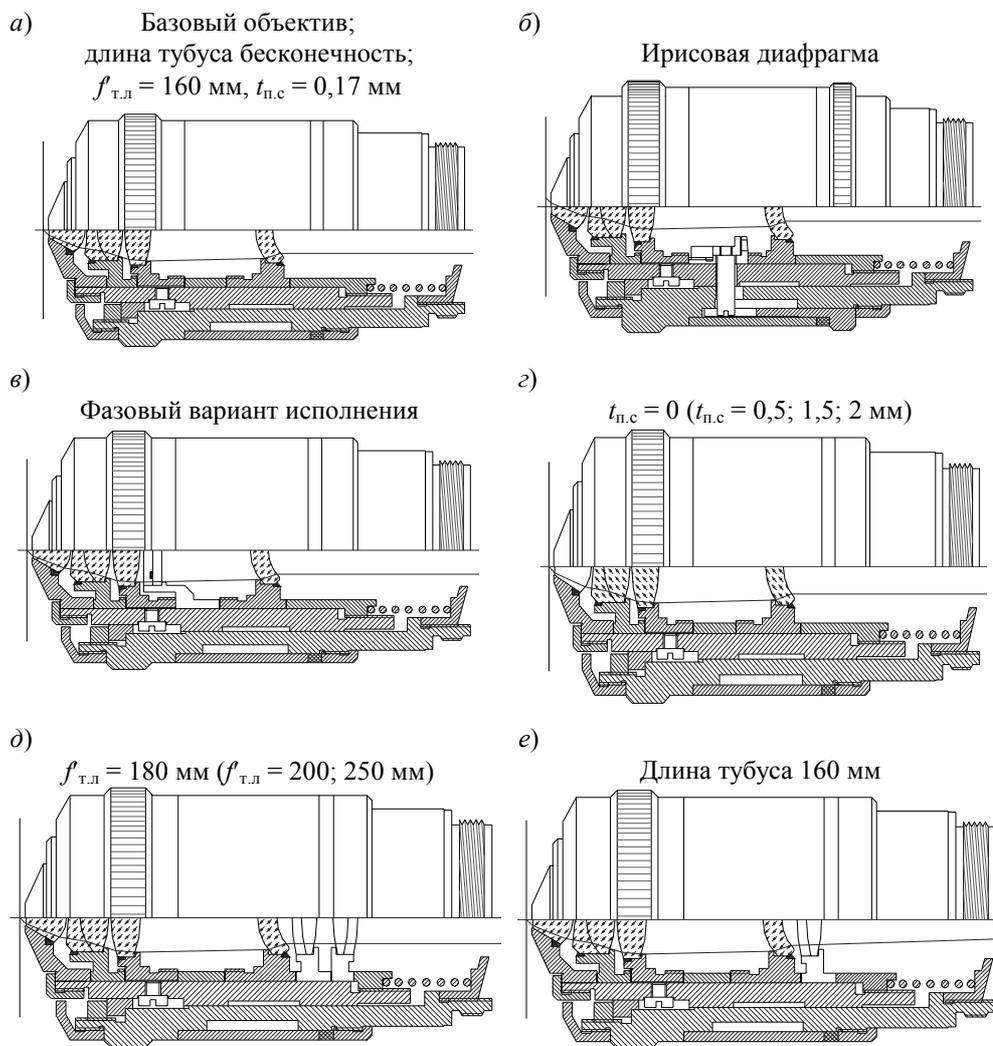


Рис. 4

Другим вариантом адаптации является использование унифицированной конструкции МО в микроскопах с различной длиной тубуса (рис. 4, *д, е*). Например, базовый объектив, рассчитанный на бесконечную длину тубуса (при наличии дополнительной системы с $f' = 160$ мм), требуется адаптировать к использованию 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 дополнительная система с фокусным расстоянием 180, 200 или 250 мм, конструкция объектива может быть оснащена другими узлами.

При разработке объективов использовался метод группового проектирования, при котором заранее предусматривались все возможные вариации исполнения унифицированной конструкции МО с заимствованием элементов как внутри группы (линейки) объективов, на которые они были разбиты, так и межгрупповой унификации. В табл. 2 представлены резуль-

таты унификации „механической“ части конструкции МО, имеющих различные оптические схемы и характеристики.

Таблица 2

Шифр объектива	Деталь (в соответствии с обозначениями, принятыми на рис. 2)															Палец	Диафрагма в сборе
	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15		
ОСХ-40-0 (0.17) 40/0.65 (б/и)	1 (Ø13)	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	—	—
ШП-ОПА-100Б-0 100/0.95	2 (Ø14)	2	2	2	—	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	—	—
ОСХ-100-0-1 100/1.25 ми (б/и)	3 (Ø15)	3	2	—	3	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	—	—
ОФ-40Л-0 40/0.85	4 (Ø16)	4	3	4	—	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	—	—
ОФ-20Л-0 20/0.70	4	4	4	4	—	—	4	1	4	4*	4	4	4*	—	7	—	—
ОФ-100-0-1 100/1.30 ми (б/и)	3	3	3	—	3	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	—	—
ОФ-100Л-0-1-И 100/1.30 ми (ир)	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)	3	3	3	10	—	3	3	1	3	3	3	3	3	1	1	—	—
ОСХ-10-0 10/0.25 (б/и)	4**	4**	2	2	—	—	2	—	—	11	11	4	1	—	7	—	—
ОСХ-20Б-0 (d=0) 20/0.45 (б/и)	4	4	4	4	—	4**	4	1	4	4*	4	4	4	1	14	—	—
ОСХ-20Б-0-И (d=0) 20/0.45 (ирис)	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)	4	4	4	4	—	4**	4	1	4	4*	4	4	4	1	14	—	—
ОСХ-20-0-И (0.17) 20/0.45 (ирис)	4*	4*	4	4 15	—	—	15	1	4	4*	4	4	4	1	12	3	15
ОСХ-40ЛБ-0-2 40/0.75 ви	1	1	1	1	16	1	1	1	1	1	1	1	1	—	1	—	—
ОСХ-40Б-0 (d=0) 40/0.65 (б/и)	1	1	1	1	—	1**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—
ОСХ-40-0 (0.5) 40/0.65 (б/и)	1	1	1	1	—	1**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—
ОСХ-100-0-1И 100/1.25 ми (ир)	3*	3*	3	—	3	—	3	1	3	3	3	3	3	1	3	11**	9

Принятые обозначения:

- 4 — деталь применяется в первый раз;
- 4 — деталь заимствуется;
- 4* — деталь заимствуется с незначительной доработкой;
- 4** — детали, подобные по диаметрам, но отличные по габариту;
- 4 13 — применяются две детали (новая деталь и деталь из ряда 1—4)

Для сокращения размеров таблицы приведены данные относительно четырех базовых объективов (базовая линейка состоит из шести МО: 1 — Ø13, 2 — Ø14, 3 — Ø15, 4 — Ø16, 5 — Ø17, 6 — Ø18).

Технологические аспекты создания унифицированной конструкции микробъективов. Благодаря базовому методу унификации конструкций МО удалось создать достаточно большое количество различных их вариантов при ограниченном числе типоразмеров деталей (т.е. унифицированных по конфигурации, размерам и форме). Это позволило существенно повысить технологические показатели МО благодаря не только уменьшению количества оригинальных деталей, но и использованию групповой технологии производства, уменьшению количества оснастки и мерительного инструмента. Для повышения производительности сборки МО в базовой конструкции была предусмотрена возможность автоматизации некоторых процессов сборки и юстировки. Рассмотрим эти возможности на примере фрагмента сборочного чертежа базовой конструкции МО (рис. 5).

Как видно из чертежа, крепление оптических компонентов (линз и склеек) в оправках (внутренние узлы) унифицированной конструкции осуществляется методом приклеивания. Этот метод имеет ряд преимуществ по сравнению с завальцовкой компонентов в оправы [2] и позволяет повысить производительность сборки особенно в связи с появлением фотополимеризирующихся (под действием УФ-излучения в течение 10—15 с) клеев и автоматизированных станций, осуществляющих вклейку с возможностью центрировки оптических компонентов [8].

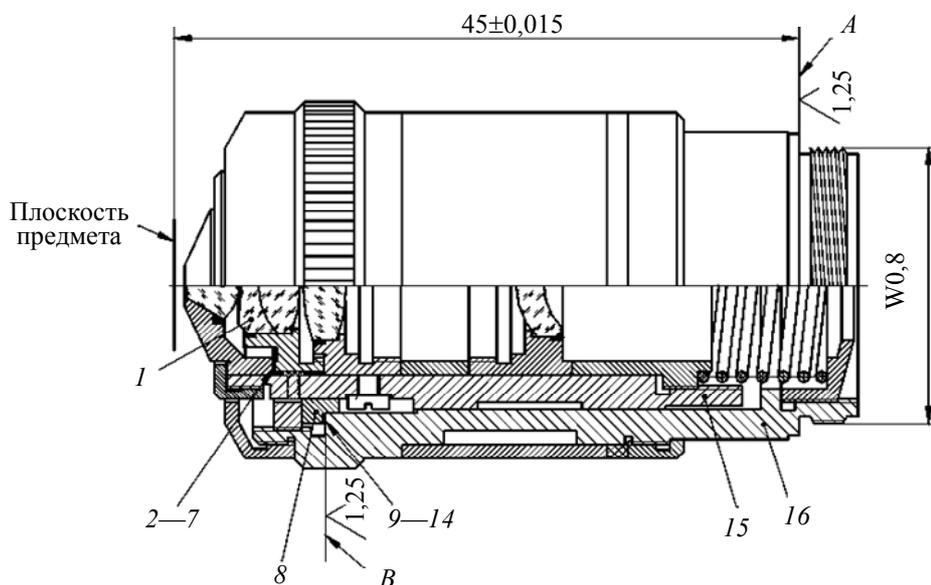


Рис. 5

Сборка внутренних узлов в общую оправу (стакан) 15 может осуществляться как вручную, так и роботом с передней (с „носика“) или 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 рассчитываются по математическим моделям виртуальной сборки [9].

Для компенсации сферической aberrации МО предусмотрено коррекционное прокладное кольцо (из набора 2—7), толщина которого при автоматизированном процессе рассчитывается заранее на основе виртуальной сборки.

Высота МО при автоматизированной сборке обеспечивается подбором специального дистанционного прокладного кольца (из набора 9—14), толщина которого также рассчитывается заранее. При сборке „ручным“ способом высота МО достигается подрезкой торца В кольца с пазом 8 после замера реальной высоты объектива.

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

Более подробно с концепцией линии автоматизированной сборки унифицированных МО можно ознакомиться в работе [10].

Заключение. Унификация оптических и механических конструкций МО позволяет:

- значительно сократить сроки проектирования МО;
- уменьшить номенклатуру деталей и снизить затраты на их производство;

— вывести на уровень международных стандартов технические характеристики и дизайнские показатели МО;

— создать условия для автоматизации сборки и юстировки МО.

Представляется целесообразным продолжить работы по унификации конструкций эпи-объективов, зеркальных и зеркально-линзовых микрообъективов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Л. Н., Панов В. А. Оптика микроскопов. Расчет и проектирование. Л.: Машиностроение, 1976.
2. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб: Политехника, 2007.
3. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Л.: Машиностроение, 1983.
4. Скворцов Г. Е. и др. Микроскопы. Л.: Машиностроение, 1969.
5. Панов В. А., Кругер М. Я. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980.
6. Технические условия на микрообъективы (ТУ 3-3.870-83).
7. Фролов Д. Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов // Оптич. журн. 2002. № 9.
8. Automated Centering and Bonding Machine [Электронный ресурс]: <<http://www.trioptics.com>>.
9. Смирнов А. П. и др. Обеспечение целевых показателей качества при автоматизации сборки микрообъективов // Оптич. журн. 2010. № 1.
10. Латыев С. М., Смирнов А. П., Табачков А. Г., Фролов Д. Н., Шухат Р. В. Проект линии автоматизированной сборки микрообъективов // Наст. выпуск. С. 7—13.

Сведения об авторах

- Святослав Михайлович Латыев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; зав. кафедрой; E-mail: smlatyev@yandex.ru
- Алексей Геннадьевич Табачков** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: aletlab@yandex.ru
- Дмитрий Николаевич Фролов** — канд. техн. наук; фирма „Фокус“, Санкт-Петербург; E-mail: fronda@list.ru
- Анатолий Сергеевич Резников** — студент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов

Рекомендована кафедрой
компьютеризации и проектирования
оптических приборов

Поступила в редакцию
26.04.11 г.