

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШИРОКОПОЛЬНЫХ МИКРООБЪЕКТИВОВ

Арасланов Д.Ю., Табачков А.Г.

*«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО), Кронверкский пр., д. 49, г. СПб., РФ, 197101, [dimas\\_araslanov@mail.ru](mailto:dimas_araslanov@mail.ru)*

В настоящее время новые микрообъективы с широким полем зрения выпускаются с увеличенными габаритными параметрами (такими, как диаметр посадочной резьбы или высота объектива). Данное обстоятельство не позволяет использовать их на существующих микроскопах. Предложенный в статье конструкторский подход дает возможность спроектировать новые объективы, сохраняя существующую резьбу и высоту. Таким образом, позволяет использовать новые микрообъективы на существующих микроскопах без модернизации последних. В статье изложены основные направления в развитии объективостроения, даны понятия план-объективов и супер-планов. Дан сравнительный анализ существующих и новых микрообъективов. Также в статье описаны проблемы, с которыми сталкиваются разработчики, при проектировании современных микрообъективов и приведены пути их решения.

Ключевые слова: план-объектив, широкопольный микрообъектив, апертура, высота микрообъектива, поле зрения.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT DESIGN OF WIDE-FIELD MICROSCOPE OBJECTIVES

Araslanov D., Tabachkov A.

*ITMO UNIVERSITY, 49 Kronverkski Pr., St. Petersburg, 197101, [dimas\\_araslanov@mail.ru](mailto:dimas_araslanov@mail.ru)*

Currently, the new micro lenses with a wide field of view available with increased dimensional parameters (such as the diameter of the thread or the landing height of the lens). This fact does not allow using them in existing microscopes. The proposed design approach provides the opportunity to construct new lenses, while maintaining the existing thread and height. Thus, it enables using new micro objectives in existing microscopes without upgrading the latter. The article describes the main trends in the development of lens-constructing, the concept of a plan lenses and super-plans is given also. It describes a comparative analysis of the existing and new microscope objectives as well. The article also describes and provides solutions of the problems faced by developers during designing modern microscope objectives.

Keywords: plan-lens, wide-field microscope objective, aperture micro lens height, field of view.

За последнюю четверть века ряд передовых оптических фирм, таких как CarlZeiss, Olympus, Nikon и другие, освоило промышленный выпуск микрообъективов (м/о) с плоской поверхностью изображения. Такие объективы принято называть план-объективами.

У обычных м/о аберрации исправляются только в центре поля зрения. Поэтому они имеют небольшую площадку с плоским полем. Основным преимуществом план-объективов, по сравнению с обычными ахроматами и апохроматами, является исправление кривизны изображения на большей площади, т.е. практически по всему полю зрения [5].

Данное обстоятельство требует более тщательной коррекции полевых аберраций и прежде всего кривизны поверхности изображения. Это ведет к усложнению оптической схемы, увеличению числа линз и использованию особых марок стекла.

Первые объективы с исправленной кривизной были рассчитаны Богегольдом в 1938 г. Во время второй мировой войны (1939–1945) работы по разработке были приостановлены, наиболее интенсивно они стали проводиться с 60-х годов, когда появились новые марки стекол (линз из флюорита и марок стекол с особым ходом частных относительных дисперсий, таких как Ф4, СТК9 и др.). Также была разработана методика расчета таких микрообъективов и программы для автоматизированной коррекции аберраций. За этот период передовые фирмы выпустили на рынок комплекты план-объективов с ахроматической коррекцией, а затем и с апохроматической [4].

План-объективы являются наиболее перспективными, так как они, обладая свойствами апохроматов, имеют более плоское поле зрения и поэтому, кроме проведения высококачественных визуальных исследований, пригодны для микрофотографии, в том числе и цветной.

План-объективы разрабатываются на основе ахроматов и апохроматов, путем добавления в середину схемы дополнительных линзовых компонентов (рис. 1). В зависимости от состояния хроматической коррекции различают следующие типы объективов: план-монохроматы, план-ахроматы и план-апохроматы [5].

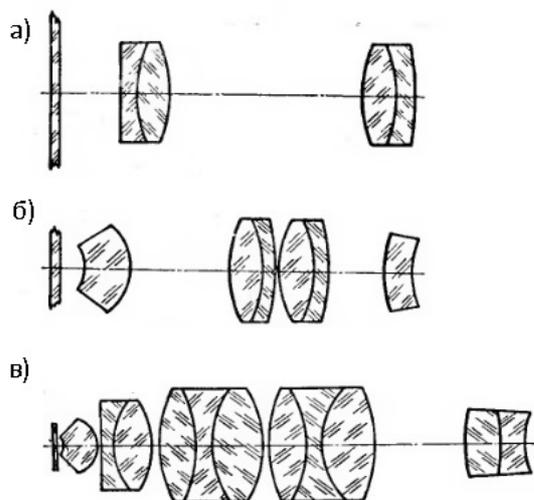


Рис. 1. Оптическая схема а) ахромата; б) апохромата;  
в) план-объектива

### Развитие микрообъективов

Первым направлением в развитии микрообъективов (м/о) является разработка объективов с более плоским полем зрения. В существующих конструкциях кривизна поля зрения исправлена только в центре или составляет  $2/3$  от размера.

У некоторых объективов фирмы «Лейц» для исправления кривизны изображения применяется шестилинзовый компенсатор, который присоединяется к высокоапертурному

апохроматическому объективу. Однако такой прием исправления кривизны чрезвычайно усложняет конструкцию, поскольку объектив содержит 13 (и более) линз [4].

Другая возможность добиться более плоского поля зрения – это увеличение количества линз в самом м/о. Однако вследствие увеличения количества линз, высоту микрообъективов приходится тоже увеличивать.

Поскольку исправление других aberrаций, над которым разработчики постоянно работают, также влечет к увеличению количества линз, был принят новый стандарт высоты м/о, все объективы нового поколения стали выпускаться с высотой 45 мм (вместо 33 мм).

Развитие оптической индустрии и выпуск новых марок стекол позволил наиболее эффективно использовать увеличение количества линз и новую высоту. Тем не менее погоня за увеличением плоскостности всего поля зрения привела к тому, что размер диаметров линз постоянно увеличивался и высота оптической схемы тоже росла. Вследствие этого линзы увеличенного диаметра сравнивались с месторасположением присоединительной резьбы. В связи с этим встал вопрос об использовании другого диаметра резьбы или о дальнейшем увеличении высоты м/о.

Вторым направлением в развитии м/о является увеличение размера самого поля зрения. У простейших м/о размер поля зрения составляет всего 12–18 мм. У широкопольных м/о данный размер достигает 20–22,5 мм. В последнее время появились разработки, у которых диаметр поля зрения достиг 25 мм. Для таких м/о ввели понятие супер-планы.

Правда с развитием прогресса нормативные рамки, в последнее время, несколько сдвинулись в большую сторону. 20–22 мм – сейчас считается нормальное поле, 25–30 мм – широкопольные, свыше 30 мм – супер-планы.

Третье (немного второстепенное) направление в развитии – это увеличение числовой апертуры м/о (таблица 1).

**Таблица 1**

Сравнение числовой апертуры у м/о

Увеличение м/о	Числовая апертура	
	Существующие м/о	Новые м/о
20x	0,40	0,70
40x	0,65	0,80
60x	0,80	0,93
100x	0,90	1,00
100x water	1,20 ви	1,30 ви
100x oil	1,25 ми	1,45 ми

Погоня за увеличением значения числовой апертуры вынуждает использовать одни из последних марок стекол и проектировать линзы с большими световыми диаметрами.

Таким образом увеличение поля зрения и апертуры м/о привело к еще большему увеличению количества компонентов и значительному увеличению диаметров линз, из которых они состоят (особенно в хвостовой его части). При увеличении диаметра линз в хвостовой части м/о возникает необходимость перехода на другие диаметры присоединительной резьбы (такие как 25, 26, 27, 30, 32 мм) или увеличение высоты м/о (наиболее распространенные варианты конструкции имеют высоту 50, 60, 90 и 120 мм).

В данной ситуации весьма актуальным является сохранение объективной резьбы ОБ4/5" (W0,8) и высоты 45 мм. Это даст возможность оснащать новыми м/о существующие микроскопы (м/с). При этом использование новых, современных м/о не повлечет модернизации существующих м/с.

### **Разработка конструкции**

При проектировании новых микрообъективов с увеличенными геометрическими параметрами линз возникла необходимость переводить присоединительные размеры на более высокие значения (переход на более большую резьбу или увеличение высоты м/о).

Целью работы было создание нового микрообъектива в старых габаритно-присоединительных рамках. Необходимо было разработать принципиально новый подход в проектировании и методике сборки м/о. В качестве примера был выбран м/о с увеличением  $20\times$ , апертурой 0,70 и размерами поля зрения 30 мм.

Для того чтобы спроектировать м/о, в корпусе у которого присутствует объективная резьба ОБ 4/5", было предложено закрепить последнюю линзу непосредственно в сам корпус м/о (рис. 2). В этом случае корпус будет служить оправой для данной линзы. Для удобства изготовления такого узла сам корпус был разделен на две составляющие. На первом этапе изготавливается сам узел последней линзы. Затем готовый узел свинчивается с корпусом. В результате получаем корпус с установленной в него линзой. Для возможности коррекции «разорванного» воздушного промежутка в конструкции установлено прокладное кольцо поз. 2.

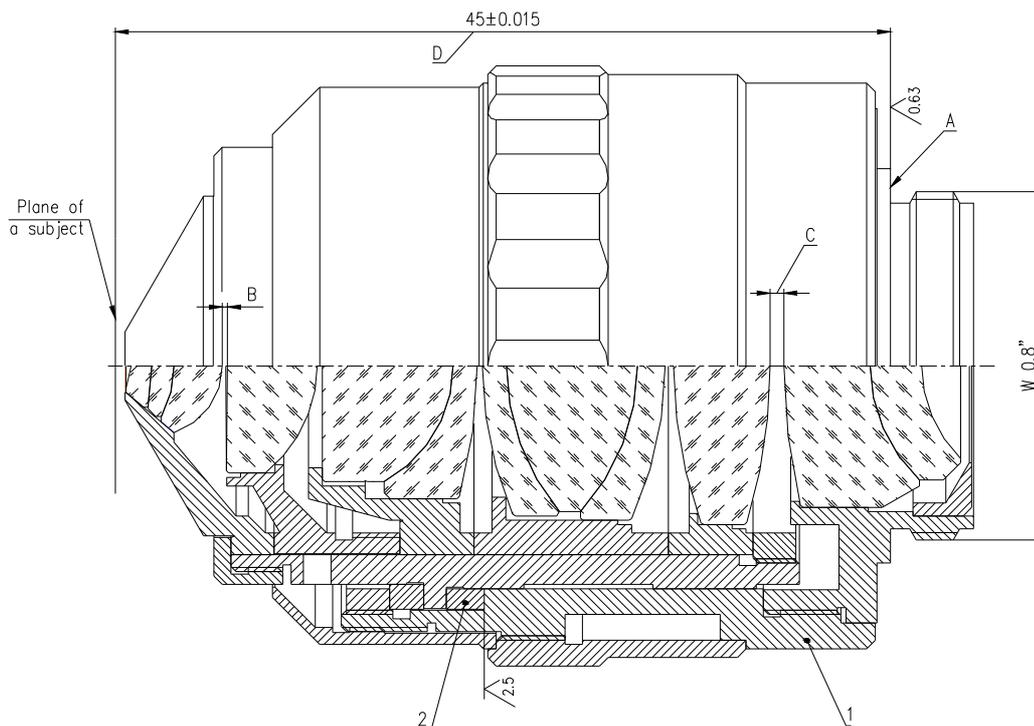


Рис. 2. Супер-план-апохромат 20x0,70

Как отмечалось раньше, при такой конструкции происходит «разрыв» оптической схемы самого м/о (поскольку последняя линза не устанавливается в общий стакан поз.1 с остальными линзами). Необходимо проверить, не повлечет ли такое изменение конструкции к ухудшению aberrаций показателей самого м/о [3].

В качестве расчетной программы была использована программа OPAL [6]. Расчет производили, исходя из критерия Марешаля для допустимого значения комы в центре поля [1,2]. После проведения необходимых расчетов и проверок на точность было выявлено, что децентрировка последнего компонента в меньшей степени влияет на aberrационное качество. Следовательно, предложенный подход в проектировании конструкции можно использовать для выбранного объектива SP Apo 20x0,70.

### Выводы

Теоретический анализ и расчеты показывают, что в рассмотренном м/о имеется возможность произвести разрыв оптической схемы и производить сборку последнего оптического компонента отдельно. В результате изменения конструкции м/о и идеологии сборки удастся спроектировать и изготовить м/о с линзами большого диаметра в хвостовой части и при этом сохранить объективную резьбу ОБ 4/5" (w0,8). Данный подход в проектировании позволяет изготавливать м/о с линзами большого диаметра и при этом сохранять объективную резьбу (не переходя на более большое значение), а также сохранять высоту объектива 45 мм. Таким образом, удастся оснащать существующие микроскопы новыми современными м/о без каких-либо модификаций и переработок самого микроскопа.

## Список литературы

1. Иванов А.Н. Проектирование узлов оптико-электронных приборов. Методические указания к выполнению курсового проекта.
2. Латыев С.М. «Конструирование точных (оптических) приборов», СПб., политехника, 2007 г., с. 553-556.
3. Латыев С.М., Смирнов А.П., Воронин А.А., Падун Б.С., Яблочников Е.И., Фролов Д.Н., Табачков А.Г., Тезка Р., Цохер П. Концепция линий автоматизированной сборки микрообъектива на основе адаптивной селекции его компонентов // Оптический журнал. 2009. Т. 76, № 7. С. 79-83.
4. Панов В.А., Андреев Л.Н. «Оптика микроскопов», с. 67-76, 106-120.
5. Справочник конструктора оптико-механических приборов / под ред. В.А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980. С. 233, 237-244, 316-320.
6. Фролов Д.Н. «Синтез оптических систем линзовых микрообъективов» // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 9. С. 252.

### Рецензенты:

Латыев С.М., д.т.н., профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург;

Мамедов Р.К., д.т.н., профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург.