

УДК 681.7.07

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МИКРООБЪЕКТИВА ДЛЯ ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ С РАЗНЫМИ ПОКРОВНЫМИ СТЕКЛАМИ

<sup>1</sup>Семёнов А.В., <sup>1</sup>Табачков А.Г., <sup>2</sup>Мухина Е.Н., <sup>1</sup>Гнездилова М.С.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург,  
e-mail: drunia147@yandex.ru, aletab@yandex.ru, mariy-94@mail.ru;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, e-mail: muhina.katerina@yandex.ru

Наличие различных методик микроскопических исследований требует разработки широкой гаммы новых микрообъективов. В настоящее время микроскопы оснащаются большим количеством разнообразных микрообъективов. Выпускаемые объективы помимо различных характеристик отличаются возможностью работы с различными покровными стеклами. Несмотря на достаточно широкое разнообразие моделей, представленных на рынке, потребность в новых микрообъективах постоянно возрастает. Эта потребность связана с тем, что наряду с появлением новых современных моделей микроскопов и микрообъективов, существует большое количество уже выпущенных приборов, находящихся в использовании. При существующей необходимости в новых микрообъективах весьма актуально не только улучшать их технические и оптические характеристики, но и унифицировать оптические схемы и механические конструкции. Работа в этих направлениях позволяет сделать объективы более универсальными и доступными для широкого круга потребителей. В статье рассмотрены варианты существующих модернизаций конструкций микрообъективов для возможной их адаптации при работе с различными покровными стеклами. Предложен принципиально новый подход в адаптации объективов, имеющих большое увеличение. Рассмотренный вариант позволяет сократить номенклатуру деталей, значительно упростить технологический процесс изготовления деталей и сборки объективов, снизить себестоимость изделия.

**Ключевые слова:** фронтальная линза, микрообъектив, унификация оптических схем, покровное стекло

## UPGRADING THE DESIGN OF MICROOBJECTIVE TO WORK WITH DIFFERENT COVER GLASSES

<sup>1</sup>Semenov A.V., <sup>1</sup>Tabachkov A.G., <sup>2</sup>Mukhina E.N., <sup>1</sup>Gnezdilova M.S.

<sup>1</sup>Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics», St. Petersburg,  
e-mail: drunia147@yandex.ru, aletab@yandex.ru, mariy-94@mail.ru;

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg,  
e-mail: muhina.katerina@yandex.ru

The existence of different microscopic research methods requires the development of wide gamma of new micro lenses. In spite of very wide variety of models represented in the market, the demand on new micro lenses constantly increases. Along with existing necessity in new micro lenses it is very important not only to improve their technical and paraxial characteristics but also to unify the optical schemes and mechanical constructions. The work in these courses gives the opportunity to make the lenses more multipurpose and accessible for a large number of consumers. The variants of existing micro lens construction modernizations for their possible adaptation in work with different coverslips are described in the article. Here was suggested a fundamentally new method of adaptation of micro lenses with better enlargement. The described variant gives a possibility to decrease the detail nomenclature, to considerably simplify the technological process of making details and constructing lenses, to reduce the prime cost of the product.

**Keywords:** front lens, objectives, unification of optical circuits, the cover glass

В настоящее время выпускается достаточно большое разнообразие моделей микрообъективов. Они имеют различные характеристики и предназначены для проведения разнообразных работ на микроскопах. Потребность в наличии широкой гаммы модельного ряда объективов связана с разнообразием методик микроскопических исследований [1, 2].

Отсутствие унификации в изготавливаемом изделии неблагоприятно сказывается на качестве конечного продукта. Расширяется номенклатура деталей и тех-

нологической оснастки, увеличивается время на разработку прибора и его изготовление, затрудняется процесс сборки и изготовления микрообъектива. Ведущие производители микрообъективов постоянно стремятся унифицировать оптические системы, что позволяет оптимизировать схемное решение.

В процессе синтеза оптической системы микрообъектива осуществляется разработка его принципиальной оптической схемы. Производят подбор наилучших оптических материалов и конструктивных

параметров компонентов и т.п. [3, с. 17]. За счет использования и композиции базовых оптических элементов, у которых заранее известны свойства и оптические aberrации, можно осуществить унификацию конструктивного решения. При этом можно достичь наиболее оптимального показателя качества изображения, которое формируется микрообъективом. К подобным компонентам можно отнести одиночные линзы и склейки, которые используются в «средней» части оптической схемы [4, 5].

В качестве примера можно рассмотреть модель унифицированной оптической схемы, представленной на рис. 1.

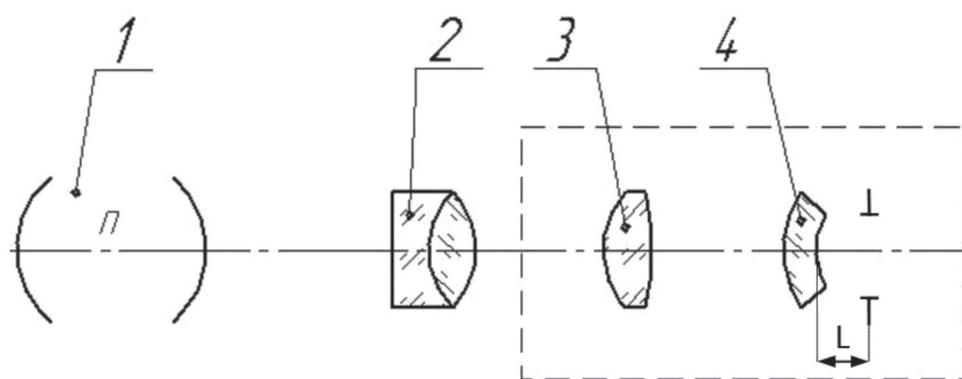


Рис. 1. Принципиальная схема унифицированного микрообъектива

Данное схемное решение используется как базовое в ряде оптических схем выпускаемых в настоящее время микрообъективов, которые имеют разные числовые апертуры и линейные увеличения [3, 4]. Данная схема содержит две основные составляющие части. Первая часть состоит из  $n$  фронтальных одиночных линз 1 и склейки 2 (чаще всего двухлинзовой). Вторая часть включает в себя положительную линзу 3 и мениск 4. Для оптимизации параметров астигматизма в схеме присутствует материальная диафрагма, которая расположена на варьируемом расстоянии  $L$  от мениска (чаще всего ее роль выполняет защитная бленда, расположенная в хвостовой части объектива). Благодаря внедрению данного схемного решения были рассчитаны и изготовлены варианты ахроматических микрообъективов. Модели данных объективов различались количеством фронтальных компонентов ( $n = 0 \dots 3$ ), что позволяло обеспечить разные числовые апертуры и увеличения. Необходимое количество фронтальных оптических компонентов при этом

можно определить из следующего соотношения:

$$n = (f'_2 / f'_{об}) - 1,$$

где  $f'_2$  и  $f'_{об}$  – приведенные фокусные расстояния второй части и микрообъектива в целом.

Особенность современных микрообъективов состоит в том, что они стандартизованы по определенным признакам (линейное поле, парфокальная высота, увеличение и др.). Таким образом, несмотря на большое разнообразие микрообъективов их можно разделить на несколько групп, в зависимости от тех или иных характеристик [6, 7]. Одним из параметров, по которому можно

стандартизировать микрообъективы – это покровное стекло, с которым они работают в составе прибора. Покровное стекло приклеивают к предметному стеклу и тем самым «консервируют» препарат (исследуемый образец), который располагается между данными стеклами. Покровное стекло выполняет несколько основных функций:

- 1) выпрямляет образец и фиксирует его положение;
- 2) предохраняет образец от пыли, контактов с руками, с иммерсионной жидкостью или объективом микроскопа;
- 3) предохраняет образец от окисления и обезвоживания.

Покровное стекло ненадлежащего качества может испортить качество изображения даже у высококачественного объектива и микроскопа в целом. Одним из основных параметров, по которому оценивается качество покровного стекла, является соответствие заданной толщине и ее постоянство по всей площади. Отклонение толщины от расчетного размера и особенно разнотолщинность данного параметра

оказывают большое влияние на разрешение микрообъектива.

В настоящее время покровные стекла выпускаются различной номинальной толщины, размер которой может достигать 2,5 мм. Также для изготовления покровных стекол используют различные материалы. Наибольшее распространение получили покровные стёкла толщиной 0,17 мм. Они применяются для исследований биологических объектов и работают в проходящем свете. В металлографических микроскопах работы проводят в отражённом свете с препаратами, не требующими защиты, поэтому покровное стекло при этих исследованиях не применяется. Принято считать, что в данном случае толщина покровного стекла равна нулю. В ультрафиолетовых микроскопах используют объективы для ультрафиолетовой области спектра, и покровные стёкла изготавливают из кварца. Толщина их равна 0,3 мм. Таким образом, получается, что для конкретного микроскопа (или исследования) необходим комплект объективов, который способен работать с покровными стеклами различной толщины (материала). Однако каждая модификация микрообъектива рассчитана на совместную работу с покровным стеклом только определенной толщины. Исключение составляют микрообъективы с малой числовой апертурой (0,25–0,3), у которых практически нет чувствительности к изменению толщины покровного стекла в пределах 0–0,2 мм.

В настоящее время разрабатываются микрообъективы, конструкции которых способны для работы с конкретным покровным стеклом. Одним из аспектов унификации оптической схемы механической части конструкции объективов является разработка такой модели, которая позволяет адаптировать базовый объектив к условиям работы с различными покровными стеклами. Некоторые производители выпускают микрообъективы, способные производить адаптацию к различной толщине покровных стекол. Данные микрообъективы имеют VAR-коррекцию по покровному стеклу. В этих объективах конструктивно заложена возможность произвести перенастройку оптической системы на различную толщину покровного стекла. Такая перенастройка осуществляется за счёт перемещения определённых узлов или группы оптических компонентов. Поэтому данные модели объективов имеют довольно сложную механическую конструкцию. Они наиболее трудоемкие в изготовлении и имеют высокую себестоимость, так как коррекционная подвижка значительно усложняет конструкцию механических узлов. В связи с этим

приведенный подход не рекомендуется использовать в конструкции микрообъективов простого и среднего класса [8, с. 453].

Фронтальный узел микрообъектива содержит фронтальную линзу, которая имеет две различные конфигурации: плоско-выпуклой и вогнуто-выпуклой линзы. При проведении анализа существующих конструкций микрообъективов были отмечены некоторые характерные особенности:

- Если фронтальная линза имеет плоско-выпуклую форму, то разница между моделями микрообъективов заключается в различии толщины фронтальной линзы (рис. 2). Также было отмечено, что при изменении толщины линзы расстояние  $D$ , в различных модификациях объективов, остается постоянным. Это обосновано тем, что покровное стекло по своей сути представляет плоскопараллельную пластину, и его показатель преломления (покровного стекла) по своему значению близок к показателю преломления фронтального компонента. Таким образом, имеется возможность варьировать толщиной фронтальной линзы путем перераспределения толщины между покровным стеклом и фронтальной линзой.

- Если линза имеет две сферические поверхности, то разные модификации микрообъективов существенно отличаются именно этим мениском (рис. 3). Это связано с тем, что в данной оптической схеме показатель преломления стекла у фронтальной линзы значительно отличается от показателя преломления покровного стекла. В процессе перерасчета схемы микрообъективов для возможной работы с другой толщиной покровного стекла приходится изменять оба радиуса кривизны и толщину линзы.

При рассмотрении микрообъективов среднего класса (имеющих увеличение в интервале 20–50<sup>x</sup>) были выявлены иные конструкции, которые позволяют адаптировать микрообъектив для работы с различными покровными стеклами. Некоторые производители выпускают конструкции со «сменными покровными стеклами». Суть данного варианта основана на перераспределении толщины между покровным стеклом и фронтальной линзой.

В конструкцию объектива заложена возможность установки дополнительных сменных оправ с различными корректорами (имитаторами) покровного стекла. Данные оправы выполнены в виде наружного колпачка, который устанавливается на корпус объектива. В результате перед фронтальной линзой размещается имитатор покровного стекла. Данных колпачков с имитаторами изготавливают несколько штук. Каждый из них имеет различную толщину имитатора.

Толщина самого толстого имитатора выбирается равной самому толстому покровному стеклу, с которым работает микрообъектив. Таким образом, при отсутствии имитатора микрообъектив предполагается использовать при работе с самым толстым покровным стеклом. При установке самого толстого имитатора объектив предназначен для работы без покровного стекла. Толщина промежуточных имитаторов выбирается из следующих соображений  $t_{\text{и}} + t_{\text{пс}} = t_{\text{и}}(\text{max}) = \text{const}$ ; где  $t_{\text{и}}$  – толщина стекла в имитаторе,  $t_{\text{пс}}$  – толщина покровного стекла.

Как указывалось, выше, данный вариант адаптации возможен только у среднего класса микрообъективов. Обусловлено это тем, что при их значениях увеличений

переднее рабочее расстояние позволяет введение дополнительных механических узлов и деталей.

Таким образом, осуществить адаптацию конструкции микрообъектива к работе с покровными стёклами разной толщины можно следующими способами:

1. Изготавливать разные фронтальные узлы, изменяя толщину фронтальной линзы.
2. Изготавливать фронтальные узлы, изменяя конструктивные параметры фронтальной линзы (другая толщина и радиусы).
3. Устанавливать на микрообъектив имитатор покровного стекла в отдельной оправе.
4. Изготавливать микрообъектив, имеющий коррекционную подвижку.

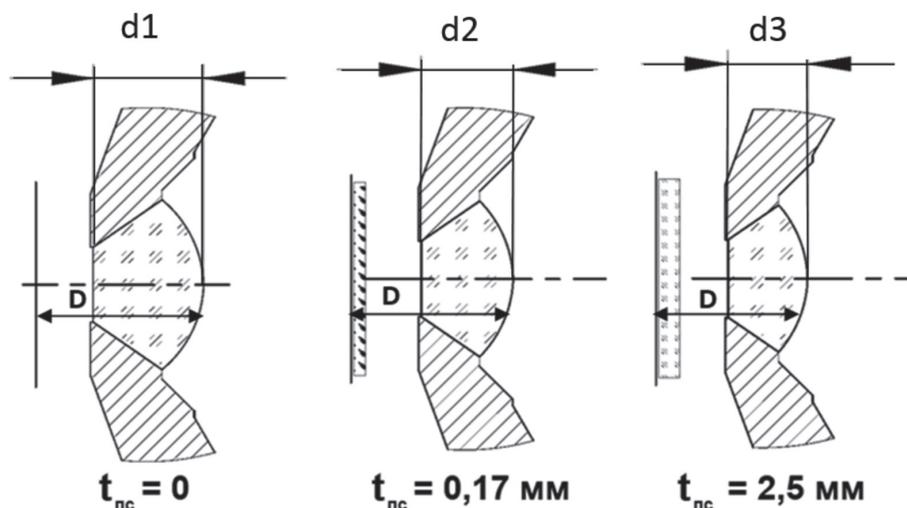


Рис. 2. Различия фронтального узла при плоско-выпуклой фронтальной линзе

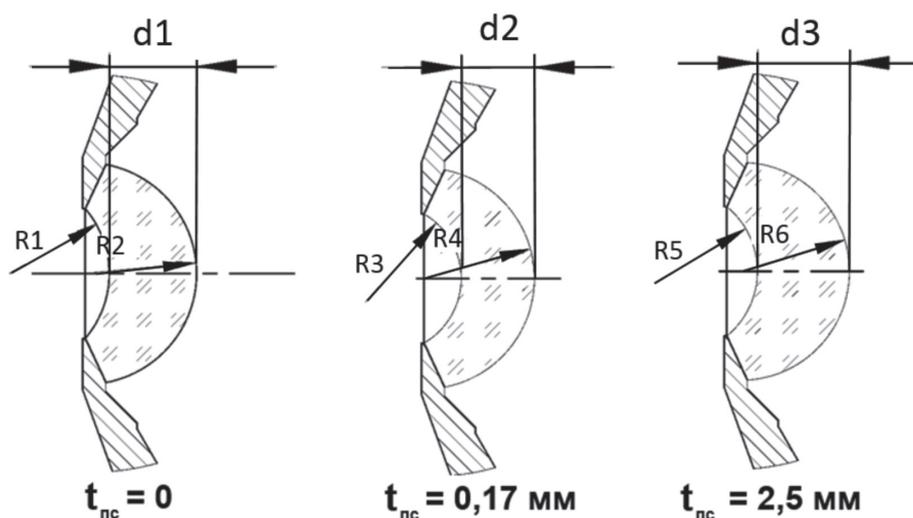


Рис. 3. Различия фронтального узла при вогнуто-выпуклой фронтальной линзе

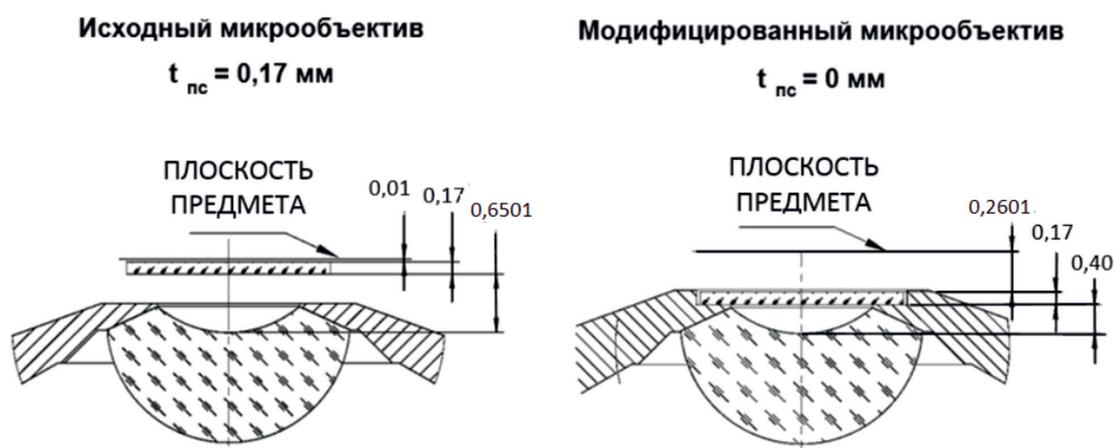


Рис. 4. Разновидности изготовления нового фронтального узла

Микрообъективы с большим увеличением и числовой апертурой имеют фронтальную линзу в форме мениска, а также маленький передний рабочий отрезок. Ввиду этого, процесс адаптации микрообъективов данного класса возможен только при помощи 2 и 4 способа (оговоренных выше). Эти способы являются самыми трудоемкими из перечисленных. Поэтому работа в данном направлении представляется наиболее актуальной.

В качестве исследуемого образца был выбран планапохроматический объектив с увеличением 100x и апертурой 0,93. Фронтальная линза этого объектива имеет форму двух сферических поверхностей. В настоящее время выпускаются две модификации данного микрообъектива. Один объектив работает с покровным стеклом 0,17, а вторая модель рассчитана на работу без покровного стекла. Разница между данными моделями заключается в различных фронтальных линзах (узлах). Довольно часто в аналогичных конструкциях объективов изменениям конструктивных параметров подвергаются также и линзы второго узла. Поэтому при производстве этих микрообъективов необходимо изготавливать две разные фронтальные линзы, оправы и два разных узла. В противном случае количество возрастает до четырех линз, оправ и узлов.

За базовую модель был выбран объектив на покровное стекло 0,17, который необходимо адаптировать для работы без покровного стекла.

В качестве решения предлагается при изготовлении второго варианта объектива приклеивать покровное стекло к фронтальной оправе, при этом параметры фронтальной линзы и второго мениска оставить без изменений. Для проверки предложенного

решения, в ходе работы были проведены оптические расчёты предложенного и исходного вариантов. В качестве программного обеспечения была использована прикладная расчетная программа OPAL. Выполненные расчёты подтвердили, что предложенные конструктивные изменения не приводят к ухудшению абберационных характеристик и технических параметров микрообъектива. Для повышения достоверности полученных результатов расчеты были выполнены повторно при помощи программы Zemax.

Для апробации теоретических выводов и расчетов были разработаны новые оптические и механические детали. В процессе работы была спроектирована новая оправка, которая позволяет на этапе изготовления фронтального узла устанавливать и закреплять одиночную линзу, а также при необходимости вклеивать покровное стекло (рис. 4).

Таким образом, появилась возможность при наличии одних и тех же деталей изготавливать два варианта фронтального узла. При последующей сборке объективов достаточно укомплектовать их соответствующим вариантом фронтального узла. После изготовления и проверки узлов они совместно с остальными узлами устанавливаются в общую оправку, которая затем устанавливается в корпус. Дальнейшее изготовление и сборка всего объектива в целом не отличается от единой комплексной методики сборки и юстировки микрообъективов.

#### Выводы

В ходе проделанной работы предложено новое конструктивное решение для адаптации микрообъектива, имеющего высокое увеличение. Была модифицирована кон-

струкция микрообъектива Планапохромат 100x0,93. Результатом модификации является уменьшение номенклатуры деталей, упрощение технологического процесса и снижение себестоимости изделия. Теоретическим и практическим путем доказана возможность данной модернизации конструкции и технологического процесса сборки.

#### Список литературы

1. Labor-Microscopes [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.labor-microscopes.ru> (дата обращения: 07.02.2018).
2. National Science Board [Электронный ресурс] // Science and Engineering Indicators 2014. Arlington VA: National Science Foundation (NSB 14-01). URL: <https://www.nsf.gov/statistics/seind14/> (дата обращения: 07.02.2018).
3. Фролов Д.Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69, № 9. – С. 16–20.
4. Табачков А.Г. Конструкторско-технологическая унификация микрообъективов с учетом автоматизации их сборки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2011. – 22 с.
5. Унификация оптических и механических конструкций линзовых микрообъективов / С.М. Латыев [и др.] // Приборостроение. – 2011. – Т. 54, №11. – С.14–21.
6. Концепция линии автоматизированной сборки микрообъектива на основе адаптивной селекции его компонентов / С.М. Латыев [и др.] // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, № 7. – С. 79–83.
7. Микроскопы / Г.Е. Скворцов, В.А. Панов, Н.И. Поляков, Л.А. Федин; под ред. канд. техн. наук Н.И. Полякова. – Л.: Машиностроение, 1969. – 512 с.
8. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов / С.М. Латыев. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.