

УДК 62-2:681.7.07

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МИКРООБЪЕКТИВА ДЛЯ АДАПТАЦИИ ЕГО РАБОТЫ НА РАЗЛИЧНЫХ МИКРОСКОПАХ

¹Семёнов А.В., ¹Табачков А.Г., ¹Дырдина В.Ю., ²Фролов Д.Н.¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург,
e-mail: drunia147@yandex.ru, aletab@yandex.ru, d.nika_9494@mail.ru;²Проект Labor-Microscopes, Санкт-Петербург, e-mail: fronda@list.ru

В настоящее время на рынке существует большое количество разнообразных объективов для микроскопов. Выпускаемые объективы обладают различными характеристиками, в том числе отличаются и длиной тубуса. Несмотря на достаточно большое разнообразие моделей, потребность в разработке новых микрообъективов постоянно возрастает. Данное обстоятельство связано с тем, что наряду с появлением новейших моделей современных микроскопов и объективов существует огромное количество уже выпущенных приборов, которые находятся в использовании. Из-за улучшения технических характеристик и изменения габаритных параметров, использование новых объективов на ранее выпущенных микроскопах не представляется возможным. Ведущие производители микрообъективов постоянно стремятся унифицировать оптические схемы и механические конструкции объективов. Данное стремление обосновано желанием уменьшить номенклатуру деталей при изготовлении различных модификаций изделия, упростить технологический процесс изготовления и сборки объективов, а также снизить себестоимость изделий. Наиболее целесообразно изготавливать объектив, предусмотрев в конструкции возможность замены некоторых его оптических компонентов для реализации выпуска различных модификаций. Предложен вариант адаптации микрообъектива для возможной работы на другом микроскопе. Рассмотрена унификация оптической схемы и возможность модернизации конструкции микрообъектива с целью адаптации его параксиальных характеристик при работе на нескольких различных микроскопах.

Ключевые слова: объективы, aberrации, унификация, модернизация, адаптация, микроскоп, юстировка, качество изображения

UPGRADING THE DESIGN OF MICROOBJECTIVE TO ADAPT HIS WORK TO DIFFERENT MICROSCOPES

¹Semenov A.V., ¹Tabachkov A.G., ¹Dyrdina V.Yu., ²Frolov D.N.¹Federal 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, d.nika_9494@mail.ru;²Project Labor-Microscopes, St. Petersburg, e-mail: fronda@list.ru

Currently there are a variety of lenses for microscopes. Manufactured lenses have different characteristics, including different long tube. Despite the fairly large variety of models, the need for new development allows the development is constantly increasing. This circumstance is due to the fact that along with the emergence of new models of microscopes and lenses, there is a huge number of already issued instruments that are in use. Due to performance and changes in overall parameters, the use of new lenses on the previously released microscope is not possible. Leading manufacturers allows the development constantly strive to standardize optical circuits and mechanical design of the lenses. This desire is justified by the desire to reduce the range of parts in the manufacture of various modifications of the product, to simplify the technological process of manufacture and Assembly of lenses and to reduce the cost of products. The most expedient to manufacture the lens, providing the possibility of replacing some of its optical components for the implementation of different modifications. Offered the option of adapting microobjective for possible work on another microscope. Considered the unification of the optical bench and the ability to upgrade the design of microobjective to adapt its paraxial characteristics when working on several different microscopes.

Keywords: objective, aberration, unification, modernization, adaptation, microscope, alignment, quality of the image

В настоящее время, в мире производится огромное разнообразие объективов для микроскопов, имеющих различные конструкции и характеристики. Существует возможность выбрать микрообъектив практически для всех поставленных задач и целей. Многочисленные производители постоянно конкурируют друг с другом, вследствие чего микрообъективы регулярно совершенствуются. С появлением и разви-

тием новых методов контроля, технологий и растущим количеством научных исследований выявляется потребность в разработке новых моделей микрообъективов, отвечающих повышенным требованиям. Общемировое число ежегодно публикуемых научных статей по данной тематике неуклонно растет: так в 1988 году во всём мире было опубликовано около 460 000 статей, в 2014 – уже 827 000 [13, 15].

В процессе улучшения выходных характеристик объективов оптические схемы постоянно модернизируются и изменяются путём увеличения количества линз и введения новых оптических компонентов [5, 7]. Основное стремление в улучшении оптической схемы направлено на увеличение числовой апертуры и поля зрения объектива. Однако такие улучшения приводят не только к увеличению количества линз и их диаметра, но и к неизбежному ухудшению контрастности изображения и потерям света, вследствие отражения. Альтернативным решением увеличенного количества линз, для улучшения характеристик объектива, является замена части сферических поверхностей на асферические. При этом следует отметить, что производство асферической оптики на многих предприятиях не рассчитано для массового (серийного) изготовления асферических деталей [9].

Возросшая потребность в новых объективах для микроскопов привела к тому, что необходимо искать новые пути для улучшения качества и снижения себестоимости оптических систем. Данную проблему можно решить путём автоматизации производства и унификации конструкций микрообъективов [2, 7]. В настоящее время исследования по этим направлениям проводятся всеми ведущими фирмами, выпускающими микрообъективы, так как унификация конструкции и автоматизация производства позволяют значительно повысить производительность труда [6, 11, 12].

При изготовлении микрообъективов одним из важнейших и трудоёмких этапов является сборка, так как для устранения имеющихся погрешностей и достижения наилучшего качества изображения требуется их юстировка. Процесс юстировки связан с многократными разборками/сборками объектива во время сборки. Поэтому для увеличения количества выпускаемых изделий предприятия пытаются автоматизировать производство на этапе сборки микрообъектива. При проектировании новых оптических приборов также серьёзное внимание уделяется повышению технологичности конструкции (как отдельных деталей и узлов, так и всего изделия в целом), так как это является важным фактором серийного производства и в дальнейшем автоматизации его этапов.

Унификация оптических схем и конструкций микрообъективов

Микроскопы предназначены для выполнения различных задач и операций, связанных с разнообразными методиками микроскопических исследований. Поэтому

существует потребность в разработке широкой гаммы микрообъективов, имеющих различные характеристики и предназначенных для решения обширного круга задач. В настоящее время разработка новых конструкций микрообъективов, инженерами-расчётчиками ведётся по пути повышения информативности создаваемого изображения. Для этого улучшаются характеристики оптических систем, используются современные оптические материалы для изготовления линз и оптических компонентов.

Известно, что в световом микроскопе основную роль в формировании изображения играет его главная оптическая система, которая состоит из микрообъектива и окуляра. При этом объектив является наиболее важным элементом этой схемы. От него зависят такие характеристики, как числовая апертура, степень исправления аберрации, разрешающая способность и качество изображения микроскопа в целом. Таким образом, основное внимание в улучшении оптической схемы прибора связано с усовершенствованием микрообъектива. Производители стараются разрабатывать более рациональные конструкции микрообъективов и совершенствуют технологии их изготовления, сборки и контроля. Производство новых объективов базируется на принципах стандартизации и унификации конструктивных решений не только оптических, но и механических систем [1]. Отсутствие унификации оптической схемы и механической конструкции неблагоприятно сказывается на качестве конечного продукта, так как при разработке новой конструкции возрастают затраты на проектирование прибора, увеличивается время изготовления, расширяется номенклатура оснастки, деталей, затрудняется процесс изготовления и сборки микрообъективов.

В создавшейся ситуации работы по стандартизации и унификации оптических схем и конструкций микрообъективов являются довольно актуальными. Работы, которые ведутся в этих направлениях, должны обеспечивать: установление 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 [4, 6, 10, 14].

Во время разработки нового оптического прибора проектируется его оптическая схема, выбираются оптические материалы для компонентов и рассчитываются конструктивные параметры. Унификация конструктивных решений при этом должна

быть основана на использовании и композиции некоторых базовых оптических компонентов с заранее известными свойствами и аберрациями для определения оптимальных характеристик и показателей качества изображения, формируемого проектируемым микрообъективом. К таким компонентам можно отнести одиночные мениски, положительные одиночные линзы и склейки, используемые в средней части оптической схемы.

Основываясь на работах [7–9], всю схему микрообъектива можно разделить на несколько составляющих (рис. 1). Каждая из составляющих отвечает за определённые параметры и характеристики.

Таким образом, оптическая схема объектива состоит из фронтальной и последующих частей. Фронтальная линза (или система линз) 1 обращена к препарату и является основной при построении изображения соответствующего качества. Она определяет рабочее расстояние и числовую апертуру объектива. Последующая часть 2 обеспечивает требуемое увеличение и размер поля зрения, а в сочетании с фронтальной, фокусное расстояние и качество изображения. Последняя часть микрообъектива, состоящая из 3, 4, в основном ориентирована на устранение оставшихся аберраций, а также определяет высоту объектива и длину тубуса. При этом роль последней линзы 4 в форме мениска – это исправление кривизны поля зрения [9]. Таким образом, первая часть схемы превращает входящие лучи в пучки средней сходимости, последующие части формируют в фокальной плоскости окуляра изображение.

Разработка унифицированной конструкции микрообъектива

При проведении работ в качестве объекта исследования был выбран микрообъ-

ектив с увеличением $63\times$ и апертурой 0,85. Данный микрообъектив имеет тубус «бесконечность» и рассчитан на совместную работу с тубусной линзой, которая устанавливается в штативе микроскопа и её фокусное расстояние равно 160 мм.

В работе рассмотрен вариант адаптации существующего микрообъектива, имеющего длину тубуса «бесконечность», для работы на другом микроскопе, который рассчитан на конечную длину тубуса. Руководствуясь результатами исследований, изложенных в работах [6, 9], для решения поставленной задачи достаточно произвести модернизацию части микрообъектива, которая формирует тубусное расстояние. На основании выводов, изложенных выше, было предположено добавить определённый дополнительный линзовый компонент в хвостовую часть оптической схемы микрообъектива, чтобы изменить величину фокусного расстояния и тем самым изменить тубус объектива. В ходе работы необходимо было рассчитать дополнительную линзу, которая устанавливается в корпус объектива. При этом имеющаяся тубусная линза прибора должна быть исключена из расчётов.

При помощи программных продуктов, таких как OPAL и ZEMAX, были выполнены необходимые расчёты и произведён сравнительный анализ аберраций, которые присутствуют в исходном объективе и в новом изделии [1]. В ходе проверки и сравнения двух оптических схем была произведена оптимизация конструктивных параметров новой склейки. В итоге была достигнута идентичность параксиальных характеристик и аберраций существующего объектива и модернизированного образца. Отличия, которые были выявлены, являются несущественными и не влияют на качество микрообъектива в целом [3].

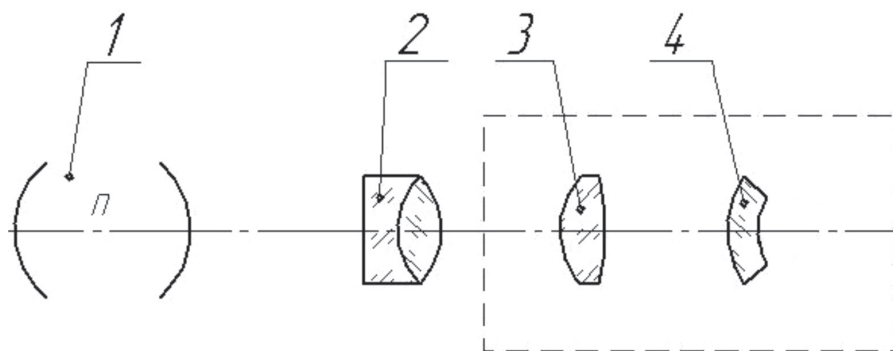


Рис. 1. Унифицированная схема микрообъектива

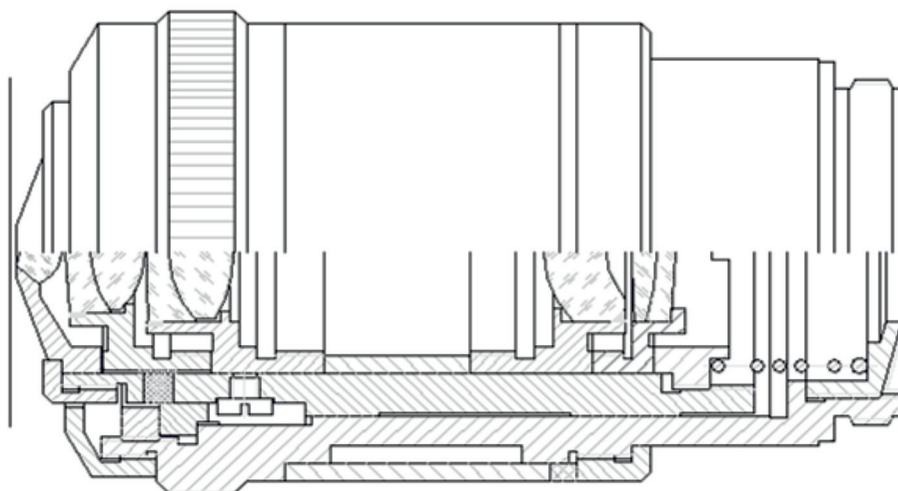


Рис. 2. Конструкция нового микрообъектива

При проектировании новой конструкции микрообъектива целесообразнее изначально предусматривать возможность замены компонентов или добавления новых линз (склеек), чем разрабатывать каждый раз разные конструкции объективов для различных микроскопов. Такой подход оправдан как с технологической, так и с экономической точки зрения.

Конструкция исходного объектива разрабатывалась исходя из этих соображений. Следовательно, конструктивно она является унифицированной и все размеры механических деталей подобраны таким оптимальным образом, что их можно будет использовать для нового микрообъектива. Новый узел необходимо было спроектировать таким образом, чтобы он вписывался между исходными узлами существующего микрообъектива. В результате проведенной конструкторской проработки была получена конструкция, представленная на рис. 2.

Для достижения более достоверных суждений об унификации оптической схемы и о возможной её модернизации был проведен ряд аналогичных исследований.

Как известно, линейное увеличение микрообъектива определяется из формулы

$$\Gamma_{об} = f_{тл} / f_{об},$$

где $f_{тл}$ – фокусное расстояние тубусной линзы, $f_{об}$ – фокусное расстояние микрообъектива. В нашем случае исходный объектив рассчитан для совместной работы с тубусной линзой ($f_{тл} = 160$ мм), значение его заднего фокусного расстояния равно 2,54 мм. Таким образом, его увеличение (изначально) равно 63^x. При установке данного объектива на прибор, имеющий тубусную лин-

зу с $f_{тл} = 200$ –250 мм, получим увеличение микрообъектива 80–100^x.

В ходе проведенной работы было выявлено, что путем введения в оптическую схему дополнительной линзы можно изменить фокусное расстояние микрообъектива (не нарушая остальных параметров объектива). Были произведены аналогичные оптические расчёты по изменению $f_{об}$, в результате которых была рассчитана новая линза, которую необходимо установить в микрообъектив. Установка дополнительной линзы в существующий объектив позволила скорректировать увеличение объектива и использовать его в приборе с тубусной линзой, у которой $f_{тл} = 250$ мм. При этом увеличение объектива осталось исходным и составляло 63^x. Далее были произведены необходимые конструкторские проработки. В результате была получена новая конструкция, которая аналогична той, которая была представлена на рис. 2.

Для апробации расчётов и конструкторской проработки были изготовлены опытные образцы всех исследуемых микрообъективов. Изготовленные образцы после испытаний подтвердили достоверность расчётно-конструкторской проработки. Таким образом, проведенные оптические расчёты и конструкторские проработки подтверждают наличие унификации оптической схемы микрообъектива и возможность её модернизации.

Рассмотренные выше варианты модернизации (адаптации) объективов подразумевают изменение оптической схемы и конструкции на этапе проектирования и изготовления микрообъективов. Однако зачастую возникает необходимость адап-

тировать уже готовый (существующий) микрообъектив под другие условия работы (другой микроскоп) или изменить его характеристики. В данной ситуации необходимо осуществить полную разборку с последующей сборкой микрообъектива. После полной разборки объектива необходимо выполнить не только его сборку, но и произвести юстировку и контроль, чтобы устранить aberrации и проверить качество изображения. Произвести данные операции в «домашних» условиях не представляется возможным без надлежащего оборудования и опыта работы.

Согласно новой конструкции предлагается (в имеющемся микрообъективе) удалять упорную диафрагму из хвостовой части, а на ее место устанавливать необходимый оптический узел. Для обеспечения соосности нового узла используется цилиндрический пояс в корпусе. При разработке данного варианта конструкции были проанализированы все допуски, которые могут повлиять на ухудшение качества изображения микрообъектива. Для апробации расчётов и конструкторской проработки новой конструкции объектива были изготовлены опытные образцы.

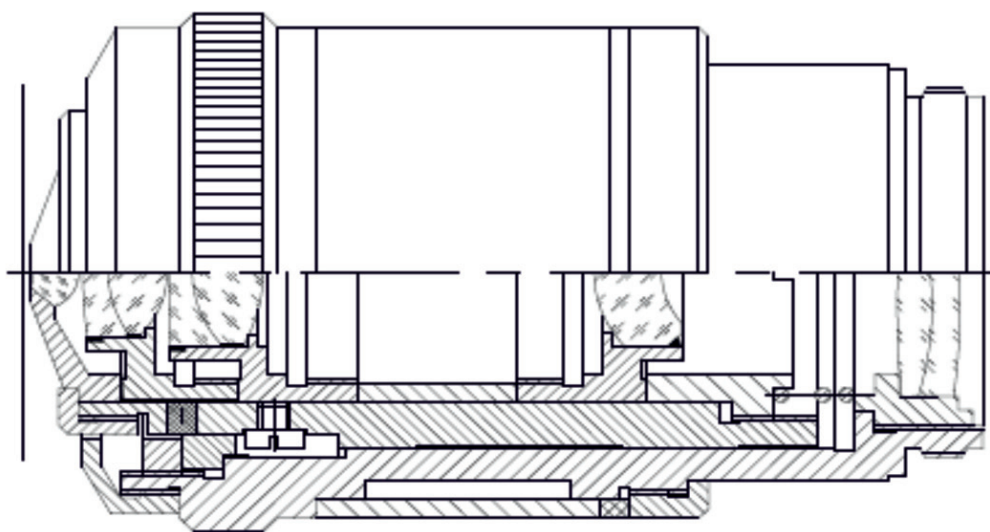


Рис. 3. Конструкция модифицированного микрообъектива

В связи с этим работы в данном направлении были продолжены. В качестве объекта исследования был выбран тот же микрообъектив с увеличением $63\times$ и апертурой 0,85. Были произведены необходимые оптические расчеты на предмет увеличения воздушного промежутка между основной оптической схемой объектива и дополнительной (вводимой) линзой. Также было проанализировано изменение aberrаций и остальных параметров объектива. Далее был разработан вариант конструкции, представленный на рис. 3. Новая конструкция позволяет производить модернизацию микрообъектива, не нарушая самой конструкции. Это дает возможность производить работы не только в заводских условиях (когда требуется полная разборка и специальное оборудование для сборки), но и достигать изменения параметров объектива без специального заводского оборудования.

Выводы

В ходе проведенной работы теоретическим и практическим путем было доказано, что унификация оптической схемы микрообъективов позволяет производить модернизации для изменения определенных характеристик. В совокупности с унифицированной механической конструкцией микрообъектива это даёт возможность изменять определенные параметры и характеристики объектива путем незначительной доработки и при этом сохранять aberrационное качество. Таким образом, при наличии фактически одних и тех же деталей имеется возможность изготавливать разные модификации микрообъективов, а также при необходимости адаптировать любой имеющийся (или разрабатываемый) объектив под различные условия работы на любом микроскопе.

Проведенные работы позволяют обеспечить взаимозаменяемость групп узлов

и деталей, уменьшить количество деталей и оснастки, снизить себестоимость выпускаемой продукции. При этом появляется возможность оперативно перенастраивать производственный процесс под выпуск различных модификаций микрообъектива.

Список литературы

1. Иванова Т.А. Проектирование и контроль оптики микроскопов [Текст] / Т.А. Иванова, В.К. Кирилловский. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984. – 231 с.
2. Концепция линии автоматизированной сборки микрообъектива на основе адаптивной селекции его компонентов [Текст] / 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 // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76, № 7. – С. 79–83.
3. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов [Текст] / С.М. Латыев. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.
4. Микроскопы [Текст] / 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.
5. Обеспечение целевых показателей качества при автоматизации сборки микрообъективов [Текст] / С.М. Латыев, А.П. Смирнов, А.А., Д.Н. Фролов, А.Г. Табачков, Р. Тезка // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 1. – С. 49–53.
6. Табачков А.Г. Конструкторско-технологическая унификация микрообъективов с учетом автоматизации их сборки: дис. ... канд. техн. наук (05.11.14). – СПб., 2011. – 142 с.
7. Унификация оптических и механических конструкций линзовых микрообъективов [Текст] / С.М. Латыев, А.Г. Табачков, Д.Н. Фролов, А.С. Резников // Приборостроение. – 2011. – Т. 54, № 11. – С. 14–21.
8. Фролов Д.Н., Королева Н.В. Ахроматический объектив микроскопа // Патент России № 1767466. 1992.
9. Фролов Д.Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов [Текст] // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69, № 9. – С. 16–20.
10. Юстировка и контроль высоты и центровки микрообъективов [Текст] / С.М. Латыев, А.М. Бурбаев, П.А. Белойван, А.Г. Табачков // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 12. – С. 82–86.
11. Analysis of certain issues in the assembly of fast objectives [Text] / S.M. Latyev, B. Bui Dinh, P.A. Beloivan, A.G. Tabachkov // Journal of Optical Technology. – 2015. – Iss. 82. – № 12. – P. 796–799.
12. Automated Centering and Bonding Machine [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.trioptics.com> (дата обращения: 17.09.2017).
13. Labor-Microscopes [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.labor-microscopes.ru> (дата обращения: 17.09.2017).
14. Langehanenberg P., Heinisch J., Stickler D. Smart and precise alignment of optical systems. [Text] // Proceedings of SPIE. – 2013. – Vol. 8884, 88842E.
15. 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: 07.09.2017).