

1.9. ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Цель лекции: *изучение принципов работы оптических измерительных систем.*

1.9.1. Принцип действия микроскопа

Современные микроскопы выглядят достаточно сложными, автоматизированными и многофункциональными системами. Однако знание основных узлов микроскопа и понимание принципов их действия необходимы для освоения этих сложных приборов. Поэтому рассмотрим оптическую схему наиболее типичного микроскопа, представленную на рис. 1.68.

Условно микроскоп можно разбить на четыре узла: осветительная система – позиции 1–6 рисунка, препарат 7, с плоскостью препарата сопряжена полевая диафрагма окуляра 10 и полевая осветительная диафрагма 3, апертурная диафрагма 9, с которой сопряжена ирисовая диафрагма 5, окуляр 12. Рассмотрим ход лучей в микроскопе. Объект 7, обозначенный стрелочкой, расположен на предметном столике 7 перед микрообъективом 8, на расстоянии несколько большем его фокусного расстояния $F_{об}$. Он строит действительное, увеличенное и перевернутое изображение 7' в плоскости диафрагмы 10. Данное промежуточное изображение расположено за передним фокусом окуляра 12. Поэтому окуляр строит мнимое увеличенное изображение 7'' на расстоянии $D = 250$ мм от глаза наблюдателя. Такое расстояние считается наилучшим с точки зрения физиологических свойств глаза. Если мы хотим получить действительное изображение объекта на телевизионном приемнике или фотопленке, то достаточно окуляр сдвинуть так, чтобы изображение 7' оказалось перед фокусом окуляра. Основные характеристики микроскопа: видимое увеличение – Γ , линейное поле зрения – $2u$, числовая апертура – NA.

Числовая апертура микроскопа определяет его основные характеристики: светосилу и разрешающую способность. Числовой апертурой называют произведение показателя преломления среды, в которой находится объект, на синус апертурного угла.

Основными узлами микроскопа являются осветительная система, микрообъектив, предметный столик и окуляр.

Осветительная система микроскопа состоит из источника оптического излучения и оптической системы, обеспечивающей равномерное освещение объекта. Сложности, возникающие при создании осветительных систем, вызваны тем, что в микроскопах, особенно с большим увеличением, необходимо применять яркие источники света. Тело накала таких источников, например нить лампы, имеет неравномерную яркость, поэтому оно проецируется оптической системой, которая называется конденсором, не точно в плоскость предмета, а ближе или дальше. При таком освещении образуется много рассеянного света, который ухудшает условия наблюдения. Другой

проблемой является то, что числовая апертура конденсора должна быть больше или равна числовой апертуре объектива. В противном случае снижается разрешающая способность микроскопа. Решение этих задач привело к созданию различных типов осветительных систем микроскопа. Наибольшее распространение получила схема освещения по Кёллеру, которая представлена на рис. 1.65 позициями 1–6. Она применяется во всех отечественных микроскопах. Не вдаваясь в подробности принципа ее работы, можно сказать, что данная схема освещения позволяет получить равномерное освещение поля микроскопа от источника с неравномерной яркостью светящего тела без ухудшения качества изображения. В современных микроскопах, например конфокальных, а также при использовании лазерных источников излучения применяются другие схемы освещения.

Микробъектив является важнейшей частью микроскопа, определяющей качество изображения и светосилу. Он представляет собой многолинзовую систему, в которой исправлены aberrации, искажающие изображение. В зависимости от вида исправленных aberrаций объективы делят на следующие основные виды: ахроматы, апохроматы, планахроматы, планapoхроматы. Основными характеристиками объектива микроскопа являются увеличение и числовая апертура. Последняя определяет разрешающую способность микроскопа – чем больше числовая апертура, тем лучше разрешающая способность.

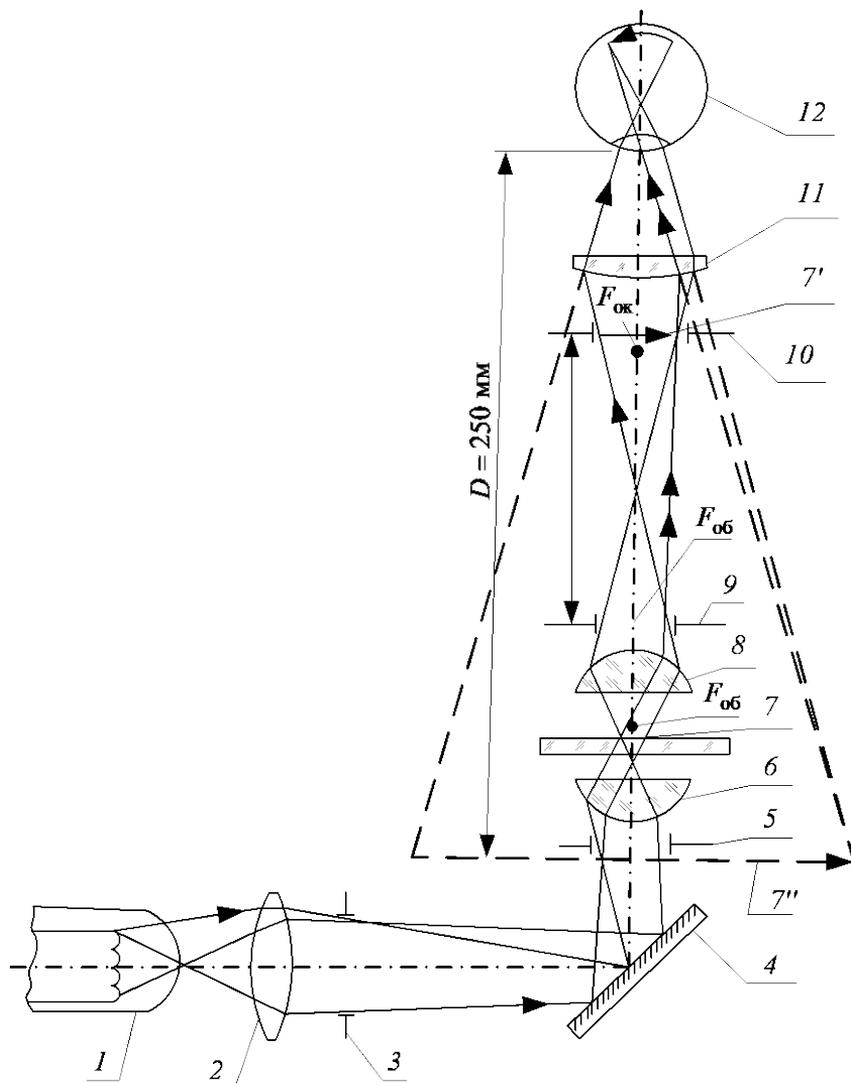


Рис. 1.68. Принципиальная оптическая схема микроскопа:

- 1 – лампа освещения; 2 – коллимирующая линза; 3 – полевая осветительная диафрагма; 4 – зеркало; 5 – ирисовая диафрагма; 6 – микрообъектив;
 7 – прозрачный предметный столик; 8 – микрообъектив; 9 – апертурная диафрагма; 10 – диафрагма окуляра; 11 – линза окуляра; 12 – окуляр

В зависимости от увеличения и числовой апертуры объективы микроскопов можно разбить на три группы, представленные в табл. 1.18.

Таблица 1.18

Группы объективов микроскопов

Группа объективов	Увеличение	Апертура
Малых увеличений и апертур	$\Gamma \leq 10 \times$	$NA \leq 0,2$
Средних увеличений и апертур	$\Gamma \leq 40 \times$	$NA \leq 0,65$
Больших увеличений и апертур	$\Gamma > 40 \times$	$NA > 0,65$

Числовая апертура объектива зависит от показателя преломления среды, в которой находится препарат. Поэтому для увеличения NA используют иммерсию: воду или масло, показатель преломления которых больше единицы. Микрообъективы, которые могут работать в таких условиях, называют иммерсионными. Современные микрообъективы имеют увеличение до $100 \times$ и числовую апертуру до 1,6.

Окуляр представляет собой более простую оптическую систему, чем объектив. Его роль в формировании изображения микрообъекта гораздо менее важная и поэтому требования к нему более низкие. Основной характеристикой окуляра является увеличение, которое изменяется в зависимости от типа от 4 до 15 крат.

Предметный столик и другие юстировочные узлы микроскопа составляют основу его механической части. Предметный столик должен решать две задачи: во-первых, обеспечивать крепление препарата и легкий доступ к нему наблюдателя, во-вторых, точное перемещение препарата по двум координатам. В современных микроскопах требуемая точность перемещения составляет от одного до нескольких микрон, а величина перемещения 2–3 см. В настоящее время применяется автоматическое перемещение кареток столика по двум координатам, управляемое от ЭВМ. Другим важным механическим узлом микроскопа является устройство, обеспечивающее его фокусировку. Как правило, фокусировка микроскопа производится передвижением тубусодержателя, в котором крепятся объектив и окуляр, с помощью грубого и микро-трендного механизмов. При помощи них тубус, как единое целое, приближается или удаляется от объекта до тех пор, пока оператор не принимает решение о наилучшей фокусировке на препарат.

1.9.2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ В МИКРОСКОПИИ

Понятие качество изображения применительно к микроскопии определяет способность его оптической системы создавать геометрически подобные предмету изображения, в которых отдельные детали и контраст воспроизведены с достаточной точностью. Качество изображений, формируемых микроскопом, в идеальном случае определяется законами дифракционной оптики, однако

в действительности оно зависит от таких особенностей прибора, как остаточные аберрации микрообъектива, освещенность и контраст предметов, наличие

дефектов в оптическом стекле, ошибки изготовления и сборки, а также особенности приемника.

В микроскопии общепринято использовать для оценки качества изображения понятие разрешающей способности. Различают два вида разрешения: латеральное (поперечное) и аксиальное (продольное) – вдоль оптической оси. Остановимся подробнее на этих понятиях. При формировании изображения любой оптической системой, в том числе и микроскопом, каждая бесконечно малая светящаяся точка в объекте преобразуется в эллипсоид, вытянутый вдоль оптической оси. В сечении, перпендикулярном оптической оси, изображение точки представляет собой яркое пятно, которое получило название диск Эри, с concentрическими темными и светлыми кольцами, постепенно убывающими по яркости в изображении. Процесс формирования данного пятна и колец, его окружающих, хорошо описывается законами дифракционной оптики.

В диске Эри сосредоточено 84% всей энергии и его размер определяется выражением:

$$d_s = 1,22 \frac{\lambda}{NA}, \quad (1.44)$$

где: NA – числовая апертура микрообъектива; λ – длина волны света.

Предел разрешения микроскопа определяется при сближении двух светящихся точек до такого расстояния, когда в пространстве изображений падение освещенности между ними становится незаметным для глаза и визуально две точки сливаются в одну. Для количественного определения этого предела используется критерий Рэля. Согласно критерию Рэля изображения двух близких самосветящихся (некогерентных) точек можно еще считать отдельными, если центр дифракционного пятна, соответствующего одной точке, совпадает с первым дифракционным минимумом для второй точки.

В этом случае поперечная разрешающая способность объектива равна:

$$R = \frac{1,22\lambda}{2NA}. \quad (1.45)$$

Расчеты показывают, что при таком расстоянии между точками в промежуток между ними освещенность составляет 80% от освещенности в максимуме. Известно, что человеческий глаз способен различать контраст в освещенности 4%, т. е. разрешающая способность глаза лучше, чем по критерию Рэля. Из формулы видно, что определяющую роль в разрешающей способности играет числовая апертура объектива. Для ее повышения в микроскопии используют иммерсионную жидкость с показателем преломления $n > 1$, которой заполняют пространство между микрообъективом и препаратом. Это позволяет довести числовую апертуру до значения 1,4, в то время как «сухие» объективы имеют $NA = 0,95$. Нетрудно рассчитать, что разрешающая способность в видимой области может достигать 0,2 мкм.

Однако все это справедливо только для абсолютного контраста, когда мы рассматриваем две яркие точки на темном поле. Для полутонного объекта

оценка качества изображения по разрешающей способности не отражает всей картины и необходимо использовать более сложные и не столь наглядные характеристики оптических систем. В качестве такой характеристики наиболее часто используют оптическую передаточную функцию (ОПФ), или, как ее еще называют, частотно-контрастную характеристику (ЧКХ). Рассмотрим это понятие подробнее.

Пусть объект (рис. 1.69), который мы рассматриваем в микроскоп, представляет собой решетку с абсолютным контрастом и синусоидальным пропусканием амплитуды поля, т. е. описывается выражением:

$$A = 1 + K \sin \frac{x}{d_1}, \quad (1.46)$$

где: d_1 – период решетки; $K = 1$ – коэффициент контраста.

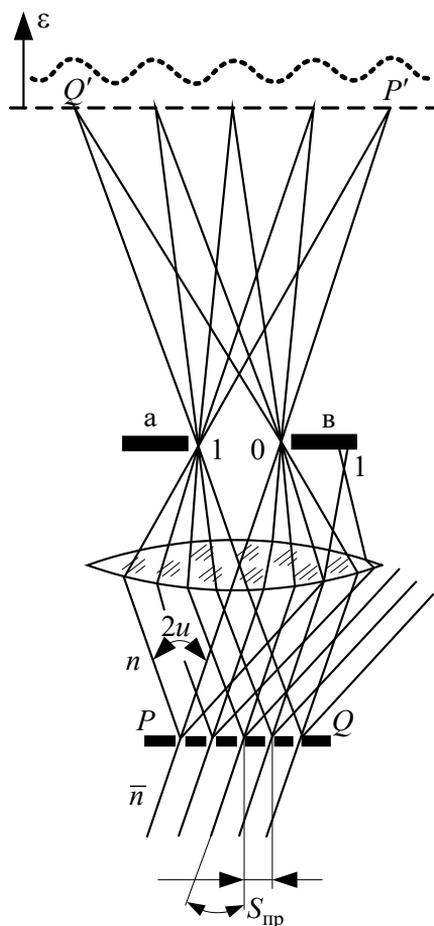


Рис. 1.69. Схема образования изображения несамосветящегося объекта, по Аббе

На него перпендикулярно плоскости, к которой он расположен, падает плоская волна света (центральное освещение по Кёллеру) с амплитудой A_0 . На решетке происходит дифракция света, при этом свет «расщепляется» на три составляющие, которые получили название нулевого (0), плюс первого (+1) и минус первого (-1) порядков дифракции. Нулевой порядок распространяется без отклонений, а (+1) и (-1) порядки распространяются под углами $+ \sin \theta_1 = \lambda/d_1$ и $- \sin \theta_1 = \lambda/d_1$ к оптической оси. Угол дифракции зависит от периода решетки и длины волны света.

Из рис. 1.69 видно, что дифрагированное излучение не попадает целиком в объектив, если период решетки достаточно большой. Это приводит к тому, что контраст изображения решетки будет меньше, чем исходный, т. е. $K < 1$. Если мы построим зависимость контраста от пространственной частоты решетки $\omega = 1/d$, то получим функцию, представленную на рис. 1.69. Данная функция получила название ОПФ, или ЧКХ, и она позволяет полностью определять качество изображения, формируемого любой оптической системой. Нетрудно заметить, что для некоторой частоты решетки $\omega_{кр} = 1/d_{кр}$ дифракционные порядки пойдут под таким большим углом к оптической оси, что не попадут в объектив микроскопа с числовой апертурой NA. Тогда контраст в изображении решетки будет равен нулю, и она не будет разрешаться данным прибором. Нетрудно заметить, что $d_{кр} = \lambda / \sin \theta_{кр}$ с точностью до константы совпадает с разрешающей способностью микроскопа, а $\sin \theta_{кр}$ равняется числовой апертуре его объектива. Фактически $\omega_{кр}$ определяет разрешающую способность микроскопа. Согласно теории рядов Фурье, каждый объект может быть представлен в виде суммы синусоидальных решеток различной частоты и контраста. Таким образом, ОПФ определяет искажение каждой частоты составляющей объект и всего объекта в целом при формировании изображения оптической системой микроскопа. В оптике принято считать, что ОПФ наиболее полно определяет качество изображения и позволяет судить о том, какие детали изображения искажаются в большей степени. Как правило, ОПФ определяют экспериментально для каждого конкретного прибора, что позволяет учитывать aberrации, недостатки сборки и стекла и т. д. Вид ОПФ может существенно изменяться от прибора к прибору, при этом $\omega_{кр}$ и разрешающая способность остаются неизменными при неизменной числовой апертуре объектива. Поэтому микроскопы различных фирм с одинаковой разрешающей способностью строят различные по качеству изображения. Тем не менее в повседневной практике использование ОПФ не очень удобно и применяется понятие разрешающей способности.

Исследования в области радиофизических и оптических измерений показали, что при достаточно точной регистрации рэлеевский предел может быть существенно превзойдён. Было доказано, что разрешающая способность микроскопа определяется не аппаратными свойствами самого прибора, т. е. его ОПФ, а точностью измерения выходного сигнала. Следовательно, при высо-

коточных измерениях изображения принципиально возможно достижение сверхразрешения в оптической микроскопии.

Восстановление изображения со сверхвысоким разрешением представляет собой двухэтапный процесс. На первом этапе осуществляется регистрация изображения с максимально высокой точностью. На втором этапе на ЭВМ решается обратная задача редукции к идеальному прибору, которая сводится к компенсации ОПФ. Такая реконструкция изображений осуществляется при знании передаточной функции с использованием специальных алгоритмов. Теоретические оценки и экспериментальные исследования данного метода показали возможность получения разрешающей способности в оптическом микроскопе $\approx 0,1 - 0,01$ мкм. Фактически появляется возможность изучения микрообъектов с детализацией аналогичной электронной микроскопии на базе оптического микроскопа.

Однако получение сверхразрешения выдвигает высокие требования к прибору: во-первых, необходима высокая точность регистрации изображений в микроскопе и, во-вторых, полная автоматизация процесса измерения.

Продольное разрешение микроскопа в литературе иногда называют глубиной резкого изображения. Оно характеризует возможные пределы перемещения плоского объекта без заметного ухудшения резкости изображения. Определить продольное разрешение можно по аналогии с поперечным – по размеру диска Эри вдоль оптической оси. Дифракционная теория формирования изображения дает следующую величину:

$$R_z = \frac{\lambda}{2NA^2}. \quad (1.47)$$

Из данного выражения видно, что разрешающая способность по глубине обратно пропорциональна квадрату числовой апертуры микрообъектива. Поэтому для микрообъективов с большой числовой апертурой глубина резкости составляет величину порядка длины волны, что требует очень точной фокусировки при анализе изображений. Нетрудно заметить, что определить аксиальную разрешающую способность по аналогии с критерием Рэля невозможно, так как при наблюдении двух светящихся объектов, расположенных вдоль оптической оси, они будут затенять друг друга, и различить их практически нельзя.

Приведенные выражения для разрешающей способности были получены для плоских объектов согласно дифракционной теории формирования изображения. Их использование для оценки качества изображений трехмерных объектов, каковыми являются живые клетки, требует большой осторожности. В частности, для исследования фазовых объектов, ход лучей в которых описывается эйкональным уравнением, необходимо применять другие оценки.

1.9.3. ЗЕРКАЛЬНЫЕ И ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫЕ ОБЪЕКТИВЫ

В связи с развитием инфракрасной техники, высокотемпературной металлографии, микроанализаторов возросла роль зеркальных и зеркально-линзовых объективов. Эти объективы, показанные на рис. 1.70, имеют ряд преимуществ перед линзовыми системами:

- рабочее расстояние этих объективов может в несколько раз превышать фокусное расстояние;
- широкая область ахроматизации, возможность наблюдения объектов в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра без перефокусировки микроскопа;
- возможность создания высокоапертурных объективов для видимой и инфракрасной областей спектра с апохроматической коррекцией и уменьшенной кривизной поверхности изображения.

Особый интерес представляют высокоапертурные зеркальные системы – апланаты, содержащие несферические поверхности, применяемые для любой области спектра.

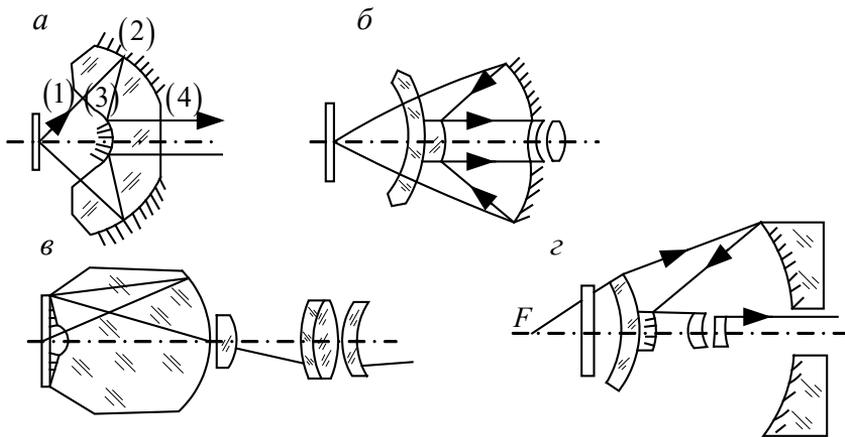


Рис. 1.70. Принципиальные оптические схемы некоторых зеркальных и зеркало-линзовых объективов:
a – объектив Максудова; *б* – объектив Волосова;
в – объектив Русинова; *г* – объектив Попова

Однако изготовление указанных объективов сопровождается значительными технологическими трудностями, вызываемыми высокими требованиями к качеству отрагательных поверхностей, центрировке, а также сложностью механических узлов. Во избежание паразитной засветки эти объективы требуют специальных оправ и экранов. Наличие центрального экранирования снижает контраст в изображении. Светопропускание зеркально-линзовых объективов ниже, чем линзовых с такими же оптическими характеристиками. Поэтому выбор

зеркально-линзовых систем должен быть тщательно обоснован. Теория и методы расчета зеркальных и зеркально-линзовых объективов широко представлены в литературе.

1.9.4. ОКУЛЯРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МИКРОСКОПАХ

Применяемые в микроскопах окуляры можно разделить на две основные группы: визуальные окуляры, служащие для наблюдения изображения глазом; окуляры, используемые в микрофотографии микропроекторных устройствах.

Так как через окуляры проходят узкие пучки лучей, поэтому их сферическая и сферохроматическая аберрации малы по сравнению с остаточными аберрациями объектива. В некоторых окулярах исправляются хроматизм увеличения и дисторсия. Применение окуляра определяется типом объектива и характером исправления аберраций.

Визуальные окуляры должны давать неискаженное изображение по всему полю. При этом допускается некоторая кривизна поля благодаря аккомодационной способности глаза. Кроме того, при визуальном наблюдении всегда имеется возможность установить микроскоп на центр или край поля. Фотографические и проекционные окуляры, а также окуляры, применяемые с план-объективами, должны давать плоскую поверхность изображения. Иногда это достигается за счет увеличения астигматизма.

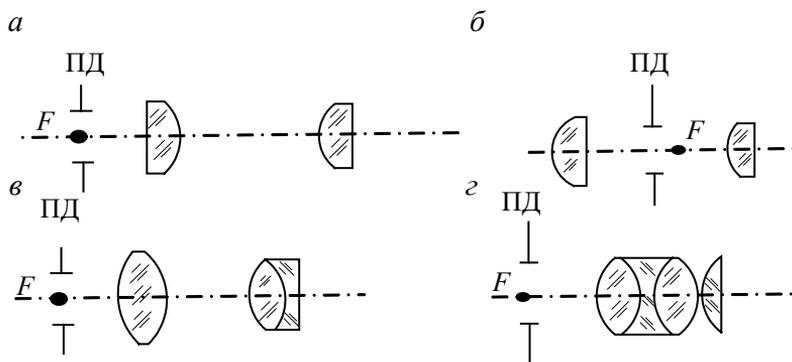


Рис. 1.71. Оптические схемы окуляров, применяемых в микроскопах: а – окуляр Гюйгенса; б – окуляр Кельнера; в – окуляр Гюйгенса компенсационный; з – окуляр Аббе

Наиболее распространенными в микроскопах являются следующие типы окуляров: Гюйгенса, Кельнера, компенсационные, ортоскопические, симметричные, панкратические, специальные и отрицательные (гомалы).

Окуляры Гюйгенса применяются с ахроматами (рис. 1.71, а). Они состоят из двух плосковыпуклых линз. Линейное поле окуляра $2y = \frac{D_{\text{пд}}}{\beta_k}$, где $D_{\text{пд}}$ – диаметр

полевой диафрагмы; β_k – линейное увеличение коллективной линзы. Угловое поле окуляров Гюйгенса порядка 30° , а увеличение не более 7–10 крат из-за небольшого удаления выходного зрачка. Хроматизм увеличения исправлен.

Окуляры Кельнера (рис. 1.71, б) состоят из простой коллективной линзы и двухсклеенной глазной. Угловое поле колеблется в пределах $40\text{--}50^\circ$. В этих пределах aberrация исправлена достаточно хорошо. Полевая диафрагма находится в передней фокальной плоскости.

Компенсационные окуляры применяются с апохроматами, планобъективами и ахроматами больших увеличений. Они компенсируют хроматизм увеличения объективов. Наибольшее распространение получили компенсационные окуляры, выполненные по схеме Гюйгенса и Аббе (рис. 1.72, в, з). Эти окуляры имеют удовлетворительную коррекцию aberrаций, но хроматизм увеличения не постоянен по полю, например, если в центре поля он равен 1%, то на краю поля – порядка 2%. При использовании таких окуляров с планапохроматами появляется окраска, снижающая качество изображения.

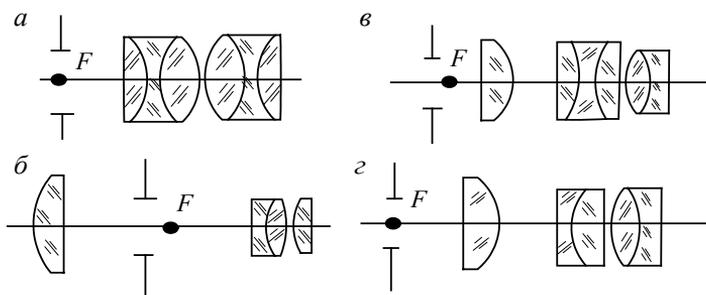


Рис. 1.72. Оптические схемы компенсационных окуляров с улучшенной коррекцией aberrаций:
а – Кельнера; б, в – Гюйгенса; з – Аббе

Гомалы – отрицательные оптические системы – используются в микроскопах вместо окуляров с целью компенсации кривизны изображения и хроматизма увеличения, даваемых апохроматическими объективами. Выходной зрачок гомалов расположен внутри, поэтому они применяются главным образом для фотографирования.

1.9.5. УНИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ УЗЛОВ МИКРОСКОПОВ

При разработке новых моделей микроскопов большое внимание уделяется унификации, агрегатизации и стандартизации оптических узлов микроскопов. Ряд увеличений объективов и окуляров строится на основе геометрической прогрессии предпочтительных чисел (ГОСТ 6636-69), что позволяет сократить номенклатуру изделий, не ущемляя интересов потребителей.

Объективы микроскопов. В настоящее время применяются объективы, рассчитанные на три длины тубуса: 160, 190 мм и «бесконечность». Объективы для длины тубуса 160 мм используются в биологических микроскопах для исследования в проходящем свете биологических объектов, находящихся под покровным стеклом. Объективы для длины тубуса 190 мм применяются в рудных и других микроскопах, работающих в отраженном свете для исследования непрозрачных объектов. Объективы для длины тубуса «бесконечность» предназначаются в основном для работы в отраженном свете.

В настоящее время все ведущие фирмы выпускают объективы высотой 45 мм.

Увеличение объективов (для проходящего света) и фокусные расстояния (для отраженного света) изменяются в геометрической прогрессии со знаменателем 1,6. Это соответствует ряду Ra 5 (ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры»). Номинальные значения тубусного коэффициента должны выбираться из ряда Ra 10 (ГОСТ 3032-56) и соответствовать кратности 0,4; 0,63; 1,6.

Окуляры микроскопов. Опорный торец окуляра должен быть расположен выше переднего фокуса на 13 мм. Номинальные значения видимых увеличений окуляров рекомендуется выбирать из ряда Ra 10 с кратностью 4; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25.

Хроматизм увеличения у всего комплекта окуляров, входящих в прибор, должен быть одинаковым и постоянным по полю. Существуют комплекты окуляров с хроматизмом увеличения 0, 1 и 2%.

Коэффициент камеры микроскопа (отношение фокусного расстояния объектива камеры к расстоянию наилучшего видения 250 мм). Номинальные значения коэффициента камеры микроскопа рекомендуется выбирать из следующего ряда Ra 10: 0,4; 0,5; 0,63; 0,7; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4,0. У камеры без объектива под коэффициентом камеры следует понимать отношение оптической длины камеры к расстоянию наилучшего видения 250 мм. При использовании проекционного окуляра за оптическую длину камеры принимается расстояние между задней фокальной плоскостью проекционного окуляра и плоскостью изображения.

Некоторые типы микроскопов. Биологические микроскопы составляют наиболее распространенную группу приборов как по количеству разнообразных моделей, так и по массовости промышленного выпуска. Ниже приводим шифры некоторых биологических микроскопов, отличающихся комплектами насадок, объективов и окуляров: Биолам-Р-1; Биолам-Р-5; Биолам-Р-6; Биолам-С-1; Биолам-С-3; Биолам-С-4; Биолам-Д-1; Биолам-Д-2; Биолам-Д-3; Биолам-Л-211; Биолам-Л-212; Биолам-Л-213; МББ-1; МББ-А; МБИ-11; МБИ-15; МБИ-17.

Микроскопы поляризационные серии ПОЛАМ являются более совершенными моделями по сравнению с ранее выпускаемыми. Выпускаются рабочие

модели ПОЛАМ-Р; студенческие ПОЛАМ-С; ПОЛАМ-Л, ПОЛАМ-И – лабораторные и исследовательские.

Микроскопы люминесцентные агрегатные серии ЛЮАММ. Принцип действия микроскопов ЛЮАММ основан на использовании люминесценции биологических объектов, возникающей под действием лучей определенного спектрального состава. Промышленность выпускает следующие модели: ЛЮАММ-Р, ЛЮАММ-И.

Металлографические микроскопы предназначены для контроля качества металлов и сплавов и исследования их структуры. Выпускаются серийно следующие типы микроскопов: ММУ-3; ММР-2; МИМ-9; ММР-3; ОРИМ.

Кроме перечисленных микроскопов выпускаются ультрафиолетовые и инфракрасные микроскопы; стереоскопические микроскопы; фазовоконтрастные и интерференционные микроскопы и принадлежности; микроскопы для исследования в области ядерной физики; высокотемпературные микроскопы; микроскопы сравнения, микроскопы контактные для прижизненных исследований и др.

ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ

Вопрос 1	Что называют числовой апертурой?
Ответы:	
1	Произведение показателя преломления среды, в которой находится объект, на синус апертурного угла
2	Отношение показателя преломления среды, в которой находится объект к показателю преломления линзы объектива
3	Произведение фокусного расстояния объектива на фокусное расстояние окуляра
Вопрос 2	Какое понятие общепринято использовать в микроскопии для оценки качества изображения?
Ответы:	
1	В микроскопии общепринято использовать для оценки качества изображения понятие разрешающей способности
2	В микроскопии общепринято использовать для оценки качества изображения понятие резкости
3	В микроскопии общепринято использовать для оценки качества изображения понятие контрастности
Вопрос 3	Для чего в микроскопе используют иммерсионную жидкость?
Ответы:	
1	Для повышения разрешающей способности объектива
2	Для увеличения яркости исследуемого объекта
3	Для увеличения контрастности исследуемого объекта

Вопрос 4	Для чего в микроскопах используются гомалы?
Ответы:	
1	Используются в микроскопах вместо окуляров с целью компенсации кривизны изображения и хроматизма увеличения
2	Для повышения коэффициента увеличения микроскопа
3	Для усиления освещенности исследуемого объекта