

Г.Е. Скворцов

Микроскопы

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62
ББК 30.6
Г11

Г11 **Г.Е. Скворцов**
Микроскопы / Г.Е. Скворцов – М.: Книга по Требованию, 2023. – 507 с.

ISBN 978-5-458-23887-8

В книге описаны геометрическая теория микроскопа и волновая теория образования в нем изображения. Приведены принципиальные оптические схемы различных типов микроскопов, рекомендации по выбору объектива и окуляра для визуального наблюдения и микрофотографирования; рассмотрены вопросы освещенности изображения и потери света в микроскопах, основные типы источников и приемников излучения, применяемых в микроскопии.

ISBN 978-5-458-23887-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Для глаза безразлично, какая увеличительная система установлена перед ним: лупа или микроскоп; поэтому на рис. 1.1, б условно показана не одиночная линза, а первая и последняя поверхности системы, ее главные плоскости H и H' , а также положение ее переднего и заднего фокусов F и F' . Дальнейшее в равной степени относится не только к лупе, но и к микроскопу.

Если глаз $\Gamma_{\text{л}}$ аккомодирован на конечное расстояние s , то изображение l' предмета l , рассматриваемого через лупу, должно находиться на таком же расстоянии от глаза. Чтобы обеспечить это условие, предмет следует поместить на расстоянии x от переднего фокуса лупы.

Кажущийся размер изображения l' определяется углом ω' и тангенс углового размера изображения равен

$$\operatorname{tg} \omega' = -\frac{l'}{s}. \quad (1.4)$$

Если глаз удален от заднего фокуса на величину x_2 , то расстояние от заднего фокуса до изображения будет

$$x' = x_2 + s. \quad (1.5)$$

Согласно формуле линейного увеличения для системы с фокусным расстоянием f'

$$l' = -l \cdot \frac{x'}{f'},$$

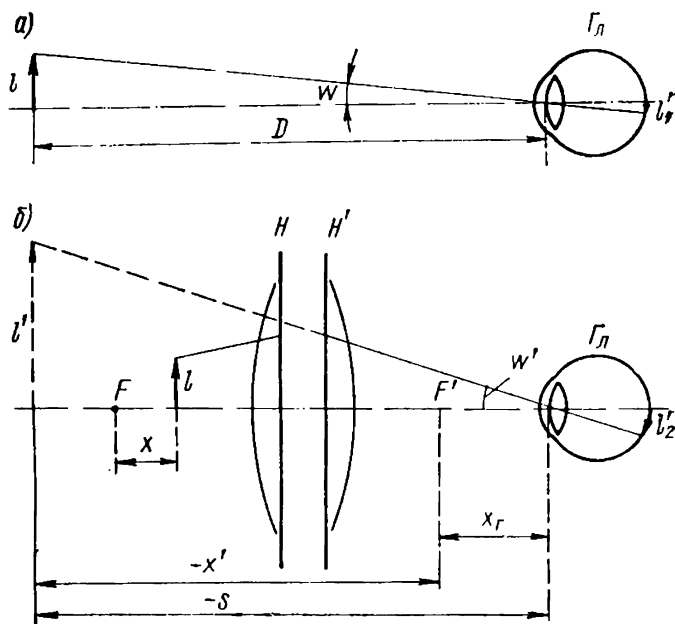


Рис. 1.1. Схема наблюдения объекта: а — невооруженным глазом; б — через лупу

или, подставляя сюда x' из равенства (1.5),

$$l' = -\frac{l}{f'}(x_2 + s).$$

Подстановка этого выражения в формулу (1.4) дает

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{l(x_2 + s)}{f's}. \quad (1.6)$$

Если в формуле (1.2) значения тангенсов заменить из (1.3) и (1.6), то видимое увеличение лупы при аккомодированном глазе будет равно

$$\bar{\Gamma}_{\text{ак}} = \frac{D}{f'} \left(1 + \frac{x_2}{s} \right). \quad (1.7)$$

Положение предмета относительно переднего фокуса определяется по формуле Ньютона

$$x = -\frac{f'^2}{x'} = -\frac{f'^2}{x_2 + s}. \quad (1.8)$$

Наилучшими условиями работы глаза считаются такие, когда глаз аккомодирован на бесконечно большое расстояние, так как при этом

мышца хрусталика глаза не напряжена. В этом случае $s = \infty$ и формула (I.7) принимает вид

$$\bar{\Gamma} = \frac{D}{f'}, \quad (I.9)$$

а предмет помещается в передней фокальной плоскости, так как в выражении (I.8) x становится равным нулю. Кроме того положение глаза относительно лупы значения не имеет.

Номинальное значение увеличения лупы и микроскопа обычно всегда характеризуется величиной, подсчитанной по формуле (I.9). Увеличение лупы, выраженное этой формулой, является чисто условной характеристикой. Нельзя, например, думать, что линза с фокусным расстоянием 250 мм ($\bar{\Gamma} = 1$) не дает увеличения. Любая положительная система, помещенная между глазом и предметом, дает увеличенное мнимое изображение предмета, если $x \geq 0$.

Это становится ясно при анализе формулы (I.7), из которой следует, что увеличение лупы зависит не только от величины ее фокусного расстояния, но также от расстояния между глазом и задним фокусом и от аккомодации глаза (или удаления предмета от переднего фокуса). Если глаз расположен в заднем фокусе лупы, т. е. $x_2 = 0$, то выражение (I.7) принимает вид формулы (I.9). Следовательно, в этом случае увеличение лупы не зависит от положения предмета и аккомодации глаза и становится тем же номинальным увеличением, что и при аккомодации глаза на бесконечность. Если же глаз находится дальше заднего фокуса, то увеличение лупы будет меньше номинального, если глаз расположен между линзой и задним фокусом, — увеличение больше номинального.

Если принять, что разрешающая способность глаза в линейной мере (наименьшее расстояние между двумя близкими точками, которые глаз видит раздельно) равна $D\varepsilon$, то *разрешающая способность* системы лупа—глаз будет

$$\delta = \frac{D\varepsilon}{\bar{\Gamma}}, \quad (I.10)$$

где D — расстояние наилучшего видения;
 ε — острота зрения;
 $\bar{\Gamma}$ — увеличение лупы.

2. Ограничение световых пучков

Ограничение световых пучков в системе лупа—глаз иллюстрируется рис. I.2, где для простоты и наглядности зрачок глаза представлен в виде диафрагмы радиусом $r_{\text{эл}}$, а лупа с оправой диаметром $D_{\text{л}}$ — в виде тонкой линзы, главные плоскости которой ввиду малости расстояния между ними совмещены с оправой. Глаз считается неподвижным и аккомодированным на бесконечность. Диаметр оправы больше диаметра зрачка, как это и бывает при лупах слабого и среднего увеличения.

В системе лупа—глаз выходным зрачком является зрачок глаза, а поле зрения ограничивается диаметром оправы лупы, которая служит люком системы. Эти два отверстия и ограничивают световые пучки. Входной зрачок системы — это изображение зрачка глаза через лупу.

Все точки той части предмета L , которая ограничена лучами $1-1$, изображаются пучками, заполняющими весь зрачок глаза. Часть изображения L' , ограниченная лучами $2'-2'$, проектируется пучками, заполняющими не менее половины площади зрачка. И, наконец, лучи $3'-3'$ ограничивают ту часть, которая изображается пучками, заполняющими менее половины зрачка. Последняя пара лучей ограничивает все поле зрения. Так как люк не совпадает с предметной плоскостью или плоскостью, сопряженной с ней, то края поля зрения не имеют резкой границы, и наблюдается виньетирование: по мере перемещения от точки $1'$ к точке $3'$ освещенность изображения соответствующих участков на сетчатке глаза постепенно убывает от максимальной до нуля.

Так как *поле зрения* лупы не имеет резкой границы, то оно условно определяется диаметром той зоны, которая ограничена лучами $2-2$, т. е. зоны, изображаемой пучками, имеющими главные лучи. За пределами этой зоны пучки не имеют главных лучей.

Из треугольников на рисунке можно найти, что угловой размер поля зрения равен

$$\operatorname{tg} w' = \frac{D_{\text{л}}}{2a}, \quad (1.11)$$

а угловые размеры зон, ограниченных лучами 1 и 3 ,

$$\operatorname{tg} w'_1 = \frac{D_{\text{л}} - 2r_{\text{эл}}}{2a};$$

$$\operatorname{tg} w'_3 = \frac{D_{\text{л}} + 2r_{\text{эл}}}{2a}, \quad (1.12)$$

где a — расстояние между глазом и лупой.

Линейное поле зрения лупы, согласно рис. 1.2, равно

$$2l = -2f \operatorname{tg} w = 2f' \operatorname{tg} w'. \quad (1.13)$$

Из формулы (1.11) и рисунка следует, что поле зрения зависит от расстояния между лупой и глазом, т. е. увеличивается по мере уменьшения величины a . Если $a = f'$, то в соответствии с формулами (1.11) и (1.13) линейное поле зрения равно диаметру лупы: $2l = D_{\text{л}}$; если $a > f'$, то $2l < D_{\text{л}}$; если $a < f'$, то $2l > D_{\text{л}}$.

Анализируя выражения (1.12), можно сделать заключение, что при уменьшении диаметра зрачка глаза сокращается область постепенного спада освещенности изображения на сетчатке, т. е. уменьшается виньетирование, так как углы w'_1 и w'_3 по своей величине приближаются к углу w' . Величина зрачка зависит от яркости наблюдаемого предмета. Следовательно, при пользовании лупой рационально наблюдать хорошо освещенные предметы.

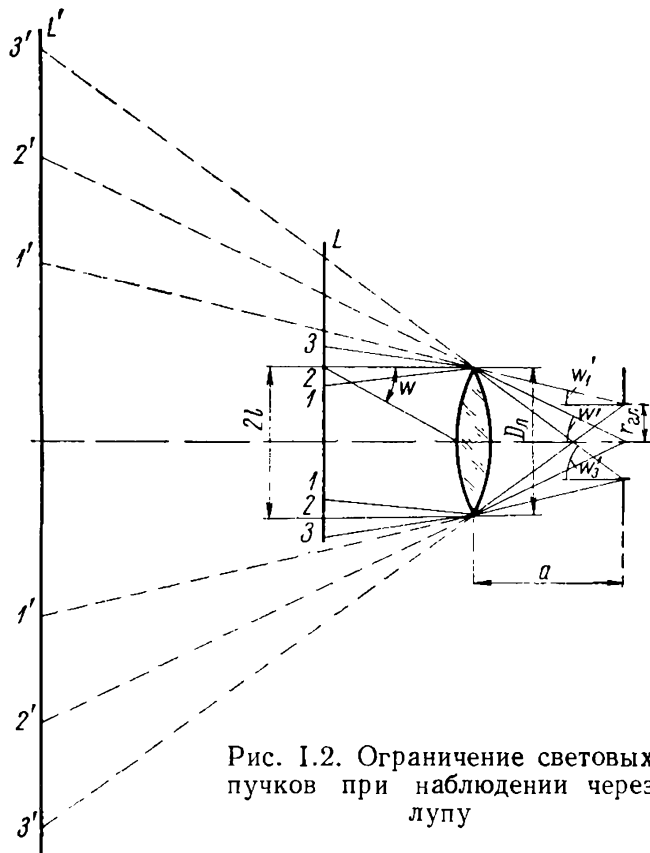


Рис. 1.2. Ограничение световых пучков при наблюдении через лупу

Все эти выводы сделаны исходя, в частности, из предположения, что глаз неподвижен. Однако на практике это не так. Глаз видит резко небольшую область пространства, ограниченного конусом с углом при вершине около 2° . Значительное кажущееся увеличение пространства, видимого резко, происходит за счет непрерывного вращения глаза вокруг центра, отстоящего на 13—15 мм от зрачка. В этом случае при рассмотрении системы лупа—глаз зрачок глаза следует мысленно отнести в центр его вращения, т. е. величину a заменить величиной $(a + 15)$. Тогда поле зрения будет меньше. Однако в действительности из-за малой величины пространства, видимого резко, поле зрения при подвижном глазе больше, чем при неподвижном.

Ввиду того, что при наблюдении через лупу зрачком, ограничивающим пучки, служит зрачок глаза, яркость изображения в зоне $l'—l'$ равна яркости самого предмета, рассматриваемого невооруженным глазом, если пренебречь потерями света на поглощение и отражение, которые здесь малы.

Лупы большого увеличения (с фокусным расстоянием менее 10 мм), которые иногда называют простыми микроскопами, имеют небольшое распространение, тем не менее здесь следует вкратце сказать о них. Световое отверстие этих луп меньше зрачка глаза, поэтому оно определяет зрачок системы. Изменение освещенности изображения аналогично рассмотренному выше, однако яркость изображения даже центральной зоны меньше яркости предмета, наблюдаемого невооруженным глазом. Поле зрения таких луп мало, поэтому при работе их надо помещать непосредственно перед глазом. Это создает большие неудобства в работе и затрудняет освещение наблюдаемого предмета.

3. Глубина резкого изображения

При наблюдении через лупу объемного предмета одновременно резко видны его детали, расположенные не в одной плоскости, а в пространстве, имеющем некоторую протяженность по глубине. Эту протяженность называют *глубиной резкого изображения*. Она складывается из трех глубин: аккомодационной, геометрической и волновой. Последняя при работе с лупой невелика и ею здесь можно пренебречь. Подробно она рассматривается в гл. III.

Аккомодационная глубина. В процессе наблюдения объемного предмета или его изображения аккомодация глаза все время меняется так, что последовательно просматривается вся глубина пространства. Благодаря субъективному восприятию результатов этого процесса создается впечатление, что все просматриваемое пространство видно одновременно резким. Если глаз аккомодирует на расстояние от 250 мм до бесконечности, то он через лупу будет видеть резкими детали предмета, лежащие в промежутке между передней фокальной плоскостью лупы и плоскостью, удаленной от фокуса на расстояние x , определяемое по формуле (I.8). Когда глаз находится в заднем фокусе, аккомодационная глубина будет

$$T_{ак} = x = \frac{f'^2}{250} = \frac{250}{\bar{\Gamma}^2}, \quad (I.14)$$

где $\bar{\Gamma}$ — увеличение лупы.

Геометрическая глубина. Если глаз (рис. I.3), представленный в виде зрачка I , сфокусирован через лупу на плоскость P , то всем точкам этой плоскости соответствуют точки на сетчатке глаза. Конусы световых пучков ограничиваются входным зрачком I' . Точки плоскостей P_1 и P_2 проектируются на сетчатке не в виде точек, а в виде *кружков рассеяния*. Этим кружкам в пространстве предметов соответствует кружок диаметром δ_p , ограниченный на плоскости P конусами лучей, исходящих из точек плоскостей P_1 и P_2 . Кружок с диаметром δ_p будет казаться точкой, если его размер не превосходит разрешающей способности, определяемой по формуле (I.10), т. е.

$$\delta_p \leq \frac{D\varepsilon}{\Gamma}. \quad (\text{I.15})$$

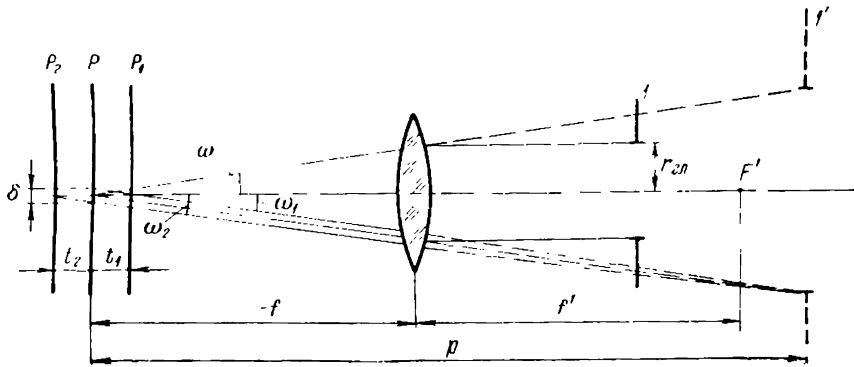


Рис. I.3. Схема, поясняющая глубину резкого изображения

Если из передней фокальной плоскости посмотреть на зрачок глаза, то угловой размер радиуса его изображения

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{r_{\text{эл}}}{f'}. \quad (\text{I.16})$$

Ввиду того, что δ_p — величина малая, t_1 и t_2 малы по сравнению с p . Поэтому с большой степенью точности можно считать, что $\omega_1 = \omega = \omega_2$. Тогда расстояния между плоскостями P_1 , P , P_2 , определяющие геометрическую глубину, оказываются равными

$$t_1 = t_2 = \frac{\delta_p}{2 \operatorname{tg} \omega}.$$

Теперь на основании этого выражения, применив формулы (I.15); (I.16) и (I.9), можно найти, что геометрическая глубина равна

$$T_z = t_1 + t_2 = \frac{\delta_p}{\operatorname{tg} \omega} = D \cdot \varepsilon \cdot \frac{f'}{\Gamma r_{\text{эл}}} = \frac{D\varepsilon}{r_{\text{эл}}} \cdot \frac{250}{\Gamma^2}. \quad (\text{I.17})$$

Общая глубина резкого изображения представляет собой сумму аккомодационной (I.14) и геометрической (I.17) глубин:

$$T = T_{\text{ак}} + T_z = \frac{250}{\Gamma^2} + \frac{D\varepsilon}{r_{\text{эл}}} \cdot \frac{250}{\Gamma^2}. \quad (\text{I.18})$$

Второе слагаемое отличается от первого множителем $D\varepsilon/r_{\text{эл}}$. Если принять $D = 250$ мм; $\varepsilon = 2'$, $r_{\text{эл}} = 1$ мм, то этот множитель становится равным

$D\epsilon/r_{2\lambda} = 0,15$. Таким образом, глубина резкого изображения определяется в основном аккомодационной глубиной. Например, для лупы $\bar{\Gamma} = 5\times$ глубина резкого изображения равна: $T = 10 + 0,15 \cdot 10 = 11,5$ мм.

4. Оптические схемы и конструкции различных типов луп

Лупы малого увеличения (до $7\times$) обычно состоят из одной линзы (рис. 1.4, а). Так как их фокусное расстояние сравнительно велико, а диаметр зрачка глаза мал, то aberrации, возникающие при широких пучках лучей, здесь во внимание не принимаются. Астигматизм этих луп не дает возможности получить резкое изображение всего поля зрения. Кривизна изображения и дисторсия хотя и не приводят к размытию изображения, однако искажают форму краев предмета. Из обеих хроматических aberrаций у слабых луп имеет некоторое значение только хроматическая

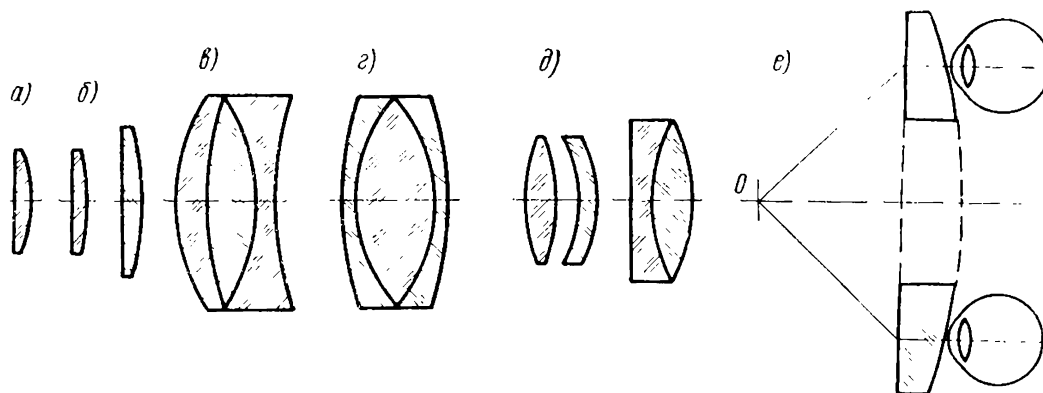


Рис. 1.4. Оптические схемы луп: а — однолинзовой; б — дуплетной; в — верантной; г — апланатической; д — анастигматической; е — бинокулярной

разность увеличений, но обычно она настолько мала, что не мешает наблюдению. При пользовании лупами несимметричной формы для уменьшения величины aberrаций их следует располагать так, чтобы плоская (или менее искривленная) поверхность стекла была обращена к глазу. У одиночной линзы диаметр поля зрения с удовлетворительным качеством изображения доходит до $\frac{1}{5}$ фокусного расстояния.

Большое поле зрения диаметром не менее фокусного расстояния обеспечивается линзой, у которой одна поверхность сферическая, вторая — асферическая.

Для уменьшения астигматизма вместо плоско-выпуклых и двояковыпуклых линз в качестве лупы применяют астигматические линзы (типа очковых), имеющие форму выпукло-вогнутых менисков. У этих линз астигматизм исправлен для лучей, проходящих через определенную точку, с которой должен совпадать центр вращения глаза. Поэтому лупы из таких линз имеют специальную оправу, обеспечивающую определенное взаимное расположение линзы и глаза. Оправа выполнена в виде монокла и при работе удерживается в глазной впадине с помощью мышц лица.

Возможно применение двух одиночных линз в качестве лупы таким образом, что наблюдение производится или через любую из них, или через обе сразу. В последнем случае линзы располагаются почти вплотную друг

к другу. Такая лупа имеет три сменных увеличения $\bar{\Gamma}_1$, $\bar{\Gamma}_2$ и $\Gamma_3 = \bar{\Gamma}_1 + \bar{\Gamma}_2$, где $\bar{\Gamma}_1$ и $\bar{\Gamma}_2$ — увеличения первой и второй отдельной линзы.

Лупы среднего и сильного увеличения (свыше $6\times$) из-за небольшого по сравнению с размером зрачка фокусного расстояния требуют устранения также и осевых aberrаций: сферической и хроматической. Так как при одной линзе труднее устранить aberrации, то получение удовлетворительного качества изображения в сильных лупах достигается применением двух или более линз.

Примером лупы из двух несклеенных линз может служить дуплетная лупа (рис. 1.4, б), предложенная Волластоном, состоящая из двух плоско-выпуклых линз. Все aberrации, кроме хроматической, в большей или меньшей степени устранены, поэтому изображение достаточно хорошее по всему полю зрения. Увеличение лупы может достигать очень больших значений.

Верантная лупа (рис. 1.4, в) из положительного и отрицательного менисков имеет значительное поле зрения, достигающее 60° . Лупа свободна от астигматизма, кривизны изображения, дисторсии и хроматической разности увеличений. Рассчитана для определенного положения глаза и имеет небольшое увеличение.

Апланатическая лупа по Штейнгейлю (рис. 1.4, г) довольно распространена для увеличения $6—15\times$. Состоит из трех склеенных линз: средняя — двояковыпуклая, крайние — симметрично расположенные одинаковые отрицательные мениски. В системе благодаря ее симметрии отсутствуют aberrации наклонных пучков, а также устранены сферическая aberrация и хроматическая разность увеличений. Все это обеспечивает хорошее качество изображения по всему полю зрения, угловой размер которого достигает 20° .

Четырехлинзовые анастигматические лупы (рис. 1.4, д) являются наиболее совершенными лупами с большими увеличениями ($10—40\times$), у которых устранены все aberrации как осевые, так и внеосевые. По своим качествам эти лупы приближаются к микрообъективам.

Теоретически возможно изготовить лупы с очень большим увеличением. Фокусное расстояние таких луп будет мало. Это приведет к значительным трудностям: диаметры линз станут малыми, а кривизна поверхностей — большой; сильно уменьшится поле зрения и очень затруднится освещение объекта.

Биноклярные лупы обычно состоят из двух одиночных линз или линз с помещенными перед ними призмами, расположенных так, что наблюдение через них ведется одновременно двумя глазами. Эти лупы дают возможность видеть объемное изображение предмета и поэтому очень удобны для препарировальных и других работ подобного рода. Увеличение луп, как правило, не превышает $3\times$. Две линзы простейшей биноклярной лупы (рис. 1.4, е) представляют собой крайние участки одной линзы, в фокусе которой помещается предмет O . Таким образом, при наблюдении лучи из одной точки предмета попадают в оба глаза. Для выполнения этого условия в случае обыкновенных линз перед ними устанавливаются соответствующие призмы.

Конструкции луп довольно разнообразны, что вызвано различными условиями их применения. На рис. 1.5 показано по одной лупе из всех наиболее употребительных типов (исключая биноклярные).

Складные лупы (рис. 1.5, а) имеют наиболее разнообразное применение благодаря своей портативности. Лупы заключены в легкую пластмассовую оправу, которая служит корпусом для сохранности линзы, а при работе

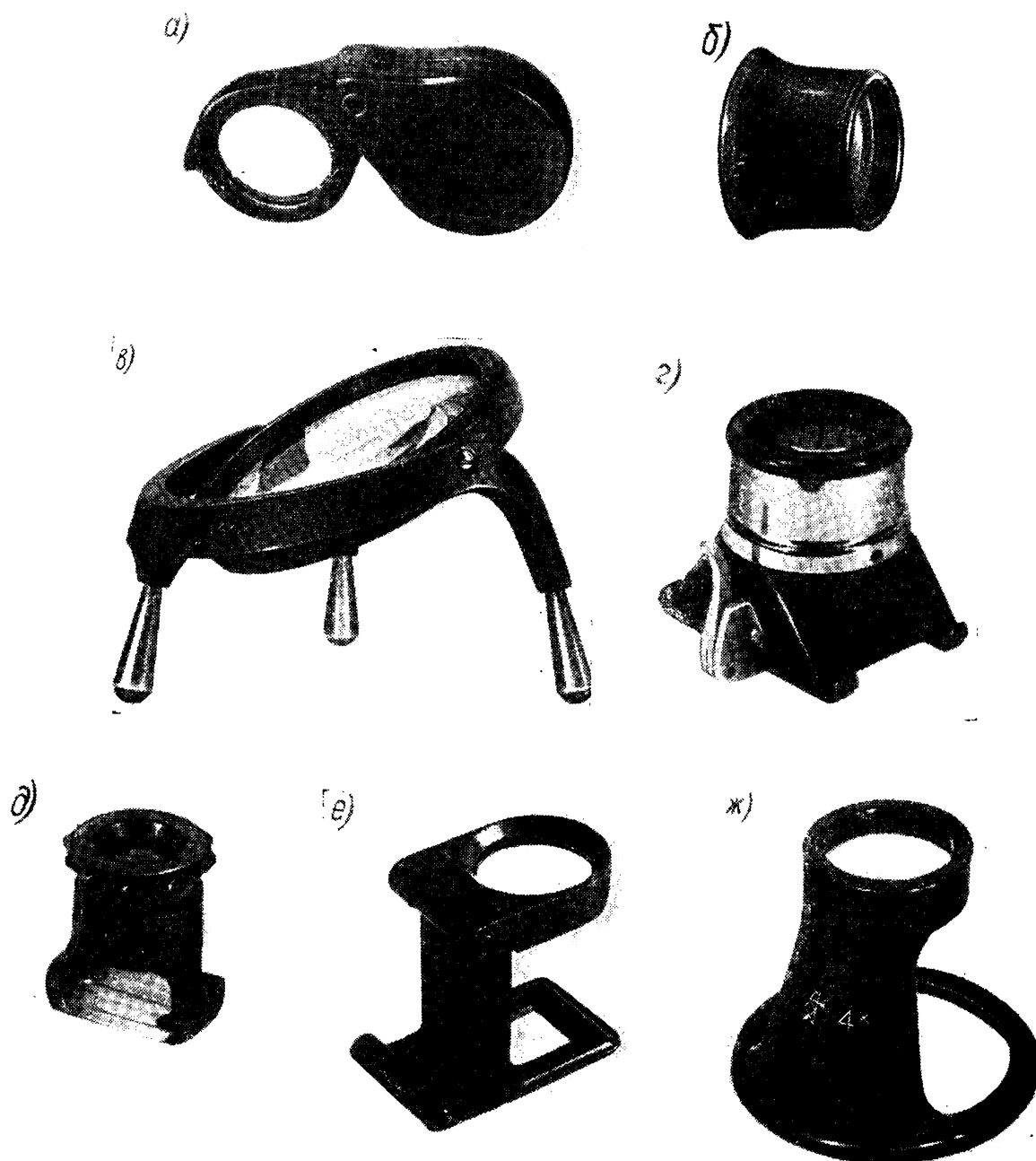


Рис. 1.5. Различные типы луп: а — складная ЛП1,7×; б — часовая ЛПК, 456,5×; в — штативная ЛПШ-459, 1,5×; г — просмотрная Л5; д — измерительная ЛИ-3-10×; е — тек- стильная ЛТ-1-7×; ж — зерновая ЛПШ-461

выполняет роль ручки. Изготавливаются с увеличениями от 2,5 до 20× и линейным полем зрения, соответственно от 95 до 6 мм.

Часовые лупы (рис. 1.5, б) применяются для сборки часовых механиз- мов и других работ с мелкими предметами. Лупы представляют собой

тонкую линзу, вмонтированную в легкую пластмассовую оправу, которая во время работы удерживается в глазной впадине. Увеличение луп бывает в пределах от $0,7$ до $10\times$ при линейном поле зрения от 120 до 10 мм.

Штативные лупы (рис. 1.5, в) предназначены для рассматривания карт, фотоснимков, чтения мелкого текста, для сборки и контроля мелких деталей. Их увеличение $1,5\times$, $3\times$ и $8\times$, а линейное поле зрения 80 , 60 и 18 мм.

Просмотровая лупа (рис. 1.5, г) имеет увеличение $5\times$ и линейное поле зрения 45 мм. Лупа служит для просмотра киноплёнки шириной 35 мм, которая вставляется в направляющие, имеющиеся в корпусе. Фокусировка на плёнку осуществляется перемещением оправы лупы в корпусе. Лупа снабжена пробойником для отметки кадров.

Измерительной лупой (рис. 1.5, д) пользуются для измерения линейных размеров плоских предметов или их деталей. Для этой цели в фокальной плоскости лупы помещена стеклянная пластинка со шкалой, которая при измерении накладывается на предмет. Фокусировка на шкалу и предмет производится посредством перемещения оправы с лупой в корпусе. Шкала имеет длину 15 мм и цену деления $0,1$ мм. Увеличение $10\times$.

Текстильные лупы (рис. 1.5, е) предназначены для обнаружения различных дефектов тканей и для определения их плотности, т. е. количества нитей на 1 см. Лупа устанавливается непосредственно на ткань, наблюдаемая поверхность которой ограничивается окном с размерами 10×10 мм. Лупы изготавливаются с увеличениями $4\times$ и $7\times$.

Зерновая лупа (рис. 1.5, ж) служит для определения качества зерна и пораженности зерна клещами. Увеличение лупы $4\times$. Диаметр окна в основании 56 мм, но поле зрения с удовлетворительным качеством изображения несколько меньше.

5. Телескопическая лупа и лупа с отрицательным окуляром

Как уже говорилось, недостатком луп большого увеличения является малое рабочее расстояние (расстояние между лупой и предметом), что приводит к значительным трудностям в работе. Эти затруднения отсутствуют в телескопических лупах (или телелупах) и лупах с отрицательным окуляром, которые по своей схеме подобны микроскопам, так как имеют двухступенное увеличение. К лупам их относят из-за сравнительно не-большого увеличения.

Телелупа представляет собой зрительную трубу (обычно одиночную трубку бинокля), перед объективом которой установлена дополнительная линза (рис. 1.6, а). Объект 1 при наблюдении располагается в передней фокальной плоскости дополнительной линзы 2. Ход лучей здесь аналогичен ходу лучей в микроскопе, приведенному на рис. II.2, а увеличение может быть подсчитано по формуле (II.11)

$$\bar{\Gamma} = \frac{D}{f'_2} \cdot \frac{f'_3}{f'_5},$$

где f'_2 , f'_3 и f'_5 — фокусные расстояния соответственно дополнительной линзы 2 (рис. 1.6, а), объектива трубы 3 и окуляра 5. Первая дробь в этом выражении представляет увеличение линзы 2 при работе ее в качестве

лупы $\bar{\Gamma}_л$, а вторая — увеличение зрительной трубы $\Gamma_{тр}$. Таким образом, увеличение телелупы равно

$$\bar{\Gamma} = \bar{\Gamma}_л \cdot \Gamma_{тр}. \quad (I.19)$$

Призменная оборачивающая система 4 дает возможность получить прямое изображение, что значительно повышает удобство работы.

Положение и размеры зрачков в телелупе определяются так же, как и в микроскопе.

Промышленные телелупы комплектуются набором сменных дополнительных линз, позволяющих изменять увеличение лупы от 0,4 до 40×.

При этом диаметр поля зрения меняется от 540 до 5 мм, а рабочее расстояние (равное фокусному расстоянию линзы) — от 4000 до 50 мм. Назначение короткофокусных линз ясно из предыдущего; длиннофокусные линзы применяются в тех случаях, когда к наблюдаемому предмету нельзя приблизиться по каким-либо причинам.

Лупа с отрицательным окуляром, иногда называемая лупой Брюкке, представляет собой несколько видоизмененную систему зрительной трубы Галилея (рис. I.6, б). Объектив 1 проектирует изображение предмета в фокальную плоскость окуляра 2, образуя вторично увеличенное мнимое изображение. Увеличение такой системы, как и увеличение лупы, выражается формулой: $\bar{\Gamma} = \frac{250}{f'} \cdot f'$ — фокусное расстояние системы, определяющееся в геометрической оптике как $\frac{1}{f'} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$, где f_1 и f_2 — фокусные расстояния объектива и окуляра; d — расстояние между объективом и окуляром.

Так как фокусное расстояние (и увеличение) такой лупы зависит от расстояния между объективом и окуляром, то, меняя это расстояние, можно плавно изменять увеличение. Это является достоинством системы.

Однако лупа Брюкке не имеет действительного выходного зрачка и выходного люка, совмещенного с плоскостью изображения. Это обстоятельство, а также малые по сравнению с телелупой поле зрения и рабочее расстояние при одном и том же увеличении привели к тому, что лупа Брюкке не получила большого распространения.

Две параллельные телелупы (бинокль с дополнительными линзами рис. I.4, е) или лупы Брюкке являются не чем иным, как бинокулярной стереоскопической лупой. Роль такой лупы могут выполнять телескопические очки, которые дают небольшое увеличение, но зато благодаря своей конструкции обеспечивают удобство в работе.

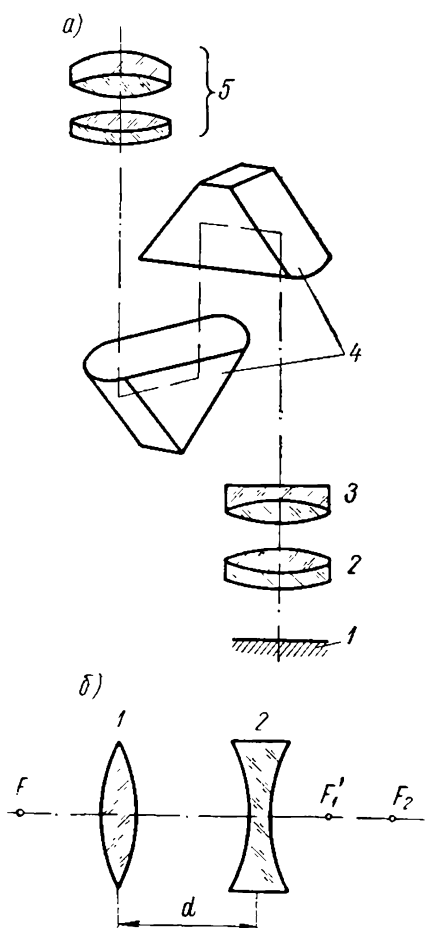


Рис. I.6. Принципиальные схемы: а — телелупы; б — лупы с отрицательным окуляром