

А. А. БАГДАСАРОВ, О. В. БАГДАСАРОВА, Е. В. ДАНЧИНА

РУЧНАЯ ЩЕЛЕВАЯ ЛАМПА НА БАЗЕ МИКРОСКОПА ГРЕНУ ДЛЯ ОФТАЛЬМОЛОГИИ

Рассмотрено современное состояние аппаратного обеспечения офтальмологии, предложено одно из направлений разработки портативных малогабаритных исследовательско-диагностических устройств, в частности, ручной щелевой лампы для проведения оперативной диагностики передней и задней камер глаза. Приведен пример расчета первой отечественной ручной щелевой лампы.

Ключевые слова: офтальмология, щелевая лампа, микроскоп, освещение, инвариант, апертура.

Согласно современной статистике, более двух миллиардов людей на Земле имеет проблемы со зрением. В связи с интенсивной механизацией, компьютеризацией большинства отраслей, возросшим объемом информации, воспринимаемой глазами, значительно возрастает нагрузка на зрительный нерв, что провоцирует развитие зрительных расстройств [1]. В связи с этим задача ранней массовой диагностики и контроля зрения имеет важное социальное значение [2].

Современная офтальмология представляет собой высокотехнологичное направление медицины, офтальмологическое обследование предполагает использование целого ряда методов, а также приборов для диагностики глазных заболеваний [3—10]. Одним из таких приборов является фундус-камера [8] — цифровой прибор, предназначенный для визуального наблюдения состояния глазного дна и получения его подробного полноцветного видеофотоизображения и, по сути, одного из самых достоверных и полезных инструментов, используемых в офтальмологии.

Для точной постановки диагноза могут понадобиться и другие приборы (например, щелевая лампа, гониоскоп, кампиметр, периметр). Обследование с помощью щелевой лампы необходимо при выявлении повреждений роговицы.

Собственно щелевая лампа — аппарат, позволяющий проводить биомикроскопический анализ видимых частей глаза — век, склеры, конъюнктивы, радужки, хрусталика и роговицы. Лампа состоит из источника узконаправленного света и бинокулярного микроскопа (иногда — с возможностью фотосъемки).

Стационарные и широко в последние годы применяемые ручные щелевые лампы базируются на едином принципе работы [3, 4] — проекции изображения щели в осветительном канале на исследуемый глаз.

На рис. 1 представлена схема стационарной щелевой лампы ЩЛ-3Г (1 — лампа накаливания; 2 — коллектор; 3 — диафрагма; 4 — щелевая диафрагма; 5 — светофильтры; 6 — объектив (конденсор); 7 — апертурная диафрагма; 8 — призма; 9 — линза Хруби; 10 — матовое стекло;

11 — поляризатор; 12 — объектив микроскопа; 13 — галилеевские телескопические системы; 14 — бинокулярная приставка).

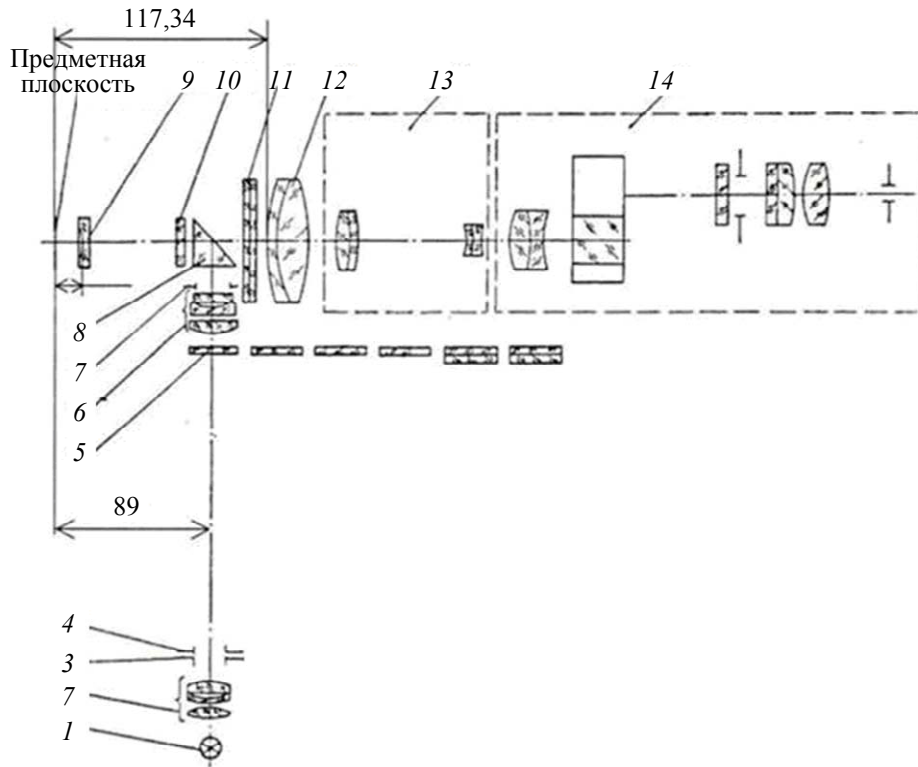


Рис. 1

Форма светового пучка задается щелевой диафрагмой, входящей в оптическую систему осветителя, строящей изображение щелевой диафрагмы на оси вращения осветителя. Исследуемый участок глаза должен быть совмещен с изображением щелевой диафрагмы, пучок света, ограниченный ею, подобен световому „ножу“. Проходя через прозрачные среды глаза, световой „нож“ образует „оптический срез“ — главный объект исследования, выполняемого с помощью бинокулярного микроскопа, позволяющего в этом узком пучке обнаружить помутнения в роговице, хрусталике, стекловидном теле. Для изучения состояния глазного дна применяется офтальмоскопическая отрицательная линза (линза Хруби), которая позволяет рассматривать участок диаметром 5—6 мм.

Существенно расширяет возможности исследования то, что „оптический срез“ можно рассматривать в бинокулярный микроскоп под различными углами. С этой целью осветитель и микроскоп вращаются вокруг вертикальной оси, совпадающей с серединой лобно-подбородной опоры прибора, они могут поворачиваться на $\pm 60^\circ$, при угле между ними от 0—120°. При любой величине этого угла оси осветителя и микроскопа пересекаются в одной точке — там, где должен быть расположен исследуемый глаз.

При биомикроскопии глаза обеспечиваются:

— диффузное освещение, создаваемое при максимально открытой щели, что позволяет получать наиболее широкий пучок света. С помощью этого вида освещения можно производить предварительный осмотр всех участков переднего отдела глаза;

— прямое фокальное освещение — плоскость изображения щели осветителя совпадает с фокусом микроскопа, что позволяет выделять и осматривать какой-либо участок глаза (с точки зрения микроскопостроения этот вид освещения относится к боковому освещению по методу темного поля);

— не прямое освещение — участок глазного яблока исследуется в отраженном свете. Источником света является соседний, ярко освещенный участок, на который фокусируют ос-

ветитель, а фокус микроскопа расположен в зоне, освещаемой непрямим светом. С помощью такого метода удастся обследовать глубокие слои непрозрачных тканей;

— проходящий свет применяют для осмотра прозрачных сред глаза. Для этого следует позади исследуемой ткани в какой-либо плоскости получить путем фокусировки осветителя яркое освещение. Отраженные от непрозрачной ткани лучи освещают исследуемый участок, на который фокусируется микроскоп;

— метод зеркального поля, используемый в биомикроскопических исследованиях в отраженных от зеркальных поверхностей (например, роговицы и хрусталика) лучах;

— скользящий луч (осветитель ставится перпендикулярно микроскопу) — подобный вид освещения дает возможность хорошо рассмотреть рельеф оболочек глаза, особенно радужки.

Разворот призмных систем вокруг оптических осей левой и правой ветвей бинокулярной приставки позволяет согласовывать расстояния между осями окуляров с межзрачковым расстоянием глаз врача.

При добавлении отрицательной линзы Хруби (см. рис. 1, 9) оптическая система стереомикроскопа преобразуется в телескопическую, которая позволяет исследовать задний отдел глаза, включая сетчатку.

При обследовании сред глаза в поляризованном свете совместно с поляроидом-светофильтром 5 используют поляроид 11 (анализатор), вращением которого вокруг оптической оси стереомикроскопа устраняются блики, появляющиеся на изображении исследуемой поверхности.

Как показала практика, расчет визуальных каналов и системы освещения производится в предположении плоской поверхности освещаемого и рассматриваемого объекта, несмотря на то что передняя поверхность роговицы имеет определенную кривизну (порядка 7,7 мм) [10], что при диаметре освещаемого поля 15 мм дает расфокусировку порядка 6 мм. Однако мгновенное поле зрения, в пределах которого четко с высоким разрешением виден рассматриваемый объект, не превышает 1,5—2° [11], а процесс рассматривания объекта заключается в последовательном его сканировании по полю с последующей аккомодацией. Исходя из сказанного, с учетом глубины резкости системы „прибор—глаз“ и, в первую очередь, объема аккомодации эметропического глаза $\approx 8D$ [10], можно считать такой подход к расчету оптики прибора оправданным, что и подтверждает практика использования щелевых ламп.

Для оперативного диагностирования требуется разработка портативных малогабаритных исследовательско-диагностических устройств, в том числе и ручной щелевой лампы, для возможности проведения оперативной диагностики передней и задней камер глаза как в амбулаторных, так и в домашних условиях.

Подобные параметры присущи всем выпускаемым в настоящее время ручным щелевым лампам. Компактность и высокие эксплуатационные качества сочетают в себе ручные щелевые лампы HSL150 (фирма HEINE, Германия), XL-1 (ShinNippon, Япония).

На рис. 2 представлены внешний вид, на рис. 3 — схема ручной щелевой лампы SL-15 японской фирмы KOWA (*a* — вид сверху, *b* — вид сбоку; 1 — корпус призмы, 2 — окуляры, 3 — линзы объектива, 4 — угловая шкала — показывает угол наклона кронштейна осветительной лампы, 5 — диск выбора щели, 6 — тумблер включения/выключения света, 7 — съемная верхняя крышка, 8 — диск выбора яркости/фильтра, 9 — крышка съемного блока питания, 10 — соединяемый кронштейн, 11 — рукоятка, 12 — корпус лампы, 13 — крышка лампы, 14 — рукоятка выбора увеличения [12]), а в табл. 1 — ее технические характеристики.

В стационарных стереоскопических щелевых лампах используется микроскоп однообъективный с устройством для перемены увеличения, а в ручных — два микроскопа по типу Грену [10].



Рис. 2

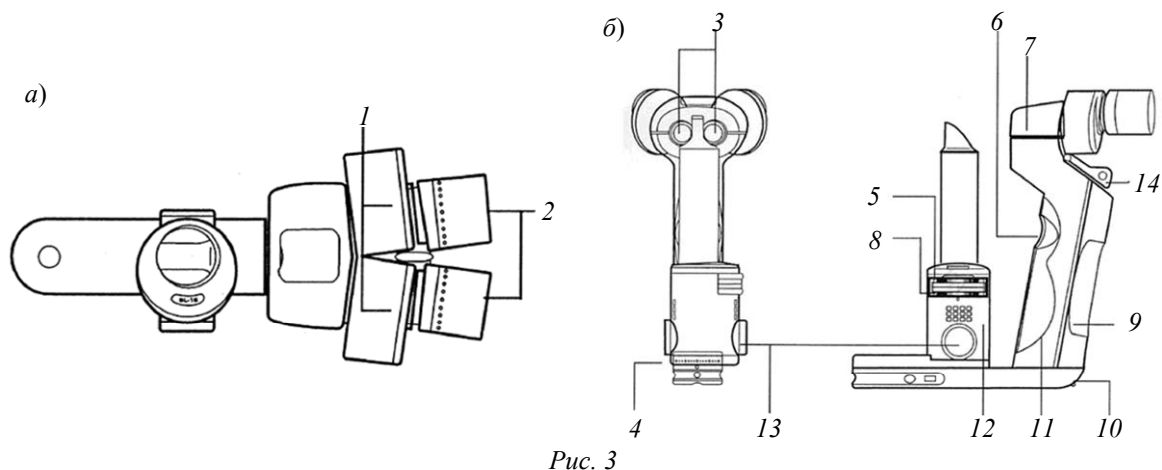


Рис. 3

Таблица 1

Технические характеристики щелевой лампы SL-15

Микроскоп	
Тип	Бинокулярный прямой, производящий реальное изображение
Угол конвергенции, ...°	13
Увеличение, крат	16 и 10
Рабочее расстояние, мм	~80 (16 ^х), ~100 (10 ^х)
Поле зрения, мм	10 (16 ^х), 15 (10 ^х)
Диоптрийная коррекция окуляров	От -8D до +4D
Визирное перекрестие	Встроено в оба окуляра
Проектор щели	
Выбор щели	Револьверный
Длина щели, мм	12, фиксированная
Ширина щели, мм	0,1; 0,2; 0,8; диаметр пятна 12 мм
Регулировка яркости	Полная, 1/4, 1/16
Угол проекции щели, ...°	±60, горизонтальный
Фильтры	Встроенные, синий
Источник света	Галогеновая лампа 7,5 В, 15 Вт
Продолжительность непрерывного освещения, мин	≈40
Дополнительно	
Элемент питания	8,4 В, 15 Вт
Размеры, вес	Главный блок: 221×106×214 мм, 700 г

В микроскопах по схеме Грену поверхность объекта развернута на угол, равный половине угла конвергенции (13—15°), что приводит к незначительному различию увеличения для противоположных краев поля зрения в сагиттальной плоскости и дополнительной расфо-

куировке изображения, но меньшей, чем расфокусировка, вызванная кривизной передней поверхности роговицы. Как уже было сказано выше, эта разница нивелируется глубиной резкости системы „прибор—глаз“.

Следует отметить, что схема Грену была предложена еще в XIX в., но широкого применения в оптических стереоскопических приборах не нашла. Этому способствовал ряд причин, в частности, неудобство наблюдения, требование устранения расхождения аккомодации и конвергенции. Однако опыт применения ручных щелевых ламп показал перспективность разработки таких приборов.

В России разработки ручной щелевой лампы с параметрами, не уступающими вышеперечисленным, а в ряде случаев и превосходящими их, были начаты в 2013 г.

В табл. 2 представлены технические требования к разработке визуальной части прибора при условии соблюдения постоянного расстояния между наблюдаемым объектом и окулярной плоскостью микроскопа для всех увеличений. Предложенный микроскоп с габаритными параметрами, схожими с параметрами прибора (см. рис. 2, 3 и табл. 1), дополнительно обеспечивает наблюдение прямого изображения при большем увеличении ($25,6\times$) за счет применения окуляра с увеличением $\Gamma_{ок} = 16\times$.

Таблица 2

Параметры визуальной системы ручной щелевой лампы			
Оптические характеристики			
Увеличение микроскопа, крат	10	16	25,6
Линейное поле зрения в плоскости предметов, не менее, мм	15	10	5
Рабочее расстояние микроскопа, мм	100	80	80
Угол конвергенции, ...°	13	13	13
Увеличение объектива, крат	1,0	1,6	1,6
Увеличение окуляра, крат	10	10	10; 16
Удаление выходного зрачка, мм	20	20	20

Одно из преимуществ разработанного микроскопа — требование большого выноса выходного зрачка для окуляров (20 мм), при таком выносе окуляры должны иметь диоптрийную подвижку $\pm 8D$.

Для обеспечения компактности прибора ограничен световой диаметр линз объективов микроскопа (не более 10 мм) при относительной простоте всей композиции. Выходная призма оптической системы осветительного устройства должна иметь размеры $20\times 20\times 10$ мм (10 мм — толщина).

Рассчитанные объективы микроскопа представляют двухкомпонентную систему из склеенной и простой линз с входной числовой апертурой 0,04 и 0,05 для увеличения $1\times$ и $1,6\times$ соответственно.

Окуляр с увеличением $\Gamma_{ок} = 10\times$ композиционно соответствует схеме Кельнера [13]. Как известно, обычный вынос выходного зрачка в схеме Кельнера составляет порядка половины от фокусного расстояния окуляра, что при фокусном расстоянии окуляра с указанным увеличением и угловом поле за окуляром $\sim 45\text{—}50^\circ$ должно быть около 13 мм. В разработанном варианте за счет несколько меньшего поля ($2\omega = 37^\circ$) удалось обеспечить вынос выходного зрачка 20 мм.

Однако для окуляра с $\Gamma_{ок} = 16\times$ ($f'_{ок} = 15,6$ мм) вынос выходного зрачка до 20 мм при условии сохранения высокого качества изображения невозможен без усложнения композиции окуляра Кельнера.

Очевидно, что усложнение композиции не должно было повлиять ни на фокусное расстояние, ни на сферическую aberrацию в зрачках окуляра. Оптимизация разработанной

композиции сопровождалась постоянным контролем системообразующих критериев качества изображения (сферической и полевых аберраций, а также дисторсии и хроматизма увеличения). Отрицательная линза при этом приблизилась к предметной плоскости окуляра, но на расстояние, достаточное для осуществления диоптрийной подвижки окуляра в диапазоне 8D.

В целом при всех увеличениях микроскопа разрешающая способность наблюдения в пределах полей зрения превышала 90 лин/мм.

Расчет осветительной системы щелевой лампы был проведен в соответствии с условием освещения по методу Келера [14], когда изображение светящегося тела (светодиода высокой яркости с размером площадки 1,8×1,8 мм, диагональ 2,5 мм) совпадает с выходной гранью прямоугольной призмы канала освещения и является выходным зрачком системы. Изображение щели осветительного канала с максимальным размером щели 12 мм проецируется на объект — глаз пациента.

В этом случае благодаря выпуклой форме передней поверхности роговицы глаза с достаточно большой кривизной, а также значительной аберрации широких наклонных пучков, возникающей при отражении от этой поверхности, отраженный в сторону глаза свет распространяется в пределах широкого угла, намного перекрывающего расчетные числовые апертуры объективов микроскопа.

В такой ситуации числовая апертура осветительной системы в пространстве обследования будет определяться размерами светового пятна на выходной грани прямоугольной призмы и расстоянием от призмы до глаза (в рассматриваемом случае 54 мм).

Когда размер засвеченной области больше выходной грани прямоугольной призмы осветителя (20×10 мм), с учетом фасок на ребрах призмы и аберраций в прямом ходе лучей (от светящегося тела на глаз) можно положить для исходного шага в расчетах диаметр светящегося пятна 8 мм.

В этом случае числовая апертура в пространстве обследования

$$A' = \frac{8}{2} \cdot 54 = 0,074. \quad (1)$$

В соответствии с работой [10] в любом пространстве инвариант Лагранжа—Гельмгольца

$$I = n\alpha l = n'\alpha' l', \quad (2)$$

где n и n' — показатели преломления рассматриваемых сред, α и α' — апертурные углы в средах, l и l' — размеры изображений в средах, при $n = n' = 1$ $I = 15 \cdot 0,074 = 1,11$ (15 мм — максимальный размер изображения щели на объекте).

Со стороны светящегося тела при его размерах (1,8×1,8) входная числовая апертура коллектора ($A_{\text{кол}}$), характеризующая угол охвата коллектора, определится как

$$A_{\text{кол}} = 1,11 / 2,5 = 0,44.$$

В этом случае можно использовать одну линзу с одной асферической поверхностью, если не использовать асферических линз, коллектор будет состоять из двух линз. В предложенном варианте осветительной системы линзы выполнены из кварцевого стекла, обладающего большей теплостойкостью, чем обычное стекло.

В разработанном варианте осветительной системы удалось при двухкомпонентной схеме коллектора с фокусным расстоянием 14,53 мм получить расстояние от светящегося тела до первой линзы коллектора в прямом ходе световых лучей 10,15 мм, что позволяет разместить в этом пространстве тепловые фильтры и светофильтры.

Конденсор, обеспечивающий проекцию изображения щелевой диафрагмы на обследуемый объект (глаз) с линейным увеличением в прямом ходе световых лучей $-1,25^{\times}$ выполнен из двух двусклеенных линз с эквивалентным фокусным расстоянием 52,8 мм.

Общая длина осветительной системы от светящегося тела до выходной грани прямоугольной призмы ~190 мм, применены широко известные отечественные марки стекол.

Допуски на изготовление оптических элементов соответствуют среднестатистическим, применяемым в отечественном оптическом приборостроении.

Заключение. В настоящее время специалисты-офтальмологи располагают большим количеством разнообразных приборов, предназначенных для проведения всесторонних исследований и диагностирования. Тенденции развития в проектировании этой аппаратуры базируются на внедрении современных базовых элементов с асферической оптикой, а также разработке малогабаритных портативных ручных приборов для оперативного исследовательско-диагностического выявления патологий медицинского характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нарушение зрения: причины, симптомы, лечение и профилактика. 2014 [Электронный ресурс]: <<http://www.domadoctor.ru/179-narushenie-zreniya.html>>.
2. Нанотех-экспресс. Разработка методов и оптических приборов нового поколения для широкого использования в офтальмологии, включая диагностику и коррекцию зрения. 2012 [Электронный ресурс]: <<http://www.nanotech-express.ru/projects/Optics/index.html>>.
3. Урмахер Л. С. Справочник по офтальмологической оптике и приборам. М.: Медицина, 1971. 189 с.
4. Урмахер Л. С., Айзенштат Л. И. Офтальмологические приборы. М.: Медицина, 1988. 108 с.
5. Медицинская энциклопедия. Биомикроскопия. 2007—2014 [Электронный ресурс]: <<http://www.medical-enc.ru/2/biomikroskopia.shtml>>.
6. Оптические методы исследования в офтальмологии. 2010 [Электронный ресурс]: <<http://www.knowledge.allbest.ru/Медицина/0.html>>.
7. Офтальмоскопия. 2014 [Электронный ресурс]: <<http://www.websight.ru/exam/fundoscopy.php>>.
8. Фундус-камера. 2011—2014 [Электронный ресурс]: <<http://medbuy.ru/fundus-kamera>>.
9. Гониоскопия. 2008—2014 [Электронный ресурс]: <<http://www.bolezni-glaza.ru/content/view/786/810>>.
10. Чуриловский В. Н. Теория оптических приборов. М.—Л.: Машиностроение, 1966. 564 с.
11. Травникова Н. П. Эффективность визуального поиска. М.: Машиностроение, 1985. 129 с.
12. Kowa Pharmaceutical Europe Co. Ltd. 2014 [Электронный ресурс]: <<http://www.kowapharmaceuticals.eu>>.
13. Панов В. А. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980. 743 с.
14. Скворцов Г. Е., Панов В. А., Поляков Н. И., Федин Л. А. Микроскопы. Л.: Машиностроение, 1969. 511 с.

Сведения об авторах

- Александр Аванесович Багдасаров** — канд. техн. наук; ОАО Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова, Санкт-Петербург; ведущий научный сотрудник; E-mail: balexol@yandex.ru
- Ольга Васильевна Багдасарова** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра прикладной и компьютерной оптики, Санкт-Петербург; E-mail: balexol@yandex.ru
- Елена Владимировна Данчина** — студент; Университет ИТМО, кафедра прикладной и компьютерной оптики, Санкт-Петербург

Рекомендована кафедрой
прикладной и компьютерной оптики

Поступила в редакцию
25.03.14 г.