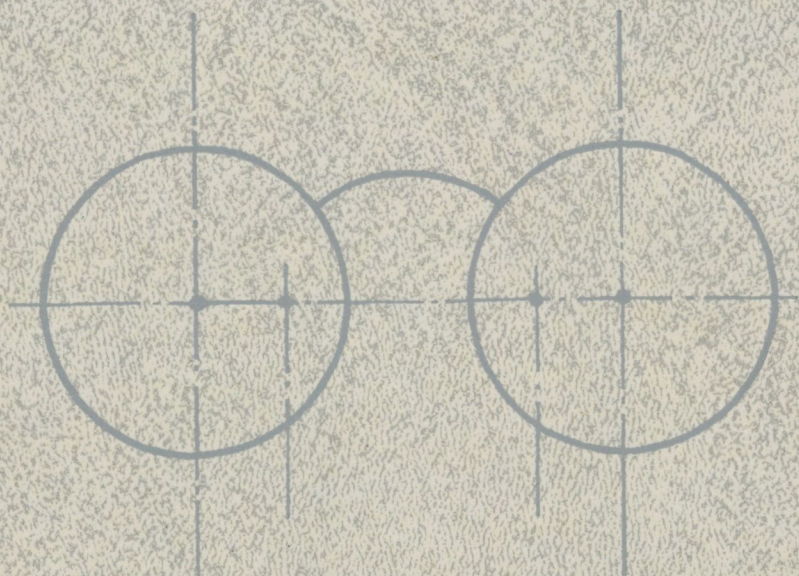




ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Л.С. Урмахер, Л.И. Айзенштат

# ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ



Л.С. Урмахер, Л.И. Айзенштат

# ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

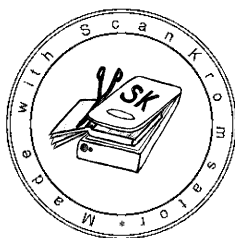


Москва·Медицина·1990

ББК 56.7

У 68

УДК 615.477 : 617.7-089.24



Урмахер Л. С., Айзенштат Л. И.

У68      Оптические средства коррекции зрения. — М.: Медицина, 1990. — 256 с.; ил.

ISBN — 5—225—02186—7.

Монография содержит сведения о корригирующих и специальных очках, контактных и интраокулярных линзах, о приборах для их подбора и организации приема и изготовления средств оптической коррекции зрения. Особое внимание уделяется обоснованию современных требований к средствам оптической коррекции зрения, исходя из физиологических особенностей зрительного анализатора, и методам их расчета, изготовления и контроля.

Книга предназначена для инженерно-технических и медицинских работников, занятых разработкой, изготовлением, подбором и отпуском оптических средств.

У 410400000—294  
039(01)—90 КБ—35—16—89

ББК 56.7

ISBN — 5—225—02186—7

© Л. С. Урмахер, Л. И. Айзенштат, 1990

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга предназначена прежде всего для инженерно-технических и медицинских работников, занятых разработкой и изготовлением изделий очковой оптики и других оптических средств коррекции зрения, а так же подбором, приемом и отпуском очков населению.

Книга открывается кратким историческим обзором развития оптических средств коррекции зрения и изложением основных сведений по физической, геометрической и физиологической оптике.

В первом разделе излагаются сведения по классификации очковых линз, о материалах, применяемых при изготовлении их, приводятся методы расчета и технология изготовления простых и сложных очковых линз. В последующих двух главах этого раздела показана взаимосвязь антропометрии лицевой части головы человека и конструктивных параметров очковых оправ и требований к ним, а также изложены основные требования к очкам и технология их сборки. Раздел завершается описанием различных видов специальных очков.

Методы изготовления контактных линз, интраокулярных линз и кератопротезов и основные принципы коррекции ими зрения освещены во втором разделе книги.

В третьем разделе дано описание современных приборов для объективного и субъективного подбора средств коррекции зрения, а также контроля самих средств коррекции зрения в процессе производства и при отпуске их населению.

Книга завершается разделом об организации подбора и изготовления оптических средств коррекции зрения как в нашей стране, так и в ряде других стран.

### О П Е Ч А Т К А

Во всех формулах  $Y$  следует читать «у»  
« $U$ » следует читать «и»



## ИСТОРИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Изобретение очковых линз относят к концу XIII века. В это время в северных областях Италии был открыт секрет получения прозрачного стекла. В 1280 г. слава о венецианских зеркалах распространилась по всем близлежащим странам. Этот год можно считать годом изобретения очков. Научными предшественниками изобретения очковых линз были египетский ученый Ибн-аль-Хайсама (965—1039 гг.), впервые изучивший оптику глаза и познавший увеличительное действие шарового сегмента, и английский ученый Роджер Бэкон (1214—1294 гг.).

В 1300 г. Государственный совет Венеции издал постановление, запрещающее употреблять для очков стекла плохого сорта. Линзы того времени были либо плосковыпуклыми, либо двояковыпуклыми, т. е. положительными и предназначались для коррекции дальнорукости.

В начале для чтения пользовались одной линзой. Оправа предназначалась для предохранения стекла от скалывания и изготовлялась из дерева. Затем был сделан первый шаг на пути создания прототипов современных очковых оправ: ручки двух оправ соединили заклепкой, а несколько позднее штифтом, что обеспечивало возможность закрепления очков на носу. Идея привязать веревочку за ободки оправы и зацепить ее как-то за ушами пришла в XVI веке. К этому времени оправы изготавливались не только из дерева, но и из железа, кожи, рога и китового уса. Появление заушников вызвало необходимость при изготовлении очковых оправ применять жесткое соединение двух ободков, т. е. у оправы появился мостик (переносье).

Только через 150 лет после изобретения положительных очковых линз появились отрицательные линзы (имеющие вогнутые поверхности), предназначенные для коррекции близорукости.

В «Диалектике природы» Ф. Энгельс писал: «Когда после темной ночи средневековья вдруг вновь возрождаются с неожиданной силой науки, начинающие развиваться с чудесной быстротой, то этим чудом мы опять-таки обязаны производству». И в первую очередь он среди других факторов называет очки,

которые «...доставили не только огромный материал для наблюдения, но также и совершенно иные, чем раньше, средства для экспериментирования и позволили сконструировать новые инструменты»\*. Этими инструментами стали зрительная труба (1609 г.), а несколько позже — микроскоп. Изобретения их связаны с великими именами — Галилея, Кеплера и Левенгука.

В России очки появились в конце XVI века. Правда, документальное подтверждение относится к 1639 г. К концу XVII века очки в России получили широкое распространение. В 80-х и 90-х годах XVII столетия русские купцы продавали их даже в Сибирь и Китай.

После изобретения положительных и отрицательных очковых линз крупным шагом в истории их развития явилось изобретение бифокальных (двухфокусных) линз. Соединил половинки двух линз различных рефракций в одну оправу американский ученый Б. Франклин (1784 г.). В 1837 г. Уэлсом и Гульдом были изготовлены бифокальные линзы путем наклейки добавочной линзы на основную. В 1908 г. Борш предложил впекать в основную линзу добавочную, что дало возможность получать бифокальные линзы с невидимой линией раздела. В 1910 г. Коннор изобрел трифокальные линзы, а в 1959—1960 гг. во Франции и ГДР были предложены линзы с плавно-меняющейся рефракцией. Этим самым были созданы лучшие условия коррекции старческого зрения.

Кроме дальновзоркости и близорукости, значительное распространение имеет астигматизм глаза. Астигматизм был обнаружен и впервые исследован в 1801 г. английским врачом и естествоиспытателем Т. Юнгом. В 1827 г. астроном Айри нашел, что астигматизм глаза можно корригировать цилиндрическими линзами.

В XIX веке претерпели серьезные изменения и очковые оправы: появились соединительные мостики различной конфигурации, овальная форма ободков, очки-пенсне, носовые упоры. В 70-х годах этого столетия стал известен новый полупрозрачный пластический материал — целлулоид, который сразу же нашел широкое применение в производстве очковых оправ. Вначале им покрывали заушники, ободки, носовые упоры металлических оправ, а затем целлулоид стал использоваться полностью для изготовления этих деталей.

В истории очков XX век характеризуется значительным их совершенствованием. Вместо двояковыпуклых и двояковогнутых линз, так называемых линз БИ-формы, были рассчитаны выпукло-вогнутые (менисковые), анастигматические линзы высокой точности (Чернинг, Оствальд, Воллостон, фон Рор). Выпукло-вогнутые очковые линзы были впервые выпущены в 1909 г. фирмой К. Цейс. В начале 30-х годов этой же фирмой были

---

\* Маркс К., Энгельс Ф. Диалектика природы. — Соч. 2-е изд., т. 20. С. 501.

изготовлены катральные очковые линзы с асферической поверхностью, предназначенные для коррекции афакического глаза.

Следующим крупным шагом в истории развития средств коррекции (1929 г.) явился массовый выпуск фирмой К. Цейс по расчетам Хейне линз, надевающихся непосредственно на глазное яблоко, так называемых контактных линз. Вначале их делали из силикатного стекла, а в 1937 г. венгерский офтальмолог Д. Дьерффи и американец Файнблум предложили изготавливать контактные линзы из прозрачной пластмассы (органического стекла). В 1949 г. появились роговичные контактные линзы малого диаметра, которые в настоящее время получили наибольшее распространение.

В конце 50-х годов в Чехословакии академиком О. Вихтерле были разработаны мягкие гидроколлоидные контактные линзы, которые легко переносятся глазом при длительном ношении, но имеют ряд существенных недостатков: отсутствие постоянства формы, необходимость хранения в специальном водном растворе.

Первая лаборатория контактных линз у нас в стране была открыта в 1957 г. в Московском научно-исследовательском институте глазных болезней им. Гельмгольца. Ее инициаторами и организаторами в то время были врач Е. М. Орлова и инженер Л. С. Урмахер. Большую помощь в становлении и дальнейшем развитии лаборатории оказал Е. М. Белостоцкий.

С 50-х годов XX столетия все больше начинают применяться очковые оправы с ободками, близкими по форме к прямоугольной, а в последнее время еще к каплеобразной. Получили распространение и комбинированные очковые оправы, у которых часть деталей сделана из пластмассы, а часть — из металла. Форма очковых оправ, особенно в настоящее время, изменяется довольно часто, так как ее увязывают с тенденцией моды. Если с 1920 по 1950 гг. во всем мире было изготовлено лишь около 200 новых моделей, то сейчас вдвое большее количество моделей появляется ежегодно.

До Великой Отечественной войны в СССР имелось фактически только одно предприятие, выпускающее очковые линзы — Витебская фабрика очковой оптики. Она производила ежегодно только 5 млн линз и 2,5 млн оправ. В послевоенные годы, до середины 50-х годов, производство изделий очковой оптики увеличилось по сравнению с довоенным уровнем в 3 раза. Однако, начавшаяся научно-техническая революция и связанными с ней существенными изменениями условий зрительной деятельности человека, повышением материального благосостояния и неуклонным ростом культурного уровня привела к значительному увеличению потребности в корригирующих очках и изменению требований к ним.

В нашей стране, как и в других странах, развитых в техническом отношении, более  $\frac{1}{3}$  населения нуждаются в коррекции

зрения. В настоящее время отечественная промышленность выпускает ежегодно более 70 млн линз и более 20 млн оправ.

Можно отметить следующие основные тенденции в развитии очковой оптики: 1) дальнейшее увеличение объема производства изделий очковой оптики, так как очки все больше становятся не только средством коррекции зрения, но и аксессуаром человека; 2) расширение ассортимента сложных очковых линз и увеличение диаметра всех выпускаемых линз; 3) широкое внедрение очковых линз различных типов, изготавливаемых из прозрачных полимерных материалов с повышенной механической прочностью к истиранию поверхностного слоя; 4) применение при формообразовании очковых линз зональных поверхностей Френеля; 5) переход при изготовлении контактных линз от органического стекла (полиметилметакрилата) к полимерам, содержащим гель, т.е. получение полумягких контактных линз; 6) изготовление очковых оправ из этрола, а также широкое использование металлов с декоративным покрытием.

Отдельно следует остановиться на коррекции зрения оптическими средствами хирургическим методом, осуществляемой при имплантации искусственного хрусталика и кератопротезировании.

Возможность имплантации стеклянной пластинки в мутную роговицу впервые была высказана в 1789 г., но первая операция кератопротезирования в эксперименте на кроликах произведена И. Нуссбаумом в 1853 г. Предложенный им протез имел форму запонки (две пластинки, соединенные оптическим цилиндром из силикатного стекла), который замещал все слои роговицы. В клинических условиях имплантация протеза Нуссбаума была произведена в 1855 г. Протез держался в глазу 6 мес. Последующие установки протезов отторгались в первые же месяцы после операции. Эти неудачи приостановили применение этого метода восстановления зрения при бельмах глаза.

В 30-х годах нашего столетия появились сообщения об отдельных попытках кератопротезирования, в том числе и академика В. П. Филатова в 1935 г. Но только с 50-х годов в истории развития кератопротезирования наметился перелом: Д. Дьерфи, А. М. Водовозов, Г. Зоммер, В. Стоун и другие сообщили о применении усовершенствованных кератопротезов с внутрироговичной опорной поверхностью, с перфорированной опорной поверхностью, при замене стеклянного кератопротеза на полимерный.

60-е и 70-е годы характеризуются глубокими экспериментальными и клиническими исследованиями по кератопротезированию, что привело к увеличению площади перфорации и уменьшению толщины опорной пластины, к введению составного оптического элемента — вывинчивающегося цилиндра. Замена оптического элемента обеспечивала возможность исправления передней поверхности цилиндра при несовпадении с радиусом кривизны и при ошибке в расчетах; производить очистку от



налетов оптически активных участков [Стоун В., 1964; Чойс Д. П., 1968; Бедило В. Я., 1971; Федоров С. Н., 1976; Краснов М. М. 1978].

Современные кератопротезы имеют опорную широко перфорированную часть, оптическую цилиндрическую вывинчивающуюся часть и ключ для вывинчивания последней.

Опорная часть изготавливается из титана, а оптическая часть — из высокоочищенного биологически инертного прозрачного полимерного материала полиметилметакрилата (ПММА).

Первая операция замены мутного хрусталика искусственным протезом была произведена английским офтальмологом Г. Ридлеем в 1949 г. Она прошла успешно и больной получил полноценное зрение при дополнительной коррекции очками с отрицательными линзами высокой рефракции. Искусственный хрусталик Ридлея представлял собой линзу из ПММА, повторяющую естественную форму хрусталика.

Г. Ридлей не учел, что показатель преломления ПММА выше, чем у естественного хрусталика и поэтому у первых оперированных им больных была получена близорукость в 8—10 дптр. В дальнейшем оптическая сила искусственного хрусталика была уменьшена.

После удачного старта Г. Ридлея многие офтальмохирурги овладели его методом, который приводил в основном к тяжелым последствиям. Однако развитие метода продолжалось. В 1954 г. рядом офтальмологов, практически одновременно, был предложен новый метод укрепления интраокулярной линзы в глазу с помощью опорных «ножек», которые упирались в ткани угла передней камеры.

При указанном методе фиксации исчезло такое грозное осложнение, как вывих искусственного хрусталика в стекловидное тело, но более частой стала дистрофия роговицы, которая возникала в отдаленном периоде (обычно между 1-м и 2-м годом после операции). Причина такого заболевания — контакт между опорными «ножками» переднекамерной линзы и периферическими частями роговицы в области угла передней камеры.

Это побудило предложить новый принцип укрепления интраокулярной линзы в глазу (1956 г. одновременно, независимо друг от друга, Э. Эпштейн и К.-Д. Бинкхорст). Новый принцип заключался в том, что в качестве опорной ткани использовалась радужная оболочка. Сама линза помещалась в передней камере, ее фиксирующие части состояли из двух пар опорных петель, изготовленных из полимерного материала, которые располагались перед радужкой и позади нее. С тканями передней камеры опорные петли не соприкасались. Такая конструкция интраокулярной линзы способствовала резкому снижению случаев дистрофии роговицы.

Применение интраокулярной коррекции в нашей стране началось в 1960 г. М. М. Красновым, С. Н. Федоровым.

В 60-х годах происходило совершенствование конструкций опорных элементов интраокулярных линз, методики оптических расчетов, разработка специального хирургического инструмента, совершенствование методики проведения операций.

В 1965 г. С. Н. Федоров предложил и реализовал новый вариант фиксации интраокулярной линзы, заключающийся в использовании капсулы хрусталика после экстракции катаракты в качестве опорной ткани укрепления линзы.

В 1969 г. М. М. Краснов предложил модификацию укрепления интраокулярной линзы в радужной оболочке, заключающуюся в укреплении линзы двумя или тремя «ножками» к базальной части радужки.

С 1975 г. интраокулярные линзы Федорова — Захарова и М. М. Краснова разрешены Минздравом СССР к применению в клинической практике.

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ, ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ

В одних из разделов оптики — физическая оптика изучаются свойства и природа света. Современное представление о них исходит из предположения о единстве волновых и квантовых его свойств. Видимый свет по своей природе есть явление электрическое, и его испускание источником света есть не что иное, как возбуждение электромагнитных волн. Если рассматривать известный электромагнитный спектр, то электромагнитное излучение в диапазоне частот от  $4,3 \cdot 10^{14}$  до  $7 \cdot 10^{14}$  Гц лежит в области чувствительности человеческого глаза — это и есть видимый свет. Наиболее низкие частоты этого диапазона соответствуют красному свету, а наиболее высокие — фиолетовому.

Известный опыт по разложению белого света, прошедшего через призму, на ряд последовательных цветов показывает, что белый свет состоит из совокупности красных, оранжевых, желтых, зеленых, голубых, синих и фиолетовых цветовых лучей, имеющих различную длину волны, а следовательно различную скорость распространения. В силу этого каждый цветовой луч преломляется на гранях призмы по-разному (рис. 1). Наиболее сильно преломляется луч фиолетовый, так как скорость его распространения  $V_{\phi}$  наименьшая, а следовательно, показатель преломления стекла  $n_{\phi}$  наибольший в световом диапазоне. Слабее всех преломляется луч красного цвета, так как скорость его распространения  $V_{\kappa}$  наибольшая, а следовательно, показатель преломления стекла  $n_{\kappa}$  наименьший, т. е. если  $V_{\phi} < V_{\kappa}$ , то  $n_{\phi} > n_{\kappa}$ . Показатель преломления среды  $n$  связан со скоростью

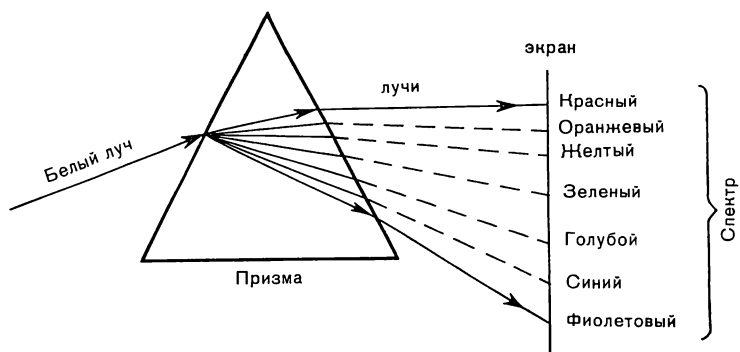


Рис. 1. Схема разложения белого цвета.

распространения световых волн  $v$  в этой среде следующей зависимости:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (1)$$

где  $c$  — скорость распространения волн в воздухе.

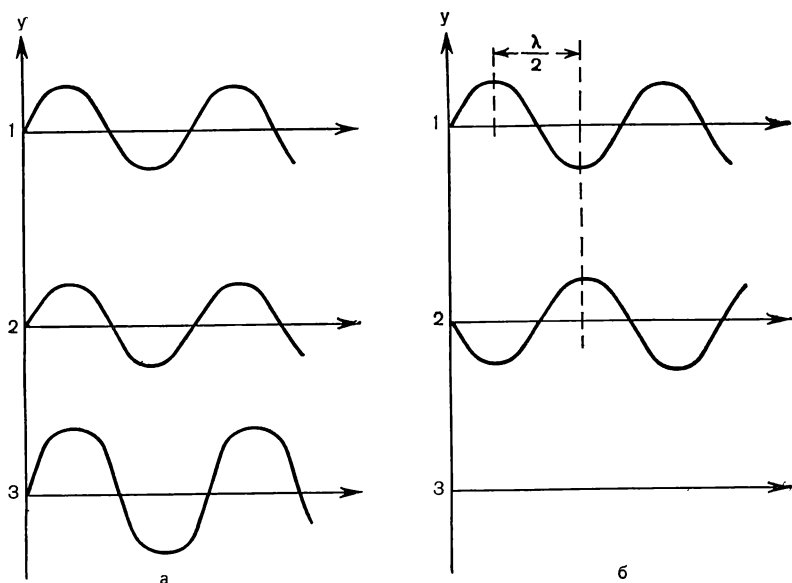
Между фиолетовым и красным лучами располагаются лучи других цветов. Вместе они образуют спектр. Само же явление разложения призмой лучей белого света на цветные называется дисперсией. Характер дисперсии многочисленных прозрачных сред, в том числе разных сортов оптического стекла, различен. Поэтому коэффициенты средней дисперсии наряду с показателями преломления стекла легли в основу классификации оптических стекол.

Исходя из общих свойств волнового движения, любая точка в пространстве может участвовать одновременно в нескольких колебательных движениях, и каждое колебательное движение совершается так, как если бы других колебаний не было. Так например, если одно колебательное движение сообщает точке отклонение  $Y_1$ , а другое колебательное движение в тот же момент времени отклоняет эту точку в том же направлении на расстояние  $Y_2$ , то результирующее отклонение точки будет равно сумме отдельных отклонений

$$Y = Y_1 + Y_2. \quad (2)$$

Если направления отклонений  $Y_1$  и  $Y_2$  не совпадают, то значение и направление результирующего отклонения точки находятся по правилу параллелограмма.

Графическое отклонение двух колебаний одного направления с одинаковой частотой и амплитудой показано на рис. 2. Синусоидальные кривые двух колебаний, фазы которых совпадают,



1,2 — начальные колебания, 3 — результирующие колебания

Рис. 2. Взаимодействие световых волн.

а — усиление света; б — гашение света.

показаны на рис. 2, а, т. е. относительный сдвиг кривых или разность фаз равна нулю, и, следовательно, кривые при наложении совпадают.

В каждый момент времени отклонения  $Y_1$  и  $Y_2$  обоих колебаний равны между собой  $Y_1 = Y_2$ , а результирующее отклонение точки, в которой встречаются колебания, равно:

$$Y = Y_1 + Y_2 = 2Y_1 = 2Y_2.$$

Следовательно, если амплитуда (разных колебаний) удвоится, то в данной точке получим усиление света (см. результирующее колебание синусоидальной кривой).

Синусоидальные кривые двух колебаний, фазы которых не совпадают на половину длины волны —  $\frac{\lambda}{2}$ , показаны на рис. 2, б.

В этом случае относительный сдвиг кривых или разность фаз равна  $\frac{\lambda}{2}$  и сумма синусоидальных волн при наложении будет равна нулю.

В каждый момент времени отклонения  $Y_1$  и  $Y_2$  обоих колебаний равны между собой по абсолютному значению, но обратны по знаку, так как направлены в противоположные стороны  $Y_1 = -Y_2$ . В этом случае результирующее отклонение у точки,



в которой встречаются колебания, равно  $Y=Y_1-Y_2=0$ . Следовательно, оба колебания погасят друг друга, и в данной точке пространства будет отсутствие света — полное погашение его (см. результирующее колебание, которое равно нулю).

Приведенные примеры сложения двух колебаний показывают, что в общей точке двух колебаний может происходить не только усиление света, но и ослабление его, вплоть до полного гашения. Такое взаимодействие световых волн называется **интерференцией света**.

Однако, взаимодействовать между собой, т. е. интерферировать могут не всякие колебания, а только те, которые совпадают по направлению, имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз. Такие колебания называются когерентными. Когерентные колебания могут быть получены либо от одного источника света путем разделения пучка лучей, либо от специального когерентного источника света, каким являются квантовые генераторы-лазеры.

Наиболее легко осуществить и наблюдать интерференцию света в тонких слоях различных прозрачных сред (стекло, воздух, жидкость и др.). На рис. 3, а луч света SA падает на поверхность прозрачного слоя толщиной  $\alpha$ , окруженного средой другой оптической плотности. В точке A падающий пучок частью отразится в направлении  $AS_1$ , а частью пройдет в направлении АВ. На нижней поверхности слоя часть пучка АВ отразится в направлении ВС. В точке С верхней поверхности часть пучка ВС пройдет в направлении  $CS_2$ . Лучи  $AS_1$  и  $CS_2$  — когерентные. Они встречаются в точках А и С, имея разность хода, равную удвоенной толщине слоя:

$$AB+BC=2\alpha, \quad (3)$$

что и составляет постоянную разность фаз обоих лучей.

В действительности луч света падает перпендикулярно к поверхности на одну точку. В зависимости от толщины  $\alpha$  слоя в данной точке получится усиление или гашение света ( $\alpha=\lambda \cdot N$  или  $\alpha=\frac{\lambda}{2}N$ , где  $N$  — любое целое число).

Если толщина слоя постепенно меняется (слой клиновиден), то в тех точках слоя, в которые интерферирующие лучи приходят с одинаковой фазой, произойдет усиление света и образование световых полос. В точках же, в которые интерферирующие лучи приходят с противоположными фазами, будет происходить гашение света и образование темных полос. В результате на поверхности слоя будет наблюдаться чередование светлых и темных полос, т. е. интерференционная картина (рис. 3, б). Интерференционная картина, например, в воздушном слое между плоским и сферическим стеклом большого радиуса кривизны имеет вид колец называемых кольцами Ньютона (рис. 3, в).

При освещении слоя лучами белого света, интерференционные полосы или кольца окажутся окрашенными в разные цве-

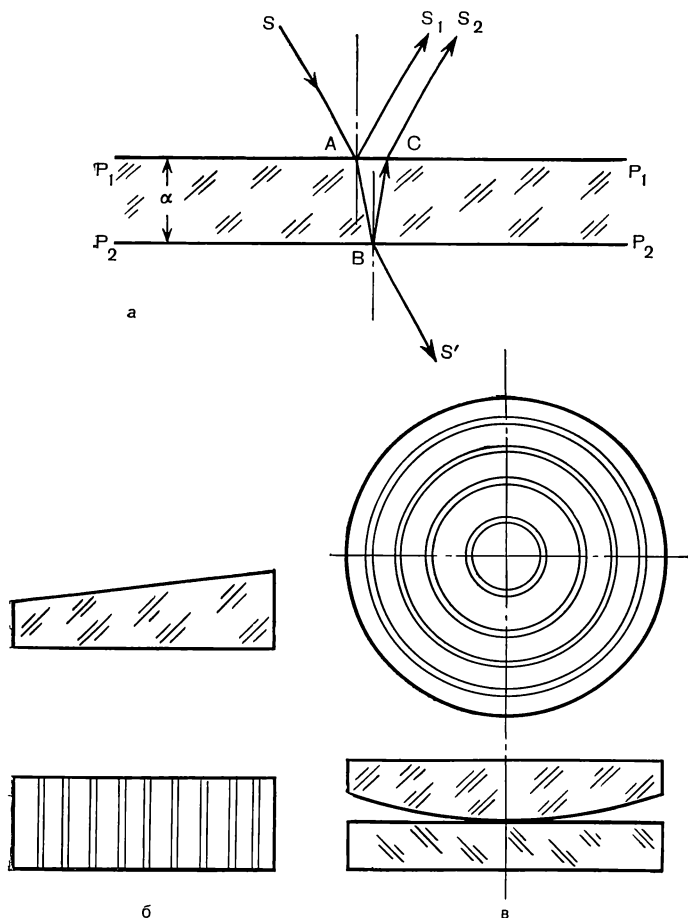


Рис. 3. Схема интерференции света.

а — ход лучей в прозрачной тонкой среде; б — вид интерференционных полос в клиновидном слое; в — вид интерференционных колец (кольца Ньютона).

та, так как преломление лучей на поверхности слоя сопровождается дисперсией света. Если же освещать слой монохроматическим источником, то интерференционная картина будет одноцветной, при этом расстояние между полосами или кольцами будет различным для источников света, имеющих разную длину волны. Для красных лучей расстояние между полосами будет наибольшее, для фиолетовых — наименьшее.

Пользуясь явлением интерференции, легко измерить длины волн лучей различных частей спектра. Это явление также широко используется в производстве для определения правильности обработки плоских и сферических поверхностей оптических деталей.

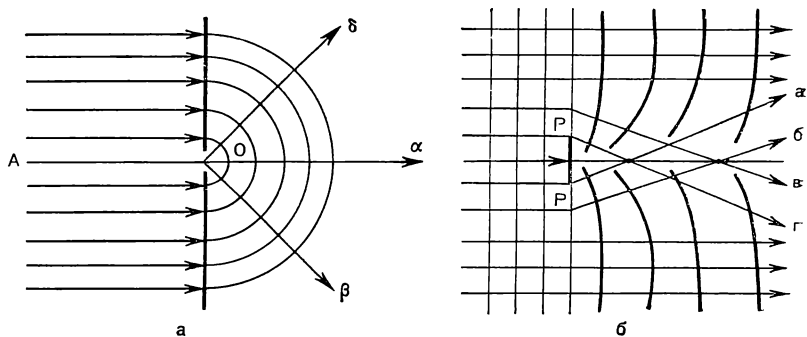


Рис. 4. Схема нарушения прямолинейности распространения света.

а — прохождение света через малые отверстия; б — прохождение света при наличии малого непрозрачного препятствия.

На принципе интерференции света основаны оптические приборы, применяемые для высокоточных линейных измерений — интерферометры.

Волновые свойства света проявляются еще и в тех случаях, когда пучок лучей проходит через очень малое отверстие в непрозрачном экране или на пути пучка стоит непрозрачное препятствие очень малых размеров. В этих случаях свет наблюдается в тех направлениях, которые не являются непосредственным продолжением первоначального направления лучей.

На рис. 4, а параллельный пучок лучей с плоскими волновыми поверхностями падает на непрозрачный экран с очень малым отверстием О. В то время как стенки экрана задерживают распространение пучка лучей, отверстие О становится новым центром распространения сферических световых волн. Лучи, всегда перпендикулярные к поверхности световой волны, будут распространяться за экраном во все стороны по направлению радиусов  $O_6$ ,  $O_в$  и т. д. сферических волн, нарушая таким образом первоначальное прямолинейное направление  $AO_a$  света.

На рис. 4, б пучок параллельных лучей встречает очень малое препятствие rr. В этом случае на краях препятствия плоская световая волна деформируется, и лучи света  $ра$ ,  $рб$ ,  $рв$ ,  $рг$ , перпендикулярные к поверхности волны, огибают препятствие, уклоняясь от первоначального прямолинейного направления.

Таким образом явление когда свет виден там, где по закону прямолинейного распространения света должна быть тень, носит название дифракции света. Явление дифракции выражается в полной мере лишь в тех случаях, когда размеры отверстия или препятствия соизмеримы с длиной световой волны. Практически дифракцию следует учитывать при решении вопросов разрешающей силы оптических систем и распределения световой энергии в плоскости изображения.

Каждой длине волны соответствует свой определенный угол отклонения направления распространения луча после прохожде-

ния отверстия или препятствия, что позволяет создать с помощью дифракционной решетки специальный класс приборов для изучения строения материалов и химического анализа — спектрографы.

Световые волны поперечны, т.е. колебания в них направлены перпендикулярно к направлению распространения света. Если на своем пути они встречаются «щель», установленную параллельно колебаниям световой волны, то она их не задерживает. Если же «щель» установлена перпендикулярно колебаниям световой волны, то она их задерживает (гасит). В этом случае прошедшие через «щель» лучи называются поляризованными. Поэтому направленность действия света в плоскостях, поперечных лучу, называется поляризацией света.

Если на пути поляризованных пучков света поставить какое-либо устройство, которое так же как «щель» пропускает световые колебания только одного направления, то такое устройство называется поляризатором.

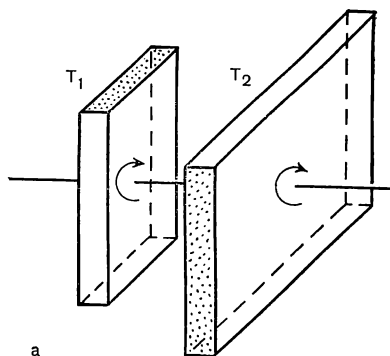
Чаще всего мы встречаемся с естественным светом, в котором совокупность световых волн состоит из колебаний всевозможных направлений, они могут происходить одновременно или быстро и беспорядочно, сменяя друг друга. Таким образом, поток естественного света равноценен во всех направлениях. Если на пути потока естественного света поставить поляризатор, то после него свет становится поляризованным, а после поляризатора поставить аналогичное устройство, то вращая последнее в пределах от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  получают различную энергию пучка света, прошедшего второй поляризатор, называемый в этом случае анализатором. Если оси поляризатора и анализатора параллельны (нулевое положение анализатора), то свет пройдет полностью и энергия светового потока не уменьшится. Если же повернуть анализатор на  $90^\circ$ , т.е. ось последнего будет перпендикулярна оси поляризатора, то анализатор не пропустит колебания света.

Практически получить поляризованный свет можно различными путями. Один из них это использование дихромных поляризаторов, например, монокристалл турмалина. Если пропустить естественный свет через турмалиновую пластину  $T_1$  (рис. 5, а), вырезанную так, чтобы ограничивающие ее плоскости были параллельны главной кристаллической основе, то за пластиной световые колебания будут линейно поляризованы, т.е. они будут колебаться в одной плоскости. Интенсивность света после прохождения через такую пластину несколько уменьшится. Установив такую же вторую пластину  $T_2$  (анализатор) параллельно первой, но повернутой на  $90^\circ$ , мы получим полное гашение света. При промежуточном положении осей пластин интенсивность света будет меняться пропорционально  $\cos 2\alpha$ , где  $\alpha$  — угол между осями пластин. Максимальное количество света будет проходить через анализатор, когда его ось будет парал-

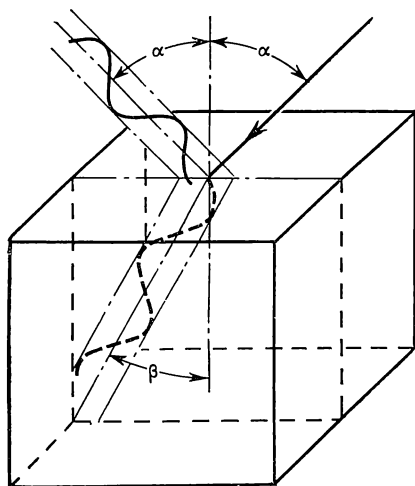


Рис. 5. Методы образования поляризационного света.

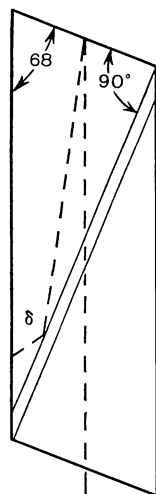
а — поляризация в кристаллах турмалина; б — поляризация при отражении света; в — поляризация при преломлении света.



а



б



в

лельна оси поляризатора, т.е. угол между ними будет равен нулю.

Поляризация возможна также при отражении (рис. 5, б) и преломлении света (рис. 5, в). При этом в зависимости от угла падения  $\alpha$  лучей и показателя преломления  $n$  пластины будет происходить бóльшая или меньшая поляризация света. Максимальная поляризация света происходит при угле падения определяемого из соотношения  $\text{tg } \alpha = n$  (закон Брюстера).

В этом случае отраженный свет будет полностью поляризованным, а поляризованная часть преломленного под углом  $\beta$  света составит около 15%.

Свойством двойного лучепреломления обладают кристаллы исландского шпата. Если световой пучок направить перпендикулярно к естественной грани кристалла, то внутри него про-

дут два луча. Один из них является продолжением падающего луча — в (обыкновенный), а другой будет отклонен от первого — б (необыкновенный). При вращении кристалла вокруг направления падающего луча обыкновенный луч — в остается неподвижным, а необыкновенный — б опишет вокруг первого конус. Оба луча будут поляризованы взаимно перпендикулярно.

Свойство двойного лучепреломления исландского шпата использовано при создании поляризатора — призмы Николя, нашедшей широкое применение в поляризационных приборах. Призму, предварительно подшлифовав основания так, чтобы они составляли с ребрами углы в  $68^\circ$  и  $90^\circ$ , разрезают по диагонали и склеивают бальзамом, после чего помещают в корпус, зачерненный изнутри. В этом случае обыкновенный луч, претерпев полное внутреннее отражение на границе разреза, будет поглощен зачерненной поверхностью корпуса. Необыкновенный луч пройдет через призму и выйдет из нее поляризованным.

Наиболее широкое распространение получили поляриоды, представляющие собой тонкую поляризующую свет пленку, вклеенную между пластинами из стекла или прозрачной бесцветной пластмассы. Пленка изготавливается из полийодида сульфата хинина, чаще всего в виде суспензии ультрамикроскопических иглообразных кристаллин в нитро- или ацетилцеллюлозной пленке, где все кристаллы ориентированы параллельно друг друга, образуя в этом направлении главную ось поглощения.

Два поляриода (рис. 6) со специальными плоскостями поляризации практически полностью гасят проходящий свет.

Явление поляризации света находит применение в различных оптических приборах для плавного изменения интенсивности светового потока, гашения бликов, проецирования и рассматривания стереоскопических изображений, энтоптических явлений и др.

В разделе оптики, называемой геометрической, изучаются световые явления с чисто геометрической точки зрения. При этом пользуются понятиями светящейся точки и светового луча.

Светящейся точкой называется геометрическая точка, являющаяся источником световой энергии.

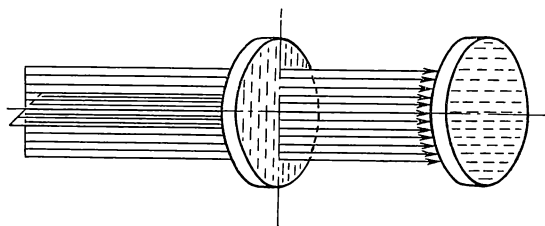


Рис. 6. Поляризация света с помощью поляроидных пленок.

Световым лучом называется геометрическая линия, по которой распространяется свет от источника.

Геометрическая оптика базируется на четырех основных законах:

- прямолинейного распространения света;
- независимого распространения света;
- отражения света;
- преломления света.

Эти законы позволяют объяснить образование изображения в оптических приборах и системах и разрабатывать их конструкции.

**Закон прямолинейного распространения света** подтверждается явлениями солнечных и лунных затмений, геодезическими наблюдениями, образованием теней и полутеней. На основе закона прямолинейного распространения света можно представить совокупность световых лучей в виде расходящегося, сходящегося или параллельного пучков. Если все лучи пучка пересекаются строго в одной точке, то такой пучок называется гомоцентрическим.

**Закон независимого распространения света** заключается в том, что отдельные лучи или пучки света, встречаясь друг с другом, пересекаясь, не оказывают влияния друг на друга.

**Закон отражения света** рассматривает явления, которые возникают на границе двух сред при полном или частичном отражении лучей; лучи падающий, отраженный и перпендикуляр, восстановленный к поверхности в точке падения, лежат в одной плоскости; угол падения равен углу отражения; луч падающий и луч отраженный обратимы.

**Закон преломления света** действует при прохождении лучей через различные оптические среды, при этом: лучи падающий, преломленный и перпендикуляр, восстановленный к поверхности в точке падения, лежат в одной плоскости.

Отношение синуса угла падения луча к синусу угла преломления для двух данных оптических сред есть величина постоянная. Если угол падения луча обозначить через  $i$ , угол преломления через  $i'$ , показатель преломления первой среды —  $n$ , а второй —  $n'$ , тогда

$$\frac{n \cdot \sin i}{n' \cdot \sin i'} = \text{const}, \quad (4)$$

отсюда

$$n \cdot \sin i = n' \cdot \sin i'. \quad (5)$$

Зависимость (5) называется оптическим инвариантом.

Луч падающий и луч преломленный обратимы.

Таким образом, законы отражения и преломления устанавливают следующее: 1) лучи при прохождении через оптическую систему всегда лежат в плоскости, образованной падающим лучом и нормалью; 2) имеется численная зависимость координат

нат лучей при переходе от одной поверхности к другой, что позволяет вычислить ход луча через любую оптическую систему; 3) возможен расчет оптических систем в обратном ходе лучей.

При преломлении лучей на границе двух сред происходит дисперсия. Характер дисперсии прозрачных сред, в том числе и различных сортов оптического стекла, не одинаков. Способность стекла разлагать свет на составные части количественно определяется коэффициентом дисперсии  $\nu$ , называемым еще числом Аббе:

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}. \quad (6)$$

Индексы при показателе преломления соответствуют определенным спектральным линиям Фраунгофера (F при  $\lambda=486,1$  нм; D при  $\lambda=589,3$  нм; C при  $\lambda=656,3$  нм). Преобладающая часть оптических систем является центрированной, т. е. центры их поверхностей расположены на одной прямой, называемой осью оптической системы. Луч, идущий вдоль оптической оси, проходит все поверхности без преломления. Лучи, идущие бесконечно близко к оптической оси или под малыми углами (порядка  $5^\circ$ ), называются нулевыми, а область распространения таких лучей — параксиальной.

В оптике для отсчета различных отрезков и углов приняты определенные правила знаков. Исходным в нашей стране является условие направления света слева — направо. Поэтому следует входные поверхности располагать на рисунке слева. Принятое выше условие предполагает следующие правила.

1. Линейные отрезки по оси считаются положительными, если их направление от оптической системы совпадает с направлением света, и отрицательными, если они направлены в противоположную сторону.

2. Радиусы кривизны поверхности считаются положительными, если центр кривизны находится справа от поверхности, и отрицательными, если — слева от поверхности.

3. Величины толщины и воздушных промежутков между преломляющими поверхностями всегда считаются положительными.

4. Величины предметов, их изображений и высот пересечения лучей с поверхностями считаются положительными, если они находятся выше оптической оси, и отрицательными, если — ниже ее.

5. Угол луча с оптической осью считается положительным, если для совмещения оси с лучом ось нужно вращать по часовой стрелке, и отрицательным, если ось нужно вращать против часовой стрелки; углы между лучами и нормалью к поверхности в точке падения луча подчиняются тому же правилу знаков, что и углы лучей, образованных с оптической осью. Знак «плюс» при обозначениях опускается.



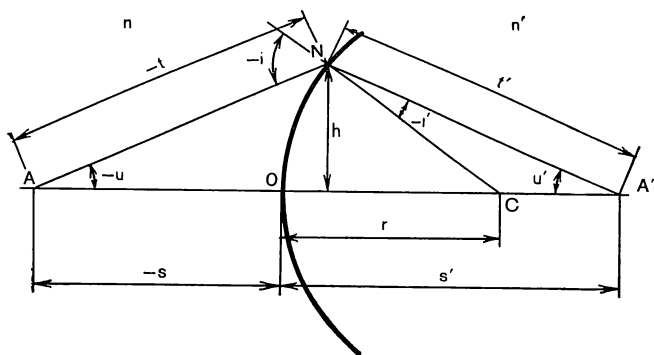


Рис. 7. Схема преломления лучей сферической поверхностью.  
Объяснение в тексте.

Рассмотрим зависимости, возникающие при преломлении лучей сферической поверхностью.

Сферическая поверхность с радиусом кривизны  $r$  разделяет две оптические среды с показателями преломления  $n$  и  $n'$  (рис. 7). Из точки  $A$  возьмем два луча: луч  $AO$ , идущий вдоль оптической оси, и луч  $AN$ , образующий с оптической осью угол  $u$ . Луч  $AO$  не преломляется. Луч  $AN$  претерпит преломление в точке  $N$  сферической поверхности и при  $n' > n$  приблизится к нормали  $NC$  и пересечет оптическую ось в точке  $A'$ . В этом случае угол падения  $i$  будет больше угла преломления  $i'$ . Точка  $A'$  является изображением точки  $A$ . Из треугольника  $ANC$  по теореме синусов имеем:

$$\frac{r}{r-s} = \frac{\sin U}{\sin i}. \quad (7)$$

Используя закон преломления, получим:

$$\sin i' = \frac{n}{n'} \cdot \sin i. \quad (8)$$

Из треугольника  $NA'C$  будем иметь:

$$U' = -i + i' + U, \quad (9)$$

$$\frac{r-s}{r} = \frac{\sin i'}{\sin U'}. \quad (10)$$

Преобразуя выражение (10) с учетом предыдущих формул, получим:

$$r-s' = (r-s) \cdot \frac{n \cdot \sin U}{n' \cdot \sin U'}. \quad (11)$$

Дальнейшие преобразования дают возможность получить

общее уравнение преломления действительного луча через сферическую поверхность

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \cdot \frac{1}{r} \left( \frac{n' \cdot \sin i'}{\sin U' - \sin i'} - \frac{n \cdot \sin i}{\sin U - \sin i} \right). \quad (12)$$

В параксиальной области, когда значения синусов углов можно заменить значениями самих углов, выраженных в радианах, уравнение (12) примет следующий вид:

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}. \quad (13)$$

Уравнение (13) принято называть уравнением нулевых лучей. Отрезки AN и NA', обозначенные  $t$  и  $t'$ , являются действительными длинами лучей.

$$t = \frac{h}{\sin U}; \quad t' = \frac{h}{\sin U'}. \quad (14)$$

Подставив значения из формул (14) в выражение (11) и проведя соответствующие преобразования, получим инварианту Аббе —  $Q_s$ :

$$\frac{n(r-s)}{t \cdot r} = \frac{n' \cdot (r-s')}{t' \cdot r} = Q_s. \quad (15)$$

В случае преломления луча плоской поверхностью, когда  $r = \infty$ ;  $U = i$ ;  $U' = i'$  (рис. 8) из треугольников ANC и A'NO, опирающихся на  $NC = h$ , имеем:

$$s' = \frac{s \cdot \operatorname{tg} U}{\operatorname{tg} U'}. \quad (16)$$

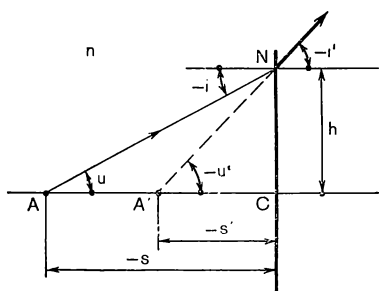
Если предмет изображается в виде отрезка прямой, перпендикулярной к оптической оси, то произведение  $n \cdot l \cdot \sin U$  будет равно произведению  $n' \cdot l' \cdot \sin U'$ , где  $l$  — величина предмета,  $l'$  — величина изображения предмета.

Выражение

$$n \cdot l \cdot \sin U = n' \cdot l' \cdot \sin U' \quad (17)$$

носит название условие синусов (закон синусов Аббе) или уравнение Лагранжа — Гельмгольца.

Рис. 8. Схема преломления лучей плоской поверхностью.  
Объяснение в тексте.



Отношение  $\frac{l'}{l} = \beta$  выражает линейное (поперечное) увеличение или масштаб изображения.

Продольное увеличение  $\alpha$ , т.е. увеличение вдоль оси, пропорционально квадрату поперечного увеличения:

$$\alpha = \frac{n'}{n} \cdot \beta^2. \quad (18)$$

Отношение тангенса угла в пространстве изображения, под которым луч после преломления пересекает оптическую ось, к тангенсу сопряженного угла в пространстве предметов называется угловым увеличением —  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} U'}{\operatorname{tg} U}. \quad (19)$$

Эти два вида увеличений связаны между собой следующим образом для параксиальной области:

$$\gamma = \frac{1}{\beta}. \quad (20)$$

Для построения изображений, формируемых оптической системой, состоящей из двух и более преломляющих поверхностей, необходимо определить ее некоторые основные параметры: кардинальные точки, главные плоскости, фокусные расстояния.

Для примера рассмотрим центрированную оптическую систему, состоящую из двух преломляющих поверхностей (рис. 9). Если светящаяся точка находится в бесконечности слева на оптической оси или около нее, то изображение этой точки получится в точке  $F'$ , которая называется задним фокусом системы.

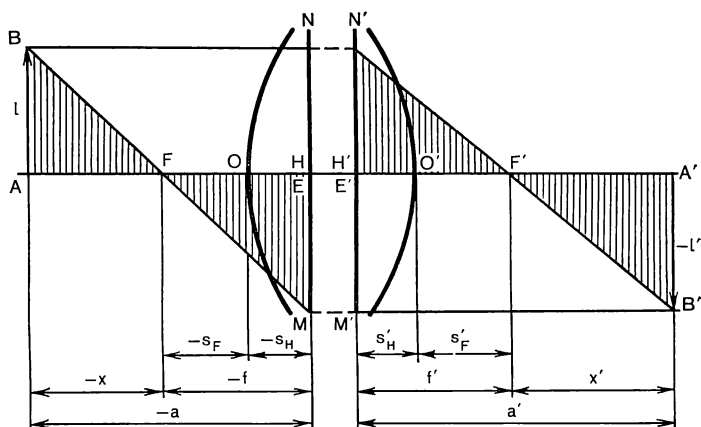


Рис. 9. К определению основных параметров оптической системы, состоящей из двух преломляющих поверхностей.

Объяснение в тексте.

Если предположить, что светящаяся точка находится в бесконечности справа, то ее изображение получится в точке  $F$  — переднем фокусе системы.

Продолжим падающий на систему луч  $BN$ , параллельный оптической оси, до пересечения его в точке  $N'$  с сопряженным лучом, проходящим через задний фокус  $F'$ . Через точку  $N'$  перпендикулярно оптической оси будет проходить плоскость  $H'$ , называемая задней главной плоскостью системы, а точка ее пересечения с оптической осью  $E'$  — задней главной точкой системы. Аналогичные построения в пространстве предметов позволяют найти переднюю главную плоскость  $H$  и переднюю главную точку системы  $E$ .

Расстояние  $E'F'$  называется задним фокусным расстоянием и обозначается через  $f'$ . Расстояние  $EF$  — передним фокусным расстоянием —  $f$ .

Между передним и задним фокусными расстояниями существует связь, выражаемая равенством:

$$f' = \frac{n'}{n} \cdot f. \quad (21)$$

Обозначив расстояние от переднего фокуса до предмета через  $x$ , а от заднего фокуса до изображения предмета  $x'$ , из подобия заштрихованных на рис. 9 треугольников имеем:

$$\frac{-l'}{l} = \frac{-f}{x} = \frac{x'}{f'} = \beta, \quad (22)$$

откуда получим формулу Ньютона:

$$xx' = f \cdot f'. \quad (23)$$

Если расстояние  $EA$  обозначить через  $a$ ,  $E'A'$  — через  $a'$ , то из выражения (23) получим:

$$\frac{f'}{a'} + \frac{f}{a} = 1. \quad (24)$$

Эта формула Гаусса в системе, находящейся в однородной среде, приобретает следующий вид и называется формулой отрезков:

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}. \quad (24a)$$

Расстояние от вершины задней поверхности  $O'$  до  $F'$  называется задним вершинным фокусным расстоянием и обозначается  $s'_F$ . Расстояние  $OF$  (переднее вершинное фокусное расстояние) обозначается  $s_F$ . Положение задней главной плоскости  $H'$  относительно последней преломляющей поверхности определяется расстоянием  $E'O'$  и обозначается  $s'_H$ . Положение передней главной плоскости  $H$  определяется соответственно расстоянием  $OE$  и обозначается через  $s_H$ .

Оптическая сила линзы  $\Phi$ , характеризующая ее преломляющее действие, обратно пропорциональна фокусному расстоянию:

$$\Phi = -\frac{n}{f} = \frac{n'}{f'}. \quad (25)$$

В очковой оптике оптическую силу линзы характеризуют величиной задней вершинной рефракции, обратной заднему вершинному фокусному расстоянию  $s'_F$ :

$$F'_V = \frac{1000}{s'_F}, \quad (26)$$

где  $F'_V$  выражено в диоптриях, а  $s'_F$  в мм.

За единицу оптической силы принимают одну диоптрию — оптическую силу линзы, заднее вершинное расстояние которой равно 1 м.

Остановимся на некоторых других характеристиках оптических систем.

Светосилой оптической системы называется ее способность создавать определенную освещенность в плоскости изображения.

Относительным отверстием оптической системы называется отношение диаметра действующего отверстия ее (входного зрачка)  $2a$  к фокусному расстоянию, т. е.  $\frac{2a}{f'}$ . Квад-

рат относительного отверстия  $\left(\frac{2a}{f'}\right)^2$  характеризует геометрическую светосилу оптической системы. Физическая светосила (с учетом потерь света в оптической системе) определяется произведением геометрической светосилы на коэффициент пропускания  $\tau$ :

$$\left(\frac{2a}{f'}\right)^2 \cdot \tau.$$

Разрешающей силой оптической системы называется ее способность давать отдельно видимые изображения двух точек или линий. Качество оптической системы в значительной степени определяется ее разрешающей силой. Количество разрешающих сил характеризуется наименьшим разрешаемым расстоянием между различаемыми точками (линиями), выраженным в линейной или угловой мере.

Величины эти очень малы, соизмеримы с длинами волн, и поэтому при решении задач, связанных с определением разрешающей силы оптической системы, следует принимать во внимание явление дифракции света. Дифракционная теория изображения дает следующие формулы для наименьшего разрешаемого расстояния  $\sigma$  оптической системы:

$$\sigma = 1,22 \lambda \cdot \frac{f'}{2a}, \quad (27)$$

где  $\lambda$  — длина волны.  $2a$  — диаметр входного зрачка системы.

Угловой мерой наименьшего разрешаемого расстояния является угол, равный

$$\varphi'' = \frac{140}{2a}. \quad (28)$$

Определяя положение изображения точки в идеальной оптической системе, достаточно найти в пространстве изображений точку пересечения двух лучей, идущих от точки в пространстве предметов. В действительности, в реальной оптической системе, изображение образуется в виде кружков рассеяния, т.е. изображение, даваемое реальной системой, получается расплывчатым не только на краях поля, но и на оптической оси, а также нарушается подобие между предметом и его изображением. Ошибки, вызванные отклонением свойств реальной оптической системы от свойств идеальной, называются **абберациями**.

Абберации оптических систем подразделяются на монохроматические (сферическая абберация, кома, астигматизм и кривизна изображения, дисторсия) и хроматические.

**Сферическая абберация.** Если на положительную линзу падает широкий гомоцентрический пучок лучей из какой-либо точки на оптической оси, в частности, из бесконечности (рис. 10), то после преломления в линзе лучи пучка не пересекутся в одной точке, а образуют серию точек  $F'_0 \dots F'_k$  пересечения с оптической осью. При этом, если  $F'_0$  фокус параксиальных лучей, то с увеличением высоты падения лучей на линзу, точки их пересечения с оптической осью приближаются к линзе, занимая для крайнего луча с высотой падения  $h_k$  положение  $F'_k$ . Описанное явление называется сферической абберацией.

В результате сферической абберации в задней фокальной плоскости линзы, являющейся в данном случае плоскостью идеального изображения (называемой также гауссовой плоскостью), вместо резкого изображения точки получится кружок

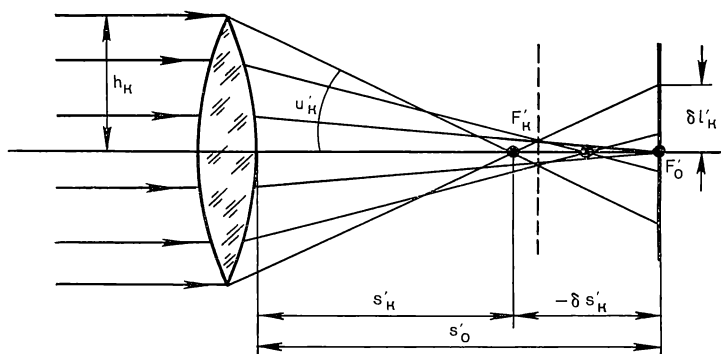


Рис. 10. Сферическая абберация.  
Объяснение в тексте.

рассеяния с радиусом  $\delta l'_k$ . Сферическая aberrация характеризуется величиной  $\delta s'_k$ , называемой продольной сферической aberrацией и представляющей собой разность отрезков  $s'_k$  и  $s'_o$ .

$$\delta s'_k = s'_k - s'_o. \quad (29)$$

Сферическая aberrация может также характеризоваться величиной  $\delta l'_k$ , радиуса кружка рассеяния в гауссовой плоскости. Величина  $\delta l'_k$ , называемая поперечной сферической aberrацией, связана с продольной  $\delta s'_k$  следующей зависимостью:

$$\delta l'_k = \delta s'_k \cdot \operatorname{tg} U'_k. \quad (30)$$

где  $U'_k$  — угол, образованный крайним лучом с оптической осью. Сферическая aberrация нарушает резкость изображения даже в самом его центре. В оптических системах, пропускающих широкие пучки лучей (например, объективы различного назначения), сферическая aberrация должна обязательно исправляться.

**Кома.** При наличии сферической aberrации пучок лучей, выходящий из точки на оптической оси, остается вполне симметричным относительно последней и после преломления через систему. Но, если пучок лучей выходит из точки, лежащей вне оптической оси, то симметрия пучка относительно среднего луча после преломления через систему нарушается.

На рис. 11 показаны входной и выходной зрачки, а также первая и последняя поверхности оптической системы. Боковые (крайние) пучка, выходящие из точки Р и симметричные относительно главного (среднего) луча, после преломления через систему пересекают плоскость изображения в точках Р'₁ и Р'₂, несимметричных относительно точки пересечения среднего луча Р'₀, что свидетельствует о нарушении симметрии выходящего пучка лучей. В результате в плоскости изображения получается кружок рассеяния ассиметричной формы, напоминающий запятую. Такой недостаток называется комой. Если через  $l'_1$ ,  $l'_2$  и  $l'_o$  обозначить высоты точек пересечения боковых

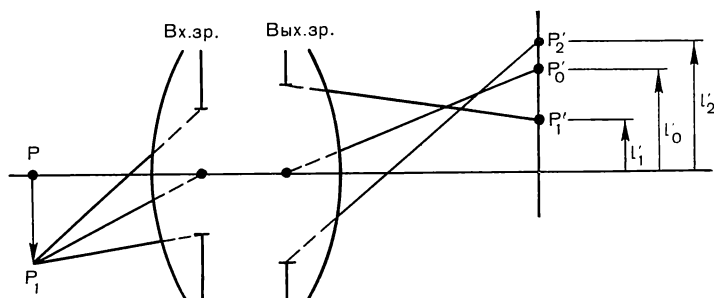


Рис. 11. Кома.  
Объяснение в тексте.

и среднего лучей с плоскостью изображения, то асимметрия пучка (кома) в меридиональной плоскости может быть выражена величиной  $K$ , определяемой формулой:

$$K = \frac{1}{2} (l'_1 + l'_2) - l'_0. \quad (31)$$

Аберрация комы растет с увеличением угла поля зрения и относительного отверстия системы. Наряду со сферической аберрацией, кома является наиболее существенным недостатком изображения, проявляющимся по всему полю зрения, начиная с центральной части изображения. Вследствие этого исправление комы также обязательно во всех оптических системах, работающих в широких пучках лучей, независимо от величины угла поля зрения.

**Астигматизм и кривизна изображения.** Исправление сферической аберрации и комы в оптической системе недостаточно для получения удовлетворительного изображения точек предметной плоскости, наблюдаемых под большими углами поля зрения. В этом случае возникают еще две аберрации, называемые астигматизмом и кривизной изображения.

Сущность астигматизма заключается в следующем. Два плоских пучка, исходящие из внеосевой точки  $A$  (рис. 12) и лежащие в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (меридиональной, проходящей через оптическую ось — плоскость чертежа, и сагиттальной, проходящей через главный луч), после преломления в оптической системе изображают эту точку в двух разных точках  $A'_m$  и  $A'_s$  (на рис. 12 оптическая система условно показана в виде отверстия).

Расстояние  $A'_m A'_s$  по главному лучу, характеризующее величину астигматизма, называется астигматической разностью.

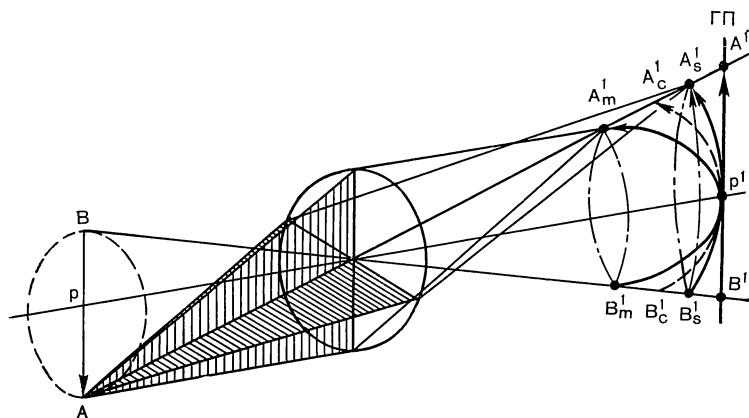


Рис. 12. Астигматизм.  
Объяснение в тексте.



Для различных точек отрезка АВ, перпендикулярного к оптической оси, величина астигматической разности различна, поэтому в пространстве изображений получаются два искривленных изображения отрезка АВ: меридиональное  $A'_m B'_m$  и сагиттальное  $A'_s B'_s$ . Оба изображения соприкасаются в общей точке Р на оптической оси в плоскости идеального изображения.

Если рассматривать весь телесный пучок лучей, исходящий из точки А, то ее изображение  $A'_m$  в меридиональной плоскости будет представлять собой горизонтальную линию (или овал), расположенную в сагиттальной плоскости (перпендикулярно плоскости чертежа), а изображение  $A'_s$  в сагиттальной плоскости — вертикальную линию (или овал), лежащую в меридиональной плоскости.

При перемещении плоскости изображения от  $A'_m$  до  $A'_s$  в сечениях астигматического пучка этой плоскостью будут получаться овальные пятна различной формы (в зависимости от положения плоскости изображения), переходящие в крайних положениях во взаимно перпендикулярные линии.

Если оптическая система изображает плоскость, перпендикулярную к оптической оси, то в пространстве изображений получаются две искривленные поверхности  $A'_m P' B'_m$  и  $A'_s P' B'_s$ , являющиеся меридиональным и сагиттальным изображениями предметной плоскости. Оба изображения, напоминающие «чашку» и «блюдец», могут иметь и другой характер искривления, например, в разные стороны относительно гауссовой плоскости.

В этом искривлении плоскости изображения заключается другая аберрация — кривизна изображения, характеризующаяся для данного угла поля зрения отступлениями  $\delta'_m = A'_m A'$  и  $\delta'_s = A'_s A'$  точек меридионального и сагиттального изображений от точки А идеального изображения. Поверхность  $A'_s P' B'_s$ , занимающая среднее положение между меридиональным и сагиттальным изображениями, называется поверхностью средней кривизны.

Оптические системы, в которых наиболее полно исправлены астигматизм и кривизна изображения для большого угла поля зрения, называются астигматическими.

**Дисторсия.** Свойство оптической системы давать изображения, геометрически подобные предмету, называется ортоскопией, а сама система — ортоскопической. Аберрация, в результате которой происходит нарушение ортоскопии, называется дисторсией.

На рис. 13 показан ход главного луча в реальной оптической системе, изображающей предмет l в виде отрезка l'. Величина идеального изображения того же предмета при отсутствии дисторсии равна l<sub>0</sub>.

Если обозначить через  $\beta = \frac{l'}{l}$  действительное линейное увеличение для точки, наблюдаемой под углом  $\omega$  из центра вход-

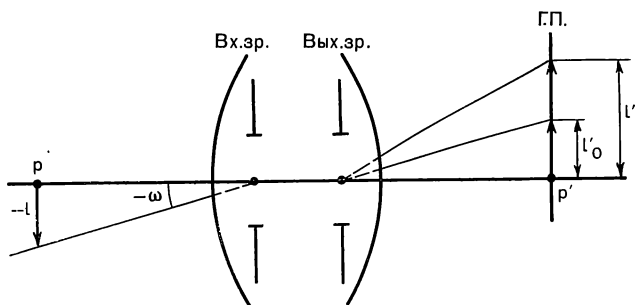


Рис. 13. Дисторсия.  
Объяснение в тексте.

ного зрачка, а через  $\beta_0 = \frac{l'_0}{l}$  — линейное увеличение для той же точки при отсутствии дисторсии, то мерой дисторсии в общем случае может служить выражение:

$$V = \frac{\beta - \beta_0}{\beta_0} = \frac{\beta}{\beta_0} - 1, \quad (32)$$

называемое **относительной дисторсией**.

Относительную дисторсию вычисляют обычно в процентах, для чего правую часть формулы (32) умножают на 100. В зависимости от знака относительной дисторсии различают положительную дисторсию, когда  $\beta > \beta_0$  ( $l' > l'_0$ ), и отрицательную дисторсию, когда  $\beta < \beta_0$  ( $l' < l'_0$ ).

Если в предметной плоскости имеется геометрическая фигура, например, квадрат, то при наличии положительной дисторсии оптическая система изображает квадрат в виде фигуры, напоминающей подушку. Такую дисторсию принято называть **подушкообразной**. При отрицательной дисторсии изображение квадрата получается в виде фигуры, напоминающей бочку, а саму дисторсию называют **бочкообразной**.

Разность величин  $l'$  действительного изображения отрезка и величины  $l'_0$  идеального изображения составляет абсолютную дисторсию  $\delta l'$ . Оптические системы, в которых дисторсия практически исправлена по всему полю зрения, называются **ортоскопическими**.

**Хроматическая аберрация.** Если в систему поступают пучки белого света, то в этом, наиболее распространенном случае, на каждой преломляющей поверхности системы происходит разложение белого луча на составные цветные лучи (дисперсия).

В результате дисперсии визуальные оптические системы дают окрашенные изображения, что нарушает их резкость. Указанный недостаток, проявляющийся уже в параксиальной области, называется **хроматизмом** или **хроматической аберрацией**.

**Хроматическая аберрация положения изображения.** Пусть на оптическую систему, например, положи-

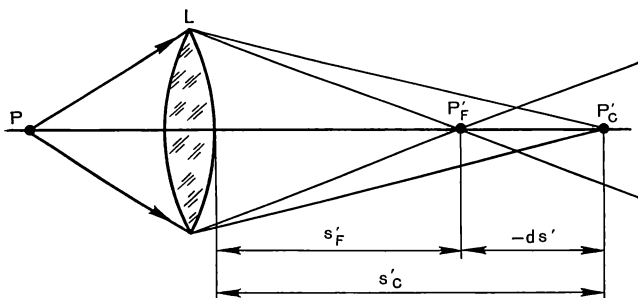


Рис. 14. Хроматическая aberrация положения.  
Объяснение в тексте.

тельную линзу (рис. 14), из точки  $P$ , находящейся на оптической оси, падает пучок параксиальных лучей белого света. Вследствие явления дисперсии образуются отдельные цветные изображения этой точки. Так, синие лучи пучка дадут изображение в точке  $P'_F$ , а красные — в точке  $P'_C$ , лучи других цветов дадут изображения соответственно в других близлежащих точках на оптической оси. В этом и заключается хроматическая aberrация положения изображения.

Преломляющее действие простой линзы по отношению к синим лучам больше, чем по отношению к красным. Поэтому точка изображения  $P'_F$  лежит ближе к линзе, чем точка изображения  $P'_C$ .

Если вдоль отрезка  $P'_F P'_C$  оптической оси перемещать белый экран, то вместо резкого изображения точки на нем будут получаться окрашенные кружки рассеяния, характер окраски которых изменяется в зависимости от положения экрана на оптической оси.

Чтобы система давала достаточно резкое и в то же время бесцветное изображение, точки изображения для лучей по крайней мере двух цветов, например, точки  $P'_F$  и  $P'_C$  должны совпадать. При таком совмещении лучей двух цветов происходит более или менее полное смещение лучей других цветов, и изображение точки на оптической оси становится практически бесцветным.

Величина хроматической aberrации положения определяется разностью отрезков  $s'_F$  и  $s'_C$  для лучей  $F$  и  $C$ , обозначаемой символом  $ds'$  и называемой продольной хроматической aberrацией или хроматической aberrацией положения изображения на оси:

$$ds' = s'_F - s'_C. \quad (33)$$

Хроматическая aberrация положения изображения имеет место не только в линзах, но и в плоскопараллельных пластинках и призмах.

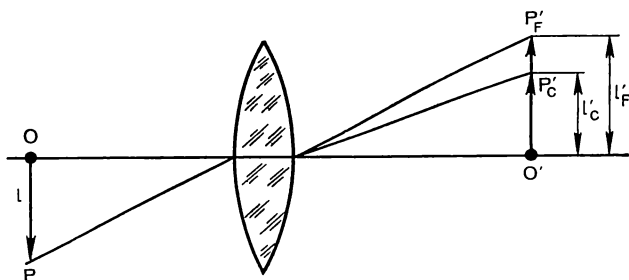


Рис. 15. Хроматическая aberrация увеличения.  
Объяснение в тексте.

Разные знаки продольной хроматической aberrации собирающей и рассеивающей линз дают возможность (при комбинациях их путем специального подбора сортов стекла) получать оптическую систему с исправленной хроматической aberrацией положения изображения.

Такая коррекция хроматической aberrации для лучей F и C применяется в отношении визуальных оптических систем, так как она создает наиболее благоприятные условия наблюдения изображения в области лучей с наибольшим коэффициентом видности, т.е. в области желтых лучей D.

**Хроматическая aberrация увеличения.** Исправление в системе хроматической aberrации положения изображения точки на оптической оси еще не обеспечивает отсутствие хроматизма в изображении точек, лежащих вне оптической оси. Дисперсия пучка белых лучей, исходящих из внеосевой точки P предмета OP (рис. 15) приводит к тому, что изображения этого предмета ( $l'_F$ ,  $l'_c$  и т.д.) лучами различных цветов в общем случае имеют различную величину. Следовательно, линейное увеличение  $\beta = \frac{l'}{l}$  также имеет различные значения для каждого

луча с длиной волны  $\lambda$ . Поэтому в изображении внеосевых точек предмета появляется спектр, окаймляющий цветной полоской контуры изображения. Указанная aberrация называется хроматической aberrацией увеличения или хроматической aberrацией величины изображения.

Если обозначить через  $\beta_F$  и  $\beta_c$  линейные увеличения для лучей цветов F и C, а через  $l'_F$  и  $l'_c$  — величины изображений для тех же цветов, то хроматическая aberrация увеличения может быть выражена разностью:

$$d\beta = \beta_F - \beta_c, \quad (34)$$

или

$$dl' = l'_F - l'_c. \quad (35)$$

Характер и степень исправления этих хроматических aberrаций зависят от назначения оптической системы.

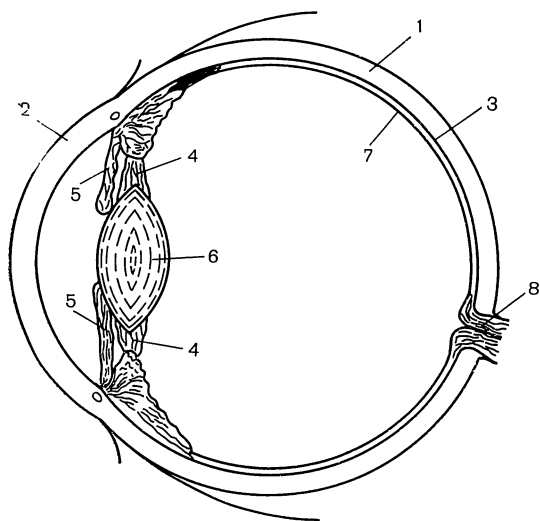


Рис. 16. Строение глаза человека.

Объяснение в тексте.

Глаз человека дает возможность воспринимать окружающий нас внешний мир и, в частности, оценивать качество изображений. Если недостатки оптической системы, имеющиеся в изображении объекта, не обнаруживаются глазом, то такие изображения представляются наблюдателю совершенными. Следовательно, знание зрительных возможностей глаза человека позволяет определять и требования к качеству оптических систем. Закономерности восприятия человеческим глазом света изучаются физиологической оптикой.

Глаз человека (рис. 16) имеет приблизительно шарообразную форму и помещается в костном углублении черепа. Глазное яблоко заключено в наружную оболочку — склеру (1) непрозрачного белого цвета толщиной около 1 мм, передняя часть которой — роговица (2), имеющая форму, близкую к сфере, прозрачна и имеет толщину около 0,5 мм. Роговица предохраняет глаз от внешних повреждений. Внутри к склере прилегает сосудистая оболочка (3), представляющая собой густую сеть кровеносных сосудов, толщина которой около 0,3 мм. Сосудистая оболочка выстилает не всю поверхность склеры. Вблизи места перехода склеры в роговицу сосудистая оболочка образует утолщение, имеющее форму кольца, так называемое ресничное тело (4), в котором имеется много мышечных волокон. Дальше сосудистая оболочка отходит от поверхности склеры и образует радужную оболочку (5) с отверстием — зрачком глаза. В радужной оболочке имеются мышечные волокна, расположенные различно: одни концентрически, другие радиально. Мышечные волокна, сокращаясь, изменяют размеры зрачка, регулируя количество света, пропускаемого в глаз. Кроме того, радужная оболочка содержит пигмент, от которого зависит ее цвет. Чем

больше пигмента, тем радужная оболочка темнее. В кольце ресничного тела находится хрусталик (6) — двояковыпуклая линза с различными радиусами кривизны. Хрусталик окружен тончайшей перепонкой, волокнами которой он прикреплен к ресничному телу.

Всю внутреннюю поверхность сосудистой оболочки (с задней стороны глаза и до ресничного тела) выстилает сетчатая оболочка (7), имеющая чрезвычайно сложное строение. Состоит она из десяти слоев, один из которых — световоспринимающий содержит особые нервные элементы — колбочки и палочки. Свет, попадающий на них, вызывает раздражение и зрительное восприятие по зрительному нерву (8) передается в головной мозг.

Наибольшая острота зрения отмечается в области так называемого желтого пятна, расположенного в той части сетчатки, где остаются только два ее слоя — пигментный, отделяющий сетчатку от сосудистой оболочки, и световоспринимающий, заполненный преимущественно колбочками. Желтое пятно имеет форму овала, удлинённого в горизонтальном направлении, с осями 2,9 и 0,6 мм. В середине желтого пятна (место наиболее ясного видения) в сетчатке имеется углубление (9) (центральная ямка), диаметр которой около 0,4 мм или в угловой мере —  $1,3^\circ$ . В ней имеются только колбочки. В области центральной ямки каждое нервное волокно связано с одной колбочкой, а по мере удаления к периферии число колбочек, связанных с одним нервным волокном, увеличивается.

Зрительный нерв (8), представляющий собой разветвление сетчатки, выходит через отверстия в сосудистой оболочке и склере, образуя на сетчатке так называемое слепое пятно, и проходит к головному мозгу. В области слепого пятна зрительного восприятия нет.

Передняя камера глаза (между роговицей и хрусталиком) заполнена водянистой влагой, задняя камера (между хрусталиком и сетчаткой) — стекловидным телом.

Вращение глазного яблока в орбите происходит во все стороны при помощи специального мышечного аппарата, состоящего из шести мышц, прикрепленных к склере. Линия, соединяющая точку рассматриваемого предмета с центральной ямкой желтого пятна глаза, называется зрительной осью. При наблюдении предметов глаз человека как бы ощупывает своей зрительной осью все его контуры.

**Оптика глаза.** Оптические параметры глаз у людей различны. Однако, для расчета оптических систем, когда необходимо учитывать оптику глаза, достаточно знать средние величины и значения параметров так называемого редуцированного (приведенного) глаза (по Гульстранду):

- показатель преломления стекловидного тела  $n = 1,33$
- радиус кривизны роговицы  $r_1 = 5,7$  мм
- длина глаза  $l = 22,2$  мм

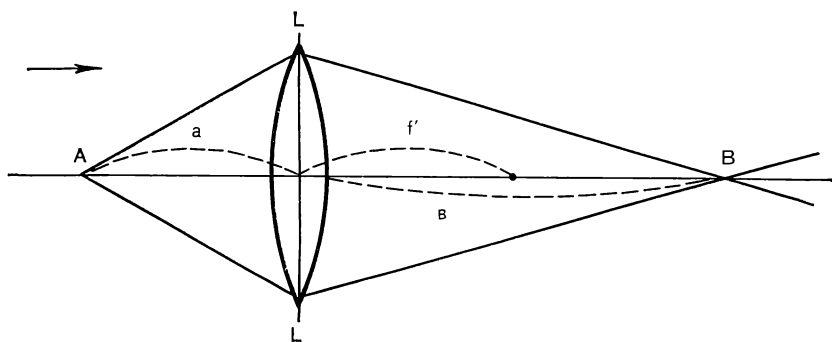


Рис. 17. Конвергенция падающих и преломляющих лучей.  
Объяснение в тексте.

- радиус кривизны поверхности сетчатки  $r_3 = -5,7$  мм
- преломляющая сила, рефракция  $D = 58,5$  дптр

В этом случае расчетным путем получаем:

- переднее фокусное расстояние  $f_r = -17,1$  мм
- заднее фокусное расстояние  $f'_r = 22,8$  мм.

По предложению А. Гульстранда (1909) принято диоптрийное исчисление оптической системы глаза и степени конвергенции (сходимости) падающих и преломленных пучков лучей.

Пусть из точки А (рис. 17), расположенной от оптической системы LL на расстоянии  $a$ , падает на нее пучок лучей, который после преломления сходится в точке В, находящейся на расстоянии  $b$  от оптической системы.

Величина  $B = 1/b$  и будет количественно характеризовать степень конвергенции преломленных лучей. Степень конвергенции падающих лучей будет характеризоваться величиной  $A = 1/a$ .

С учетом принятого направления распространения света слева — направо, величина конвергенции будет иметь соответствующий знак: А имеет знак минус, а В — плюс.

Оптическая сила системы может характеризоваться конвергенцией, соответствующей ее фокусному расстоянию.

Учитывая, что фокусное расстояние оптической системы зависит также от показателя преломления среды, в которой она расположена, его редуцируют (приводят) к показателю преломления воздуха, равному единице. Редуцируют и расстояния между преломляющими поверхностями сложной оптической системы.

Редуцирование осуществляется путем деления измеряемого расстояния на показатели преломления той среды, в которой расположена оптическая система. Под редуцированной конвергенцией понимают обратную величину редуцированного расстояния сходимости лучей. Если измеряемое расстояние будет выражено в метрах, то редуцированная конвергенция — в диоптриях.

Таким образом, можно вывести формулы, позволяющие производить расчет оптической системы:

$$B = A + D, \quad (36)$$

где  $A$  и  $B$  — редуцированные величины конвергенции падающих и преломляющих лучей;  $D$  — оптическая сила оптической системы.

Линейное увеличение оптической системы может быть определено по формуле:

$$\frac{b}{a} = \frac{A}{B}. \quad (37)$$

Формулы (36) и (37) являются основными формулами Гюльстранда. Оптическая сила сложной системы рассчитывается по формуле:

$$D_{1,2} = D_1 + D_2 - \delta \cdot D_1 \cdot D_2, \quad (38)$$

где  $D_{1,2}$  — оптическая сила сложной системы, состоящей из двух систем;  $D_1$  и  $D_2$  — оптические силы первой и второй систем;  $\delta$  — редуцированное расстояние, определяющее взаимное расположение первой и второй систем.

Положение передней и задней главных точек от первой и второй преломляющих поверхностей соответственно определяются по формулам:

$$H_{1,2} = \frac{\delta D_2}{D_{1,2}}; \quad H'_{1,2} = \frac{\delta D_1}{D_{1,2}}. \quad (39)$$

В этих формулах  $H_{1,2}$  и  $H'_{1,2}$  представляют собой редуцированные расстояния от главных точек до преломляющих поверхностей. Для получения истинных расстояний их надо умножить на соответствующие показатели преломления.

Основными функциями зрения являются: **аккомодация, световая чувствительность (адаптация), свето- и цветоощущение, острота зрения, поле зрения, бинокулярное и стереоскопическое зрение.**

**Аккомодация.** Расстояние от хрусталика до сетчатки в глазу постоянно, однако мы можем четко видеть предметы, находящиеся от нас на различных расстояниях. Это происходит благодаря способности хрусталика менять кривизну, а следовательно, и фокусное расстояние, при рассматривании различно удаленных предметов.

Способность глаза давать на сетчатке резкие изображения предметов, находящихся на различных от него расстояниях, называется аккомодацией.

Кривизна преломляющих поверхностей хрусталика изменяется в процессе аккомодации под воздействием аккомодационной мышцы, к которой хрусталик прикреплен с помощью ресничных (цинновых) связок. Кольцевые волокна аккомодационной мышцы могут сокращаться, что приводит к ослаблению ресничных



связок и увеличению кривизны хрусталика, а следовательно, и его оптической силы (наблюдается при приближении к глазу наблюдаемого предмета). При удалении наблюдаемого предмета расслабляются кольцевые и сокращаются радиальные волокна аккомодационной мышцы, что ведет к увеличению натяжения ресничных связок и уменьшению кривизны хрусталика, т.е. его оптическая сила уменьшается. При состоянии в покое мышц хрусталика нормальный глаз аккомодирован на бесконечность. Пределы аккомодации глаза, обеспечивающие возможность ясного видения различно удаленных объектов, ограничивают ближайшей и дальнейшей точками ясного видения.

Положение ближайшей точки ясного видения характеризуется наименьшим расстоянием —  $a_p$ , ближе которого глаз уже не может отчетливо видеть объект при наибольшем напряжении аккомодации.

Положение дальнейшей точки ясного видения характеризуется наибольшим расстоянием —  $a_R$ , с которого глаз способен отчетливо видеть объект при полном покое аккомодационной мышцы. Таким образом, чем ближе предмет от наблюдателя, тем сильнее напряжение аккомодационной мышцы.

Расстояние между ближайшей и дальнейшей точками ясного зрения глаза, выраженное в дптр и определяющее предел аккомодации глаза, называют объемом аккомодации, т.е.

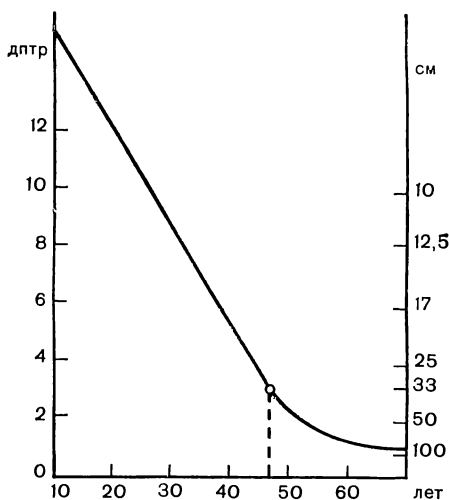
$$A_{PR} = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_p} = A_R - A_p. \quad (40)$$

Для каждого глаза существует свой объем аккомодации, который уменьшается с возрастом (рис. 18). Обычно нормальный глаз привыкает к аккомодации на расстоянии 25—30 см. Это расстояние называется расстоянием наилучшего зрения. На этом расстоянии мы располагаем рассматриваемые предметы при работе, чтении.

**Адаптация.** Роль палочек и колбочек в зрительном акте различна. Палочки при сумеречном освещении образуют особое вещество — зрительный пурпур, которое разлагается при воздействии сильного света. Таким образом, палочки

Рис. 18. Зависимость объема аккомодации и расстояния до ближайшей точки ясного видения от возраста.

Объяснение в тексте.



приспособлены к сумеречному зрению. Они не воспринимают различия цветов.

Колбочки менее чувствительны к свету. Они приспособлены к яркому освещению, когда палочки не функционируют. Колбочки воспринимают различные цвета и приспособлены к дневному зрению. При воздействии сильного света в одном из слоев сетчатки — пигментном — начинают перемещаться пигментные зерна, которые поглощают свет и тем самым предохраняют глаз от ослепления.

Известно, например, что при переходе из ярко освещенного помещения в недостаточно освещенное место, или наоборот, глазу требуется некоторое время на приспособление к новым условиям освещения. Такая способность глаза приспособляться (видеть при различных освещенностях) называется адаптацией. Явление адаптации объясняется тем, что аппарат зрения двойственный — для сумеречного и дневного зрения. В зависимости от изменения яркости различают световую адаптацию (переход в условия высокой яркости) и темновую адаптацию (переход в условия низкой яркости).

Для полного приспособления глаза (адаптации) при резком изменении освещенности требуется при световой адаптации около 5 мин, а при темновой — от 30 мин до 1-го часа.

Свето- и цветоощущение. Под светоощущением понимают способность глаза воспринимать световые волны в виде зрительного впечатления, а под цветоощущением — способность глаза различно реагировать на раздражение сетчатки световыми волнами различной длины. В зависимости от длины волны видимого монохроматического излучения глаз способен ощущать различные цвета. Опыт показывает, что степень восприятия глаза неодинакова к лучам различных длин волн. Если это максимальное световое действие на глаз условно принять за единицу, то степень светового действия других монохроматических излучений будет характеризоваться числами, меньшими единицы, называемыми коэффициентами относительной видности ( $K_\lambda$ ).

Зависимость величины светового действия на глаз от длины волны монохроматических излучений может быть представлена графически (рис. 19). Откладывая по оси абсцисс длины волн  $\lambda$  различных монохроматических излучений, а по оси ординат — соответствующие коэффициенты относительной видности  $K_\lambda$ , получим так называемую кривую относительной видности, или кривую спектральной чувствительности глаза. Из рис. 19 следует, что чувствительность глаза падает до нуля в обе стороны от максимального ее значения для лучей с длиной волны, равной 555 нм.

Для каждого монохроматического излучения световой поток пропорционален лучистому потоку, но для различных монохроматических излучений значение коэффициента пропорциональ-

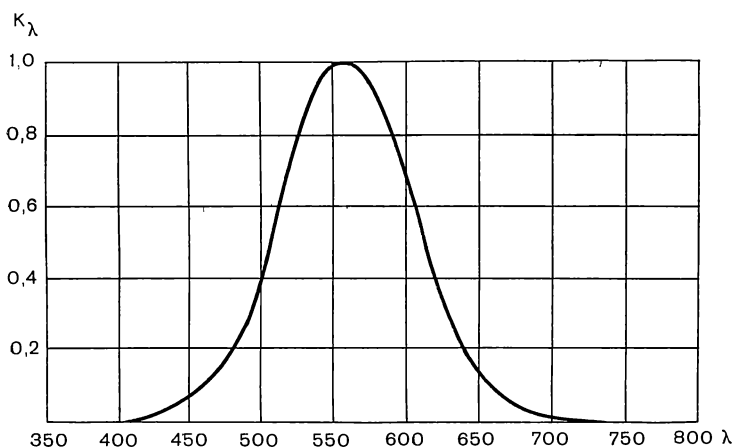


Рис. 19. График спектральной чувствительности глаза.

ности неодинаково в соответствии с коэффициентом относительной видности.

**Острота зрения** или разрешающая способность глаза. Под этим подразумевают способность глаза видеть раздельно изображения двух точек, не слившихся в одну. Численно величину разрешающей способности глаза —  $V$  определяют наименьшим углом —  $\omega$  под которым глаз может видеть раздельно изображения этих точек. Острота зрения определяется как величина обратно пропорциональная разрешающей способности глаза:

$$V = \frac{1}{\omega}. \quad (41)$$

Угол, образованный направлениями, идущими из оптического центра глаза (центральной ямки) на края рассматриваемого предмета, называется углом зрения. Установлено, что в большинстве случаев, если этот угол для нормального глаза будет меньше  $1'$ , то глаз не увидит раздельно изображений двух точек, и они ему будут казаться слившимися в одну. Угол в  $1'$  является средней величиной, которая зависит от условий освещенности и индивидуальных особенностей каждого глаза. Величина эта, как правило, колеблется от  $30''$  до  $2'$  при нормальных условиях освещения.

Как было отмечено выше, световоспринимающий слой сетчатки состоит из колбочек и палочек. Последние имеют вид шестигранных ячеек, в каждой из которых расположен один светочувствительный элемент. Если изображение на сетчатке уместится в одну ячейку, глаз увидит это изображение в виде одной точки. Если изображение будет располагаться на различных ячейках, разделенных хотя бы одним элементом, глаз воспри-

мет изображения двух точек раздельно. Наименьшее расстояние на сетчатке между изображениями двух точек, видимых раздельно, должно быть равно 6—10 мкм. Такая величина изображения получится от двух точек, расположенных от глаза на расстоянии 25 см и отстоящих одна от другой на 0,07 мм (при угле зрения, равном 1').

Из-за неравномерного распределения колбочек и палочек по сетчатке разрешающая способность будет также изменяться и резко падать при удалении от желтого пятна к периферии, где она очень незначительна. Разрешающая способность глаза зависит также от диаметра зрачка глаза (чем больше диаметр зрачка, тем ниже разрешающая способность); от контрастности предмета и фона, на котором предмет рассматривается (чем больше контрастность, тем выше разрешающая способность) и от освещенности (оптимальная освещенность — 150—300 лк).

Поле зрения. Совокупность точек пространства, воспринимаемых глазом одновременно называется полем зрения.

Статическая граница поля зрения для неподвижного глаза: 60° вверх, 75° вниз, 60° внутрь и 100° кнаружи. При этом в поле зрения различают три зоны: центральная зона или зона наиболее ясного зрения — 2°; зона ясного зрения — 30° горизонтально и 22° вертикально; зона периферического зрения — все остальное.

Однако, в процессе зрения глаз не остается неподвижным и поэтому часть пространства, охватываемая центральной зоной зрения, значительно больше самой этой зоны. Границы подвижности нормального глаза следующие: 37° вверх, 53° вниз, 46° внутрь, 44° кнаружи.

Бинокулярное стереоскопическое зрение. Поле зрения, видимое одновременно двумя глазами, называется бинокулярным и составляет около 120°.

Перевод взгляда с одного объекта на другой и получение изображения его в центральной части желтого пятна осуществляется поворотом глаз так, чтобы их оси были направлены на рассматриваемый объект. При этом, если второй объект расположен на другом расстоянии, то изменяется аккомодация.

При рассматривании предмета, находящегося на расстоянии, не превышающем 5 м, оси глаз составляют угол, называемый углом конвергенции, наибольшая величина которого равна 32°.

Величины объектов и их взаимное расположение в пространстве определяются одним глазом ориентировочно; по изменению величины аккомодации, сравнению рассматриваемого объекта с окружающими его объектами, по величине изображений их на сетчатке и яркости рассматриваемых объектов. Например, при рассматривании двух объектов одинаковой величины, расположенных на разном расстоянии, получают различные величины их изображений на сетчатке, и тот объект, угловая величина изображения которого будет меньше, расположен дальше. Если на одинаковом расстоянии расположены два источника

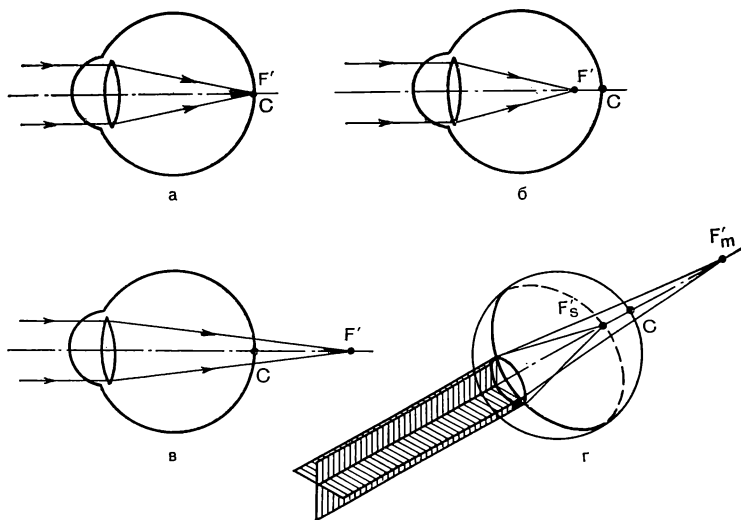


Рис. 20. Схема положения изображения предмета в норме и при аметропии.  
Объяснение в тексте.

света, то тот из них который ярче, будет казаться расположенным ближе.

Восприятие глубины пространства двумя глазами дает нам точное представление о размерах и взаимном расположении объектов в пространстве. Чувствительность при зрении двумя глазами очень велика. Так, при величине углового паралакса больше  $10''$  уже можно судить о различии расстояния между двумя точками.

**Оптические несовершенства глаз.** При наблюдении предметов, находящихся на расстоянии более 5 м, в глаз поступает практически параллельный пучок лучей. Если дальнейшая точка ясного видения расположена в бесконечности, а изображение предмета  $F'$  будет находиться на сетчатке в точке С (рис. 20, а), то в этом случае глаз считается нормальным (эметропическим). Если же это условие не соблюдается, то такой глаз называется аметропическим. Различают несколько видов аметропии. На рис. 20, б, в, г представлены схемы близорукого (миопического), дальнозоркого (гиперметропического) и астигматического глаз. Аметропия глаз вызывается отклонением от норм длины глазного яблока, положения хрусталика, значений кривизны преломляющих поверхностей. В частности, астигматизм, вызывается различием значений кривизны роговицы в двух различных сечениях (рис. 20, г).

Если имеется разница в рефракциях между левым и правым глазом, то такое состояние глаз называется анизометропией.

Одним из случаев разности в рефракциях двух глаз является афакия, т. е. когда в одном глазу отсутствует хрусталик. Ча-

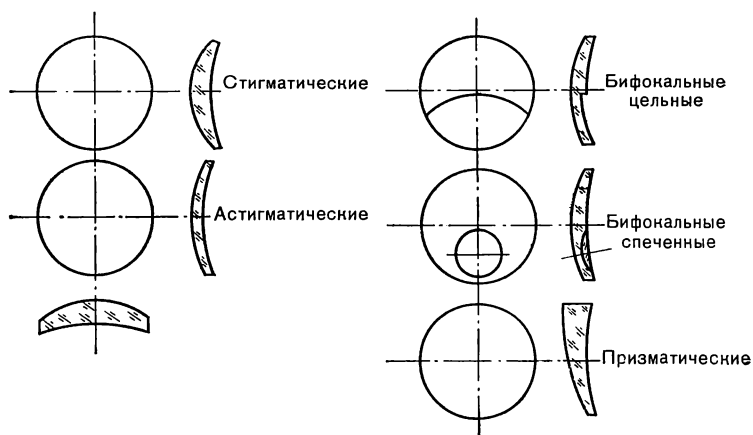


Рис. 21. Основные типы очковых линз.

ще всего это происходит после удаления помутневшего хрусталика (катаракты).

С возрастом уменьшаются пределы аккомодации глаза, что вызывает удаление ближайшей точки ясного видения и вынуждает рассматривать предметы с расстояния больше 330 мм. Этот недостаток зрения носит название возрастной дальнозоркости (пресбиопии). Имеются еще некоторые оптические несовершенства глаза человека.

Значительные различия в состояниях органа зрения, требующих коррекции, привели к необходимости создания разнообразнейших очковых линз. В табл. 1 представлены средства коррекции зрения, применяемые при различных состояниях органа зрения. Основные типы очковых линз указаны на рис. 21.

Наиболее часто приходится корректировать **аметропию**, включающую в себя миопию, гиперметропию, астигматизм и анизометропию.

Коррекция зрения при гиперметропии и миопии заключается в дополнении оптической системы глаза стигматической очковой линзой, которая обеспечивает перемещение изображения предмета на сетчатку. При миопии применяются отрицательные линзы, при гиперметропии — положительные.

В последнее время все шире начинают применять для предупреждения прогрессирования близорукости бифокальные сферопризматические очки, которые дают возможность снизить величину аккомодации и конвергенции при работе вблизи, а бифокальные отрицательные линзы только снижают величину аккомодации. Зрение миопов может быть также улучшено методом диафрагмирования, применяя дырчатые (стенопические) очки, а при высокой степени миопии в некоторых случаях эффективны очки для слабовидящих и контактные линзы.

Т а б л и ц а 1. Средства коррекции органа зрения

Состояние органа зрения	Средства коррекции зрения
<p>Миопия низкая степень прогрессирующая</p> <p>высокая степень</p>	<p>Линзы очковые стигматические отрицательные Линзы очковые бифокальные стигматические и отрицательные сферопризматические Диафрагмы (стенопические очки) Линзы очковые стигматические отрицательные. Очки для слабовидящих и контактные линзы</p>
<p>Гиперметропия</p> <p>Астигматизм</p>	<p>Линзы очковые стигматические положительные Линзы очковые астигматические всех комбинаций</p>
<p>Анизометропия низкая степень</p> <p>высокая степень</p> <p>Анизейкония</p> <p>Пресбиопия</p>	<p>Линзы очковые стигматические и астигматические всех рефракций Линзы очковые изейконические, линзы контактные Линзы очковые изейконические Линзы очковые стигматические однофокальные положительные</p>
<p>Афакия</p>	<p>Линзы очковые стигматические и астигматические бифокальные всех рефракций Линзы очковые стигматические и астигматические трифокальные всех рефракций Линзы очковые с плавноменяющейся рефракцией (трансфокальные) Линзы очковые однофокальные стигматические и астигматические положительные сферические и асферические высоких рефракций Того же вида, но бифокальные Линзы контактные однофокальные и бифокальные</p>
<p>Косоглазие</p>	<p>Линзы внутрикамерные Линзы очковые однофокальные стигматические и астигматические положительные Очковые призмы одно- и двухфокальные стигматические</p>
<p>Слабовидение</p>	<p>Лупы, гиперокуляры, монокуляры Очки монокулярные одно- и двухфокальные Очки бинокулярные одно- и двухфокальные Проекционные системы</p>
<p>Односторонняя геми-анопсия</p> <p>Патологические изменения роговицы глаза: кератоконус и кератоглобус</p> <p>Ограниченное помутнение роговицы</p> <p>Астигматизм роговичный: неправильный</p> <p>правильный</p>	<p>Очки зеркальные</p> <p>Линзы контактные афокальные склеральные</p> <p>То же</p> <p>То же</p> <p>Линзы очковые однофокальные астигматические всех рефракций и комбинаций</p>
<p>Светобоязнь и глаукома</p>	<p>Линзы очковые и контактные светозащитные всех видов</p>

Коррекция зрения при астигматизме осуществляется астигматическими линзами (одна из поверхностей линзы — торическая) с разнообразными комбинациями по рефракциям в главных сечениях, а также контактными линзами.

При неправильном астигматизме, когда угол между главными сечениями глаза не равен  $90^\circ$ , и вдоль одного из них может происходить изменение рефракции, коррекция производится только контактными афокальными линзами, компенсирующими неправильность формы роговицы.

При анизометропии высокой степени, когда разность рефракций между левым и правым глазами превышает 2,5 дптр, полная коррекция может быть достигнута только контактными линзами или изейконическими очковыми линзамп. Последние предназначаются также для коррекции анизейконии (разномасштабность изображения видимых предметов на сетчатке).

Обычно для коррекции афакии — применяются очковые положительные линзы высокой рефракции — от +7 дптр и выше. Однако выпускаемые сферические линзы таких рефракций имеют большой астигматизм наклонных пучков лучей, что резко снижает их оптические качества. Уменьшение такого астигматизма возможно только за счет применения в очковых линзах асферических поверхностей (гиперболоид, параболоид, эллипсоид). Так как в афакическом глазу отсутствует хрусталик, то в большинстве случаев целесообразно назначать бифокальные и трифокальные очки с разностью в рефракции между частью для дали и частью для близи от 3 дптр. Лучше всего афакия корректируется контактными линзами — особенно бифокальными контактными линзами. Кроме того, при коррекции афакии внимание офтальмологов привлекает возможность введения искусственного хрусталика, благодаря чему практически восстанавливается первоначальная рефракция глаза.

Пресбиопия в начальный период, в большинстве случаев, корректируется однофокальными стигматическими положительными очковыми линзами. Затем с возрастом, когда в значительной степени уменьшается объем аккомодации, возникает необходимость в коррекции зрения не только для близи, но и для дали. Такая коррекция осуществляется бифокальными, а затем трифокальными линзами. За рубежом определенное распространение получили очки с трансфокальными линзами, обеспечивающими плавное изменение рефракции.

При лечении косоглазия и недостаточности мышечной деятельности глаза применяют положительные призматические очковые линзы.

Сущность коррекции при **слабовидении** (острота зрения от 0,2 до 0,02) заключается в увеличении изображения видимых предметов на сетчатке за счет использования телескопической системы в очках для слабовидящих, а также применения всевозможных луп и проекционных систем.



Слепота в пределах правой или левой половины поля зрения обоих глаз (односторонняя гемианопсия) корректируется специальными зеркальными очками, создающими иллюзию прямого наблюдения сквозь прозрачную часть матового стекла.

Встречающиеся патологические изменения роговицы глаза (кератоконус, кератоглобус и т.д.) корректируют контактными линзами.

При светобоязни и глаукоме применяются различные цветные светозащитные линзы. Светозащитные очки очень широко применяются для защиты от яркого солнечного света как лицами, не нуждающимися в очковой коррекции, так и нуждающимися в ней.

Таким образом, массовыми средствами коррекции зрения являются очки.

# Раздел I

## ОЧКИ

---

### Глава 1

#### ОЧКОВЫЕ ЛИНЗЫ

##### КЛАССИФИКАЦИЯ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ

Очковые линзы можно подразделить на две основные группы по принципу их оптического действия: афокальные и фокальные линзы. Афокальные очковые линзы характеризуются тем, что значение задней вершинной рефракции у них равно нулю. Они подразделяются, в свою очередь, на следующие типы: непризматические, призматические и изейконические.

Фокальные линзы имеют более сложное подразделение. Прежде всего по числу образуемых фокусов: однофокальные, бифокальные, трифокальные, четырехфокальные и с плавноизменяющейся рефракцией (трансфокальные).

Однофокальные делятся на стигматические и астигматические, а каждый из последних двух типов еще на призматические, непризматические и изейконические. В свою очередь однофокальные стигматические непризматические линзы делятся на положительные, отрицательные и отрицательно-положительные.

На рис. 22 представлена классификационная схема очковых линз. В ГОСТ 23265—78 «Линзы очковые. Технические условия», издания 1986 г., дан перечень наиболее распространенных типов очковых линз с указанием их характеристик и назначений. Четырехфокальные линзы и линзы с плавноизменяющейся рефракцией в стандарт не включены, так как они имеют очень малое применение и ряд недостатков.

##### ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ

Для изготовления очковых линз применяются бесцветное и цветное оптическое стекло и прозрачные полимерные материалы.

Бесцветное оптическое стекло характеризуется основными оптическими постоянными: показателем преломления и дисперсией. Оптическое стекло характеризуется показателем преломления для линии спектра (пламя ртути  $\lambda_e =$

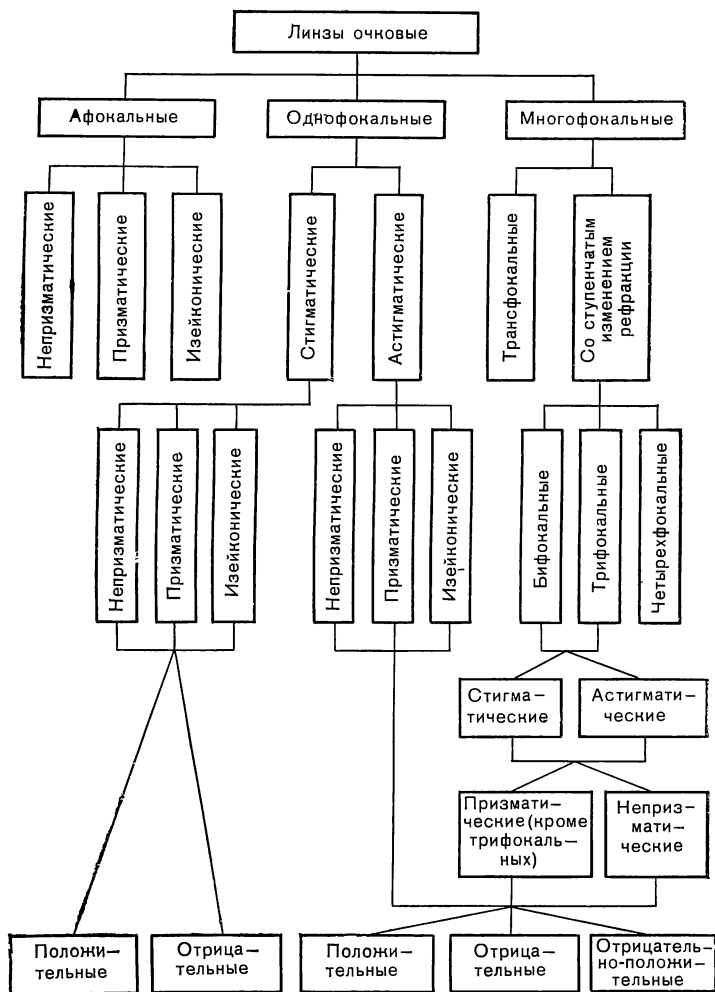


Рис. 22. Классификационная схема очковых линз.

= 1000 нм). Если указан другой индекс, то в этом случае обозначается показатель преломления для той или иной спектральной линии. Для стекол, предусмотренных ГОСТ 3514—76 «Стекло оптическое бесцветное», значения  $n_d$  изменяются от 1,47 до 1,81.

Дисперсия света определяется разностью показателей преломления для волн различной длины. Средняя дисперсия стекол определяется разностью  $n'_F - n'_C$ . Длины волн, обозначенные  $F'$  и  $C'$ , соответствуют линиям спектра кадмия и равны 480,0 и 643,8 нм. Для расчета хроматических aberrаций

удобно пользоваться коэффициентом дисперсии (см. формулу 6).

По оптическим постоянным стекла классифицируются в зависимости от величины  $n_e$  и  $v_e$  на крон и флинт. Кроновые стекла имеют:  $1,47 < n_e < 1,75$  и  $50 < v_e < 61$ , а флинтовые стекла  $1,5 < n_e < 1,806$  и  $25 < v_e < 49$ .

В связи с тем, что очковые линзы являются массовой продукцией, для их изготовления выбирают наиболее распространенное и дешевое оптическое стекло. Таким стеклом является крон с  $n = 1,52$  (например, К 8,  $n_e = 1,5183$ ). Для однофокальных очковых линз в СССР разработана специальная марка стекла: стекло листовое очковое № 80, у которой  $n_e = 1,5222$ .

В прошлые годы основной показатель преломления обозначался по линии спектра натрия, т. е.  $n_D$ . В этом случае для очкового стекла  $n_D = 1,5200$ .

Для изготовления спеченных бифокальных очковых линз необходимы марки стекол, отличные по  $n$  от стекла № 80. Отраслевой стандарт ОСТ 3—465—71 предусматривает следующие физико-химические свойства этих стекол (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Физико-химические свойства оптических стекол, предназначенных для спеченных бифокальных линз

Параметры	Марки стекол	
	БОК-1	БОФ-2
$n_D$	1,5216	1,6247
$n_F - n_C$	0,00888	0,01750
$v_D$	58,7	35,7
$\alpha \cdot 10^{-7}$ град $^{-1}$ в интервале температур от 20 до 400 °С	91	99
Температура отжига	510	430
Температура спекания	620	540
Плотность $\rho$ гсм $^{-3}$	2,59	3,66

$\alpha$  — коэффициент термического расширения стекла.

Для обеспечения необходимого качества изображения оптической системы стекло должно быть однородным и прозрачным. Однако, в процессе варки в нем появляются различные дефекты (пузыри, свили, камни и т. п.), а при термообработке возникают напряжения, влияющие на стабильность значений оптических постоянных.

В ГОСТ 3514—76 «Стекло оптическое бесцветное» определены допустимые отклонения показателя преломления и средней дисперсии, по двойному лучепреломлению, по показателю ослабления, требования по бессвильности и пузырности. ГОСТ 13659—68 «Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические свойства. Параметры.» Устанавливает оптические характеристики, термооптические и теплехимические характеристики, светорассеяние, механические свойства, химическую устойчивость.

При расчете оптических систем те или иные допуски обосновываются в зависимости от того, какой элемент оптической системы должен быть изготовлен. Для того, чтобы установить эти характеристики для очковой линзы, необходимо определить ее местоположение в оптической системе «очковая линза — глаз».

В системе «очковая линза — глаз» ( $\Phi_c$ ) оптическая система глаза ( $\Phi_r$ ) остается неизменной. Поэтому необходимо, чтобы оптическая сила системы ( $\Phi_c$ ) была равна оптической силе глаза, т. е.  $\Phi_c = \Phi_r$ . Тогда из соотношения:

$$\Phi_c = \Phi_r + \Phi_l - d \cdot \Phi_r \cdot \Phi_l, \quad (42)$$

где  $\Phi_l$  — оптическая сила линзы;  $d$  — расстояние между главными плоскостями глаза и линзы; получаем, что:

$$\Phi_l - d \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_n = 0$$

откуда

$$\Phi_r = \frac{1}{d}, \quad (43)$$

но оптическая сила системы обратно пропорциональна ее фокусному расстоянию, т. е.,

$$\Phi_r = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{-f_r}, \quad (44)$$

при  $n = 1$ ,  $\Phi_r = \frac{1}{-f_r}$ . Следовательно:

$$d = -f_r, \quad (45)$$

т. е. для сохранения неизменной величины оптической силы глаза необходимо, чтобы задняя главная плоскость корригирующей линзы совпадала с передней фокальной плоскостью глаза, что и должно учитываться при расчете и подборе очковых линз.

Переднее фокусное расстояние схематического глаза по Гульстранду —  $f_r = 17$  мм (рис. 23), расстояние от вершины роговицы до передней фокальной плоскости глаза, с учетом смещения зрительной оси на 5 мм от оптической оси глаза, будет равно 15,4 мм. Таким образом, из данных схематического глаза следует, что расстояние от передней фокальной плоскости глаза, в котором должна располагаться задняя главная плоскость очковой линзы, до центра вращения глаза равно 31 мм.

В практике при подборе очковых линз принимается во внимание расстояние от вершины поверхности линзы, обращенной к глазу, до вершины роговицы. Это расстояние будет меньше расстояния  $S_{F_r}$ , так как в менисковых линзах главные плоскости удалены от вогнутой поверхности (в очковых линзах на 2—3 мм). Это расстояние принято равным 12 мм.

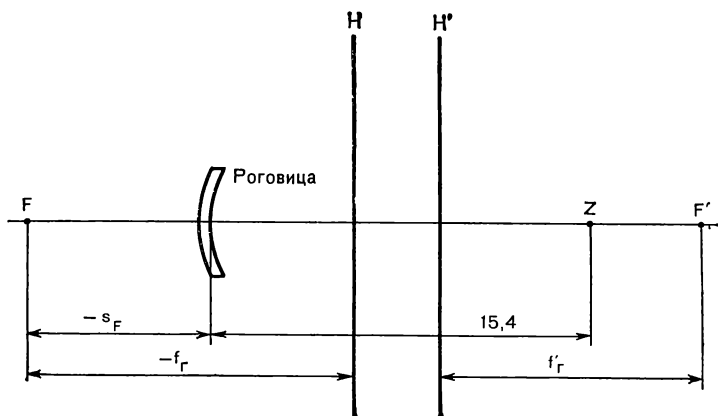


Рис. 23. Элементы схематического глаза по Гульстранду.  
Объяснение в тексте.

При определении диаметра очковых линз необходимо учитывать подвижность глаза, чтобы обеспечить нормальное поле зрения глаза, скорректированного очковой линзой. Кроме этого диаметр очковых линз должен обеспечить возможность точной сборки их в современные очковые оправы, имеющие световые проемы больших размеров.

Поле зрения глаза, скорректированного очковой линзой, зависит от трех факторов: поля зрения самого глаза, отстояния очковой линзы от глаза, типа и величины рефракции очковой линзы. Статическая граница нормального зрения для одного глаза указывалась выше.

В нем первая зона служит для различения мелких предметов и деталей объекта, вторая — для опознавания предметов без

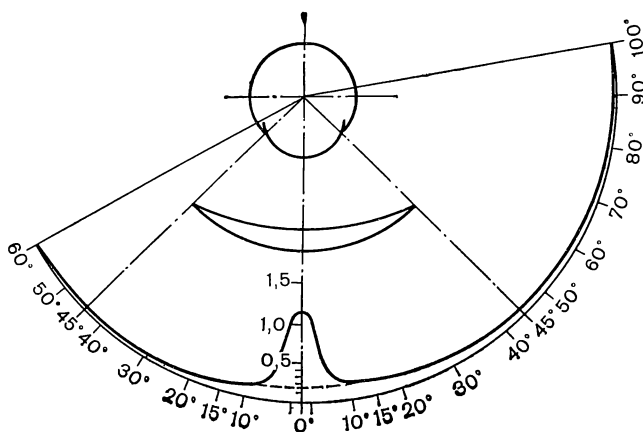
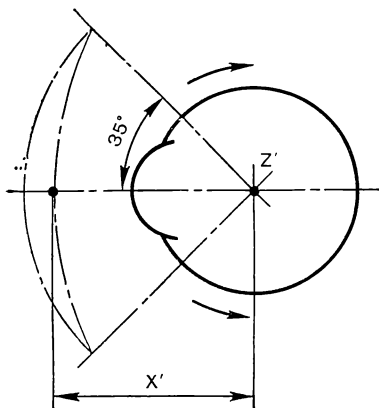


Рис. 24. Горизонтальное сечение видимого поля зрения и распределения остроты зрения по полю зрения (левый глаз).

Рис. 25. Минимальный угол, обеспечивающий условия нормального зрения глазом.

Объяснение в тексте.



различения мелких деталей, а третья зона — для общей ориентировки (рис. 24).

Однако, в процессе зрения глаз не остается неподвижным, и поэтому часть пространства, охватываемая центральной зоной зрения, фактически значительно больше самой зоны.

При рассматривании в естественных условиях предметов, находящихся в поле зрения, участвуют также движения (повороты) головы, и подвижность глазного яблока используется фактически не полностью. Рядом исследований показано, что перевод взгляда более чем на  $20^\circ$  осуществляется в подавляющем большинстве случаев за счет поворота головы, а не движения глазного яблока. Таким образом, поворот глаза на  $20^\circ$  и плюс  $15^\circ$  (величина второй зоны зрения) дают нам угол  $35^\circ$ , т. е. тот минимальный угол зрения, который обеспечивает условия нормального зрения глазом (рис. 25). Отсюда следует, что минимальная величина поля зрения корригированного глаза должна быть равна  $70^\circ$ . Поле зрения в  $90^\circ$  включает даже часть третьей зоны поля зрения глаза и поэтому является вполне достаточным.

К этому следует добавить, что такое поле взгляда обеспечивает возможность бинокулярного зрения в очках, так как бинокулярное поле зрения при параллельном положении зрительных осей по горизонтали равно  $114^\circ$ .

Рассмотрим величины поля зрения глаза, корригированного очковой линзой. На примере отрицательной очковой линзы покажем зависимость величины истинного поля зрения ( $2\alpha$ ) от выбранного диаметра очковой линзы ( $d_l$ ) и отстояния ее вершины от роговицы глаза ( $x'$ ). На рис. 26 видно, что  $\operatorname{tg} \alpha = h/x$ , а  $\operatorname{tg} \alpha' = h/x'$ . Отсюда можно составить пропорцию:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{x}{x'}.$$

Если расстояние  $x$  и  $x'$  выразить в диоптрийной мере, обозначив соответственно через  $\Delta$  и  $\Delta'$ , то последнее выражение примет следующий вид:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\Delta}{\Delta'},$$

где  $\Delta$  можно заменить выражением:

$$\Delta = \Delta' - F'_v. \quad (46)$$

Следовательно, истинное поле зрения можно найти из равенства:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha' \frac{\Delta' - F'v}{\Delta'} = \operatorname{tg} \alpha' \left(1 - \frac{F'v}{\Delta'}\right). \quad (47)$$

Видимое поле зрения  $2\alpha'$  постоянно при выбранном диаметре очковой линзы и расстояния  $x'$ . Величина  $\left(1 - \frac{F'v}{\Delta'}\right)$  легко подсчитывается. Формула (47) распространяется и на расчет истинного поля зрения с положительными линзами.

Результаты расчета величин истинного поля зрения  $2\alpha$  в зависимости от диаметра и величины рефракции линзы при расстоянии  $x' = 25$  мм представлены на рис. 27.

Из полученных графиков видно, что для отрицательных очковых линз с рефракцией свыше 6,5 дптр диаметр рабочей части линзы может быть равен 30 мм, а для линз с рефракцией от 0,25 до 6,0 дптр минимальную величину истинного поля зрения ( $70^\circ$ ) обеспечит диаметр 35 мм.

Однако у положительных очковых линз с рефракцией  $+0,25$  дптр, диаметр 35 мм не обеспечивает минимальную величину истинного поля зрения, т.е. фактически все положительные очковые линзы, в той или иной степени, сужают истинное поле зрения. При высоких рефракциях появляется даже кольцевая скотома. Уменьшение ее можно получить применением таких конструкций линз, которые имели бы кольцеобразную преломляющую поверхность и снижали от центра к периферии оптическую силу линзы за счет изменения радиусов кривизны или за счет применения поверхностей Френеля. С появлением высокопрочных оптически прозрачных полимерных материалов проблема изготовления таких линз может быть практически решена.

Итак, рабочая (центральная) часть очковой линзы, как минимум, должна быть равна 30 мм. Этот вывод реализован в Государственном стандарте на очковые линзы (ГОСТ 23265—78),

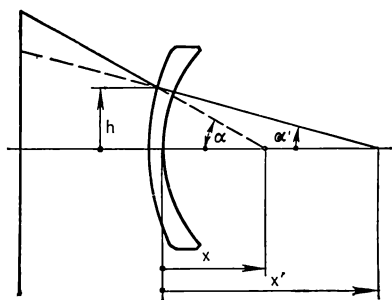


Рис. 26. Зависимость величин полей зрения при коррекции отрицательными очковыми линзами.

$2\alpha'$  — видимое поле зрения;  $2\alpha$  — истинное поле зрения.

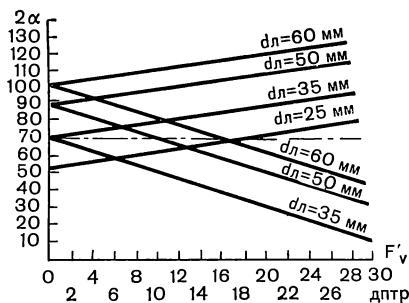


Рис. 27. Зависимость величины истинного поля зрения от рефракции и диаметра очковой линзы.

Объяснение в тексте.



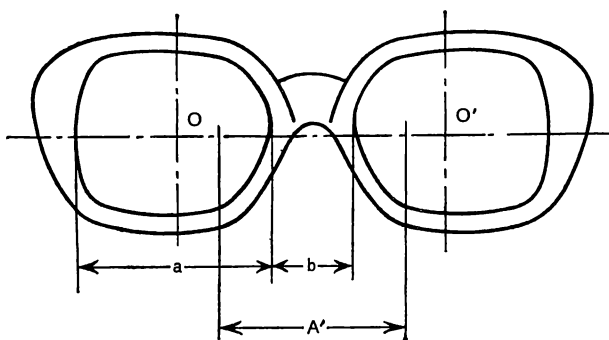


Рис. 28. Схема к расчету диаметра нефацетированной очковой линзы.  
Объяснение в тексте.

в котором диаметр центральной части очковых линз по сравнению с ранее действующим до 1969 г. стандартом расширен с 20 до 30 мм. При этом расчет аббераций очковых линз следует проводить до угла  $35^\circ$  (ранее проводился расчет только до угла  $30^\circ$ ).

Для обоснования фактического диаметра очковой линзы (диаметра заготовки) следует рассмотреть условия сборки линз в оправы.

Диаметр очковой линзы ( $D_{\text{л}}$ ), которую необходимо монтировать в определенную оправу, зависит от размера светового проема оправы с учетом глубины фасетной канавки —  $a$  (рис. 28), расстояния между геометрическими центрами световых проемов оправы  $A=00_1$  и расстояния между центрами зрачков глаз пациента —  $A'$ , которому подобрана данная оправа.

Эта зависимость выражается следующим образом:

$$D_{\text{л}} = a + (A - A'). \quad (48)$$

Так как  $A=00_1 = a + b$ , то формулу (48) можно представить в следующем виде:

$$D_{\text{л}} = a + [(a + b) - A'] = 2a + b - A'. \quad (49)$$

В большинстве случаев децентрирования в современные оправы необходимо иметь линзы диаметром 60 мм и более.

Для примера рассмотрим один из случаев (размеры  $a$  и  $b$  из ГОСТ 18491—79):

$D_{\text{л}} = 2 \cdot 52 + 16 - 62 = 58$  мм (припуск на обрезку 2 мм). Итого диаметр заготовки линзы будет равен 60 мм.

В линзах высоких рефракций, когда из-за малых радиусов кривизны невозможно получить линзы большого диаметра, предусматривается специально несущая часть (например, спеченные положительные линзы комбината К. Цейс Йена или обычные лентиккулярные отрицательные линзы).

Однако, в практике подбора корригирующих очков встречается нередко значительное несовпадение величины расстояния

между центрами зрачков глаз и расстояния между центрами ободков подобранной пациенту оправы.

Например: для круглых оправ  $D = 2 \cdot 46 + 24 - 62 = 54$  мм;

для фигурных оправ  $D = 2 \cdot 52 + 18 - 62 = 60$  мм.

Кроме этого, за счет децентрирования иногда нужно получить призматическое действие при коррекции косоглазия или компенсации слабости мышцы при сборке корригирующих линз в оправы с большим размером ободков. Во всех этих случаях требуется диаметр линз большого размера. Следовательно, диаметр линзы является важным функциональным параметром и поэтому в ГОСТ 8778—81 «Заготовки очковых линз. Технические условия» регламентируется следующий их ряд 48, 50, 56, 60, 64, 68, 72 мм. За рубежом выпускаются линзы до 82 мм.

В процессе изготовления очковых линз от получения заготовки до момента сборки их в оправу, большое число факторов оказывает воздействие на линзу, ухудшая ее качество. При варке стекла и прессовании заготовки очковой линзы могут образовываться следующие дефекты стекла: пузыри, камни, свили. При изготовлении самой линзы отмечаются дефекты поверхности: точки, царапины, сколы.

Научно обоснованная регламентация дефектов стекла и поверхности очковых линз должна обеспечить правильный выбор их допустимых величин, не мешающих зрению, с одной стороны, и возможность снижения стоимости очковых линз — с другой. Так как очковая линза расположена от глаза на расстоянии около 12 мм, то глаз не может аккомодировать на нее, и все дефекты, имеющиеся в линзе, не изображаются резко на сетчатке, а образуют кружки рассеяния.

Пузыри, камни, точки представляются глазу в виде темных пятен на светлом фоне. Они вызывают потерю проходящего света, вследствие его рассеивания и появления полутеней в поле зрения, а также раздражают глаз мельканием. Свилы отклоняют и рассеивают лучи света, снижают яркость наблюдаемых объектов.

Царапины представляются глазу в виде белой размытой полосы. Они играют роль непрозрачного экрана, вследствие чего происходит некоторое уменьшение яркости рассматриваемого объекта.

Сколы уменьшают фактический размер линзы, который может быть вырезан из нефацетированной очковой линзы.

В Государственном оптическом институте им. С. И. Вавилова под руководством профессора Л. Н. Гассовского была проведена работа по исследованию влияния дефектов стекла и поверхности очковых линз на видимость при различной освещенности. При этом экспериментально получена зависимость: влияние размера пузыря на зрение при различной освещенности (рис. 29).

Из зависимости на рис. 29 видно, что чем выше фоновая освещенность, тем большая величина пузыря не влияет на види-

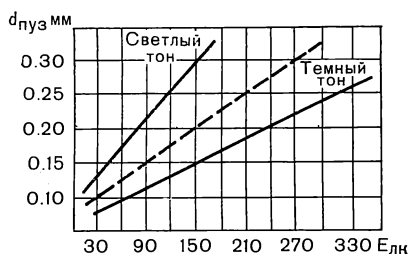


Рис. 29. Зависимость влияния размера пузыря в очковой линзе на зрение при различной освещенности  
Объяснение в тексте.

мость. При наименьшей допустимой для зрительной работы освещенности, составляющей 150 лк, при средних значениях контраста объекта с фоном, пузырь размером 0,2 мм практически незаметен. Это распространяется, естественно, и на точки, и на камни.

ГОСТ 3514—76 «Стекло оптическое бесцветное» предусматривает в стекле 3-й категории диаметр наибольшего пузыря 0,2 мм. Этот размер согласуется и с требованиями к точкам (здесь, точка — незначительный скол или вскрытый пузырь) по ГОСТ 11141—84 «Чистота поверхности оптических деталей» IV класс чистоты для оптических деталей, не находящихся в плоскости действительного изображения или плоскости предметов оптической системы (лупы, линзы конденсоров). К таким оптическим деталям относится и очковая линза.

Эти требования следует отнести к центральной зоне, так как для разных участков поверхности детали допускаются разные классы чистоты. В краевой зоне максимальный диаметр пузыря или точки может быть равным 0,3 мм, т.е. соответствовать 4-й категории пузырькости по ГОСТ 3514—76 и предельным значениям по IV классу чистоты ГОСТ 11141—76.

Какое же количество пузырей и точек допускается в очковой линзе? Если принять среднюю массу заготовки очковой линзы равной 35 г, то в 1 кг среднее число пузырей ( $P_1$ ) будет равно:

$$P_1 = \frac{P_{л} \cdot 1000}{35} = 230 \text{ шт.},$$

где  $P_{л}$  — число пузырей в очковой линзе, равное 8 шт.

Государственным стандартом на оптическое бесцветное стекло классом Г предусматривается среднее число пузырей диаметром свыше 0,03 мм в 1 кг не более 100 шт., а следующим классом D — 300 шт. Если брать для заготовок стекло, по пузырькости соответствующее классу Г, то на одну заготовку в среднем придется 3,5 шт.

Государственным стандартом на чистоту поверхностей оптических деталей IV класс чистоты не допускает точки диаметром более 0,3 мм, при этом точки диаметром менее 0,01 мм, если они не образуют скоплений, не учитываются.

Количество точек в штуках равно половине светового диаметра детали. В нашем случае при  $D=50$  мм общее количе-

ство точек будет равно 25 шт. В этом же стандарте оговаривается, что для III—IX классов чистоты количество точек с размерами, примыкающими к верхнему пределу допуска (для Р IV он равен от 0,1 до 0,3 мм) не должно быть более 10% от общего допускаемого количества точек, т. е. для очковых линз — 2,5. Таким образом, получается, что общее число пузырей и точек в очковой линзе не должно быть более 6 шт. и поэтому следует брать стекло для очковых линз по пузырьности класс Г. Оставляя на всякие непредвиденные дефекты (кристаллы, скопления мелких точек и т. п.) 1 шт. из общего количества дефектов, приравненных к пузырю, ГОСТ 23265—78 предусматривает не более 5 шт. допускаемых пузырей и точек.

Если ширина царапины в 10 раз меньше диаметра допускаемого пузыря, то при тех же условиях испытаний она оказывает одно и то же воздействие на видимость. Следовательно, царапины шириной более 0,02 мм не должны допускаться в очковых линзах. Такие требования также соответствуют IV классу чистоты поверхности оптических деталей. В этом случае по ГОСТ 11141—84 царапины шириной менее 0,004 мм не учитываются. Допускаемая суммарная длина царапин численно равна диаметрам детали, т. е. в нашем случае 50 мм. Тогда суммарная длина царапин с размерами, примыкающими к верхнему пределу, равному от 0,01 до 0,02 мм, которая не должна превышать 30% от допускаемой суммарной длины царапин, будет равна 10—15 мм.

В табл. 3 сформулированы функциональные требования к показателям внешнего вида очковых линз, а в табл. 4 — потребительские.

Однако к очковой линзе, как к готовому изделию, предъявляются и потребительские требования, т. е. требования качественного товарного вида, заключающиеся в том, что на ней не должны быть заметны какие-либо дефекты, видимые невооруженным глазом.

Т а б л и ц а 3. Показатели внешнего вида очковых линз  
(функциональные требования)

Показатели внешнего вида	Требования к линзам	
	В центральной зоне диаметром 30 мм	В краевой зоне диаметром свыше 30 мм до края
Пузыри, точки и другие инородные включения	Диаметром от 0,05 до 0,2 мм допускаются не более 2 шт. при расстоянии между ними не менее 5 мм	Диаметром свыше 0,06 до 0,3 мм допускаются не более 3 шт. при расстоянии между ними не менее 5 мм
Царапины	Шириной свыше 0,006 до 0,02 мм допускаются при общей их длине не более 15 мм	Шириной свыше 0,006 до 0,02 мм допускаются при общей их длине не более 15 мм

**Т а б л и ц а 4. Показатели внешнего вида очковых линз  
(потребительские требования)**

Показатели	Требования к линзам	
	в центральной зоне диаметром 30 мм	в краевой зоне диаметром свыше 30 мм до края
Пузыри, точки и другие инородные включения	Диаметром свыше 0,05 не допускаются	Диаметром свыше 0,06 до 0,2 мм допускаются не бо- лее 2 шт при расстоянии между ними не менее 5 мм
Царапины	Шириной свыше 0,006 до 0,01 мм допускаются при общей длине не более 10 мм	Шириной свыше 0,006 до 0,02 мм допускаются при общей их длине не более 10 мм

Исходя из этого, максимально допустимая величина пузыря не должна превышать 0,1 мм. Эта величина получена из следующей зависимости (рис. 30):

$$l = \frac{l'(a+b)}{a'}, \quad (50)$$

где  $l$  — минимальная линейная величина, видимая контролером при определении дефектов без увеличительных приборов, мм;  $l'$  — величина изображения на сетчатке глаза, видимого под углом в  $1'$ , т. е. равная 0,00487 мм;  $a$  — расстояние от роговицы глаза до предмета, расстояния наилучшего видения (250—330 мм);  $a'$  — расстояние от главной плоскости глаза  $NN'$  до изображения видимого предмета на сетчатке, равное 17 мм;  $b$  — расстояние от роговицы до главной плоскости глаза  $NN'$ , равное 6,9 мм.

Изменение величины расстояния наилучшего видения вызы-  
вает изменение величины пузыря от 0,05 до 0,1 мм, менее кото-

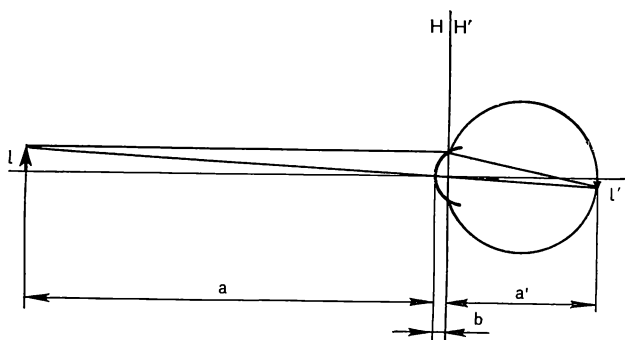


Рис. 30. Схема построения изображения предмета на сетчатке глаза.  
Объяснение в тексте.

рой он становится не видимым. Соответственно, ширина допустимой царапины в центральной зоне не должна превышать 0,01 мм.

Требования к очковым линзам, увязанные с данными физиологии зрения, совпадают полностью с допустимыми величинами пузырей по 2-й категории ГОСТ 3514—76 и класс чистоты Р III по ГОСТ 11141—84 для точек и царапин. Потребительские требования к показателям внешнего вида очковых линз сформулированы в табл. 4.

Изложенные требования к очковым линзам в части их диаметров, показателей внешнего вида, а отсюда требования к стеклу, из которого должны изготавливаться очковые линзы, нашли отражение в государственных стандартах на очковые линзы.

### РАСЧЕТ ОДНОФОКАЛЬНЫХ СТИГМАТИЧЕСКИХ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ

Целью расчета очковой линзы является обеспечение наилучших условий коррекции зрения за счет рационального подбора формы линзы, радиусов кривизны ее поверхностей, толщины, диаметра и марки стекла, из которого будет изготавливаться линза.

При расчете очковых линз исходят из того, что линза находится на расстоянии 25 мм от центра вращения глаза. На этом расстоянии предполагается нахождение выходного зрачка линзы, т. е.  $t'_{зр} = 25$  мм (рис. 31, а). Диаметр выходного зрачка считается в этом случае равным диаметру зрачка глаза. При нормальном освещении он равен 2 мм.

Так как относительное отверстие очковой линзы очень мало (при +10 дптр — не превышает 1:30), то сферическая аберрация и кома невелики. Поэтому исправлению подлежит только астигматизм наклонных пучков лучей линзы, т. е. необходимо выполнить условие равенства нулю третьей суммы Зейделя:

$$S_{III} = Y_1^2 \cdot \bar{P} + 2Y_1 \bar{W} + 1 = 0. \quad (51^*)$$

Подставляем  $\bar{P}$  и  $\bar{W}$ , тогда:

$$S_{III} = \frac{Y_1^2(2\mu_2 + 1)}{(1 - \mu_2)^2} \alpha_2^2 - \left[ \frac{Y_1^2(2 + \mu_2)}{(1 - \mu_2)^2} + \frac{2Y_1(1 + \mu_2)}{(1 - \mu_2)} \right] \alpha_2 + \frac{Y_1^2}{(1 - \mu_2)^2} + \frac{2Y_1}{1 - \mu_2} + 1 = 0, \quad (52)$$

где  $y_1 = \frac{t_{зр}}{f'} = \frac{t'_{зр}}{f' - t'_{зр}}$  определяется из условия

$$\frac{1}{t'_{зр}} - \frac{1}{t_{зр}} = \frac{1}{f'} = \frac{\Phi}{1000}; \quad \mu_2 = \frac{1}{n}, \quad (53)$$

где  $n$  — коэффициент преломления стекла.

\* Обозначения даны по И. А. Туригину (1966).

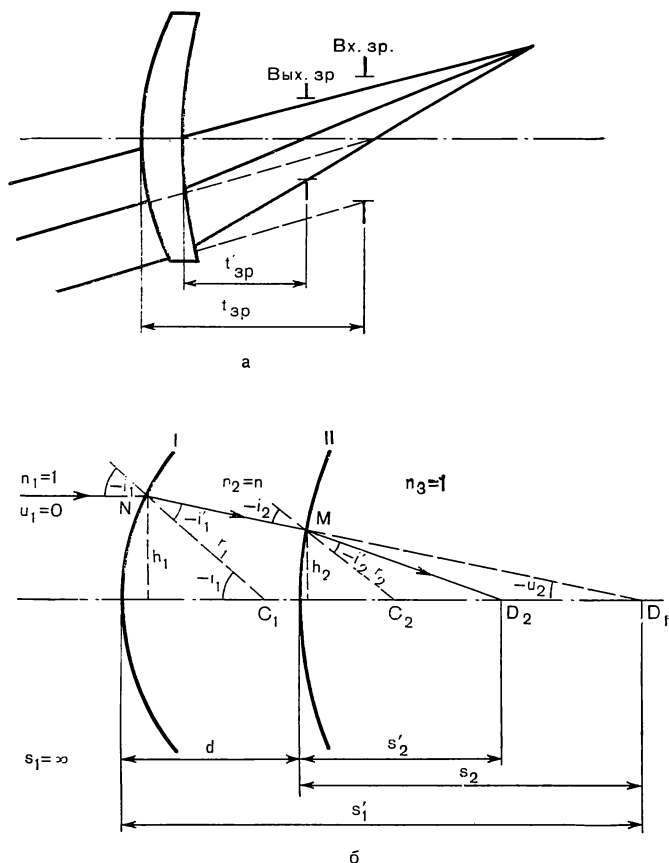


Рис. 31. К расчету однофокальных стигматических очковых линз.  
Объяснение в тексте.

Решая уравнение (52), находят  $\alpha_2$  — угол наклона вспомогательного луча после прохождения второй поверхности линзы.

Затем, при  $\alpha_1=0$ ;  $\alpha_2=\alpha_3=1$ ;  $h_1=f'$  и  $h_2=h_1-\alpha_2 \cdot d$  находят радиус кривизны линзы:

$$\Gamma_k = \frac{n_{k+1} - n_k}{\alpha_{k+1} \cdot n_{k+1} - \alpha_k \cdot n_k} \cdot h_k. \quad (54)$$

Задняя вершинная рефракция линзы при  $s_2'=h_2$  будет равна:

$$F'_v = \frac{1000}{h_2}. \quad (55)$$

Если полученное значение  $F'_v$  не удовлетворяет заданному, то следует взять  $h_2=1000/F'_v$  и затем через

$$h_1=h_2+\alpha_2 \cdot d \quad (56)$$

пересчитать радиусы кривизны линзы.

Для получения конструктивных элементов линзы производят тригонометрический расчет хода лучей, а окончательный выбор этих элементов заключается в приведении их числовых значений в соответствие с требованием ГОСТ 1807—75 «Радиусы оптических поверхностей. Ряды числовых значений».

Тригонометрический расчет хода лучей через две поверхности очковой линзы может быть произведен в следующем порядке.

При расчете очковой линзы, в случае определения ее оптической силы считают, что падающий луч параллелен оптической оси (рис. 31, б). Тогда синус угла падения будет равен:

$$\sin i_1 = -\frac{h_1}{r_1}. \quad (57)$$

Угол преломления после первой поверхности находится по формуле:

$$\sin i'_1 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin i_1. \quad (58)$$

Далее угол между преломленным лучом и оптической осью линзы получают из следующего соотношения:

$$U_2 = -i_1 + i'_1 + U_2. \quad (59)$$

Из треугольника  $NC_1D_1$  (см. рис. 31, б) находят величину стороны  $C_1D_1 = q_1$ :

$$q = r_1 - s'_1 = r_1 \frac{\sin i_1}{\sin U_2}. \quad (60)$$

Для нахождения направления преломленного луча после второй поверхности следует провести расчет по предыдущим формулам, определив направление преломленного луча после первой поверхности, предварительно найдя величину  $(r_2 - s_2)$ , равную:

$$(r_2 - s_2) = r_2 + d - r_1 + (r_1 - s'_1). \quad (61)$$

Потом находят угол падения луча на вторую поверхность по формуле:

$$\sin i_2 = \frac{r_2 - s_2}{r_2} \cdot \sin U_2. \quad (62)$$

Далее расчет проводят по аналогичным формулам, что и для расчета после первой поверхности.

Для определения величины астигматизма наклонных пучков лучей в линзе с первоначально выбранными элементами следует провести просчет лучей в меридиональном и сагитальном сечениях с использованием данных, полученных ранее.

Для расчета меридиональных лучей (рис. 32, а) пользуются следующей формулой:

$$\frac{n_2 \cdot \cos^2 i'_2}{t'_{m_1}} - \frac{n_1 \cdot \cos^2 i_1}{t_{m_1}} = \frac{n_2 \cdot \cos i'_1 - n_1 \cdot \cos i_1}{r_1}, \quad (63)$$



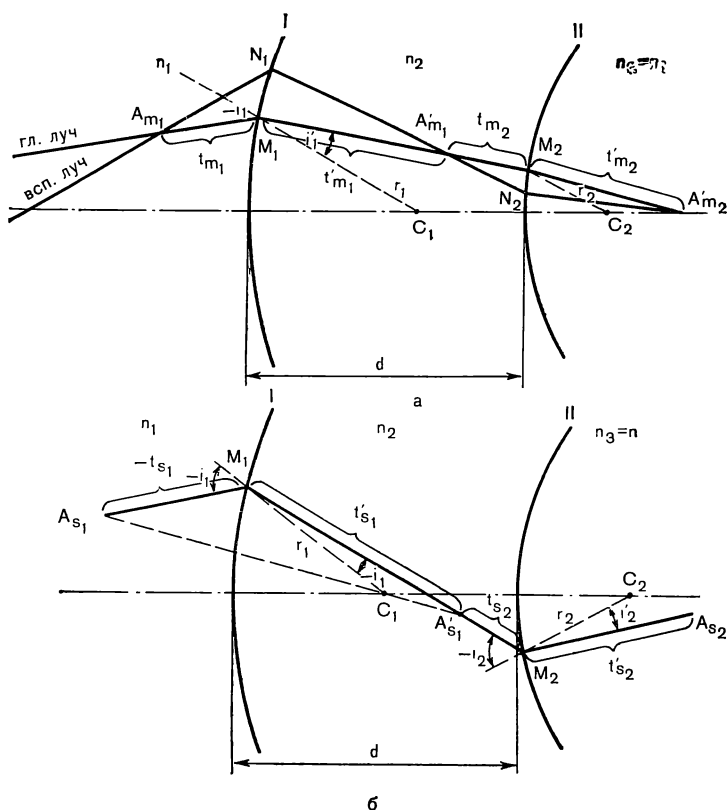


Рис. 32. К расчету меридиональных и сагиттальных пучков лучей.  
Объяснение в тексте.

Зная величину  $t'_{m_1}$  можно определить величину  $t_{m_2}$ , а применив ко второй поверхности ту же формулу, что и к первой, находят величину  $t'_{m_2}$  из выражения:

$$\frac{n_1 \cdot \cos^2 i'_2}{t'_{m_2}} - \frac{n_1 \cdot \cos^2 i_2}{t_{m_2}} = \frac{n_1 \cdot \cos i'_2 - n_1 \cdot \cos i_2}{r_2}. \quad (64)$$

Для расчета сагиттальных лучей (рис. 32, б) используется следующая зависимость:

$$\frac{n_2}{t'_{s_1}} - \frac{n_1}{t_{s_1}} = \frac{n_2 \cdot \cos i'_1 - n_1 \cdot \cos i_1}{r_1}. \quad (65)$$

Аналогично расчету меридиональных лучей находят в конечном итоге  $t'_{s_2}$ .

Получаемая разность между  $t'_{m_2}$  и  $t'_{s_2}$  и есть искомая астигматическая разность. В практических расчетах для очковой оптики эта разность выражается в диоптриях, т. е.

$$T_s - T_m = \Delta T, \quad \text{где} \quad (66)$$

$$T_s = \frac{1000}{t'_{s_2}}; \quad T_m = \frac{1000}{t'_{m_2}}. \quad (67)$$

Для стигматических очковых линз с рефракцией до  $\pm 6$  дптр расчетное значение астигматической разности не должно превышать 0,06 дптр.

После изменения радиусов кривизны на значения, близкие найденным по расчету, но равные значениям, указанным в ГОСТ 1807—75, определяя значение задней вершинной рефракции по следующим формулам:

$$\frac{n'_k}{s'_k} - \frac{n_k}{s_k} = \frac{n'_k - n_k}{r_k}, \quad (68)$$

$$F'_v = \frac{1000}{s'_k}. \quad (69)$$

Затем проверяют, насколько изменилась величина астигматизма, в том же порядке, который предусмотрен формулами (57)—(67).

Если астигматизм  $\Delta T$  велик, то изменяя значения радиусов кривизны образующих поверхностей, не изменяя значения задней вершинной рефракции, находят такие радиусы кривизны, при которых имеет место минимально достижимый астигматизм наклонных пучков лучей.

Минимальный астигматизм обеспечивается линзами менисковой формы с базовым радиусом кривизны в 6 дптр ( $r \approx 87$  мм), который принимается исходным при расчете очковых линз. Основными геометрическими параметрами очковой линзы являются также ее диаметр и толщина.

О диаметре очковых линз было сказано ранее. При расчете толщины очковых линз необходимо исходить из условия минимально допустимой их толщины, равной 0,7 мм. Следовательно, фацет  $f$  у положительных линз, или толщина по центру  $d$  у отрицательных, не должны быть меньше этого значения.

Фацет линзы определяется по формуле:

$$f = d - h_1 + h_2, \quad (70)$$

где  $h_1$  — стрела сегмента первой поверхности;  $h_2$  — стрела сегмента второй поверхности.

Стрелы рассчитываются по формуле:

$$h = r - \sqrt{r^2 - (D/r)^2}. \quad (71)$$

Приведем примеры расчета однофокальных стигматических очковых линз:

Пример 1. Рассчитать параметры линзы  $+3,0$  дптр диаметром 60 мм.  
Дано:  $F'_v = +3,0$  дптр,  $f' = 333$  мм,  $D = 60$  мм,  $n = 1,5222$ ,  
 $t'_{зр} = 25$  мм,  $\mu_2 = 0,66$ ,  $Y_1 = 0,081$ ,  $d = 4$  мм.

Решение:

$$1. S_{III} = \frac{0,081^2 \cdot (2 \cdot 0,66 + 1)}{(1 - 0,66)^2} \alpha_2^2 - \left[ \frac{0,081^2 \cdot (2 + 0,66)}{(1 - 0,66)} + \right. \\ \left. + \frac{2 \cdot 0,081 \cdot (1 + 0,66)}{1 - 0,66} \right] \alpha_2 + \frac{0,081^2}{(1 - 0,66)^2} + \frac{2 \cdot 0,081}{1 - 0,66} + 1 = 0.$$

Решая это уравнение, получим:

$$0,132\alpha_2^2 - 0,939\alpha_2 + 1,534 = 0.$$

Отсюда  $\alpha_{2(1)} = 2,53$ ;  $\alpha_{2(2)} = 4,6$ .

Берем более пологую кривизну —  $\alpha_{2(1)}$ .

2. Находим радиус кривизны  $r_2$ , установив  $h_1 = 333$  мм, а

$$h_{2(1)} = 333 - 2,53 \cdot 3 \approx 325 \text{ мм},$$

$$r_2 = \frac{0,52}{2,53} \cdot 325 = 67 \text{ мм}.$$

3. Находим  $r_1$ , исходя из основной формулы Гульстранда (38) без учета влияния толщины линзы:

$$\frac{F'v}{1000} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Подставим полученные значения:

$$\frac{3}{1000} = 0,52 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{67} \right).$$

Обозначим для удобства расчета  $1/r_1 = \rho_1$ , тогда  $0,003 = 0,52 \rho_1 - 0,52 \cdot 0,0149$ ,  $\rho_1 = 0,021$ , т. е.  $r_1 = 51$  мм.

Как указывалось выше, дальше следует для получения конструктивных параметров линзы произвести тригонометрический расчет хода лучей. Опуская здесь ряд пробных расчетов при изменении параметров линз и приведения их числовых значений в соответствие с ГОСТ 1807—75 покажем пример тригонометрического расчета хода лучей через две поверхности линзы +3,0 дптр.

Для расчета астигматизма наклонных пучков лучей под углом  $35^\circ$  по найденным выше значениям (см. табл. 5) в обратном ходе лучей (от глаза к линзе) находят ряд необходимых параметров, а затем определяют недостающие расчетные значения в прямом ходе лучей (табл. 6).

Отсюда астигматизм наклонных пучков лучей в диоптрийном исчислении будет равен:

$$\frac{1000}{t'_{m_2}} - \frac{1000}{t'_{s_2}} = 2,7868 - 2,7666 = 0,0202,$$

т. е.  $\Delta T = 0,02$  дптр, что в 3 раза меньше допустимого астигматизма для линз +3,0 дптр. Величина facets (толщина линзы по краю) определяется следующим образом (табл. 8).

Следовательно, фасет у рассчитанной линзы +3,0 дптр диаметром 60 мм будет равен 1,2 мм.

Дальше расчет астигматизма наклонных пучков лучей проводится в последовательности, указанной в табл. 7.

Т а б л и ц а 5. Габаритный расчет очковой линзы

Параметры	I поверхность	II поверхность	Примечание
$s_k$	$\infty$	168	где: $s'_F = n/n'\sigma'$ $s_{k+1} = s'_F - d$ $F'_v = 1000/s'_F$
$n'$	1,5222	1	
$n$	1	1,5222	
$n' - n$	0,5222	-0,5222	
$r$	59,16	86,50	
$n/s_1$	0	0,0090365	
$n' - n$			
$r$	0,0088269	-0,0060370	
$n\sigma'$	0,0088269	0,0029995	
$s'_F$	172,45	333,39	
$d$	4	$F'_v = +3,0$ дптр	
$s_{k+1}$	168,450		

Т а б л и ц а 6. Расчет дополнительных значений очковой линзы

Обозначение величин	Обратный ход		Прямой ход	
$r$	-86,50	-59,16	59,16	86,50
$s$	-25,0	-38,514	32,133	—
$r - s$	-61,5	-20,646	27,627	—
$\sin i$	-0,407802	-0,155567	0,236804	0,267902
$N = n/n'$	0,65694	1,5222	0,65694	1,5222
$\sin i'$	-0,267902	-0,236804	0,155567	0,407802
$i'$	-15°32'22"	-13°41'53"	8°56'59"	24°04'01"
$i$	-24°04'01"	-8°56'59"	13°41'53"	15°32'22"
$\delta = i' - i$	8°31'39"	-4°41'54"	—	—
$U$	-35°	-26°28'21"	31°13'15"	26°28'21"
$U'$	-26°28'21"	-31°13'15"	26°28'21"	35°
$\sin U'$	-0,445768	-0,518338	0,445768	0,573576
$q$	-51,986	-27,027	—	—
$s'$	-34,514	-32,133	—	—
$d$	4	—	4	—
$s_{k+1}$	-38,514	—	—	—

Примечание.  $q = \frac{r \cdot \sin i'}{\sin U'}$ ;  $s' = r - q$ .

Т а б л и ц а 7. Расчет астигматизма наклонных пучков лучей очковой линзы

Обозначение величин	I поверхность	II поверхность
$\alpha = U' - i'$	17°31'22"	10°55'59"
$\sin \alpha$	0,301085	0,189662
$Y_k = r \cdot \sin \alpha$	17,812	16,406
$Y_k - Y_{k+1}$	1,4060	—
$n'$	1,5222	—
$n$	1	1,5222
$\cos i$	0,971558	0,963446

Продолжение табл. 7.

Обозначение величин	I поверхность	II поверхность
$\cos^2 i$	0,943925	0,928228
$\cos i'$	0,987825	0,913070
$\cos^2 i'$	0,975798	0,833697
$n \cdot \cos i'$	1,5037	0,913070
$n \cdot \cos i$	0,971558	1,4666
$n' \cdot \cos^2 i'$	1,4854	0,833697
$n \cdot \cos^2 i$	0,943925	1,4129
$b_m = n \cdot \cos^2 i / t_m$	0	0,0087226
$b_s = n / t_s$	0	0,0091658
$\Delta(n \cdot \cos i)$	0,532142	—0,55358
$a = \Delta(n \cdot \cos i) / r$	0,00899496	—0,0063992
$c_m = a + b_m$	0,00899496	0,0023234
$c_s = a + b_s$	0,00899496	0,0027666
$t'_{mk} = n' \cdot \cos i' / c_m$	165,136	358,826
$t'_{sk} = n' / c_s$	169,228	361,454
$\delta = (Y_k - Y_{k+1}) / \sin U'$	3,1541	—
$t_{mk+1} = t_{mk} - \delta$	161,982	—
$t_{sk+1} = t_{ms} - \delta$	166,074	—

Таблица 8. Расчет толщины очковой линзы по краю

Обозначение величин	I поверхность	II поверхность
$r_k$	59,16	86,50
$r^2_k$	3499,90	7482,25
$D/r$	30	30
$(D/r)^2$	900	900
$g^2$	2599,90	6582,25
$g$	50,99	81,13
$h_k$	8,17	5,37
$d$	—	4
$f$	—	1,20

Примечание.  $g^2 = r^2 - (D/r)^2$ ;  $h_k = r - g$ .

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ОДНОФОКАЛЬНЫХ СТИГМАТИЧЕСКИХ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ

Производство очковых линз начинается с изготовления заготовок-прессовок. До настоящего времени эти заготовки в основном получали из листового стекла, варка которого проводилась в электрованных печах непрерывного действия. Полученные большие листы стекла нарезали вручную или на специальных машинах на маленькие кусочки, масса которых равна массе заготовок-прессовок. Перед нарезкой стеклянный лист проверяли на пузырность и свильность.

Полученные кусочки стекла (нарезку) разогревали в печах (температура в печи  $\approx 900^\circ\text{C}$ ), расположенных рядом с прессом. В матрицу пресса укладывали размягченную нарезку. Под

печи предварительно подсыпали глинозем или каолин, чтобы прессовки не прилипали. Давление при прессовании должно быть не менее  $5 \cdot 10^{-3}$  Н/м<sup>2</sup>. Пуансон и матрицу изготавливали из обычных сталей. По мере износа их растачивали под другой радиус кривизны.

В настоящее время в нашей стране применяется более прогрессивный метод прессования заготовок (заготовки типа С), получаемых из стекла с прозрачными поверхностями. Такие заготовки производят методом прессования из жидкой стекломассы, когда расплавленная капля стекла соответствующей массы падает в матрицу непосредственно из ванной печи.

На поверхностях заготовок выдавливают обозначения марки стекла и номер варки, а на сферических поверхностях — еще и значение радиуса кривизны. Отпрессованные заготовки после небольшой выдержки на матрице переносятся в откладочную камеру, находящуюся около рабочего места, для грубого отжига. После остывания производят контроль заготовок по внешним дефектам. Годные заготовки поступают на тонкий отжиг, а затем подвергаются окончательному контролю.

К заготовкам для очковых линз предъявляются следующие основные требования, изложенные в ГОСТ 8778—81 «Заготовки для очковых линз. Технические условия»: отклонения толщины заготовок по их оси не должны превышать  $\pm 0,4$  мм; разность толщины по краям заготовки не должна превышать  $\pm 0,4$  мм; отклонения диаметра заготовок не должны превышать  $\pm 0,2$  мм; величина просвета в середине заготовки не должна превышать для сферических поверхностей 0,8 мм, а для плоских — 0,4 мм; глубина залегания шамотного слоя — не более 0,5 мм.

Заготовки для очковых линз должны соответствовать требованиям ГОСТ 23265—78 к марке стекла, бессвильности и пузырьвости.

Основываясь на геометрических параметрах готовых очковых линз и учитывая припуски на изготовление очковой линзы из прессовки и возможные дефекты при прессовании, производят расчет заготовок.

Радиусы кривизны выпуклой и вогнутой поверхности определяются, соответственно, по формулам:

$$R_1 = r_1 - (\Delta + 0,5) \quad (72)$$

$$\text{и } R_2 = r_2 + (\Delta + 0,5), \quad (73)$$

где  $r_1$  — радиус кривизны сферической поверхности выпуклой стороны готовой линзы;  $r_2$  — то же самое — вогнутой стороны;  $\Delta$  — припуск на обработку поверхности с радиусом кривизны, вычисленный по формуле:

$$\Delta = 0,4 \left( \frac{r_k}{D} \right)^2, \quad (74)$$

где  $D$  — диаметр готовой линзы.

Пример. Рассчитать заготовку очковой линзы +3,0 дптр диаметром 60 мм.  
Дано:  $D=60$  мм;  $r_1=59,20$  мм;  $r_2=86,50$  мм;  $d=4,0$  мм.

Найти:  $R_1$ ;  $R_2$  и  $d_{\text{заг}}$ .

Решение. Радиус кривизны выпуклой стороны заготовки  $R_1$  равен:

$$R_1 = 59,20 - (\Delta + 0,5),$$

где  $\Delta = 0,4(59,20/60)^2 = 0,4 \cdot 0,98 = 0,39 = 0,4$  мм.

Тогда  $R_1 = 59,2 - 0,9 = 58,3$  мм.

Радиус кривизны вогнутой стороны заготовки:

$$R_2 = 86,5 + (\Delta + 0,5),$$

где  $\Delta = 0,4(86,5/60)^2 = 0,4 \cdot 1,44 = 0,58 = 0,6$  мм.

Тогда  $R_2 = 86,5 + 1,1 = 87,6$  мм,

$$d_{\text{заг}} = d + 1 = 4 + 1 = 5 \text{ мм.}$$

Таким образом получены следующие параметры заготовки очковой линзы +3,0 дптр диаметром 60 мм:

$$R_1 = 58,3 \text{ мм; } R_2 = 87,6 \text{ мм; } d_{\text{заг}} = 5 \text{ мм}$$

Диаметр и толщину заготовок, а также размеры допускаемых приливов и фасок проверяют шаблонами или универсальным мерительным инструментом с погрешностью не более  $\pm 0,1$  мм. Размеры радиусов кривизны и отклонения от них проверяются на просвет посредством наложения на заготовку металлического радиусного шаблона или линейки, которые должны «садиться» по краям заготовок.

Наличие дефектов и глубина их залегания проверяются на «просвет», что значительно сократило процент невидимого раньше брака, поставляемого заводам-изготовителям очковых линз. Технология изготовления очковых линз методом удаления с обрабатываемой поверхности заготовки слоев стекла различной толщины, а также изменения форм заготовки, ее размеров и качества поверхности содержит следующие основные операции: обдирка, фрезерование — грубая обработка, шлифование — тонкая обработка и полирование — доводочная операция. Кроме этого, для обеспечения основных операций необходимо выполнение следующих вспомогательных операций: блокировка и разблокировка, промывка.

При существующей технологии можно выделить два метода изготовления очковых линз: обработка линз по несколько штук — блоками и обработка по одной штуке.

При обработке блоками линзы необходимо приклеивать к приспособлению. Вспомогательное время на блокировку, разблокировку линз и их чистку от наклеечных материалов довольно велико. Наклеечные материалы не дают возможности вести процессы на интенсивных режимах. Объем ручного труда большой, так как при таком методе затруднена механизация и автоматизация. Это так называемая классическая технология.

Поэтому в последние десятилетия во многих странах, в том числе и в СССР, было разработано и организовано производст-

во по более прогрессивной технологии, основанной на изготовлении одиночной линзы трубчатым инструментом автоматически, при интенсивном режиме обработки, без приклеивания к приспособлению. Линзы в этом случае присасываются вакуумом или зажимаются цангой.

**Грубая обработка (обдирка или фрезерование)** первая основная операция в производстве очковых линз обеспечивает требуемую форму поверхности и устраняет ее грубые неровности и при наличии — шамотный слой. Она производится крупными абразивными зернами при наиболее интенсивном режиме.

Сущность процесса снятия слоя стекла состоит в воздействии на стекло комплекса факторов: механического разрушения стекла абразивными зернами, а также физического, химического и физико-химического действия жидкости. При этом воздействие первого фактора является основным.

В настоящее время на оптических заводах первая операция для изготовления сферических поверхностей в основном производится трубчатыми алмазными фрезами на станках «НР-2». Схема обработки представлена на рис. 33, а. Обрабатываемый блок закрепляют в патроне на горизонтальном шпинделе станка. Фрезу 2 устанавливают под некоторым углом к блоку при помощи суппорта и фрезерной головки (3, 4, 5) так, чтобы ее ось проходила через центр «О» сферы блока. Вращение блока и инструмента происходит в одну сторону. Точность обработки  $\pm 0,1$  мм.

При одиночной обработке первая операция производится на станке «Алмаз-70». Схема обработки одиночной линзы трубчатым инструментом представлена на рис. 33, б. Линза 1 закреплена вакуумом к нижнему шпинделю станка. Верхний шпиндель станка несет трубчатый инструмент 2. Этот шпиндель имеет возможность разворота на угол  $\beta$ . Угол наклона определяет величину обрабатываемого радиуса кривизны линзы. Чем больше угол наклона, тем круче будет получен радиус кривизны линзы.

Станки ряда зарубежных стран в основном имеют конструкцию с вертикальным расположением шпинделей и подачей изделия на инструмент, которая осуществляется пневматически или гидравлически, что обеспечивает автоматизацию рабочего цикла. В нашей стране на оптических заводах имеются станки СМ-100 (Франция), станки фирмы «Дама» — сферошлифовальный автомат СМ-80-3.

Обдирка при изготовлении торической стороны в астигматических очковых линзах на отечественных заводах производится алмазным кругом на станках «Карат-60», кинематика которых подобна сферотокарным станкам. Обрабатываемый цилиндрический блок с линзами крепится в патроне станка. Алмазный круг, закрепленный в патроне суппорта, имеет две степени перемещения (к обрабатываемому блоку и вдоль него по определенному радиусу). Такое сочетание движений обеспечивает



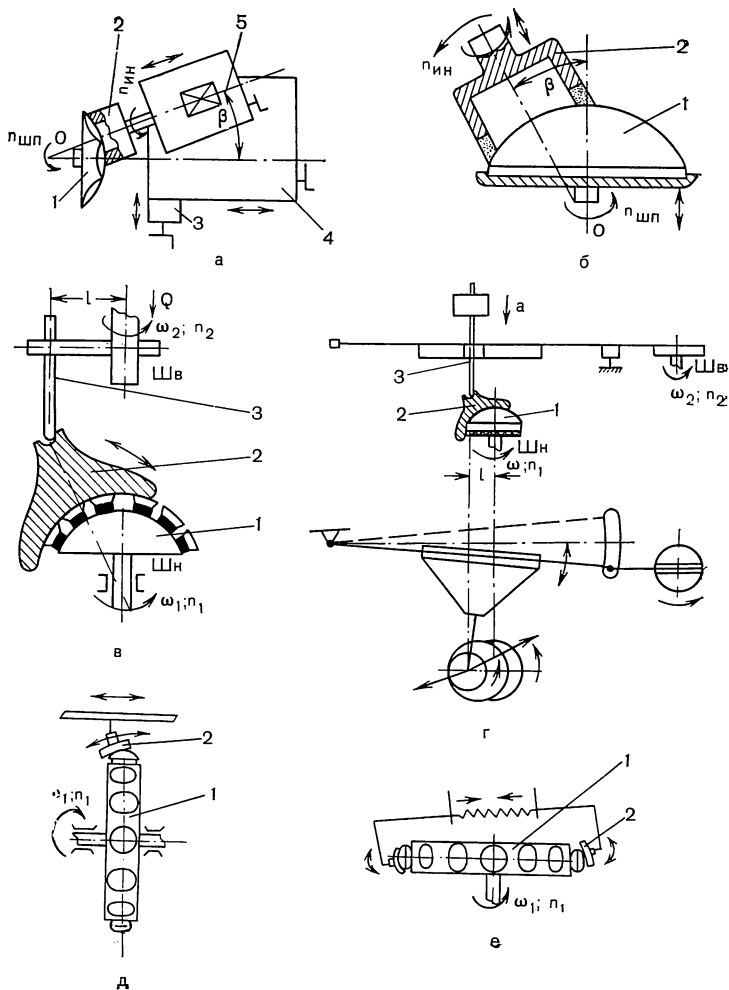


Рис. 33. Схемы механической обработки очковых линз.  
Объяснение в тексте.

получение торической выпуклой поверхности. За рубежом широкое распространение имеет аналогичное оборудование — станки для фрезерования торической поверхности с использованием алмазного инструмента фирмы «Оптибель» (Бельгия).

**Тонкая обработка (шлифование).** Шлифование обеспечивает точную кривизну поверхности линзы, создает неглубокий рельефный слой, т. е. ровную матовую поверхность, и тем самым подготавливает поверхности линзы для качественной полировки. При «классической» технологии шлифование состоит из нескольких переходов, в зависимости от величины размера абразивного

зерна, применяемого в каждом из переходов (от среднего к мелкому).

Операция шлифования выполняется чаще всего на шлифовально-полировальных станках (полуавтоматах) с двумя вращающимися вертикальными шпинделями и механизмом перемещения верхнего звена. Кинематическая схема рабочего узла станка представлена на рис. 33, в. Инструмент или блок крепят к нижнему шпинделю станка (Шн). Крепление инструмента или блока к верхнему шпинделю (Шв) выполняется следующим образом: поводок механизма верхнего звена с шаровым наконечником 3 свободно входит в гнездо хвостовика инструмента 2 или блока 1 и прижимается к нему под действием пружины силой  $Q$ . В зависимости от величины эксцентриситета механизма верхнего звена, инструмент или блок будет совершать колебательно-вращательное движение с различным размахом относительно инструмента или блока, закрепленного в нижнем шпинделе. Кроме того, инструмент или блок верхнего шпинделя будет совершать свободное вращательное движение относительно поводка, увлекаемого инструментом или блоком нижнего шпинделя. Таким образом, получается как бы суммирование трех видов движения, которые обеспечивают сложное движение инструмента или блока, что создает требуемые условия обработки при шлифовании и полировании.

При обработке линз высоких рефракций (малый радиус кривизны) применяются станки для одиночной обработки или обработки малым блоком (3 шт. на блок). Кинематическая схема рабочего узла станка «9ШП-50» показана на рис. 33, г. Здесь также поводок механизма верхнего звена 3 свободно входит в гнездо хвостовика инструмента 2.

Более компактными, улучшающими условия работы, являются роторные станки с пневматическим прижимом поводка, применяемые для тех же целей (станок модели «9ШП-50 В»).

В линии станков для одиночной обработки очковых линз алмазным инструментом шлифование производится в один переход на станке, аналогичном станку «Алмаз». Шлифование может производиться также на станках с металлическим трубчатым инструментом, но при этом применяется более мелкий абразив, чем при обдирке.

Конструкция современных станков для тонкого шлифования предусматривает обработку сферических и плоских поверхностей алмазным притиром соответствующей формы с сохранением кинематики оптических шлифовально-полировальных станков с колебательным движением верхнего звена и вращением нижнего. Отличие их заключается в принудительном вращении изделия, в повышенном усилии прижима изделия к алмазному инструменту, в значительно увеличенной скорости вращения шпинделя инструмента и автоматизации рабочего цикла. В связи с этим в станках применяются гидравлические и пневматические устройства.

Для тонкого шлифования одиночных очковых линз алмазным притиром применяется станок модели «2ША-63». Он представляет собой объединение двух рабочих агрегатов, состоящих из нижнего шпинделя, несущего инструмента и верхней головки для изделия, совершающей колебательное движение, передающей нагрузку на изделие и сообщающей ему принудительное вращение.

Крепление заготовки очковых линз производится в вакуумном патроне. Прижим изделия к инструменту осуществляется при помощи сжатого воздуха. Рабочий цикл станка происходит автоматически, а установка и съем заготовки — вручную.

На отечественных заводах используют станок модели «ISM—II» фирмы «CMV» (Франция) — двухагрегатное устройство с колебательным движением верхнего звена. Диаметр обрабатываемых изделий — до 100 мм, частота вращения шпинделя инструмента от 2000 до 4000 об/мин, усилие прижима инструмента 50 кгс.

Торические поверхности шлифуются на специальных станках, в основном с горизонтальным расположением шпинделя (штанги). Схема обработки показана на рис. 33, д, где 1 — блок с линзами, 2 — шлифовальный инструмент. Для изготовления астигматических очковых линз с большим радиусом кривизны целесообразно применять станки с вертикальным расположением шпинделя (рис. 33, е). Торический блок с закрепленными на нем линзами 1 обрабатывается каблучковым шлифовальником 2, рабочая поверхность которого имеет также торическую форму. Шлифовальник или два шлифовальника совершают только колебательные движения.

**Инструменты, применяемые для грубой и тонкой обработки линз.** При обработке линз свободным абразивом рабочим инструментом являются шлифовальники в виде грибов и чашек, «каблучков» заданной формы, колец, трубок. Грибы и чашки изготавливаются из серого чугуна марки СЧ—12—28 ( $H_B < 100$ ).

Радиус кривизны обрабатываемой поверхности шлифовальника является самым важным его конструктивным параметром, так как к этой поверхности приближается поверхность обрабатываемой детали (блока). При серийном производстве каждый переход в операции шлифования имеет свои грибы и чашки. Расчет радиусов кривизны шлифовальников при жесткой блокировке линз производят, исходя из условий концентричности поверхностей шлифовальника и блока. Радиус кривизны шлифовальника  $R_{ш}$  для абразива любой фракции находят по формулам:

$$R_{ш} = R_0 \pm (1,2M_n + A_n) \quad (75)$$

$$M_n = 0,571_n^{1,09} \quad (76)$$

$$A_n = 1,3331_n + 0,3, \quad (77)$$

где  $R_0$  — радиус кривизны поверхности линзы после обработки абразивом данного номера;  $A_n$  — толщина обрабатываемого абразивного слоя,  $M_n$  — глубина мата или толщина поврежденного слоя;  $l_n$  — максимальный размер зерен основной фракции.

Знак плюс (+) берут для выпуклых поверхностей блоков и вогнутых шлифовальных чаши, знак минус (—) — в противоположном случае.

**Пример.** Рассчитать шлифовальный гриб и чашку для изготовления линзы +3,0 дптр, диаметром 60 мм свободным абразивом при последнем переходе. Дано:  $r_1=59,16$  мм;  $r_2=86,50$  мм;  $l_n=0,01$  мм.

В данном случае радиус кривизны поверхности линзы после обработки абразивом равен радиусам кривизны готовой линзы.

1. Радиус кривизны шлифовальной чаши равен:

$$R_{ш_1} = 59,16 + (1,2M_{n_1} + A_{n_1})$$

$$M_{n_1} = 0,57 \cdot 0,01^{1,09} \approx 0,006$$

$$A_{n_1} = 1,33 \cdot 0,01 + 0,3 \approx 0,31 \text{ мм}$$

$$R_{ш_1} = 59,16 + (1,2 \cdot 0,006 + 0,31) = 59,48 \text{ мм}$$

2. Радиус кривизны шлифовального гриба:

$$R_{ш_2} = 86,50 - (1,2 \cdot 0,006 + 0,31) = 86,18 \text{ мм.}$$

**Шлифующие абразивы.** Для шлифовки свободным абразивом в основном применяется электрокорунд ( $Al_2O_3$ ), представляющий собой кристаллический глинозем, получаемый электроплавкой боксита при температуре 2000 °С.

Электрокорунд обладает довольно высокой твердостью (9—9,2 по шкале Мооса, микротвердость  $20 \cdot 10^9$ — $25 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>).

По размеру зерна, согласно ГОСТ 3647—59, абразивные материалы разделены на три группы: шлифзерно, шлифпорошки и микропорошки. Для изготовления очковых линз большей частью применяются абразивы со следующей зернистостью (табл. 9).

Т а б л и ц а 9. Характеристика абразивов

Наименование операции	Применяемый абразив	
	№ зернистости	Величина основной фракции в мкм
Грубое шлифование	№ 10	100
Тонкое шлифование	М 20	20÷14
по переходам	М 14	14÷10
	М 10	10÷7

Размеры и количество зерен основной фракции являются главной характеристикой крупности абразива.

**Шлифовальные круги** — это инструменты, состоящие из абразивных зерен (35—70%), жестко соединенных между собой связкой. Для изготовления кругов применяют карборунд. Кар-

борунд или карбид кремния ( $\text{SiC}$ ), получают плавлением смеси угля с кварцевым песком в электрической печи при  $t = 2000 \div 2200^\circ\text{C}$ . Твердость по шкале Мооса —  $9,5 \div 9,75$ , а микротвердость  $35 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ . Круги изготавливаются на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках.

**Алмазные фрезы** представляют собой металлические оправы различной конфигурации, на рабочих поверхностях которых закрепляется алмаз. Алмаз — минерал, состоящий из чистого углерода. Он является самым твердым абразивом: твердость по шкале Мооса — 10, микротвердость —  $100 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ . Алмазы бывают естественные и синтетические. Для фрезеровки стекла применяются отходы естественного алмаза в виде пудры и синтетические алмазы. В качестве инструмента применяются фрезы, называемые алмазными трубчатыми кругами (АТК).

Раньше применялись фрезы только с завальцованным естественным алмазом, но в последнее время начал широко применяться инструмент с синтетическим алмазом, что обеспечило увеличение стойкости инструмента в  $2 \div 4$  раза по сравнению с естественным алмазом и повышение класса шероховатости.

Для фрезерования используют фрезу АТК-2 зернистостью АСВ 16 (алмаз синтетический, высокопрочный, зернистостью 160 мкм), или АСВ 12 — связка алюминиевая.

Для тонкого шлифования применяют фрезы с зернистостью АСВ 5 или АСВ 6. Чистота поверхности после обработки 0,63 — 0,32. Совершенно новым шлифовальным алмазным инструментом являются сферические шлифовальники с вклеенными алмазными таблетками. Алмазные таблетки состоят из двух слоев одинаковой высоты, один из которых является алмазным. Высота таблеток от 3 до 8 мм, диаметр от 5 до 20 мм. В связи с неодинаковой линейной скоростью, возникающей при обработке поверхности линзы, плотность расположения таблеток на периферии инструмента выше, чем в центре.

**Контроль при грубой и тонкой обработке.** Кривизну поверхностей линз проверяют в основном металлическими шаблонами, путем накладывания на их поверхность линзы в двух взаимно перпендикулярных положениях.

В некоторых случаях возможен контроль кривизны поверхности кольцевым сферометром (индикатор) с ценой деления 0,01 мм, которым проверяют и толщину линз.

Чистоту поверхности проверяют с помощью лупы 3-кратного увеличения при освещении линзы лампочкой мощностью 40 — 60 Вт. На хорошо обработанных поверхностях должен быть виден ровный мат и не должно быть точек и царапин. Обнаруженные дефекты отмечают обычным графитовым карандашом.

**Доводочная операция (полирование).** Задача этой операции заключается в доведении поверхностей линз до прозрачности, точности кривизны поверхности и требуемой чистоты ее. В про-

цессе полирования с поверхности стекла удаляют слой в несколько микрометров. В настоящее время считается, что процесс полирования — комплексный процесс механического, химического и физико-химического воздействия на обрабатываемое стекло. При этом механический процесс в данном комплексе является преобладающим.

Полирование производится в основном на тех же станках, что и шлифование, но с полировальным инструментом.

В линии станков для одиночной обработки очковых линз операцию полирования производят на станках типа «Финиш» и «1 АЛ-5». Последний обеспечивает полирование 350 поверхностей в смену.

**Инструмент, применяемый для полирования.** По внешнему виду инструмент для полирования сходен с инструментом для шлифования. На грибе или чашке закреплена подложка — полировальник. Корпус изготавливается из чугуна, а подложка может быть двух видов: из волокнистых материалов или из смолы. В качестве подложки из волокнистых материалов применяют фетр, сукно, войлок, которые наклеивают на гриб или чашку так, чтобы радиус кривизны поверхности подложки совпадал с радиусом кривизны отполированного блока.

Радиус кривизны полировального инструмента равен:

$$R_{п.и.} = R_б \pm (\Delta + \delta), \quad (78)$$

где  $R_б$  — радиус блока, на которой наклеивается подложка;  $\Delta$  — толщина подложки;  $\delta$  — толщина слоя наклеечной смолы.

Смоляная подложка формируется на грибе или чашке в виде слоя постоянной толщины. Применяемая для полирования смола состоит из канифоли, пека и пчелиного воска. Смоляные подложки позволяют легко корректировать процесс полирования за счет подрезки различных участков поверхности смоляного полировальника, что обеспечивает достаточную точность обрабатываемой поверхности и ее высокое качество. Недостатком таких полировальников является изменение формы из-за текучести смолы при повышении оптимально-допустимой температуры, что не позволяет вести интенсивные процессы. Кроме того, необходимо следить за температурой помещения, где производят полирование, которая не должна превышать 20—22 °С.

Полировальники с волокнистой подложкой обеспечивают проведение интенсивного процесса, хотя они и создают менее качественную, т. е. слегка волнистую поверхность. Однако глубина этих микронеровностей поверхности не превышает 0,06—0,12 мкм, что допустимо, так как не оказывает ощутимого влияния на качество очковых линз.

При использовании станков «1 АЛ-5» для полирования в качестве полировальника применяется трубчатый инструмент, т. е. волокнистый материал, пропитанный смолой или синтетическим

клеем группы «БФ», свернутый в трубку определенного диаметра.

В настоящее время все шире применяются пластмассовые (например, из полиуритана) полировальники, которые сочетают в себе все достоинства полировальников со смоляной и волокнистой подложками.

**Полирующие абразивы.** Основным абразивом для полирования очковых линз служит полирит. Полирит — мелкодисперсный порошок, состоящий из смеси оксидов редкоземельных металлов (церий, лантал и др.) с примесью кальция, бария, железа и других элементов. По техническим условиям содержание оксидов редкоземельных металлов в полирите не должно быть менее 97%. Цвет порошка — натуральное какао.

Во многих зарубежных странах применяется другой полирующий абразив — оксид церия ( $\text{CeO}_2$ ), который в 1,5 раза превышает полирующую способность полирита, но по сравнению с последним он значительно дороже.

**Контроль при полировании** заключается в проверке чистоты поверхности линз: выявлении царапин, точек, следов недополировки, превышающих требования стандарта. Он осуществляется при помощи лупы с увеличением 6 крат визуальным методом на специальном столе, над которым установлено осветительное приспособление — «солнце».

«Солнце» состоит из источника света мощностью 100 Вт, световой поток от которого концентрируется конденсорной линзой.

**Вспомогательные операции.** Блокировка — соединение группы заготовок очковых линз для совместной обработки на приспособлении (наклеечный гриб или чашка). Блокировку одиночных заготовок применяют при изготовлении линз высоких рефракций.

При изготовлении очковых линз применяют два метода блокировки: эластичный и жесткий. При эластичном методе заготовки крепят на гриб или чашку путем приклеивания их смолой средней твердости, слоем значительной толщины (смоляные подушечки толщиной около 10 мм).

Однако при стабильном серийном производстве, каким является изготовление очковых линз, применяется жесткий метод блокировки, заключающийся в креплении заготовок на наклеечные приспособления, имеющие специальные посадочные места, при помощи просмоленных марлевых или бумажных кружочков (прокладок), толщиной 0,1—0,2 мм.

Перед блокировкой наклеечные приспособления нагревают на плите до 80—100 °С, а линзы несколько ниже. Затем на посадочные места накладывают просмоленные прокладки и прессом поодиночке прижимают линзы к прокладке. После наклейки всех линз блок устанавливают на рабочий стол, где он остывает. Материалом для наклеечных приспособлений служат алюминиевые сплавы: «АЛ 2», «АЛ 9», «АЛ 11».

Рис. 34. К расчету наклеечного приспособления.

Объяснение в тексте.

При жестком методе блокировки линзы можно обрабатывать на интенсивных режимах. Сложность и дороговизна наклеечных приспособлений окупается в условиях серийного производства.

Форма и размер посадочного места диктуются конфигурацией заготовки. При блокировке на вогнутую сторону (рис. 34, а) обрабатывается выпуклая сторона; в наклеечном грибе 3 имеются углубления, посадочные места, выфрезерованные в самом корпусе гриба, в которых при помощи прокладок 2 крепятся линзы 1. При блокировке на выпуклую сторону (рис. 34, б) срабатывается вогнутая сторона (в наклеечной чашке 3 имеются вкладыши — посадочные места 4, на которые крепят линзы 1 с помощью прокладок 2).

Параметры наклеечного приспособления определяются из следующих зависимостей:

$$R_{н.п.} = \sqrt{\left(\frac{D_{л.}}{2}\right)^2 + (R_6 - d + h - t)^2}. \quad (79)$$

Высота наклеечного приспособления равна:

$$H_{н.п.} = R_{н.п.} (1 - \cos \gamma_{н.п.}). \quad (80)$$

Диаметр наклеечного приспособления  $D_{н.п.}$  будет равен:

$$D_{н.п.} = 2R_{н.п.} \cdot \sin \gamma_{н.п.}, \quad (81)$$

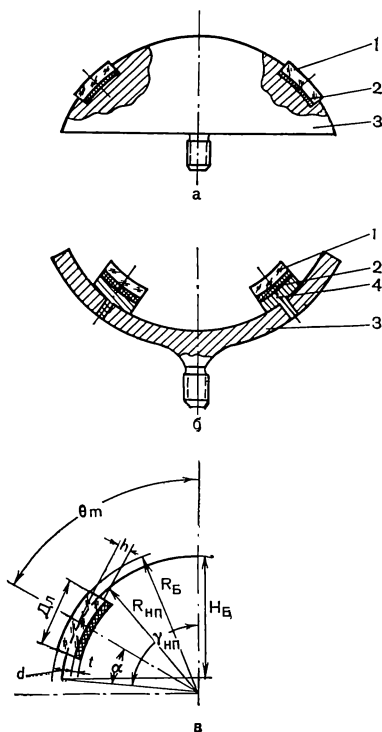
$$\text{где } \gamma_{н.п.} = \theta_m + \beta, \text{ при } \beta = \arcsin 1,2 D_{л.}/2R_{н.п.}, \quad (82)$$

а  $\theta_m$  берется из расчета всего блока по формуле:

$$\theta_m = \theta_1 + 2\alpha. \quad (83)$$

**Расчет блока.** Основными данными для расчета сферического блока являются: радиус кривизны блока  $R_6$ , равный радиусу кривизны обрабатываемой линзы  $R_{л.}$ ; предварительно выбранный диаметр  $D_6$ , высота блока  $H_6$  и промежуток между деталями  $\delta$  (рис. 34, в).

Для определения расположения количества линз на блоке предварительный диаметр сферического блока  $D_{с.б.}$  выражают





через угол раствора блока  $\gamma_6$ , определяемый по формуле:

$$\cos \gamma_6 = \left(1 - \frac{H_6}{R_6}\right). \quad (84)$$

Для удобства дальнейшего расчета диаметр линз, с учетом промежутка между ними, выражают через угол их раствора

$$\sin \alpha = \frac{D_n + \delta}{2R_6}. \quad (85)$$

Число зон в блоке определяется следующим соотношением:

$$N = \frac{\gamma_6}{2\alpha}. \quad (86)$$

Число линз в каждой зоне  $n_m$  равно:

$$n_m = \frac{180^\circ}{\varphi_m}, \quad (87)$$

где

$$\sin \varphi_m = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta_m}, \quad (88)$$

в котором  $\theta_m$  определяется по формуле (83), приведенной при расчете наклеечного приспособления. Так как  $\theta_1$  не известно, то вначале определяют  $\varphi_1$ , зная число линз в первой зоне  $n_1$ , т. е.

$$\varphi_1 = \frac{180^\circ}{n_1}. \quad (89)$$

Угол  $\alpha$  известен, поэтому

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi_1}. \quad (90)$$

Аналогичным путем рассчитывают число линз в последующих зонах. Окончательные размеры блока  $D_6'$  и  $H_6'$  определяют по формулам:

$$D_6' = 2R_6 \cdot \cos \gamma_6' \quad (91)$$

$$H_6' = R_6 (1 - \cos \gamma_6'), \quad (92)$$

где

$$\gamma_6' = \theta_m + \alpha. \quad (93)$$

Все основные размеры наклеечных приспособлений выдерживаются с точностью  $\pm 0,02$  мм.

Пример расчета наклеенного блока (чаши) для крепления линз  $+3,0$  дптр, диаметром 60 мм.

Дано:  $r_1 = 59,16$  мм;  $r_2 = 86,50$  мм;  $d = 4,0$  мм,  $D = 60$  мм.

Решение: так как  $H_6 \leq 0,85 R_6$ , где  $R_6 = r_2$ , то

$$1. H_6 = 0,85 \cdot 86,50 = 73,62 \text{ мм.}$$

$$2. \cos \gamma_6 = 1 - \frac{H_6}{R_6} = 1 - \frac{73,52}{86,50} = 0,15, \text{ а } \gamma_6 = 81^\circ 28'$$

$$3. \sin \alpha = \frac{D + \delta}{2R_6} = \frac{60 + 2}{2 \cdot 86,50} = 0,358, \text{ а } \alpha = 21^\circ$$

$$4. N = \frac{\gamma_6}{2\alpha} = \frac{81^\circ 28'}{2 \cdot 21^\circ} = 1,94 \approx 2 \text{ зоны}$$

$$5. \text{ В первой зоне } n_1 = 3 \text{ линзам, тогда } \varphi_1 = 60^\circ$$

$$6. \sin \theta_1 = \frac{0,358}{0,866} = 0,414, \text{ а } \theta_1 = 24^\circ 28'$$

$$7. \theta_2 = 24^\circ 28' + 2 \cdot 21^\circ = 66^\circ 28'$$

$$8. \sin \varphi_2 = \frac{0,358}{0,917} = 0,391, \text{ а } \varphi_2 = 23^\circ$$

$$9. n_2 = \frac{180^\circ}{23^\circ} = 7,8 \text{ шт.} \approx 7 \text{ шт.}$$

Итого на одном блоке одновременно устанавливается 10 линз.  
Окончательные размеры наклеечной чаши:

$$10. \gamma'_6 = 66^\circ 28' + 21^\circ = 87^\circ 28'$$

$$11. D'_6 = 2 \cdot 86,50 \cdot \sin 87^\circ 28' \approx 173 \text{ мм}$$

$$12. H'_6 = 86,50(1 - 0,044) \approx 82,50 \text{ мм}$$

**Разблокировку**, т. е. снятие обработанных деталей с наклеечных приспособлений производят путем нагрева блоков до температуры разогрева смолы  $+30^\circ\text{C}$  или путем охлаждения в холодильных шкафах до  $-15^\circ\text{C}$  в течение 0,5—1 ч.

После зачистки и промывки наклеечные приспособления вновь подготовлены к блокировке.

**Промывка и протирка линз.** В процессе изготовления очковые линзы неоднократно подвергаются промывке и протирке.

В качестве промывочных жидкостей на операциях обработки линз применяется в основном чистая вода комнатной температуры. Она хорошо удаляет абразивные и полировочные материалы.

**Протилочные материалы.** На операциях обдирки, фрезерования и шлифования в качестве протилочного материала служат полотенца, изготовленные из холста, льняного полубелого и хлопчатобумажного полотна. Для вытирания полированных поверхностей применяют салфетки из ситца, батиста, бязи и белой фланели. В наиболее ответственных случаях, когда требуется высокая чистота поверхности (например, при спекании бифокальных очковых линз), используют замшу.

Широко применяется при массовом производстве более совершенный метод очистки очковых линз с помощью ультразвуковых колебаний в ряде специальных растворов, исключающих ручную протирку линз.

Для удаления пылинок с готовых линз во время их контроля применяют мягкие беличьи и хоряковые кисточки.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ

**Расчет астигматических очковых линз.** При расчете астигматическую линзу рассматривают как две стигматические линзы, значения рефракции которых в вертикальном и горизонтальном сечениях соответствуют значениям рефракций астигматических линз в главных сечениях  $F'_v$  и  $F'_{v.m}$ . Поэтому расчет проводится в три этапа. Первый этап — расчет параметров стигматической линзы в вертикальном сечении при минимуме астигматизма наклонных пучков  $\Delta T_{\text{верт.}}$ . Второй этап — аналогичный расчет в горизонтальном сечении  $\Delta T_{\text{гориз.}}$ . Третий этап — суммирование астигматизма наклонных пучков лучей, полученных по результатам предыдущих, т. е.

$$\Delta T_{\text{аст.}} = \Delta T_{\text{верт.}} + \Delta T_{\text{гориз.}} \quad (94)$$

При этом  $\Delta T_{\text{аст.}}$  не должно превышать значений, применяемых при расчете стигматических очковых линз.

**Расчет стигматических очковых линз с параболоидной поверхностью.** При расчете хода действительного луча через асферическую поверхность применяют следующую последовательность формул:

$$\alpha_1 = \sec^2 U = e^2, \quad (95)$$

где  $\alpha_1$  — первый вспомогательный угол,  $U$  — угол между вспомогательным лучом и осью,  $e$  — эксцентриситет сечения;

$$\alpha_2 = r + s_1 \cdot \operatorname{tg}^2 U, \quad (96)$$

где  $\alpha_2$  — второй вспомогательный угол,  $r$  — радиус кривизны поверхности у ее вершины,  $s_1$  — расстояние от вершины асферической поверхности до точки предмета;

$$\alpha_3 = s_1 \cdot \operatorname{tg} U, \quad (97)$$

где  $\alpha_3$  — третий вспомогательный угол, если  $\alpha_1 > 0$ , то

$$\sin \alpha = \frac{\alpha_3 \sqrt{\alpha_1}}{|\alpha_2|}$$

$$x = 2 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

если  $\alpha_1 < 0$ , то

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\alpha_3 \sqrt{-\alpha_1}}{|\alpha_2|}$$

$$x = -2 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{\sin^2 \frac{\beta}{2}}{\cos \beta}$$

$$Y = (s_1 - x) \cdot \operatorname{tg} U_1$$

$x$  и  $y$  — координаты точек поверхности;

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Y}{r - (1 - e^2)x}, \quad (98)$$

$\varphi$  — угол между радиусом, проходящим через рассматриваемую точку  $(x, y)$  и осью.

$$\begin{aligned} i &= U - \varphi \\ \sin i' &= \frac{n}{n'} \cdot \sin i \\ U' &= U + i' - i \\ s' &= x + Y \cdot \operatorname{ctg} U'. \end{aligned} \quad (99)$$

Переход от асферической поверхности (первой поверхности) к сферической (второй) производится как и при расчете стигматических очковых линз.

Астигматизм наклонных пучков лучей также рассчитывается по методике, применяемой при расчете стигматических сферических очковых линз:

$$r_s = r \left\{ 1 - e^2 \left[ (1 - e^2) \frac{x^2}{r^2} - 2 \frac{x}{r} \right] \right\}^{1/2} \quad (100)$$

$$r_m = r \left\{ 1 - e^2 \left[ (1 - e^2) \frac{x^2}{r^2} - 2 \frac{x}{r} \right] \right\}^{3/2}. \quad (101)$$

Расчетные схемы, по которым выполняются вычисления параметров линз с параболоидной поверхностью очень громоздки и поэтому здесь не приводятся.

**Расчет бифокальных стигматических цельных очковых линз** складывается из ряда операций и поиска оптимального конструктивного решения:

1. Расчет конструктивных элементов целой линзы, образующей часть для дали, при заданных значениях рефракции для дали, диаметра линзы, ориентировочной толщине по центру и марки стекла. Расчет производится по формулам, предусмотренным для расчета однофокальных стигматических очковых линз. Цель расчета та же: свести к минимуму астигматизм наклонных пучков лучей при соблюдении значения заданной рефракции.

2. Расчет части для близи, в первую очередь, должен обеспечить получение требуемой рефракции при сохранении допустимого минимума толщины (0,7 мм) по краю при положительных рефракциях и в центре при отрицательных рефракциях. Методика расчета аналогична расчету однофокальной стигматической очковой линзе, но при условиях, что объект располагается не в бесконечности, а на расстоянии 300 мм от линзы, и что центр вращения глаза находится на оптической оси части для близи.

3. После получения конструктивных параметров ( $r_1, r_3$  и  $d_2$ ) части для близи проводят корректировку толщины по центру части для дали, с учетом высоты ступени  $t=0,2$  мм и перерасчет в связи с этим всех других ее параметров (за исключением  $r_1$ ).

4. При расчете бифокальных линз следует, по возможности, сводить к минимуму кажущееся перемещение предметов при наблюдении его вначале через часть для дали, а затем часть для близи, или наоборот. Это явление, названное «скачком изображения», возникает при переводе направления взгляда через границу раздела части для дали от части для близи. Исключить «скачок изображения» возможно в случае равенства призматического действия частей для близи и дали на границе их перехода.

Призматическое действие очковой линзы —  $\Delta$  срад можно представить следующим выражением:

$$\Delta = c \cdot F'_v, \quad (102)$$

где  $c$  — смещение оптического центра линзы, в см;  $F'_v$  — задняя вершинная рефракция линзы в дптр.

Следовательно, «скачок изображения» будет отсутствовать, если  $\Delta_d = \Delta_b$ , т. е.:

$$c_d \cdot F'_{v_d} = c_b \cdot F'_{v_b}, \quad (103)$$

где  $c_d$  — расстояние от верхней точки границы частей дали и близи до оптического центра части для дали;  $c_b$  — то же самое, но до оптического центра части для близи;  $F'_{v_d}$  — значение задней вершинной рефракции части для дали;  $F'_{v_b}$  — значение задней вершинной рефракции части для близи.

Принято, что  $c_d = 2$  мм, тогда указанную выше зависимость можно представить следующим образом:

$$c_b = 2F'_{v_d}/F'_{v_b}.$$

У линз с положительной рефракцией отношение  $0 < F'_{v_d}/F'_{v_b} < 1$ . Поэтому оптический центр части для близи ( $O_2$ ) будет находиться между оптическим центром части для дали ( $O_1$ ) и верхней точкой границы частей дали и близи (рис. 35, а).

У линз с отрицательной рефракцией отношение  $F'_{v_d}/F'_{v_b} > 1$ . Поэтому оптический центр части для близи находится выше оптического центра части для дали, а при значительной разнице рефракций частей дали и близи может выйти даже за пределы линзы (рис. 35, б).

У линз со смешанной рефракцией (отрицательно-положительных) отношение  $F'_{v_d}/F'_{v_b} < 0$ , т. е. всегда величина отрицательная. Поэтому оптический центр части для близи располагается ниже верхней точки границы частей дали и близи, и также как в линзах с отрицательной рефракцией может выйти за пределы линзы (рис. 35, в).

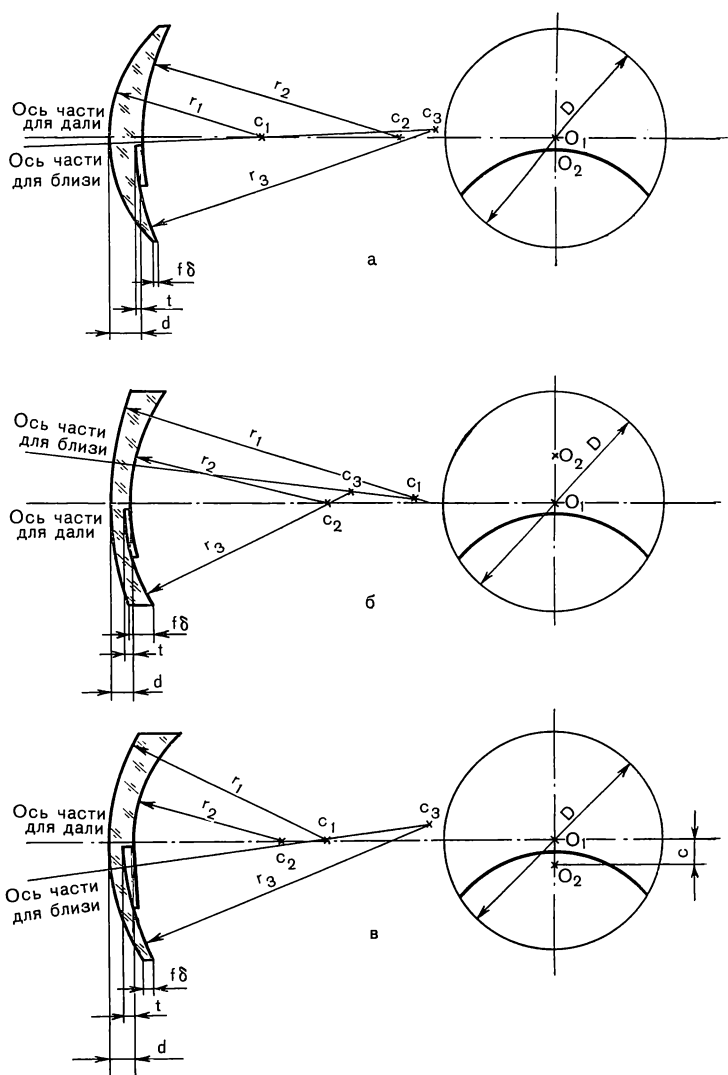


Рис. 35. К расчету цельной бифокальной стигматической очковой линзы.  
Объяснение в тексте.

**Расчет бифокальных стигматических спеченных очковых линз** предусматривает, также как и при расчете бифокальных цельных очковых линз, ряд последовательных этапов.

1. Расчет основной линзы. При этом, как наиболее рациональный вариант, можно использовать исходные данные однофокальных очковых линз и, увеличив толщину ее по центру на 1 или 2 мм (в зависимости от разности рефракций части для

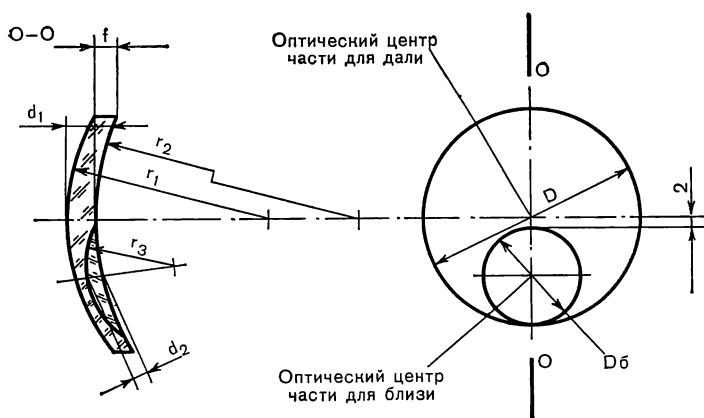


Рис. 36. К расчету спеченной бифокальной стигматической очковой линзы.  
Объяснение в тексте.

дали и для близи), найти новый радиус кривизны  $r_1$  по формулам габаритного расчета (см. табл. 5). Такой подход гарантирует, при соблюдении значения задней вершинной рефракции, минимум астигматизма наклонных пучков лучей.

2. Часть для близи рассчитывается из условия, что предмет находится на расстоянии 300 мм. Зона для близи состоит из двух линз: отрицательной, являющейся частью основной линзы, и положительной дополнительной из другой марки стекла. Диаметр круглой части для близи равен  $20 \div 22$  мм.

Расчет радиуса кривизны  $r_3$  дополнительной линзы производится по известным из первой части расчета радиусам кривизны  $r_1$  и  $r_2$  (рис. 36) и заданной рефракции части для близи. Толщина дополнительной линзы первоначально равна 1 мм. Далее после корректировки полученного расчетным путем радиуса кривизны —  $r_3$  по ГОСТ 1807—75 проверяют значение задней вершинной рефракции и уточняют толщину по центру линзы при толщине facets 0,1 мм.

3. Корректировка по результатам расчета дополнительной линзы параметров основной линзы ( $r_1, d_1, f$ ). Радиус кривизны используется как базовый радиус. При расчете широкого ассортимента бифокальных линз следует как можно чаще применять одни и те же радиусы кривизны, т. е. вводить каскадность радиусов. Это выгодно с точки зрения технологии изготовления. Однако следует иметь в виду, что радиус кривизны следует не изменять до тех пор, пока качество линз не будет ухудшаться, т. е. астигматизм наклонных пучков лучей части для дали не превысит допустимого значения. Обычно астигматизм наклонных пучков лучей части для близи больше, чем в части для дали.

Практически дополнительную линзу можно вклеить как на выпуклой, так и на вогнутой стороне основной линзы. Однако

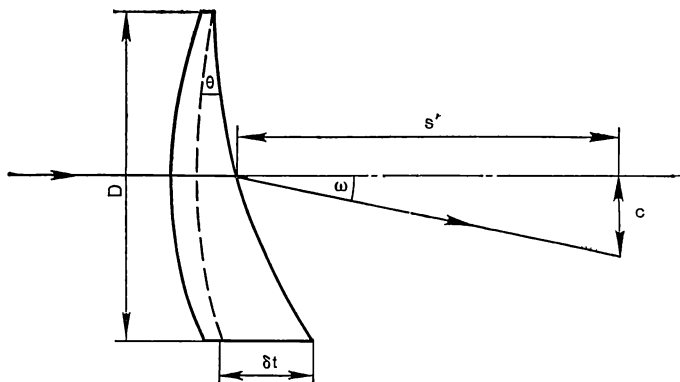


Рис. 37. К расчету призматической очковой линзы.  
Объяснение в тексте.

при расположении дополнительной линзы на выпуклой стороне aberrации части для близи (астигматизм и хроматизм), возрастают и достигают недопустимых значений при разности рефракций свыше 2 дптр. Поэтому можно допустить впекать дополнительную линзу на выпуклую сторону только при разности рефракций частей для дали и близи не более 2 дптр.

4. Спеченные бифокальные линзы с круглой частью для близи обладают большим «скачком изображения». Этот дефект линзы может быть исправлен за счет применения сегментной формы части для близи.

**Расчет призматических очковых линз.** На рис. 37 схематично представлена призматическая очковая линза со сферическими поверхностями и показан принцип ее действия. Разность  $\delta t$  краев линз по толщине, как это видно из рисунка, может быть определена по формуле

$$\delta t = \theta D. \quad (104)$$

$$\theta = 2\omega, \quad (105)$$

$$\omega = \frac{c}{s'}. \quad (106)$$

Если  $s'$  выразить через значение задней вершинной рефракции

$$s' = \frac{1000}{F'_V},$$

то величина  $\theta$  смещения в фокальной плоскости может быть найдена из следующего соотношения:

$$\theta = \frac{r \cdot \Delta \cdot 10 \cdot F'_V}{F'_V \cdot 1000}, \quad (107)$$

где  $\Delta$  — величина призматического действия, (срад).



Отсюда:

$$\theta = \frac{\Delta}{50}. \quad (108)$$

Подставив полученное выражение в формулу (104), получим:

$$\delta t = \frac{\Delta}{50} \cdot D. \quad (109)$$

Следовательно, величина  $\delta t$  разнотолщинности краев линзы зависит от требуемой величины призматического действия (срад) и диаметра очковой линзы (мм).

Точный расчет величины —  $\delta t$  производится по следующей формуле:

$$\delta t = \frac{F' \cdot v \cdot c}{1000(n-1)} \cdot \frac{1}{1 + R_1 \cdot R_2 / (R_1 - R_2) \cdot E/n}, \quad (110)$$

где  $R_k = 1000 \cdot n - 1 / \gamma_k$  — приведенный радиус  $k$ -ой поверхности линзы;  $E = d/1000$  — приведенная толщина линзы.

Приближенный расчет по формуле (109) по сравнению с точным расчетом имеет постоянную ошибку в 0,1 срад. Поэтому при расчете призматических очковых линз по индивидуальным заказам вполне достаточен расчет по формуле (109).

**Расчет изейконических линз.** Изейконические линзы отличаются от обычной афокальной корригирующей очковой линзы повышенной толщиной.

Если выбран радиус  $r_2$  и показатель преломления стекла  $n$ , то, зная какое необходимо получить увеличение —  $\Gamma$ , можно рассчитать необходимую толщину  $d$  афокальной изейконической линзы и ее внешний радиус  $r_1$  по следующим формулам:

$$d = \frac{r_2 \cdot n \cdot (\Gamma - 1)}{n - 1} \quad (111)$$

$$r_1 = \Gamma \cdot r_2. \quad (112)$$

Пример. Дано:  $n=1,5163$ ;  $r_2=79,98$ ;  $\Gamma$  от 1,01 до 1,05 крат, т. е. от 1 до 5%. Определить для каждой линзы  $d$  и  $r_1$ . Результаты расчета по формулам (111) и (112) приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 10. Параметры изейконических линз

Увеличение линзы (%)	Толщина линзы (мм)	Внешний радиус (мм)
1	2,35	80,78
2	4,70	81,56
3	7,05	82,38
4	9,40	83,18
5	11,75	83,98

Исходя из полученных геометрических параметров, рассчитывают заготовку изейконической линзы.

**Расчет зональных очковых линз из прозрачных полимерных материалов.** При расчете призматических линз с зональными поверхностями применяется известная зависимость:

$$n \cdot \sin \theta = n' (\sin \sigma - \sin \theta), \quad (113)$$

где  $n'$  — показатель преломления среды, в которой находится призма;  $n$  — показатель преломления материала, из которого изготовлена призма;  $\theta$  — угол при вершине призмы, в градусах;  $\sigma$  — угол отклонения луча при прохождении через призму, в градусах.

При  $n'=1$  (среда воздух), угол при вершине призмы  $\theta$  будет определяться следующим образом:

$$\sin \theta = \frac{\sin \sigma}{n-1}. \quad (114)$$

Результаты расчета зональных призматических линз от 5 до 30 срад через каждые 5 срад из материала ЛСО—М ( $n=1,49$ ) представлены в табл. 11.

Таблица 11. Значение углов при вершине зональных призматических очковых линз

$\Delta$ срад	5	10	15	20	25	30
$\theta$	6°	11°30'	16°	24°	30°30'	37°30'

Так как предельное отклонение призматического действия по ГОСТ 23265—78 «Линзы очковые. Технические условия» не должно превышать  $\pm 0,3$  срад, то допускаемое отклонение угла при вершине призмы устанавливается равным  $\pm 10'$ .

Толщина основания призмы — 3 мм. Диаметр — 52 мм. Общий вид зональной призмы представлен на рис. 38.

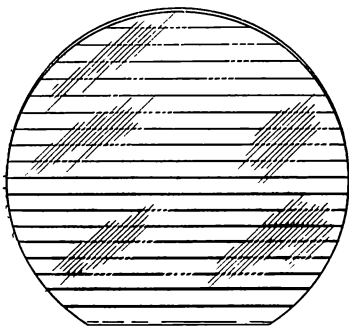


Рис. 38. Общий вид зональной призматической линзы.

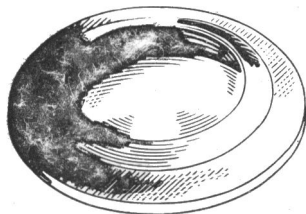


Рис. 39. Общий вид зональной положительной линзы.

При расчете зональных положительных очковых линз высоких рефракций следует стремиться к решению основной задачи — расширить истинное поле зрения при пользовании ими. Истинное поле зрения  $2\alpha$  определяется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha' \left( 1 - \frac{F'v}{\Delta'} \right), \quad (115)$$

где  $\alpha'$  — видимое поле зрения, находящееся в пространстве изображений, в градусах;  $\Delta'$  — расстояние от вершины задней поверхности линзы до вершины роговицы глаза в диоптрийном исчислении, равное 40 дптр.

В свою очередь:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{h}{x'}, \quad (116)$$

где  $h$  — половина диаметра линзы, мм;  $x'$  — расстояние от вершины задней поверхности линзы до центра вращения глаза, равное 25 мм.

Наиболее активная часть рабочей зоны очковой линзы при пользовании очками вдаль равна  $30^\circ$  (диаметр 15 мм). Таким образом можно установить для сферических зональных очковых линз три зоны: I зона диаметром 15 мм; II зона диаметром 30 мм; III зона — вся остальная периферия.

Каждую из этих зон следует образовывать другим наружным радиусом кривизны, уменьшающим оптическую силу зоны. Для коррекции афакии +15 дптр предложена зональная линза, у которой оптические силы распределены так: I зона равна +15 дптр; II зона +10 дптр; III зона +5 дптр (рис. 39). Такая конструкция положительных линз высоких рефракций расчленяет широкую «мертвую зону» на две отдельные и узкие «мертвые зоны», что значительно уменьшает кольцевую скотому у лиц, пользующихся положительными линзами высокой рефракции.

Методика расчета очковых линз с поверхностью Френеля предусматривает следующие исходные данные:  $n=1,49$ ;  $F'v$  линзы, которую необходимо рассчитать; диаметр центральной зоны линзы  $d=5$  мм (нулевая высота  $h_0=2,5$  мм). Расчетный диаметр  $D=50$  мм. Расчет ведется при условии, что на линзу падает параллельный пучок лучей, т. е.  $U=0$  и  $s=\infty$ . Сторона линзы, обращенная к глазу, плоская, т. е.  $r_2=\infty$ . Ширина кольца элемента линзы Френеля  $\Delta h=0,1$  мм, толщина основания  $t=1$  (2) мм. Группировка колец в эшелоны рекомендована по 5 шт. от края центральной зоны линзы, и по 10 шт. — далее.

Следует определить недостающие параметры: радиус кривизны центральной зоны линзы —  $r_1$ , углы активной грани —  $\delta_k$ , в градусах; углы пассивной грани —  $\beta_k$ , в градусах. Они нахо-

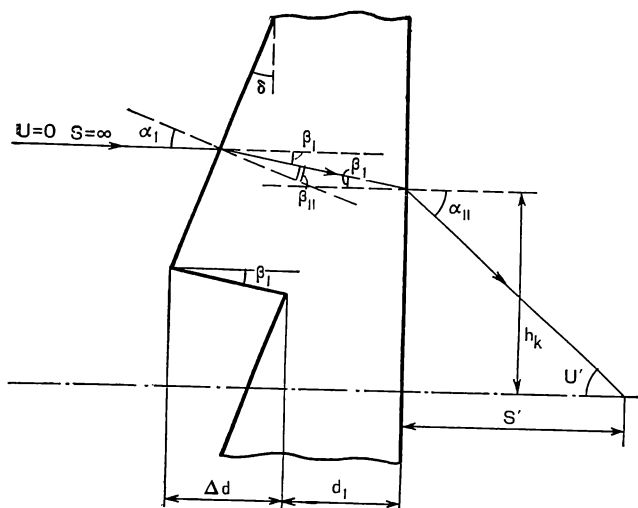


Рис. 40. К расчету линзы Френеля.  
Объяснение в тексте.

дятся из следующих зависимостей

$$r_1 = \frac{328,8}{F'_V} \quad (117)$$

$$\operatorname{tg} \delta_k = \frac{\sin U'_k}{\sqrt{n^2 - \sin^2 U'_k} - 1}, \quad (118)$$

где  $U'_k$  находится из выражения  $\operatorname{tg} U'_k = h_k/s'$  (рис. 40),  $h_k = h_0 + \Delta h \cdot k$  ( $k$  — номер кольца от 1 до 200)

$$s' = \frac{1000}{F'_V}$$

$$\sin \beta_k = \frac{\sin U'_k}{n}. \quad (119)$$

Высота призматического элемента  $\Delta d_k$  равна:

$$\Delta d_k = \Delta h \cdot \sin \delta_k. \quad (120)$$

Применение поверхностей Френеля при расчете положительных очковых линз высоких рефракций обеспечивает получение тонких и легких линз. Толщина этих линз практически создается только толщиной основания линзы, т. е. 1 или 2 мм при  $F'_V = 20$  дптр. Аналогичная линза со сферической поверхностью из силикатного стекла имеет толщину по центру 13,5 мм при диаметре 47 мм, а массу — около 30 г.

**Изготовление положительных очковых линз высокой рефракции с выпуклой асферической поверхностью.** В нашей стране распространен опыт получения параболоидной поверхности. На основе анализа различных методов и способов получения параболоидных поверхностей наиболее рациональным представляется метод «ножа». Сущность его заключается в том, что вращающуюся вокруг своей оси линзу (заготовку) со сферической поверхностью обрабатывают свободным абразивом с помощью латунной пластинки толщиной 2—3 мм («ножа»), имеющего возвратно-поступательные движения (рис. 41). Так как сечения шара представляют собой круги постепенно увеличивающегося диаметра, то при обработке пластиной будет образовываться параболоид вращения, который в сечениях, параллельных плоскости «ножа», образует параболы с одинаковым параметром, но разной длиной ветвей. При такой обработке рабочая кромка плоскости «ножа» и поверхности заготовки взаимно притираются и исправляют друг друга. Варьируя скорость вращения шпинделя и частоту колебаний верхнего звена, можно управлять процессом шлифования. Полирование может производиться по такой же схеме, но инструментом будет служить плоский просмоленный фетр толщиной не более 5 мм.

Отечественный станок «Парабола-70» обеспечивает изготовление положительных линз с выпуклой параболоидной поверхностью.

Контроль поверхностей производится индивидуальными параболическими плоскими шаблонами на просвет или индикатором с кольцами по стрелкам, специально рассчитанным для зон, соответствующих диаметрам сменных колец ручного сферометра.

**Изготовление бифокальных очковых линз.** Бифокальные очковые линзы могут быть получены тремя методами: шлифованием, спеканием и склеиванием.

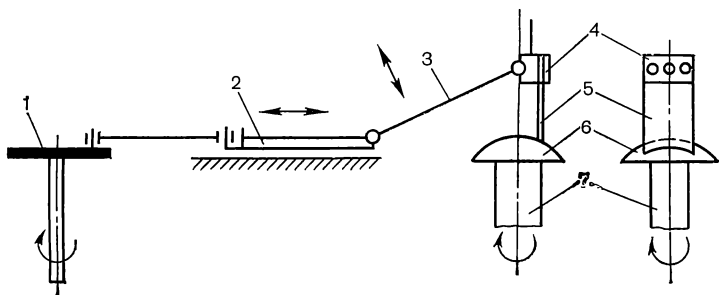


Рис. 41. Кинематическая схема станка для изготовления поверхности методом «ножа».

1 — кривошип; 2 — ползушка; 3 — откидной кронштейн; 4 — крепёжное гнездо; 5 — инструмент («нож»); 6 — линза; 7 — шпиндель.

Метод шлифования заключается в том, что в нижней части линзы выбирается часть для близи с радиусом кривизны поверхности отличной от верхней части, служащей частью для дали. Так как обе части получаются из одной линзы, то они носят название «цельные». Заготовками для таких линз служат готовые однофокальные линзы в большинстве случаев с повышенной толщиной, на которых проставляют оптический центр и делают пометки на вогнутой стороне линзы, если имеются какие-либо дефекты. Далее заготовки поодиночке наклеивают выпуклой стороной на специальную установочную чашку с хвостовиком. Блоки с хвостовиком в свою очередь устанавливают по 3 шт. на специальном приспособлении — приборе для установки бифокальных линз, что обеспечивает точное ориентирование заготовки под определенным углом и на определенном расстоянии. При установке на приборе оптический центр заготовки должен быть всегда выше ее геометрического центра (в сторону периферии приспособления), а имеющиеся дефекты поверхности направлены к центру чашки прибора.

Установку заготовок производят по двум индикаторам, смонтированным на специальном установочном столе. Один из них определяет толщину заготовки по центру, другой — по краю линзы (наклон линзы).

Подгонку под определенный размер производят металлическими (0,3—1,4 мм) или бумажными (0,03—0,08 мм) прокладками. Правильность положения линзы в чашке определяется разностью высот, которая меняется в зависимости от рефракции линзы.

Вышлифовку части для близи производят на специальном станке для шлифования бифокальных линз «ОЛ-2». Приспособление с ориентированными тремя заготовками закрепляется в нижней части станка. Сверху опускают вращающийся цилиндрический шлифовальный диаметр 60 мм, в котором радиус торцевой рабочей части равен  $r_3$ , т. е. радиусу части для близи. Шлифование производится шлифовальным порошком «М-14». Длительность операции 8—10 мин.

После тщательной промывки приспособление с тремя линзами передается на полирование части для близи. В зависимости от радиуса кривизны полируемой поверхности, осуществляется поворот верхнего шпинделя станка, несущего полировочный инструмент — смоляную подушечку. Полирование длится 40—45 мин.

Контроль производится теми же средствами, что и при обычном полировании.

После разблокировки и промывки цельные бифокальные линзы принимаются по требованиям, изложенным в ГОСТ 23265—78.

В настоящее время в медицинской промышленности внедрен жесткий метод блокировки при изготовлении цельных бифокальных очковых линз, который значительно упрощает техно-

логический процесс и повышает точность изготовления линз.

Сущность процесса спекания заключается в соединении стеклянных деталей путем совместного нагрева их при определенной температуре. При спекании бифокальных очковых линз в заготовку (основную линзу) впекают дополнительную (малую) линзу с другим коэффициентом преломления, образуя тем самым в ней часть для близи.

Процесс изготовления начинается с вышлифовки и полирования лунки в заготовке (основной линзы), представляющей собой готовую однофокальную очковую линзу. В эту лунку впекают дополнительную линзу. Она имеет круглую форму из одной марки стекла или спеченной из двух частей различных марок стекла.

Дополнительная линза круглой формы имеет диаметр 20—26 мм. Материалом для нее служит флинтное стекло. На заготовке дополнительной линзы подготавливается полированная поверхность, радиус кривизны которой немного меньше радиуса кривизны подготовленной к спеканию лунки в основной линзе.

Фигурная дополнительная линза представляет собой круглую заготовку, спеченную предварительно из двух марок стекол с различными  $n_e$ . При этом  $n_e$  верхнее равно  $n_e$  заготовки основной линзы, а  $n_e$  нижнее — флинттовому стеклу. После спекания верхняя часть дополнительной линзы будет невидна, так как имеет тот же  $n_e$ , что и заготовка. Хорошо спекаются стекла марок с близким коэффициентом линейного расширения, что обеспечивает минимум натяжения в стекле.

Основными операциями при спекании очковых линз являются: очистка, установка дополнительной линзы в лунку заготовки с фиксацией ее положения, нагрев до температуры спекания, выдерживание при этой температуре в течение некоторого времени, отжиг для снятия натяжения, контроль бифокальной заготовки.

Температура спекания выбирается так, чтобы у основной заготовки она была несколько выше, чем у дополнительной.

Спекание бифокальных очковых линз должно производиться в максимально чистых помещениях с внутренними стенами, выложенными кафелем, и потолком, окрашенным масляной краской. Поступающий воздух должен быть очищенным. Перед сборкой детали линзы тщательно протираются.

Основная линза 2 (рис. 42, а) укладывается выпуклой стороной на жаропрочную металлическую подставку 1, имеющую определенный угол наклона  $\alpha$ , обеспечивающий правильную установку малой заготовки 3. Малая заготовка без прижима укладывается в лунку.

Если изготавливается бифокальная линза с фигурной частью для близи, то по разметочному шаблону или отметкам на подставке устанавливают направление верхней линии раздела дополнительной линзы.

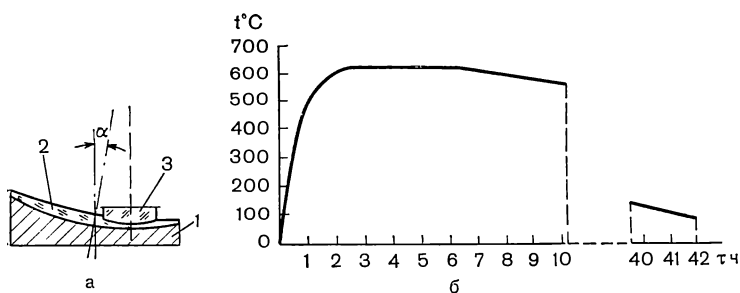


Рис. 42. К методу спекания заготовки бифокальных очковых линз.  
Объяснение в тексте.

Спекание производится в электропечах. Заготовки на металлических подставках загружают на под печи. Типовой график спекания представлен на рис. 42,б. После спекания линзы подвергаются отжигу. Далее процесс изготовления и контроля готовых бифокальных очковых линз идентичен процессу изготовления однофокальных очковых линз. Готовые спеченные бифокальные линзы должны соответствовать требованиям ГОСТ 23265—78.

Изготовление некоторых сложных специальных бифокальных линз по индивидуальным заказам может быть осуществлено посредством склеивания оптических деталей. К таким линзам можно, например, отнести бифокальные астигматические, бифокальные сферопризматические, лентикулярные положительные высокой рефракции от  $+10$  до  $+20$  дптр.

Склеивающий материал должен обладать рядом свойств: бесцветностью, чистотой и прозрачностью, высокой оптической однородностью и показателем преломления, близким к показателю преломления склеиваемых деталей очковых линз, механической прочностью, морозо- и теплостойкостью и способностью не деформировать склеенные детали.

Общеизвестно широкое применение в оптической промышленности в качестве склеивающих материалов бальзама и бальзамина. Однако в настоящее время появились синтетические клеи, которые обеспечивают более качественную склейку при меньших затратах труда. Один из них «ОК-50», состоящий из жидкой модификации диановой смолы и фракций полиаминов, другой — эпоксидный клей, составленный из эпоксидной смолы «ЭД-5», дибутилфталата и полиэтиленполиамиона. Эти клеи соответствуют всем перечисленным выше требованиям.

Перед склейкой поверхности тщательно очищают. Детали склеиваются без нагрева, с последующим подогревом, ускоряющим процесс полимеризации слоя клея.

Контроль чистоты склейки производится невооруженным глазом при боковом освещении лампой в 60—100 Вт, на черном фоне. Допускаемые дефекты не должны превышать требований к очковым линзам по ГОСТ 23265—78.



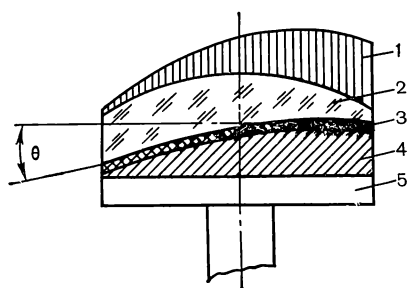


Рис. 43. К методу изготовления призматических очковых линз.

1 — снимаемый слой заготовки; 2 — призматическая линза; 3 — клеящий слой; 4 — призматический вкладыш; 5 — нижний шпиндель станка.

**Изготовление призматических очковых линз.** При изготовлении призматических очковых линз величина призматического действия очковой линзы достигается за счет разности толщины на ее противоположных концах, т. е. фактически производится изготовление клина не с плоскими, а со сферическими, сфероторическими или другими поверхностями. В связи с тем, что потребность в таких линзах невелика, а варибельность различных комбинаций огромна, изготавливать их целесообразно поодиночке с помощью переходных призматических вкладышей в наклеечном инструменте. При обработке с одной стороны заготовки снимают стекла больше, чем с другой ей противоположной.

При механической обработке на станках в наклеечном приспособлении применяют переходные призматические вкладыши (рис. 43), а при эластичной блокировке — косые смоляные подушки. Как вкладыш, так и подушка создают наклон заготовки линзы на угол  $\theta$ . При всех методах обработки обеспечивается получение линзы с требуемой разнотолщинностью  $\delta t$  по краям. Дальнейший процесс изготовления, после получения призматической заготовки и закрепления ее на наклеечном приспособлении, осуществляется обычным путем.

При массовом изготовлении сферопризматических линз применяют жесткий метод блокировки на специальном наклеечном грибе с лунками, расположенными под определенным углом к нормали сферической поверхности гриба. Это обеспечивает при закреплении различную высоту противоположных краев линз, по отношению к сферической поверхности гриба. Блок с наклеенными под определенным углом линзами обрабатывают, как обычный блок со сферическими линзами.

При изготовлении корригирующих линз требуется точное центрирование относительно оптической оси, а в сложных линзах и тщательная установка положения главного сечения, иначе к призматическому действию очковой линзы добавляется дополнительное призматическое действие, зависящее от значения задней вершинной рефракции и децентрировки.

Пооперационный контроль производится штангенциркулем, контроль готовой линзы — на диоптриметре.

Очковые линзы из органического стекла. Линзы из органического стекла можно получить четырьмя способами: вытачиванием, прессованием, полимеризацией и литьем под давлением.

Линзы вытачивают из цилиндрических заготовок требуемого диаметра. Сферические поверхности протачивают на токарном станке резцом и полируют их с помощью мягкого полировальника. При этом получают линзы невысокого качества.

Прессование линз из заготовок производят в подогретых формах, имеющих оптические полированные поверхности требуемого радиуса кривизны. Прессование несколько повышает качество линз из оргстекла.

Изготовление линз полимеризацией выполняется различными методами. Один из них предложен комбинатом «К. Цейс Йена». Из смеси (диэтиленгликоль-бисаллилкарбонат) составляют жидкий мономер, в котором растворяют катализатор. Этой жидкой пластмассой заполняют стеклянные формы, внутренняя поверхность которых соответствует требуемым радиусам кривизны. Наполненную форму, закрепленную распорным кольцом с упругим уплотнителем, подвергают термической обработке, в процессе которой осуществляется полимеризация пластмассы. После окончания процесса полимеризации форму открывают и вынимают готовую очковую линзу, которая имеет несколько более высокую механическую прочность поверхностного слоя, чем линзы из органического стекла, полученные указанными выше методами.

При литье под давлением можно получить сразу готовую линзу для сборки под ту или иную определенную модель оправы. Исходный материал — полистирол ЛСО в гранулах. Температура впрыскиваемой массы  $180^{\circ}\text{C}$ . Температура прессформы  $50^{\circ}\text{C}$ . Производительность при этом методе очень большая. При качественно выполненной прессформе и отработанном режиме процесс стабилен и обеспечивает прозрачность, отсутствие дефектов внутри линзы, чистоту поверхности и получение геометрических параметров в пределах требований к очковым линзам. Однако, как у всех линз из прозрачного полимерного материала, поверхностная твердость мала, что не соответствует требованиям, предъявляемым к очковым линзам. Поэтому очковые линзы из этого материала находят ограниченное применение при коррекции зрения: как линзы для защитных и детских очков, очков для спортивных игр, линзы со сложными асферическими поверхностями и большой положительной рефракцией (легкие и дешевые линзы для коррекции афакии), и линзы для моделей металлических безободковых оправ, позволяющих легкую замену линз (например, в безободковых оправках типа «Нигура»). Линзы из прозрачных полимерных материалов находят широкое применение в бытовых солнцезащитных очках.

**Светозащитные очковые линзы.** Эти линзы обладают свойством избирательно поглощать свет в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной частях спектра, что достигается введением в его состав соответствующих красителей. Цветные стекла, в зависимости от их окраски, делятся на несколько типов. Для коррекции зрения и одновременной защиты от яркого света рекомендуется применять следующие типы и марки стекол (ГОСТ 21306—75): ЖЗС4, ЖЗС9 (желто-зеленые), НС8 (нейтральные, дымчатого цвета); ТС1, ТС6, ТС7, ТС9 (темно-коричневые), ЗС1 (зеленые).

Основные параметры стекол должны удовлетворять следующим требованиям (табл. 12)

Таблица 12. Требования к спектральным характеристикам светозащитных очковых линз

Область спектра	Коэффициент пропускания (%)					
	ультрафиолетовая, нм		видимая, нм			инфракрасная, нм
	240—320	320—340	наиб.	номин.	наим.	750—1000
Коэффициенты пропускания в центральной зоне линзы диаметром 10 мм	0,1	10	25	25	15	35
	0,4	20	60	50	40	55
	0,4	20	85	75	65	75

Разность измеренных значений визуальных коэффициентов пропускания в любых двух точках афокальной линзы, не прикрываемых ободками очковых оправ, не должна превышать 5% (по абсолютному значению). Это условие обеспечивает возможность комплектовать цветные очковые линзы попарно по визуальному коэффициенту пропускания.

Определенным спросом пользуются фотохромные стекла для светозащитных очковых линз. При ярком свете они темнеют, при переходе в темноту они восстанавливают первоначальное состояние, т. е. становятся бесцветными.

Время потемнения фотохромных очковых линз около 1 мин, а время полного обесцвечивания до 9—10 мин. Коэффициент поглощения до 40%. Для увеличения общего коэффициента поглощения применяется предварительное нанесение светопоглощающего покрытия с коэффициентом поглощения 30—40%. График изменения коэффициента пропускания фотохромных линз показан на рис. 44.

Светозащитные очковые линзы могут быть получены двумя путями: изготовлением из цветного силикатного стекла или нанесением светозащитного покрытия на готовую бесцветную очковую линзу.

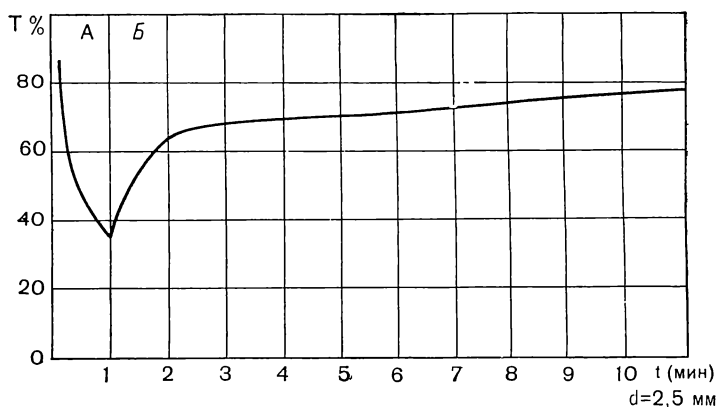


Рис. 44. График изменения коэффициента пропускания линз из стекла ФСХ-3 в зависимости от облученности.

T — коэффициент пропускания; t — время; d — толщина линзы; А — время облучения; Б — время восстановления.

При изготовлении из стекла, окрашенного в массу, полученные прессовки проходят те же самые технологические операции, что и бесцветные очковые линзы.

Метод нанесения светозащитного покрытия осуществляется при высоком вакууме — около  $10^{-6}$  Н/м<sup>2</sup>, что обеспечивает получение прочной светопоглощающей пленки. Наносимая на линзы светопоглощающая пленка представляет собой слой оксида металла и слой оксида кремния. Могут быть и трехслойные покрытия. Для нанесения светопоглощающего покрытия применяются спектрально чистые или, в крайнем случае, чистые для анализа материалы. Например, светозащитные линзы желто-коричневого цвета получают путем испарения следующих материалов:

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — обеспечивает желто-коричневую окраску, Si — образует несущий слой окраски, SiO — антирефлекс, т. е. слой, снижающий зеркальный эффект линзы.

Использование других оксидов металлов или неметаллов дает возможность получить линзы различной окраски.

Светозащитная пленка толщиной от десятка нанометров до микрометра наносится на внутреннюю (вогнутую) сторону линзы, так как она меньше всего подвергается всевозможным механическим воздействиям при ношении очков.

Вакуумные аппараты, служащие для нанесения покрытий, состоят из колпака (металлического или стеклянного), в котором происходит нанесение пленки; аппаратуры, создающей под колпаком необходимое разряжение; подколпачной арматуры — испарители, держатели деталей, поглотители и др.; электрооборудования для испарения; оптической визуальной (или фотометрической) системы.

Наиболее целесообразно применять установки, имеющие большой диаметр колпака (500—600 мм), что увеличивает число одновременно покрываемых линз, а также аппаратуру, создающую в минимально возможное время необходимый вакуум.

Нанесение пленки испарением происходит следующим образом: тщательно протертые линзы укладывают на держателе так, чтобы вогнутая сторона была обращена к испарителям. На каждом держателе располагается от 25 до 45 линз (в зависимости от диаметра колпака установки и диаметра очковых линз). Пылесосом отсасывают остающуюся пыль. Вольфрамовые или молибденовые лодочки с наполненным порошком испаряемого вещества устанавливают в испарители. После закрытия рабочего стола установки колпаком и откачки осуществляется нагрев лодочки и происходит испарение цветонаносимого слоя. Держатель линз во время работы установки вращается, что обеспечивает равномерность покрытия всех линз под колпаком. В конце рабочего цикла нагревается лодочка с антирефлексом. Вещество антирефлекса заменяется через 3—10 циклов работы установки. После подъема колпака держатель с линзами переносят на рабочий стол оператора, который снимает готовые линзы.

В зависимости от времени нанесения цветного слоя, получают линзы с различными коэффициентами пропускания: 75%; 50%; 25%.

Введение «маски» между испарителем и линзой обеспечивает получение светозащитных линз с плавным изменением коэффициента пропускания сверху вниз.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОЧКОВЫМ ЛИНЗАМ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

Отклонения от расчетных элементов при изготовлении очковых линз допустимы лишь в определенных пределах, так как этим характеризуется качество готовой линзы. Общие технические требования на готовые линзы изложены в ГОСТ 23265—78 «Линзы очковые. Технические условия».

Очковые линзы должны изготавливаться из силикатного бесцветного стекла, показатель преломления которого  $n_e = 1,523$  при допустимом отклонении  $\pm 0,002$ , показатель ослабления стекла  $\varepsilon_a$  не более  $0,013 \text{ см}^{-1}$ , двойное лучепреломление, характеризующее качество отжига стекла, не должно превышать 50 нм на 1 см. Свилы и волны, искажающие изображение рассматриваемого объекта, не допускаются.

Допускаются в центральной зоне диаметром 30 мм пузыри и точки диаметром до 0,2 мм, а царапины — шириной до 0,02 мм. Однако пузыри и точки таких размеров ухудшают внешний вид линзы — они заметны глазу контролера и потребителя. Невидимыми становятся они, если их величины не превышают соответ-

ственно 0,1 мм и 0,01 мм. Допускаемые отклонения рефракции в зависимости от ее значения находятся в пределах  $\pm 0,06 \div \pm 0,35$  дптр.

Положение оптического центра на очковой линзе наносится черной смыываемой тушью. Диаметр точки не более 1 мм. Допускаемые отклонения призматического действия в зависимости от его значения находятся в пределах от 0,2 до 0,5 срад.

Положение главного сечения с наименьшей по абсолютной величине рефракцией в астигматических и призматических линзах намечаются двумя точками, наносимыми тушью, расположенными симметрично относительно оптического центра. Допускаемые отклонения при определении главных сечений в зависимости от значения рефракции находятся в пределах  $\pm 5 \div 2^\circ$ .

В литературе по физиологической оптике имеются указания о том, что максимально допустимое дополнительное призматическое действие в очках не должно превышать 0,5 срад. Если исходить из этого положения, то необходимо потребовать следующую допустимую децентрировку (табл. 13).

Т а б л и ц а 13. Теоретически допускаемая децентрация

Параметры	Числовые значения						
Задняя вершинная рефракция линзы, в дптр	1,0	2,0	4,0	5,0	10,0	16,0	20,0
Децентрировка, в мм	5,0	2,5	1,3	1,0	0,5	0,3	0,25

Расхождение между децентрацией, допускаемой с физиологической точки зрения, и децентрацией, допускаемой стандартом, вызвано невозможностью при помощи приборов, находящихся в распоряжении офтальмологов и производителей, определить с достаточной точностью для высоких рефракций положение оптического центра очковой линзы.

По ГОСТ 23265—78 допускаемая децентрация отличается от теоретической и для линз с рефракцией свыше 2 дптр равна 2 мм.

К бифокальным линзам предъявляются специфические требования. Цельные бифокальные очковые линзы изготавливаются из такого же силикатного бесцветного стекла, что и однофокальные очковые линзы. Общие технические требования на них предусмотрены ГОСТ 23265—78.

На линии раздела части для дали и части для близи в цельных бифокальных линзах не допускаются выколки шириной более 0,1 мм и длиной более 0,4 мм. При этом выколоч шириной от 0,05 до 0,1 мм и длиной от 0,3 до 0,4 мм не должно быть более двух.

Уступы в вершине линии раздела зон для дали и близи не должны иметь высоту более 0,3 мм.

Расстояние от точки, указывающей положение оптического центра части для дали до геометрического центра линзы, не должно превышать по горизонтали  $\pm 2$  мм, а по вертикали — величины, указанной в ГОСТ 23265—78. При этом отклонение оптического центра части для дали вниз не допускается.

Призматическое действие афокальной части для дали бифокальных линз не должно превышать 0,2 срад.

**Контроль готовых очковых линз.** Готовые очковые линзы подвергаются контролю по четырем параметрам: дефекты стекла и поверхности; значение задней вершинной рефракции; положение оптического центра в стигматических линзах, главного сечения в астигматических и призматических линзах; толщина линзы по центру.

Тенденция к увеличению объема производства побуждает искать более совершенную методику с применением автоматики и других современных технических средств, чтобы процесс контроля чистоты поверхности и дефектов стекла был полностью объективным. В этом направлении ведутся определенные работы, но до настоящего времени успех не достигнут. Основная причина в том, что допустимые дефекты соизмеримы с размерами частиц пыли, которую необходимо периодически удалять, и автоматике в этом случае необходимо решать не только очень сложную, но и длительную по времени задачу.

Поэтому целесообразно в заводских условиях, на рабочих местах сборки очков осматривать линзы с помощью простых приспособлений или без них, если контроль производится в светлое время дня.

Анализ существующих методов контроля дефектов стекла и поверхности очковых линз предусматривает следующее: показатели, определяющие внешний вид линз, проверяют невооруженным глазом на фоне экрана, состоящего из двух частей (черной и белой), перед которыми помещают проверяемую линзу, освещенную боковым светом; освещенность должна быть в пределах 200—400 лк. Расстояние между экраном и наблюдателем от 0,7 до 2 м. Слегка поворачивая линзу и наклоняя ее то в одну, то в другую сторону, обнаруживают на черном фоне освещенные пузыри, точки, царапины, сколы, а на границе перехода от черного фона к белому — волны и свили. При арбитражных испытаниях ширину царапин, диаметр точек и пузырей измеряют на микроскопе с увеличением 50 крат по ГОСТ 8074—56 или на проекторе с увеличением 100 крат, а волны и свили проверяют по 2-й категории бессвильности на установке по ГОСТ 3521—69. Кроме этого можно определить, но с меньшей точностью, диаметр пузырей и точек, размеры царапин с помощью объект-микрометра.

Второй контрольной операцией является проверка значения задней вершинной рефракции очковых линз. Она осуществляется с помощью диоптриметров. Погрешность измерения на них не должна превышать требований, указанных в табл. 14.

**Таблица 14. Допустимая погрешность измерения задней вершинной рефракции диоптриметром, дптр**

Абсолютное значение задней вершинной рефракции	Погрешность средств измерения для групп	
	потребительские требования	функциональные требования
До 0,5 включительно	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$
Свыше 0,5 до 6,0 включительно	$\pm 0,03$	$\pm 0,06$
Свыше 6,0 до 12,0 включительно	$\pm 0,06$	$\pm 0,09$
Свыше 12,0 до 15,0 включительно	$\pm 0,09$	$\pm 0,12$
Свыше 15,0	$\pm 0,12$	$\pm 0,18$

Производство очковых линз на отечественных заводах носит крупносерийный и массовый характер. Работнику ОТК не часто приходится прибегать к установке диоптриметра на различные показания рефракций, так как определенное время проверяются линзы только одной рефракции. Но для ускорения процесса проверки ему необходимо достаточно свободное пространство между объективом зрительной трубы и местом для установки очковых линз. В диоптриметрах это пространство невелико.

Быстрый рост объема производства очковых линз, и внедрение на заводах полуавтоматических линий по изготовлению очковых линз, повышение точности их контроля требуют создания автоматизированных диоптриметров. В ГОИ им. С. И. Вавилова была разработана фотоэлектрическая установка для объективного контроля задней вершинной рефракции очковых линз с одновременной простановкой оптического центра. Принципиальная схема установки показана на рис. 45. Перед началом работы по шкале устанавливают то или иное значение рефракции, которая должна соответствовать значению задней вершинной рефракции подлежащих проверке очковых линз. При соответствии контролируемой линзы значению установленной на приборе рефракции, изображение светового перекрестия прибора через оптическую систему спроецируется на фотоэлемент.

Укладка и снятие линз производятся вручную. Путем перемещения укладочного диска от команд, подаваемых с фотоэлемента, производится полное совмещение перекрестия (щели) прибора с перекрестием (диафрагмой) фотоэлемента. В этот момент подается команда на устройство для простановки оптического центра. Далее рабочий цикл начинается снова. В случае несовпадения по рефракции между значениями, установленными по шкале прибора и оптической силой линзы — оптический центр не простанавливается, так как происходит расфокусировка и, следовательно, не хватает освещенности фотоэлемента.



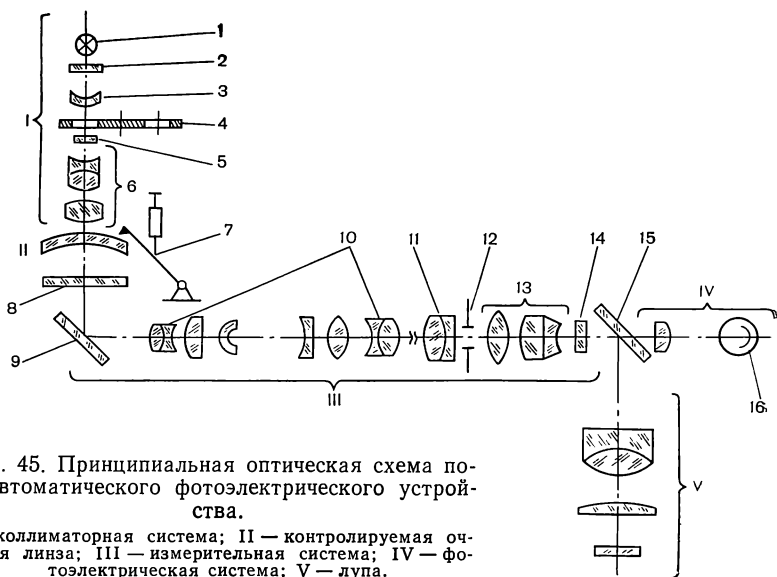


Рис. 45. Принципиальная оптическая схема полуавтоматического фотоэлектрического устройства.

I — коллиматорная система; II — контролируемая очковая линза; III — измерительная система; IV — фотоэлектрическая система; V — лупа.

1 — источник света; 2 — светофильтр; 3 — конденсатор; 4 — диск модулятора; 5 — перекрестье (щель); 6 — объектив; 7 — центроотметчик; 8 — защитное стекло; 9 — зеркало; 10 — объектив; 11 — пластина; 12 — апертурная диафрагма; 13 — объектив; 14 — перекрестье (диафрагма); 15 — зеркало; 16 — фотоумножитель.

Прибор для объективного фотоэлектрического контроля рефракции предусматривает возможность сортировки линз от 0 до  $\pm 6$  дптр. Точность прибора в 5 раз выше визуального ( $\pm 0,02$  дптр), а точность простановки оптического центра как минимум в 2 раза выше точности, обеспечиваемой диоптриметром (не более 0,5 мм).

Определение, а затем нанесение оптического центра, положения главного сечения в астигматических и призматических линзах производится в некоторых случаях с помощью визирного механического прибора — центроотметчика (рис. 46). Определение и нанесение оптического центра с помощью центроотметчика осуществляется следующим образом: очковую линзу прислоняют к оправе прибора; в это время контролер смотрит через окулярное отверстие сквозь линзу на перекрестие экрана. Если линза центрирована относительно окулярного отверстия и перекрестия, то видимая сквозь нее часть перекрестия будет совпадать с видимой помимо линзы частью его. В этот момент приводят в действие отсчетное устройство, центральный штифт которого соответствует положению оптического центра. Если совмещения не происходит, то перемещают по оправке линзу до совпадения перекрестий.

При аккуратной работе центроотметчик обеспечивает для линз не свыше 4 дптр требования ГОСТ 23265—78 к погрешности прибора, предназначенного для определения и нанесения опти-

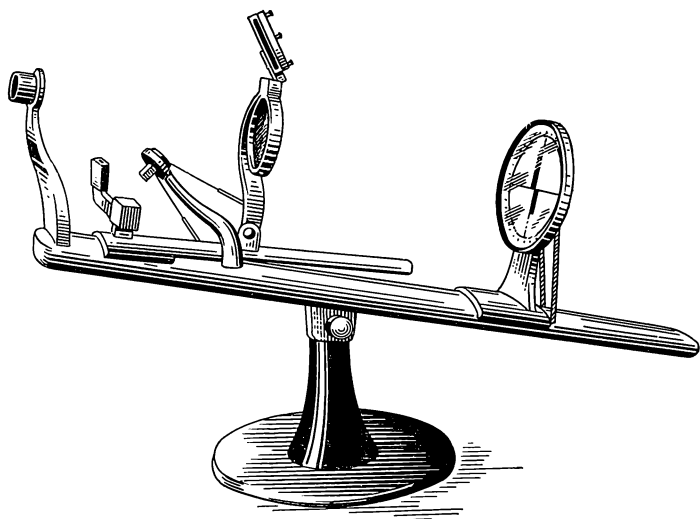


Рис. 46. Центроотметчик.

ческого центра. Более точным методом является центрировка с помощью диоптриметра.

При автоматизации процесса контроля очковых линз проверку задней вершинной рефракции линз целесообразно совмещать с постановкой оптического центра, как это предусмотрено в приборе для объективного контроля рефракции.

Допускаемые отклонения толщины очковой линзы по центру лежат в пределах  $\pm 0,3$  мм. Такая, относительно большая величина отклонения связана с тем, что толщина очковой линзы незначительно сказывается на величине задней вершинной рефракции, а расширение допуска увеличивает выход годных очковых линз.

При выборе приборов для контроля толщины очковых линз следует исходить из условия, чтобы его чувствительность находилась в пределах не менее 0,05 мм.

Высокая механическая прочность поверхностного слоя силикатных очковых линз дает возможность применять контактные приборы. Наиболее рациональным из них следует считать двухшкальный толщесмер с индикатором часового типа. Цена деления этого прибора 0,01 мм, диапазон измерения до 10 мм. Такой прибор прост в обращении и удобен в работе, так как при относительно большом отклонении стрелки индикатора происходит измерение довольно малых величин.

Ориентировочное определение величины рефракции линзы, если под рукой отсутствует диоптриметр, можно произвести с помощью линз из набора пробных очковых линз, используя метод нейтрализации.

Известно, что если через положительную линзу смотреть на

переплет рамы или какое-либо перекрестье и перемещать ее перед глазом, то видимый через линзу предмет будет перемещаться в направлении, противоположном перемещению линзы. Чем рефракция линзы больше, тем быстрее перемещается предмет. При рассматривании указанных выше предметов через отрицательную линзу, видимый через линзу предмет перемещается в том же направлении. Если рефракция линзы равна нулю, то перемещение линзы не вызывает видимого перемещения предмета.

Метод нейтрализации заключается в том, чтобы к линзе, рефракцию которой необходимо определить, подобрать такую линзу известной рефракции, которая обеспечивала бы при сложении этих линз, получение системы с рефракцией, равной нулю. Отрицательная линза нейтрализует положительную линзу той же рефракции, и наоборот, положительная линза нейтрализует преломляющее действие отрицательной линзы.

## Глава 2

### ОЧКОВЫЕ ОПРАВЫ

#### АНТРОПОМЕТРИЯ ЛИЦЕВОЙ ЧАСТИ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА

Очки, несмотря на кажущуюся простоту, представляют собой в сочетании с глазами сложную оптическую систему и требуют тщательного изготовления и правильной установки их перед глазами. Большую роль в этом играют очковые оправы, параметры которых основываются на данных антропометрии лицевой части головы черепа. На рис. 47 показаны различные формы лица человека, которые определяют основные параметры очковых линз и оправ. Профиль лица, носа и расположение ушных раковин (рис. 48) регламентируют длину заушника, угол наклона заушника по отношению к рамке оправы, выбор конструкции носоупоров. Форма ушных раковин определяет радиус изгиба заушников (рис. 49). При подборе очков наиболее важным оптическим параметром, кроме рефракции глаз, является расстояние между центрами зрачков глаз пациента.

Оптические центры линз в очках должны совпадать с центрами зрачков пациента, которому эти очки подобраны. Расстояние между центрами зрачков глаз человека в основном колеблется от 50 до 74 мм. На рис. 50 показано распределение величин расстояния между центрами зрачков, определенных Государственным оптическим институтом им. С. И. Вавилова.

Следует обратить внимание, что отсутствует какая-либо корреляция расстояния между центрами зрачков глаз и расстояния между висками, расстояния между центрами зрачков глаз и расстоянием до высшей точки переносицы, до козелка ушной раковины и т. д. Поэтому при разработке и изготовлении очковых оправ предусматриваются различные сочетания значений ее параметров.

## ТИПЫ ОЧКОВЫХ ОПРАВ

Очковая оправа предназначена для закрепления в ней очковых линз и правильной установки последних перед глазами. Она состоит из рамки и двух заушников. В свою очередь рамка состоит из ободка, переносицы, носовых упоров. Заушники соединяются с рамкой оправы посредством шарнирного соединения.

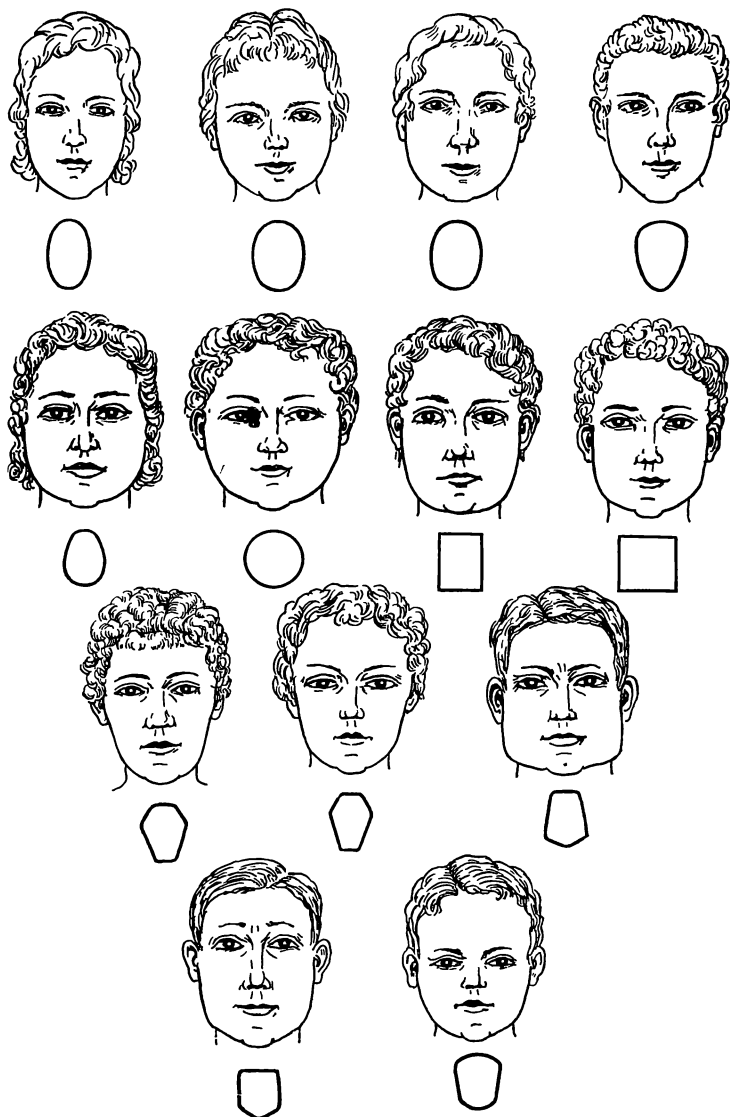


Рис. 47. Формы лица человека.

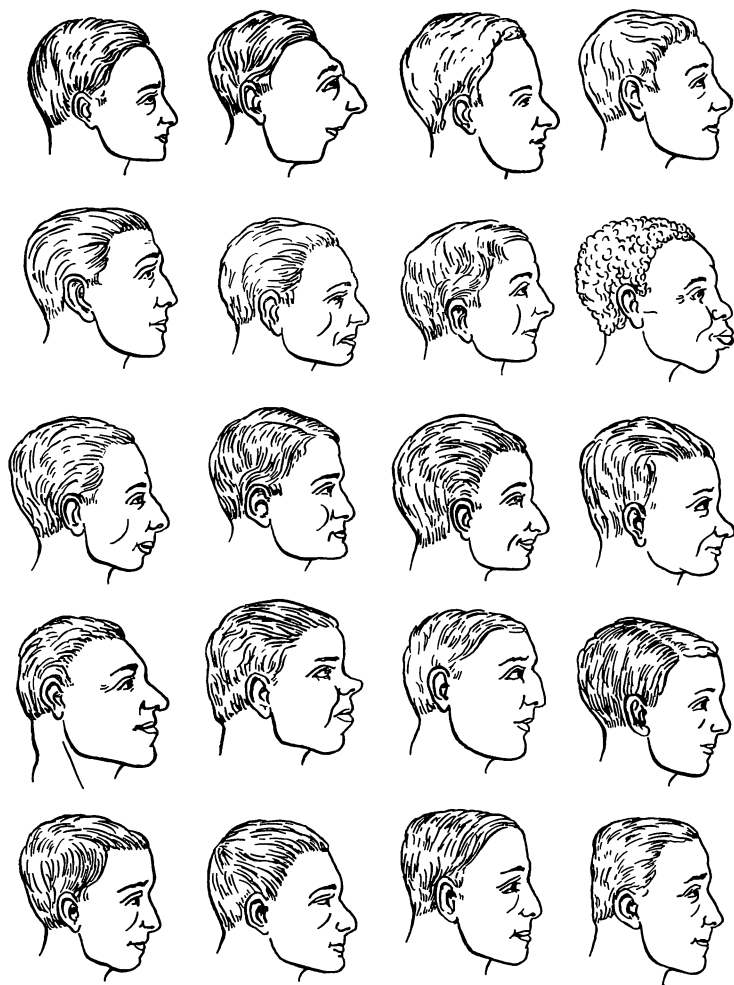


Рис. 48. Профили лица, носа и расположение ушных раковин.

Очковые оправы, в зависимости от применяемых материалов и конструкции (формы ободков и вида заушников), изготавливаются следующих типов: пластмассовые, металлические и комбинированные, с ободками несимметричной, симметричной и круглой формы, без ободков, с жесткими и эластичными заушниками (рис. 51). Длина заушника  $L=55 \div 115$  мм, через каждые 5 мм.

Основные размеры ободков оправ (рис. 52):  $a=34 \div 60$  мм через 1 мм,  $b=10 \div 28$  мм через 1 мм,  $h$ —не менее 28 мм,  $OO_1$ — линия, соединяющая геометрические центры световых проемов рамки оправы. Расстояние  $OO_1=a+b$ .

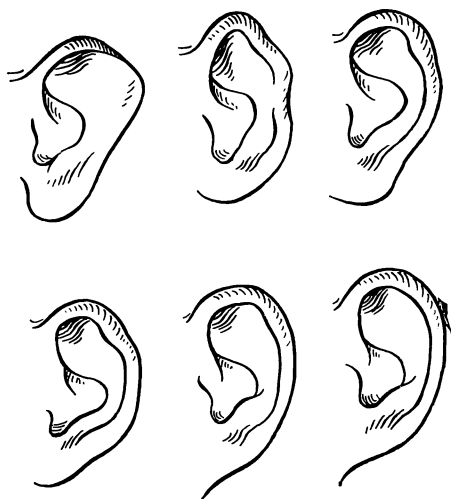


Рис. 49. Форма ушных раковин.

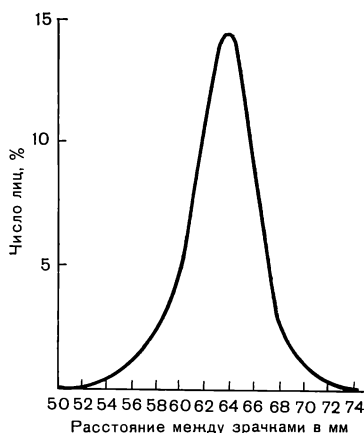


Рис. 50. Распределение значений расстояний между центрами зрачков глаз человека.

При изготовлении оправ и увязки размеров и формы ободков ее с процессом получения фасетированных линз для сборки очков необходима единая система измерения. Известны две системы измерения: система касательных (Kastensystem или Boxingsystem) и система измерительных линий (Messliniensystem или Datuliniesystem). Средняя линия (в системе касательных) и измерительная линия (в системе измерительных линий) совпадают и расположены посередине между горизонтальными касательными к самой высокой и самой низкой точкам светового проема или дна фасетной канавки (рис. 53).

В очковых оправках с круглыми ободками нет различия в этих двух системах измерений. Однако в фигурных оправках ширина в системе измерительных линий различна ( $a > a_1$ ), аналогичная ситуация с расстояниями между геометрическими центрами ( $OO_1 > PP_1$ ), но размеры  $h$  и  $b$  в обеих системах одинаковы.

В связи с тем, что конфигурации ободков очковых оправ различны, то для точного изготовления фасетированной линзы, полностью соответствующей геометрии светового проема оправы, требуется сохранение единства измерения, реализуемое правильно изготовленным контуром (шаблоном) и установкой соответствующих размеров то ли на обрезальном станке, то ли на фасетировочном полуавтомате. В этом случае система измерительных линий не обеспечивает единства измерения, так как вносимые поправки при установке размеров не коррелируют с конфигурацией ободка оправы и требуют каждый раз специ-

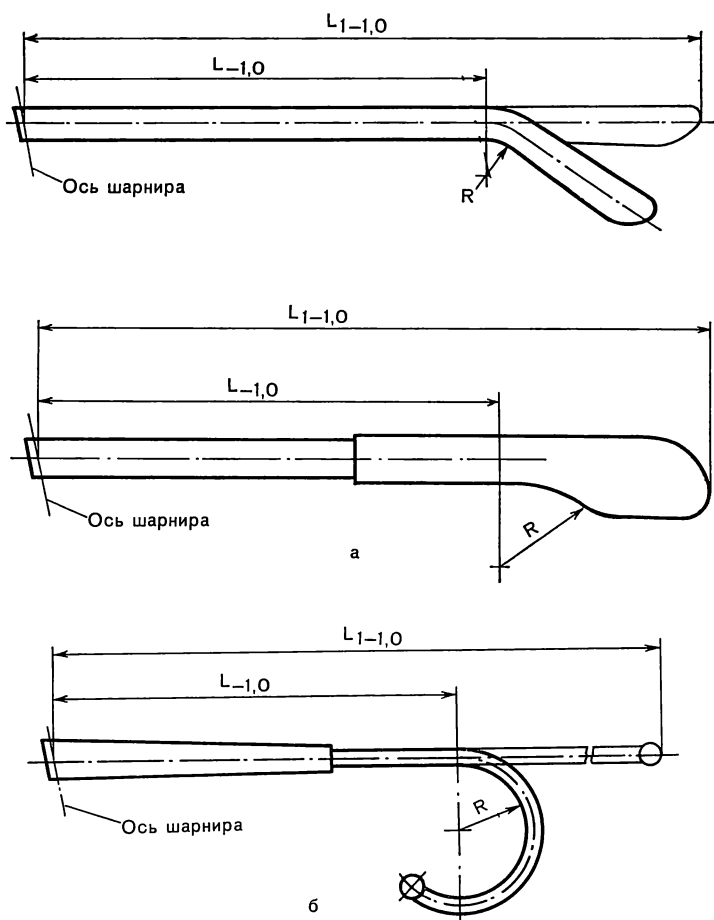


Рис. 51. Типы заушников.  
а — жесткий; б — эластичный.

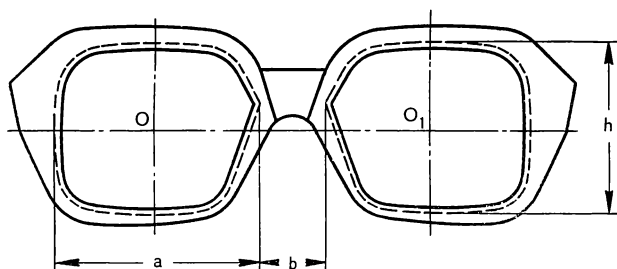


Рис. 52. Схематическое изображение рамки оправ.  
Объяснение в тексте.

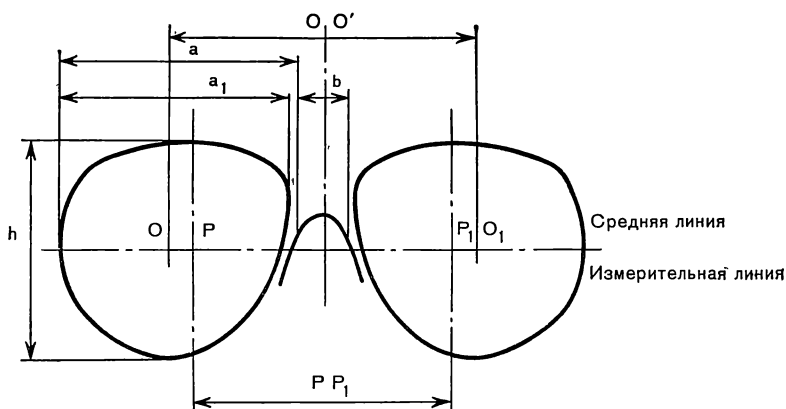


Рис. 53. Системы измерений очковых оправ.

ального расчета при смене модели оправы. Поэтому в нашей стране предусмотрена система касательных. При изготовлении копиров достаточно выдержать допустимое отклонение центра вращения копира от его геометрического центра в пределах  $\pm 0,1$  мм (рис. 54), чтобы обеспечить единство измерения.

#### МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОЧКОВЫХ ОПРАВ

Основными материалами, применяемыми для изготовления очковых оправ, являются: этрол, нейзильбер, алюминий, латунь, сталь и бронза.

Этрол (литевой и листовой) применяется для изготовления рамок, отдельных ободков, заушников, носовых упоров, для облицовки деталей металлических оправ. Для облицовочных деталей используются также сополимер и полиэтилен.

Нейзильбер применяется для изготовления ободков, заушников, переносиц, шарниров, арматуры носовых упоров, стержней для армировки заушников; алюминий — для изготовления заушников и декоративных накладок; латунь и сталь — для изготовления винтов, втулок, декоративных накладок; бронза — для изготовления пружин. Для защитнодекоративного покрытия металлических деталей оправ применяют золото, никель, хром.

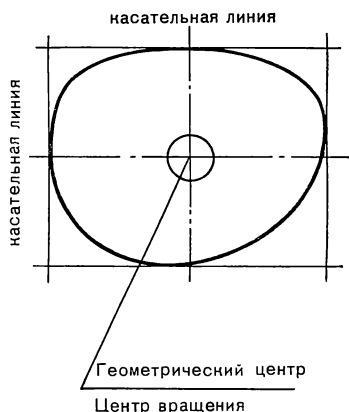


Рис. 54. Геометрический центр (центр его вращения) при системе касательных.



## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОЧКОВЫМ ОПРАВАМ, И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ

Оправы очков для оптической коррекции зрения должны изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 18491—79, по чертежам и образцам, утвержденным в установленном порядке. Детали оправ не должны окрашивать, раздражать, интоксигировать кожу лица под влиянием пота, нагревания и охлаждения.

Рамки оправ должны быть изогнуты как показано на рис. 55. Допускается не производить гибку рамок пластмассовых оправ, имеющих толщину  $\leq 5$  мм. Фасетные канавки должны находиться на одинаковом расстоянии от наружной поверхности ободков и не должны иметь местных выпуклостей и вогнутостей. Размеры фасетных канавок для пластмассовых ободков должны соответствовать указанным на рис. 56, а, для металлических ободков — на рис. 56, б.

Углы наклона носовых упоров должны соответствовать указанным на рис. 57. Носовые упоры должны быть расположены симметрично относительно вертикальной оси рамки оправы.

Верхние кромки шарниров (рис. 58) должны быть расположены не менее чем на 4 мм выше линии  $OO_1$ , соединяющей геометрические центры ободков. При этом угол между заушником и рамкой должен соответствовать указанному на рис. 58, а. Допускается располагать шарниры на линии  $OO_1$ , при этом угол между заушником и рамкой должен соответствовать указанному на рис. 58, б. Заушники, раскрытые до упора, должны быть расположены на одном уровне относительно осей ободков и составлять с прямой, проходящей через оси шарниров, угол в  $90 \pm 5^\circ$  (для оправ с прямыми рамками).

В появившихся моделях оправ с декоративными фигурными заушниками, независимо от их места крепления к ободку рамки оправы, линия заушника в конечной его части не должна отклоняться от положений, указанных на рис. 58.

Пластмассовые заушники на расстоянии не менее 30 мм от оси шарнира должны быть армированы металлическими стержнями. Заушник с шириной более 10 мм и толщиной не менее 3,5 мм может быть изготовлен без армировочного стержня. Часть армировочного стержня, прилегающая к шарниру, должна быть расплющена и на нее должен быть нанесен декоративный рисунок или заготовка с фигурным профилем. На армировочных стержнях непрозрачных пластмассовых заушников допускается отсутствие декоративного рисунка.

Конец винта должен выступать над поверхностью шарнира или контргайки на 0,5—1,0 мм. Расклепанные концы заклепок должны выступать над поверхностью шарнира не более, чем на 0,8 диаметра стержня заклепки.

Конец эластичного заушника должен быть закругленным. Заушники должны поворачиваться относительно оси шарнира

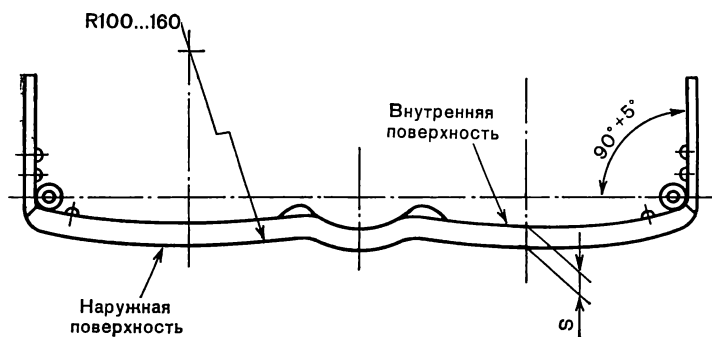


Рис. 55. Рамка оправы (вид сверху).

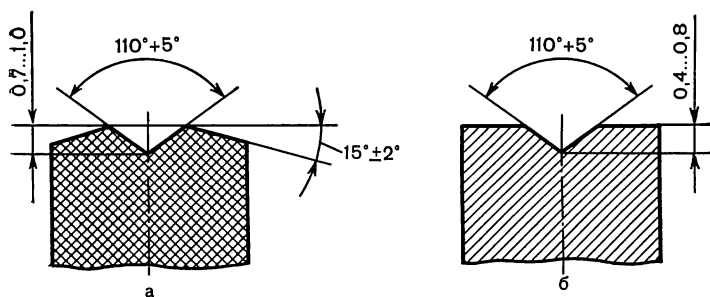


Рис. 56. Фасетные канавки оправ.

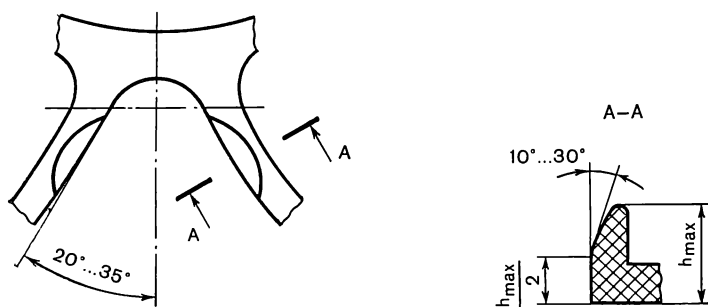


Рис. 57. Наклоны носовых упоров оправ.

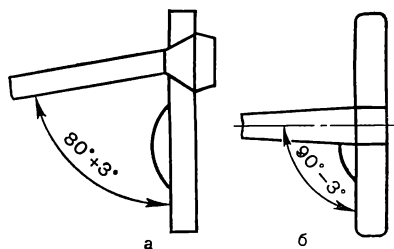


Рис. 58. Схема расположения шарниров оправ и угол наклона заушника к рамке оправы.  
Объяснение в тексте.

без заедания. При расположении заушника под углом  $60^\circ$  к рамке, расположенной горизонтально, заушник не должен перемещаться под действием собственной массы.

Эластичная часть заушника должна быть упругой по всей длине. Наконечник должен плотно прилегать к металлической части заушника и прочно удерживаться на ней.

На оправках не должно быть острых кромок и заусенцев. Поверхности деталей оправ должны быть полированными. Шероховатость наружных поверхностей шарниров должна соответствовать ГОСТ 2789—73 ( $R_a \leq 0,63$  мкм).

На поверхностях деталей оправ не должно быть раковин, царапин, трещин, наплывов припоя, клея и других дефектов, ухудшающих их внешний вид. На поверхностях металлических деталей не должно быть следов краски.

Винты шарниров не должны отвинчиваться при перемещении заушников. В пластмассовых деталях и склеенных соединениях оправ допускается наличие пузырей размером от 0,15 мм, если они не образуют скопления, а также размером от 0,15 до 0,25 мм не более трех на  $1 \text{ см}^2$ .

Паянные соединения деталей оправ должны быть прочными. Носовые упоры должны быть прочно соединены с рамкой или держателями, а шарниры — с рамкой и заушниками оправы.

Металлические детали оправ должны иметь следующие защитно-декоративные покрытия: из углеродистой стали, сплавов меди и никеля, хрома, никеля, золота, радия, палладия; из сплавов алюминия (анодное оксидирование с окраской в различные цвета). Допускается в качестве декоративной отделки на металлических деталях матированная поверхность, которая должна быть плотной и равномерной по всей поверхности. Отслаивание и подгар не допускаются.

Металлические детали оправ, облицованные пластмассой, а также шарниры, винты и заклепки, изготовленные из нейзильбера могут не иметь защитно-декоративного покрытия.

Раскрытие заушников оправ проверяют следующим образом: оправы с раскрытыми до упора заушниками должны касаться ровной горизонтальной поверхности в четырех точках. При этом допускается зазор между одной из точек и опорной поверхностью до 3 мм.

Поворот заушников без заеданий проверяют, поднимая за конец заушника сложенную оправу с закрепленным в средней части рамки грузом в 30 г. Прочность шарнирного соединения рамки и заушников проверяется следующим образом: каждый заушник устанавливается под углом  $60^\circ \pm 5^\circ$  к рамке оправы, расположенной горизонтально. При этом заушник не должен перемещаться под действием собственной массы.

Показатели внешнего вида оправ проверяются осмотром без применения увеличительных средств. При арбитражных испытаниях величины дефектов устанавливаются при помощи микроскопа с увеличением 50 крат.

Средняя наработка на отказ накладного шарнира должна составлять не менее 45 000 качаний заушника. Средний срок службы оправы не менее 3 лет.

## Глава 3

### КОРРИГИРУЮЩИЕ ОЧКИ

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ОЧКОВ

Очки предназначены для коррекции зрения, защиты глаз от излишнего количества видимых и невидимых излучений, ветра, пыли, механических повреждений и действия химически агрессивных жидкостей и сред. Они состоят из очковых линз и оправы, обеспечивающей правильное положение линз относительно глаз.

В зависимости от назначения очки можно подразделить на корригирующие, защитные и специальные. Кроме того, очки могут быть для постоянного ношения, для дали или близи и для работы с предметами, расположенными на каком-то определенном расстоянии.

Типы корригирующих зрение очков определяются типами очковых линз по ГОСТ 23265—78 и оправ по ГОСТ 18491—79 и их параметрами, в соответствии с прописью в рецепте на очки.

Например: 1. Очки бифокальные стигматические, непризматические положительные с рефракцией для дали +1 дптр, для близи +4 дптр на оба глаза, расстояние между центрами зрачков глаз 62 мм, в комбинированной оправе «ОК-9», размер светового проема 50 мм, расстояние между центрами носоупоров 18 мм.

2. Очки однофокальные астигматические, непризматические, отрицательные с рефракцией сферы — 3 дптр  $\ominus$  цил. — 1 дптр, ось 15° на левый глаз; сфера — 2,5 дптр  $\ominus$  цил. — 1 дптр, ось 105° на правый глаз, расстояние между центрами глаз 60 мм, в пластмассовой оправе «ОП-11», размер светового проема 48 мм, расстояние между центрами носоупоров 16 мм.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОРРИГИРУЮЩИМ ОЧКАМ

Очки для коррекции зрения должны изготавливаться по рецепту врача в соответствии с требованиями ГОСТ 19134—81 «Очки корригирующие. Технические условия». Очковые линзы и оправы должны соответствовать требованиям, изложенным в соответствующих государственных стандартах и другой нормативно-технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Номинальные значения задних вершинных рефракций однофокальных линз, каждого из главных сечений астигматических линз или каждой зоны многофокальных линз корригирующих

Таблица 15. Предельные отклонения задних вершинных рефракций линз в очках, дптр

Задняя вершинная рефракция линз	Предельные отклонения
До 0,5 включ.	$\pm 0,06$
Свыше 0,5 до 6,0 включ.	$\pm 0,12$
Свыше 6,0 до 15 включ.	$\pm 0,25$
Свыше 15,0	$\pm 0,35$

очков должны соответствовать рецепту врача с предельными отклонениями, указанными в табл. 15.

Расстояние между оптическими центрами линз очков должно соответствовать расстоянию между центрами зрачков глаз пациента  $A'$  указанному в рецепте врача. Если расстояние  $A'$  ( $O'O_1$ ) (рис. 59, а) не соответствует расстоянию между центрами ободков оправы  $A = a + b$ , подобранной пациенту, то необходимо предусмотреть децентрировку. В этом случае  $A'$  может быть меньше или больше расстояния  $OO_1$ .

В очках для близи допускается децентрировка вниз по вертикали в обеих линзах до 12 мм (рис. 59,б).

Предельные отклонения расстояний между оптическими центрами линз по горизонтали от величин  $A'$ , указанной в рецепте врача, не должны превышать следующих значений: при задней вершинной рефракции до 0,5 дптр —  $\pm 4$  мм, от 0,5 до 1 дптр —  $\pm 3$  мм, свыше 1 дптр  $\pm 2$  мм.

По вертикали предельные отклонения для всех рефракций должно быть не более  $\pm 1$  мм. Предельные отклонения главного сечения с наименьшей рефракцией у астигматических линз (ось цилиндра) или главного сечения у призматических не должны превышать следующих значений: при астигматической разности (призматическом действии) до 0,5 дптр (срад) —  $\pm 5^\circ$ , от 0,5 до 1,5 дптр (срад) —  $\pm 3^\circ$ , свыше 1,5 дптр (срад) —  $\pm 2^\circ$ .

В очках с бифокальными линзами верхняя точка линии раздела части для близи должна быть ниже линии, проходящей через центры ободков оправы, на 2 мм. Если при подборе оправы центры зрачков глаз пациента при взгляде вдаль не находятся

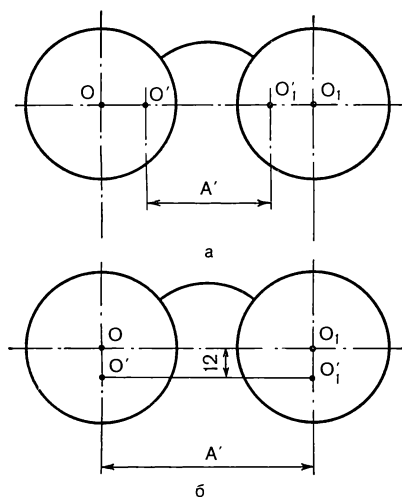


Рис. 59. Схема децентрировки очковых линз в оправе.

Объяснение в тексте.

на линии, проходящей через центры ободков оправы, то на рамке оправы следует нанести риски, указывающие линию, на которой находятся центры зрачков глаз пациента. В этом случае верхняя точка линии раздела части для дали от части для близи должна быть расположена ниже нанесенной риски на 2 мм. Предельное отклонение равно  $\pm 1$  мм. При этом расстоянии от верхней точки линии раздела до нижнего края ободка оправы не должно быть менее 18 мм. В детских и женских очках допускается уменьшение этого расстояния до 14 мм, о чем должна быть соответствующая запись в рецепте.

В очках с бифокальными цельными стигматическими непризматическими линзами должен быть обеспечен поворот части для близи к носу на  $10^\circ$ .

Линзы солнцезащитных очков должны быть одного цвета и иметь одинаковый коэффициент пропускания. Разность коэффициентов пропускания не должна быть более 10%.

Фасеты линз в очках должны быть равномерными. Видимые из-под ободка оправы мелкие сколы на поверхности фасетов в безободковых оправках образующие скопления, видимые невооруженным глазом, не допускаются.

Форма фасетированной линзы должна соответствовать форме ободков очковой оправы. Искажение формы очковых оправ в результате сборки не допускается. Ободки очков после сборки линз должны быть симметричны и иметь одинаковые размеры и форму. Зазоры между линзой и оправой, видимые невооруженным глазом, не допускаются. Линзы, вставленные в оправу, не должны смещаться и выпадать из ободков. Натяжения в линзах очков с металлическими ободками должно быть не более 100 нм на 1 см толщины.

Поверхность очковой оправы после сборки очков должна быть гладкой и не иметь следов инструментов, используемых при сборке очков.

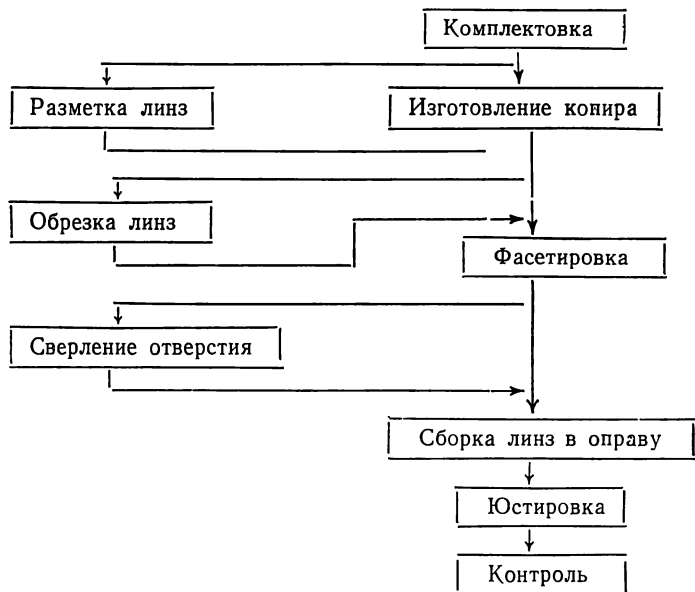
## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРРИГИРУЮЩИХ ОЧКОВ

Процесс изготовления корригирующих очков предусматривает следующие технологические операции: комплектовка, обрезка и обшипование, фасетировка, сверление для безободковых оправ, сборка и юстировка, контроль. Блок-схема изготовления очков представлена на схеме 1.

**Комплектовка.** В операцию комплектовки входит укладка в пакет-заказ указанных в рецепте линз и оправ, а при необходимости и разметка линз.

Прежде чем положить линзы и оправу в пакет-заказ, необходимо проверить соответствуют ли они данным, записанным на самом пакете (рефракция линз, модель, размер светового проема и расстояния между носопорами очковой оправы). Если есть дефекты, то проверяют не превышают ли они допустимые нормы.

Схема 1. Блок-схема процесса изготовления корректирующих очков



При изготовлении астигматических или призматических очков, а также очков, требующих децентрировку линз, надо осуществить разметку очковых линз, необходимую для выполнения дальнейших технологических операций.

Разметка при децентрировке осуществляется в основном при несоответствии размеров подобранной оправы из-за ширины переносицы и лица пациента с размером  $A'$ , указанным в рецепте. Чаще всего необходимо сместить оптический центр очковой линзы относительно геометрического центра светового проема очковой оправы к носу на половину разности величин  $(a+b)$  и  $A'$ .

$$2\delta = (a+b) - A' \quad \text{или} \quad \delta = \frac{a+b}{2} - \frac{A'}{2}. \quad (121)$$

В этом случае минимальный диаметр нефасетированной линзы  $D_{\text{л}}$  будет равен  $D_{\text{л}} = a + 2\delta$ . Подставив значение  $2\delta$ , получим в общем виде:

$$D_{\text{л}} = 2a + b - A'. \quad (122)$$

Возможны случаи, когда необходима децентрация к виску, т. е. при узком лице широко расставлены глаза с расстоянием между центрами глаз от 72 до 76 мм. Диаметр нефасетированной линзы, который обеспечит правильность сборки в очки, когда  $(a+b) < A'$ , будет равен, когда  $2\delta = A' - (a+b)$

$$D_{\text{л}} = a + A' - a - b = A' - b.$$

Таким образом

$$D_d = A' - b. \quad (122a)$$

Примеры: 1. Оправа имеет следующие характеристики:  
 $a=54$  мм,  $b=20$  мм, по рецепту  $A'=64$  мм, тогда  $D_d=64$  мм.

2. Оправа имеет следующие характеристики:  
 $a=44$  мм,  $b=20$  мм, по рецепту  $A'=74$  мм, тогда  $D_d=54$  мм.

Во время разметки оптический центр, нанесенный заводом-изготовителем, смывается и проставляется технологический центр, согласно требованиям децентрировки. В процессе дальнейшего изготовления очков линзу необходимо ориентировать по этому новому центру.

В связи с тем, что в настоящее время отсутствует единая система обозначения астигматических очков, то в практической работе приходится постоянно производить пересчет (транспозицию) обозначений астигматических линз в очках.

Обозначение рефракций астигматических очковых линз на конверте завода-изготовителя производится по двум взаимоперпендикулярным меридианам  $X$  и  $Y$ . На окончательном этапе подбора корректирующих очков применяется набор пробных очковых линз и призм, поэтому при выписке рецептов записи осуществляются в виде значения рефракции «сферы» с комбинацией рефракции «цилиндра» и указанием положения главного сечения с наименьшим или наибольшим алгебраическим значением рефракции. Встречаются записи рефракций в цилиндрических обозначениях.

Для исключения ошибок при пересчете целесообразно пользоваться формулами, представленными в общем виде.

При обозначении рефракций астигматических линз по двум меридианам, т. е. маркировка на конвертах серийно изготавливаемых линз в виде  $X, Y$  запись в рецепте в виде «сфера — цилиндр» будет представлена следующим образом:

$$\text{сфера } X \subset \text{цилиндр } (Y-X), \text{ ось } \beta^\circ, \quad (123)$$

где  $X$  — наименьшее алгебраическое значение рефракции;  $Y$  — наибольшее алгебраическое значение рефракции.

Эта запись может быть преобразована следующим образом:

$$\text{сфера } Y \subset \text{цилиндр } (X-Y), \text{ ось } (\beta^\circ + 90^\circ), \quad (124)$$

если  $\beta < 90^\circ$ , то угол увеличивается на  $90^\circ$ ,

если  $\beta > 90^\circ$ , то угол уменьшается на  $90^\circ$ .

Запись рефракций в цилиндрическом обозначении будет иметь следующий вид:

цилиндр  $X$ , ось  $(\beta + 90^\circ) \subset$  цилиндр  $Y$ , ось  $\beta^\circ$ .

Примеры.



1. Простой гиперметропический астигматизм:  
сф.  $0,0 \subset$  цил.  $+3,0$ , ось  $30^\circ$ .  
сф.  $+3,0 \subset$  цил.  $-3,0$ , ось  $120^\circ$ ,  
цил.  $+3,0$ , ось  $30^\circ$ ,  
линза  $0,0 +3,0$  дптр, т. е.  $X=0$ , а  $Y=3,0$  дптр.
  2. Сложный гиперметропический астигматизм:  
сф.  $+2,0 \subset$  цил.  $+4,5$ , ось  $45^\circ$ ,  
сф.  $+6,5 \subset$  цил.  $-4,5$ , ось  $135^\circ$ ,  
цил.  $+2,0$ , ось  $135^\circ \subset$  цил.  $6,5$ , ось  $45^\circ$ ,  
линза  $+2,0; +6,5$  дптр, т. е.  $X=+2,0$ ,  $Y=+6,5$  дптр.
  3. Простой миопический астигматизм:  
сф.  $-2,5 \subset$  цил.  $+2,5$ , ось  $150^\circ$ ;  
сф.  $0,0 \subset$  цил.  $-2,5$ , ось  $60^\circ$ ;  
цил.  $-2,5$ , ось  $60^\circ$ ;  
линза  $-2,5$  дптр,  $0,0$ , т. е.  $X=-2,5$ ,  $Y=0,0$  дптр.
  4. Сложный миопический астигматизм:  
сф.  $-5,0 \subset$  цил.  $+3,5$ , ось  $75^\circ$  C;  
сф.  $-1,5 \subset$  цил.  $-3,5$ , ось  $165^\circ$ ;  
цил.  $-1,5$ , ось  $75^\circ \subset$  цил.  $-5,0$ , ось  $165^\circ$ ;  
линза  $-5,0 -1,5$  дптр, т. е.  $X=-5,0$  дптр,  $Y=-1,5$  дптр.
  5. Смешанный астигматизм:  
сф.  $-1,5 \subset$  цил.  $+2,5$ , ось  $15^\circ$ ;  
сф.  $+1,0 \subset$  цил.  $-2,5$ , ось  $105^\circ$ ;  
цил.  $-1,5$ , ось  $105^\circ \subset$  цил.  $+1,0$ , ось  $15^\circ$ ;  
линза  $-1,5 +1,0$  дптр, т. е.  $X=-1,5$ ;  $Y=+1,0$  дптр.
- Возможен также случай записи сложного миопического астигматизма в виде «сфера — цилиндр», но с разными знаками:  
сф.  $-3,0 \subset$  цил.  $+1,75$ , ось  $90^\circ$ . При пересчете:  
сф.  $-1,25 \subset$  цил.  $-1,75$ , ось  $0^\circ$  (или  $180^\circ$ );  
цил.  $-3,0$ , ось  $0^\circ \subset$  цил.  $-1,25$ , ось  $90^\circ$ ;  
линза  $-3,0, -1,25$  дптр  $X=-3,0$ ;  $Y=-1,25$  дптр.

Так как абсолютное значение рефракций положительных линз возрастает с уменьшением радиуса кривизны преломляющей поверхности, то маркировка на пакете астигматических положительных линз двух рефракций осуществляется вначале с наименьшим абсолютным значением, а потом с наибольшим, что совпадает с наименьшим алгебраическим значением.

В отрицательных астигматических линзах абсолютные значения рефракции возрастают с увеличением радиуса кривизны, а алгебраическое значение уменьшается. Поэтому на пакете астигматических отрицательных линз маркировка осуществляется следующим образом: вначале наименьшее алгебраическое значение рефракции, а потом наибольшее. В астигматических линзах со смешанными рефракциями маркировка имеет следующий вид: вначале отрицательная рефракция, а затем положительная.

Таким образом, при маркировке астигматических линз серийного производства соблюдается единственное правило: вначале проставлена рефракция с наименьшим алгебраическим значением, а затем с наибольшим.

При разметке астигматических линз тонко отточенным парафиновым карандашом наносят линию по трем точкам, совпадающим с горизонталью светового проема очковой оправы. В случае, если ось цилиндра прописанных астигматических оч-

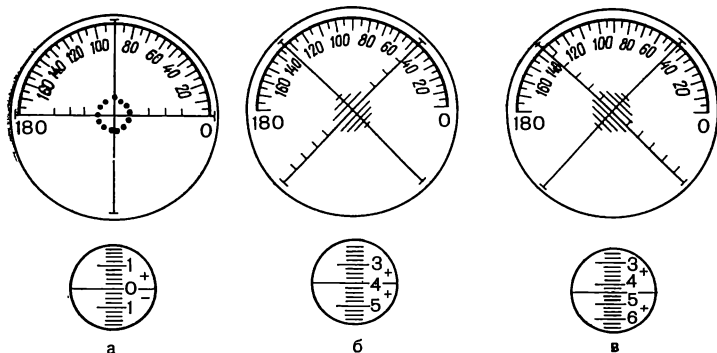


Рис. 60. К разметке астигматических очковых линз.  
Объяснение в тексте.

ков горизонтальна ( $0^\circ$  по шкале ТАБО\*), то линию наносят по трем точкам, проставленным на заводе-изготовителе. При вертикальной оси цилиндра ( $90^\circ$  по шкале ТАБО) линию наносят перпендикулярно к направлению, проходящему через три точки, проставленные заводом-изготовителем.

При другом положении оси цилиндра разметку производят следующим образом. В диоптриметре указатель (сетку градусной шкалы) поворачивают на угол, который соответствует положению оси цилиндра, прописанному в рецепте. Далее линзу устанавливают на диоптриметре и, вращая моховичок указателя диоптрий, добиваются резкого изображения параллельных полос при отсчете наибольшей рефракции. При этом линзу устанавливают на диоптриметре так, чтобы середина группы параллельных полос все время совпадала с центром перекрестья указателя-сетки. Затем линзу поворачивают до тех пор, пока полосы не будут параллельны установленному заранее указателю-сетке градусной шкалы. После этого намечают новые три точки, через которые парафиновым карандашом проводят разметочную линию.

Пример: Прописаны астигматические очки: для правого глаза сфера  $+1,0 \text{ } \text{цил.} +3,0$ , ось  $45^\circ$ ; для левого глаза сфера  $+1,5 \text{ } \text{цил.} +3,0$ , ось  $135^\circ$ .

Для правого глаза берется линза  $+1,0 +4,0$  дптр, а для левого линза  $+1,5 +4,5$  дптр.

При разметке правой линзы указатель — штрих перекрестья поворачивают с нулевого положения (рис. 60, а) на  $45^\circ$ . Установив линзу для правого глаза на диоптриметре, поворачивают моховичок указателя диоптрий до положения наиболее четкого изображения параллельных полос и снимают отсчет, который

\* Стандартизированная шкала обозначения положения главных сечений астигматических и призматических линз в очках, наименованная по названию учреждения, которым она была предложена: Technische Ausschuss für Brillen-optik (Германия, 1917 г.).

должен быть равен  $+4,0$  дптр. Центр группы параллельных полос перемещают в центр перекрестия указателя-сетки и поворачивают линзу, не смещая центра группы полос, до тех пор пока группа полос не будет параллельна указателю-штриха перекрестия, т. е. ось цилиндра линзы устанавливается под углом  $45^\circ$  к горизонтальной линии, проходящей через оптический центр линзы (рис. 60, б). После этого производят простановку трех точек, через которые проводится разметочная линия. Крайние две точки заводской разметки смывают.

При разметке левой линзы указатель-штрих перекрестия устанавливают на  $135^\circ$ . Далее по четкости видимых параллельных полос снимают отсчет, равный  $+4,5$  дптр. Также перемещают центр группы параллельных полос в центр перекрестия и поворачивают линзу до совпадения направления группы полос с указателем-шкалой (рис. 60, в). После чего производят те же манипуляции, что и при разметке правой линзы.

При разметке призматических линз наносят стрелки, аналогичные разметочной линии в астигматических линзах. Здесь также возможны три случая.

1. При указании в рецепте положения главного сечения призматических линз  $0^\circ$  или  $180^\circ$  (база к носу или виску), разметочную стрелку проводят через три точки, проставленные заводом-изготовителем. При этом указатель стрелки обозначает место нахождения базы.

2. При указании в рецепте положения главного сечения призматических линз  $90^\circ$  или  $270^\circ$  (база вверх или вниз) разметочную стрелку проводят перпендикулярно направлению  $0^\circ$ — $180^\circ$ . Как и в первом примере указатель стрелки обозначает место нахождения базы.

3. При указании в рецепте положения главного сечения призматических линз, отличного от приведенных выше примеров, следует провести разметку с помощью диоптриметра. Для этого надо повернуть указатель-штрих перекрестия до указанного в рецепте угла, под которым должно находиться главное сечение. Установив линзу на диоптриметре, поворачивают ее до тех пор, пока центр световой марки (центр группы параллельных полос в астигматической линзе) не совместится с указателем-штрихом на том делении, которое соответствует ее призматической рефракции. Далее проставляют три точки, после чего производят нанесение разметочной стрелы и смывают две крайние точки, проставленные ранее заводом-изготовителем.

**Пример:** Прописана для левого глаза следующая коррекция:

Сфера  $+1,75$   $\subset$  цил.  $+0,5$ , ось  $175$ —призма 2, база  $180^\circ$ .

Получить призматическое действие за счет децентрировки в данном случае не удастся, т. к. имеется небольшое значение рефракции линзы. Поясним это. База призмы в 2 срад лежит в направлении  $180^\circ$ , ось цилиндра  $0,5$  дптр около базы ( $175^\circ$ ). Чтобы получить призматический эффект в 2 срад, оптический центр линзы следует сместить относительно геометрического центра светового проема оправы (при соответствии  $a+b$  оправы  $A'$  глаз пациента) в на-

правлении  $0^\circ$  (к виску) на величину  $s=10 \cdot \Delta / F'_{\text{в}}$ , в нашем случае 11,5 мм. Естественно, что это невозможно, если весь диаметр линзы равен 52 мм, а световой проем выбранной оправы  $a=50$  мм. Поэтому при изготовлении такой линзы необходимо изготовить линзу либо диаметром 65 мм, либо разной толщины с учетом положений оси цилиндра у базы.

Ратеновский оптический завод комбината К. Цейс Йена выпускает комплект приборов, оборудования и инструментов, с помощью которого осуществляется современный технологический процесс подготовки очковых линз для сборки в различные типы очковых оправ, сборка, юстировка и контроль корректирующих очков.

В этом комплекте для процесса комплектовки предусмотрены прибор для механического центрирования очковых линз «Оптомеран-101» и станок для изготовления копиров «Оптосекан-300».

Прибор для механического центрирования предназначен для центрирования или децентрирования очковых линз, установки главного сечения астигматических линз или базы призматических линз, в соответствии с прописью в рецепте на очки и подобранной пациентом оправой, а также положения линии раздела и части для близи в бифокальных линзах. Прибор обеспечивает возможность закрепления линз на фиксирующем блоке (резиновом или металлическом).

Центрировочный прибор (рис. 61) состоит из основания,

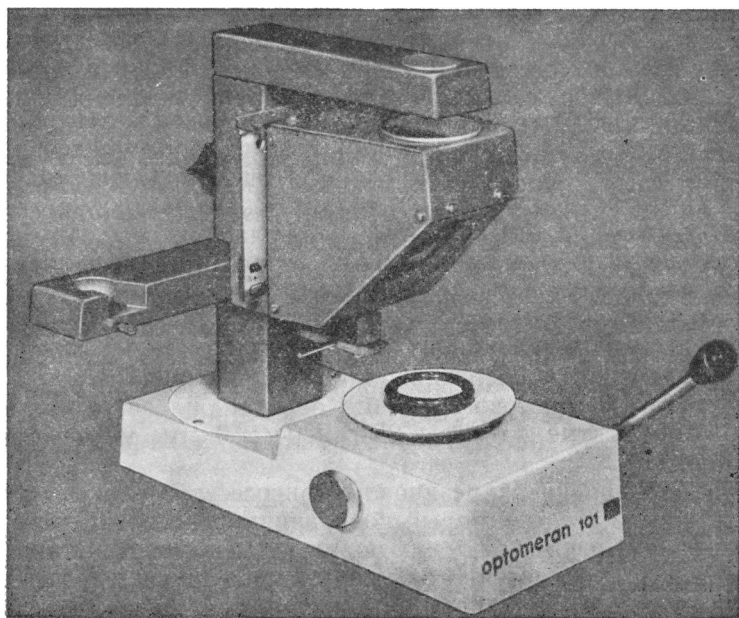


Рис. 61. Центрировочный прибор комбината К. Цейс Йена.  
Объяснение в тексте.

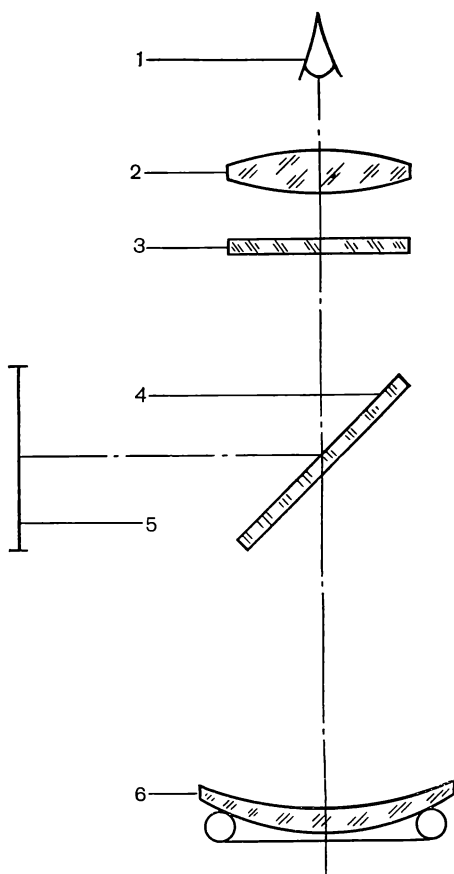


Рис. 62. Принципиальная оптическая схема центрировочного прибора комбината К. Цейс Йена. 1 — глаз наблюдателя; 2 — лупа; 3 — защитное стекло; 4 — полупрозрачное зеркало; 5 — универсальная центрировочная шкала; 6 — очковая линза.

стойки, проектора, установки для разогрева легкоплавкого металла «Оптомеран-400». В основание вмонтирован подъемный столик с рукояткой подъема и фиксатором. На стойке имеется держатель с отверстием, планка для установки проектора, консоль с лупой. Проектор представляет собой корпус с направляющей, в котором имеется прорезь для вставки универсальной центрировочной схемы и окно под углом 45°. В этом окне установлено полупрозрачное зеркало, а сверху его предохраняет защитное стекло.

Принципиальная оптическая схема центрировочного прибора представлена на рис. 62. Очковую линзу укладывают на резиновое

кольцо подъемного столика и, наблюдая через лупу, производят необходимые перемещения, ориентируясь по видимой одновременно универсальной центрировочной шкале.

Технические характеристики прибора для механического центрирования очковых линз: увеличение лупы 1,5 крат; масштаб увеличения универсальной центрировочной шкалы, изображения формы светового проема оправы и очковой линзы 1:1:1, габаритные размеры 250×230×250 мм; масса (с проектором) 5,9 кг.

При блокировке на резиновом присосе, последний устанавливают в держателе, который поворачивают на 90°. С помощью рукоятки (см. рис. 61) поднимают столик с линзой и таким образом она закрепляется с резиновым фиксирующим блоком.

Соединение металлического фиксирующего блока с линзой осуществляют заливкой из тигля расплавленной массы легкоплавкого металла через отверстие в держателе. После того, как металл остыл, подъемный столик с линзой и металлическим

фиксирующим блоком опускают с помощью рукоятки. Линза, соединенная с фиксирующим блоком, готова к дальнейшей операции — фасетированию на полуавтоматическом станке по определенному копиру.

Большое разнообразие форм ободков очковых оправ и значительные вариации в их размерах обусловили необходимость организации производства станков для изготовления копиров и пластмассовых плат-заготовок. Внедрение их в практику позволило во много раз сократить время изготовления копира, исключить ручной труд и повысить точность изготовления.

Станок для изготовления копиров «Оптосекан-300» предназначен для получения необходимых для дальнейшей обработки очковых линз копиров, соответствующих, с достаточной точностью, форме светового проема, предназначенной для сборки оправы. Принцип пантографа обеспечивает конгруэнтность между формой светового проема оправы и вырезанной формой пластмассового копира. Этот станок (рис. 63, а) состоит из неподвижной части, на которой имеются места для закрепления очковой оправы (вверху) — рис. 63, б; и заготовки копира (внизу), и из подвижной части со шупом пантографа и высокоскоростным шпинделем с пальчиковой фрезой. Обводя, последовательно, по внутреннему контуру ободка оправы шуп пантографа, пальчиковой фрезой вырезают необходимый копир (рис. 63, в). Технические характеристики станка: масштаб копирования 1:1, диаметр копиров от 25 до 82 мм, машинное время изготовления копира 30 с, габариты 340×280×300 мм, масса 14,5 кг.

**Обрезка и обшипывание** предусматривают получение очковой линзы определенной конфигурации, соответствующей форме светового проема в ободковой оправе или от выбранной формы в безободковых оправках. Для качественного резания необходимо обеспечить постоянство давления инструмента по всему периметру разреза, причем направление давления должно быть всегда перпендикулярным к обрезаемой поверхности линзы. Это достигается изменением угла наклона алмазной оправки в зависимости от рефракции линз. Режущий инструмент представляет собой оправку с хвостовиком, в которую кристаллический алмаз закрепляется так, чтобы режущая кромка выступала за поверхность оправки. При этом применяют медно-цинковый припой марки ПМЦ-36 по ГОСТ 23137—78 с серебряным припоем марки ПСр 50 Кд или ПСр 45 по ГОСТ 19738—74.

Для обрезки очковых линз рекомендуется иметь два алмаза — «тяжелый» и «легкий». «Тяжелый» — для обрезки толстых линз (свыше 3 мм толщиной). Масса такого алмаза от 0,12 до 0,2 карат по ГОСТ 10111—78, группа 4-я и 5-я (карат — 0,2 г). «Легкий» алмаз предназначен для обрезки линз с толщиной по линии разреза не более 3 мм. Его масса может колебаться в пределах 0,04—0,12 карат (ГОСТ 10111—78, группа 2-я и 3-я).

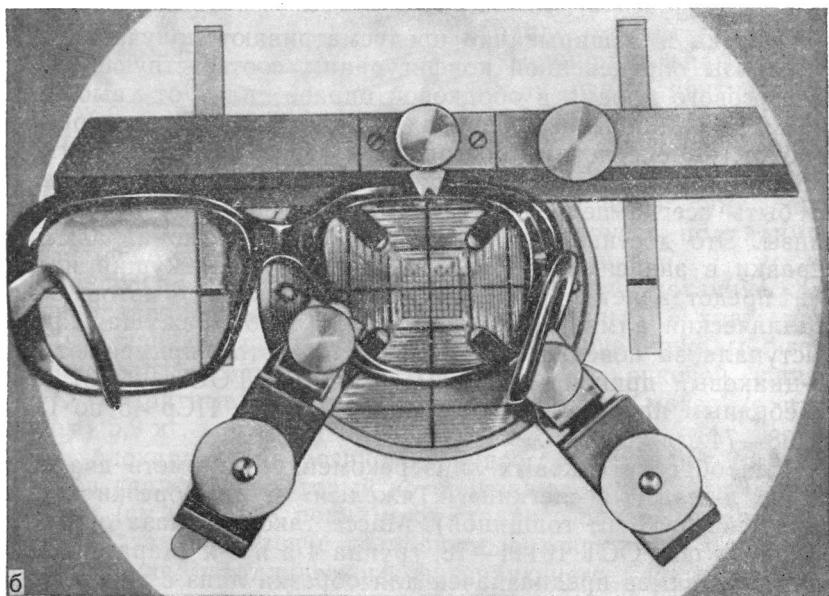
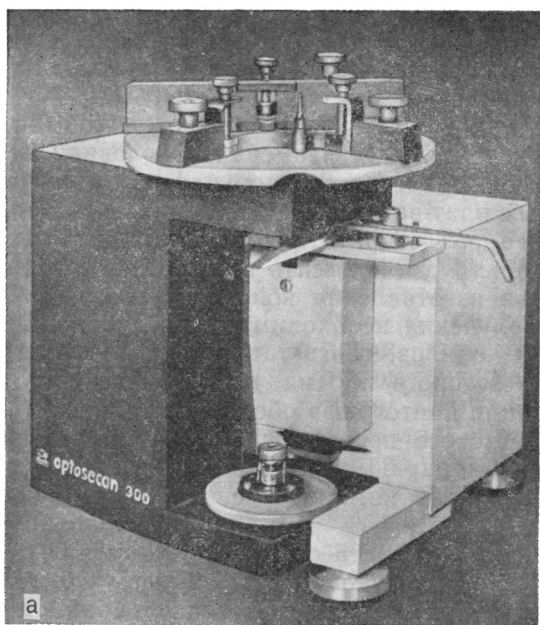
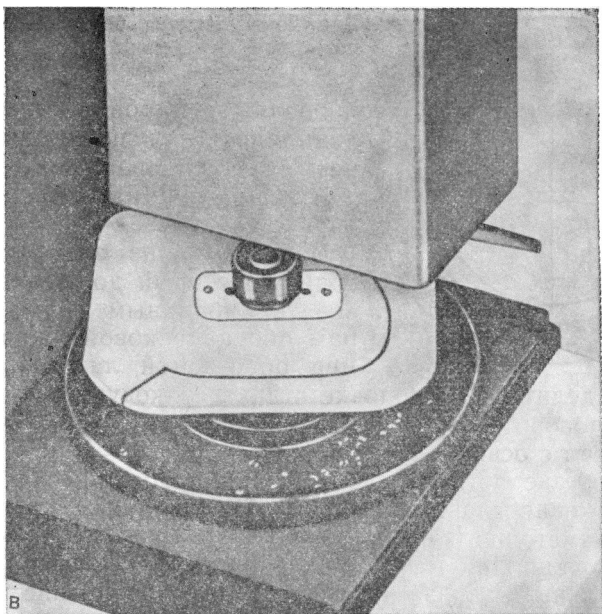


Рис. 63. Станок для изготовления копиров комбината К. Цейс Йена.



Обрезку очковых линз производят на специальном станке, который крепится на столе и имеет копировально-разметочное приспособление. Предельные размеры образаемых линз: 60 мм с диоптрийностью от  $-30$  до  $+20$  дптр; цена деления шкалы поворотного стола  $5^\circ$ , а интервалы между числовыми отметками  $20^\circ$ .

Станок (рис. 64) состоит из корпуса 1; вертикального шпинделя, несущего поворотный стол 2 и копир; прижима очковой линзы 3; поворотного вильчатого кронштейна 4 с державкой 5; несущего водила 6, которое скользит нижним упором по копиру; оправка со стеклорезом 7, угол наклона которой изменяется в зависимости от рефракции очковой линзы; центрировочного штифта 8.

Перед началом работы

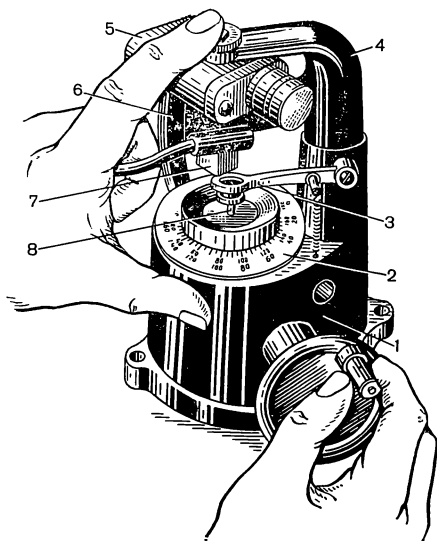


Рис. 64. Станок для обрезки очковых линз.

Объяснение в тексте.



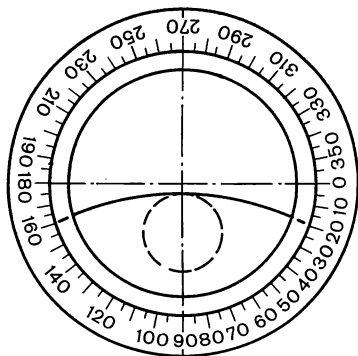


Рис. 65. Установка бифокальных линз на поворотном-разметочном столе станка для обрезаки очковых линз.

проводят настройку алмаза, т. е. подыскивают лучшую грань для резки и устанавливают соответствующий угол наклона алмазной оправки.

Обрезка линз производится по копиру, который должен соответствовать выбранной форме и размерам ободка очковой оправы. Размер обрезаемой линзы устанавли-

вается по делительной головке станка. Очковую линзу укладывают на поворотном-разметочном столе так, чтобы оптический центр совпал с осью центрировочного штифта.

При обрезке астигматических или призматических очковых линз положения главных сечений устанавливают по шкале поворотного-разметочного стола в соответствии с требованиями рецепта на очки. При централизованном изготовлении очков по индивидуальным заказам такие линзы, прошедшие разметку, укладывают на столе так, чтобы разметочная линия проходила между 0° и 180°, т. е. горизонтально. При обрезке бифокальных цельных линз концы линии раздела на краю линз должны быть смещены на 10° относительно индекса 90° (рис. 65), а при обрезке спеченных бифокальных линз с круглой центрированной частью для близи самая нижняя точка окружности части для близи должна быть также смещена относительно 90° шкалы поворотного-разметочного стола вправо или влево, в зависимости от того какая линза обрезается — левая или правая.

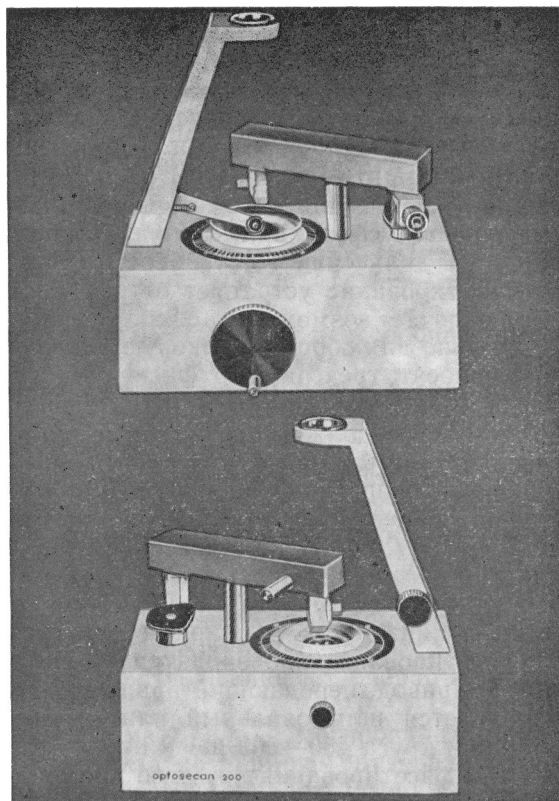
Установленную на столе очковую линзу фиксируют прижимом, далее, левой рукой подводят упор водила к копиру до соприкосновения алмаза с линзой. Осуществляя левой рукой небольшой нажим, правой рукой поворачивают маховичок от себя, пока стол не совершит полный оборот.

В момент резания нельзя поворачивать маховичок на себя, производить повторное движение по нанесенной ранее алмазом риску, сильно нажимать на упор, резать край линзы. Следует иметь в виду, что шкала делительной головки точно соответствует только круглому шаблону, поэтому при обрезке фигурных линз следует вводить поправку на размер, а также то, что станок позволяет производить обрезку линз диаметром только до 60 мм.

Модель станка для обрезки очковых линз производства Ратеновского оптического завода «Оптосекан-200» удачно отличается от других станков введением центрирующего устройства, что позволяет совместить на одном рабочем месте и за один прием разметку и обрезку очковых линз. Сам станок (рис. 66) состоит из корпуса, в котором размещен механизм

Рис. 66. Станок для  
обрезки очковых линз  
Ратеновского оптиче-  
ского завода.

Объяснение в тексте.



передачи синхронного вращения разметочного столика и оси установки копира. Сбоку корпуса находится маховичок для вращения столика. Вокруг столика нанесена круговая шкала ТАБО для разметки линз.

На внутренний контур столика надевается сменная резиновая накладка, обеспечивающая вакуумный присос линз к столику и укладывается вакуумный держатель. Над корпусом возвышается консоль, на которой установлена лупа и дополнительный прижим в виде подпружиненного рычага с роликом. На качающемся коромысле с рукояткой у одного конца закреплена оправка с режущим алмазом, а у другого поводок, скользящий по краю установленного копира. На поводке имеется винтовой рычажный щуп, с помощью которого изменяют радиальный размер обрезаемой линзы в пределах  $\pm 10$  мм от размера установленного копира. Для обеспечения надежного прилегания очковых линз всех типов и размеров к станку прилагают различные по размеру резиновые накладки. Максимальный диаметр обрезаемой линзы — 65 мм, габариты  $230 \times 166 \times 233$  мм, масса — 4,5 кг.

Общипывание производится круглогубцами (реже — плоскогубцами). Для того чтобы не появлялись радиальные трещины в линзе, при общипывании следует отделяемый слой отрывать от линзы, а не подламывать. Припуски на обрезку для тонких линз равны 1 мм, а для толстых и линз сложных форм —  $1,5 \div 2$  мм. Операции обрезки и общипывания необходимо производить в защитных очках. С расширением применения алмазных кругов на полуавтоматических фасетированных станках уменьшается сфера применения станков для обрезки очковых линз, а в дальнейшем потребность в них отпадет совсем.

**Фасетирование** устраняет острые края в линзе после обрезки, исключает возможность легкого скалывания по краю линзы.

Обычно для сборки в очковую оправу с пластмассовым ободком наносят трехгранную фаску под углом  $\alpha = 120^\circ$ ; ширина фаски  $1 \div 1,5$  мм (рис. 67, а). Для сборки в металлический ободок этот угол должен быть меньше, но не менее  $90^\circ$ . При фасетировке толстых краев в отрицательных очковых линзах, для создания лучшего внешнего вида очков, следует с выпуклой стороны нанести обычную фаску, а с вогнутой — более широкую (рис. 67, б). Для сборки в безободковую оправу наносится плоский фасет с маленькими фасками по краям, ширина которых  $0,2 \div 0,4$  мм (рис. 67, в). При обработке линз с плоским фасетом и линз с толстым краем фаски следует заполировать.

Фасетирование производится на станках, имеющих электродвигатель, привод, передающий вращение на вал, на котором устанавливается шлифовальный или полированный круг. Число оборотов круга 450—500 в 1 мин.

Для фасетирования вручную применяют шлифовальные круги плоского прямого профиля (ГОСТ 2424—60). Использование твердого круга при фасетировании резко снижает производительность труда, так как очень быстро происходит его затупление («засаливание»). Применение мягкого круга приводит к тому, что из-за мелкой осыпи и сколов на линзе невозможно

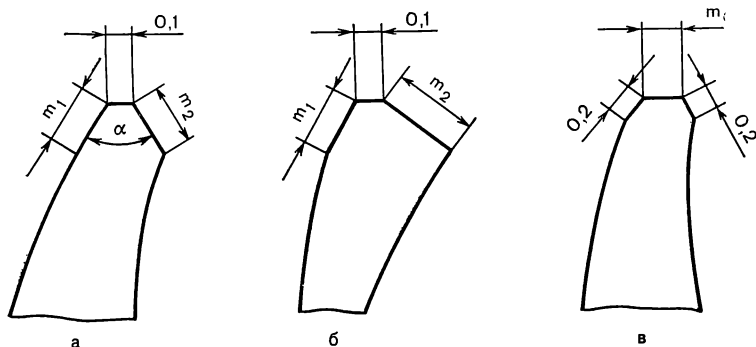
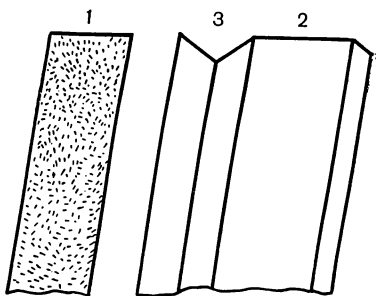


Рис. 67. Форма фасетов очковых линз.  
Объяснение в тексте.

Рис. 68. Профили фасетировочных кругов.

Объяснение в тексте.



получить качественный фасет. Практически лучше всего условиям фасетирования очковых линз удовлетворяют шлифовальные круги марки КЗ-220 СТ<sub>1</sub> или КЗ-220 СТ<sub>2</sub>.

Использование алмазного круга при фасетировании сокращает время обработки и повышает качество фасета. Для фасетирования очковых линз целесообразно применять алмазный круг с синтетическим алмазом АСР зернистостью 28/20 на металлической связке. Наружный диаметр алмазного круга 110÷150 мм. Оптимальная скорость вращения алмазного круга 600 оборотов в 1 мин.

Для полировки фасетов используются электрокорундовые круги с твердой керамической связкой и зернистостью 380—420. При «засаливании» или «биении» круга, его рабочую поверхность исправляют алмазным карандашом (реже — победитовым роликом).

В зарубежной практике в настоящее время широко используются полуавтоматы для фасетирования очковых линз. При этом применение алмазных кругов исключает операцию обрезки линз.

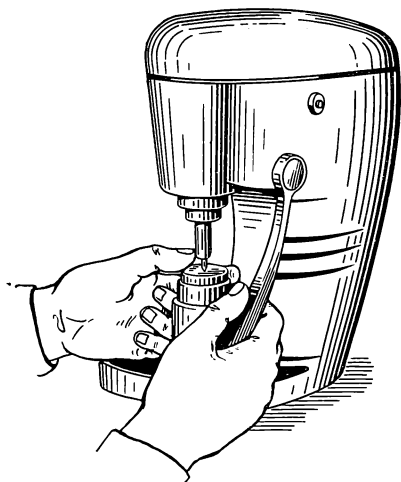
Принцип работы полуавтомата для фасетирования заключается в том, что очковая линза по копиру обтачивается на кругах. Автоматический цикл состоит из трех позиций: 1 — грубая обточка линзы по копиру на алмазном круге (фасет плоский); 2 — точная обработка керамическим кругом плоского фасета по заданному размеру; 3 — закладка углового фасета керамическим фигурным камнем (рис. 68).

Конфигурация копира зависит от формы светового проема очковой оправы. Размер фасетированной линзы устанавливается микрометрическим винтом, перемещающим верхнее звено станка.

В салонах-магазинах и оптических производствах находят применение полуавтоматический фасетировочный станок производства Ратеновского оптического завода «Оптосупан-301», который обеспечивает фасетировку силикатных и пластмассовых линз. Отличие его от аналогичных полуавтоматических станков других зарубежных фирм в том, что принцип шлифовки основан на автоматической смене направления вращения линз в процессе работы относительно вращения обрабатывающего круга. Такой метод обеспечивает высокую производительность и оптимальное использование алмазных и керамических кругов.

Станок оснащен блоком фасетошлифовальных инструментов: плоский алмазный круг, V образный алмазный круг, V об-

Рис. 69. Настольный сверлильный станок.



разный электрокорундовый круг. Очковая линза автоматически, после достижения заданного размера, перемещается с одного инструмента на другой. После завершения рабочего цикла крепежный вал с зажатой линзой поднимается. С помощью копира воспроизводится необходимая форма фасетированной линзы. Имеется возможность изменения размера очковой линзы по отношению к номинальному значению на  $\pm 10$  мм. Охлаждение произ-

водится эмульсолом. Технические данные станка «Оптосупан-301»: число оборотов крепежного вала — 8 в 1 мин; скорость шлифовального круга — 22 м/с, наружный диаметр шлифовального круга — 110 мм, диаметр крепежного отверстия шлифовального круга 20 мм; толщина алмазного покрытия — 2 мм, концентрация алмаза 75%; зернистость шлифовальных кругов: для предварительного шлифования — 120...160 мкм, для чистовой обработки — 40...63 мкм; диаметр обрабатываемой линзы от 20 до 85 мм; усилие зажима линзы 40Н (4 кг); габариты станка: 490×480×460 мм, масса — 70 кг.

Для осуществления полного технологического цикла «Оптосупан-301» комплектуется двумя описанными выше изделиями: прибором для механического центрирования очковых линз «Оптомеран-101» и станком для изготовления копиров «Оптосекан-300».

**Сверление отверстий** в очковых линзах необходимо для сборки очков в оправках, предусматривающих крепление линз винтами. Сверление производится алмазными сверлами или твердосплавным сверлом на настольных сверлильных станках (рис. 69). Кроме того, отверстия в линзе можно получить методом долбления с помощью ультразвука на специальной установке.

Сверло представляет собой алмазное зерно, закрепленное в стальной державке медно-серебряным припоем. Алмаз очень хрупкий, поэтому сверлить следует осторожно, не давить сильно на стекло, периодически поднимать сверло, давая возможность проникнуть вглубь отверстия смачивающей жидкости (керосин, скипидар или раствор канифоли в скипидаре). Во избежание сколов и трещин по периферии отверстия сверление следует производить с двух сторон: просверлив линзу до половины толщины с одной стороны, перевернуть ее и сверлить с другой стороны навстречу.

При получении отверстия методом долбления происходит воздействие на стекло свободного абразивного порошка при помощи металлического инструмента — долбяка, имеющего цилиндрическую форму, который движется прямолинейно — возвратно-поступательно с вибрацией в диапазоне ультразвуковой частоты. При подведении рабочей плоскости долбяка к абразивной суспензии необходимо между инструментом и стеклом постоянно сохранять зазор в 0,05—0,1 мм, иначе колебания будут затухать, что резко сказывается на производительности процесса долбления. При долблении отверстий, в момент выхода инструмента на нижнюю поверхность стекла, возникают сколы. Для устранения их целесообразно помещать под линзу стеклянную пластинку.

Несмотря на явные преимущества использования ультразвуковой установки для получения отверстий в линзах, она из-за сложности настройки и ухода, а также высокой стоимости еще не нашла широкого практического применения.

**Сборка и юстировка очков.** Перед сборкой очков следует проверить качество оправы, а также соответствие размеров оправы фасетированным линзам. Эти линзы не должны иметь на краях сколы, трещины, точки, пузыри, видимые невооруженным глазом. Дефекты (за исключением трещин), которые закрываются при сборке ободками оправы, допускаются. После сборки производят юстировку очков.

**Сборка очков в пластмассовые оправы.** Перед вставкой линз в пластмассовую оправу следует разогреть ободки оправы до эластичного состояния. Для разогрева может быть использован теплый воздух (фен), электроплитка с асбестовой крышкой, инфраруж (инфракрасная лампа). За рубежом, кроме перечисленных выше средств, оправы подогревают в массе мелкого стекляруса диаметром 0,5—0,7 мм. Температура, при которой следует разогревать оправы, должна находиться в пределах 80—100 °С.

Наиболее опасным с противопожарной точки зрения является разогрев оправ над электроплиткой. Использование инфраружа менее производительно, чем другие средства разогревания оправ. Более совершенным способом разогрева следует признать разогрев в массе стекляруса и с помощью фена: высокая производительность, оправы не тускнеют, более легкие условия труда.

Ратеновский оптический завод в комплекте технологического оборудования для сборки очков выпускает два вида устройства: для разогрева всей рамки оправы в тигле с мелким стеклярусом — «Оптомеран-300» и для локального разогрева частей оправ (заушника, одного ободка) теплым воздухом — «Оптомеран-301». Технические характеристики «Оптомеран-300» (рис. 70, а). Температура нагрева стекляруса максимум 250 °С; длительность прогрева стекляруса около 45 мин, время разо-

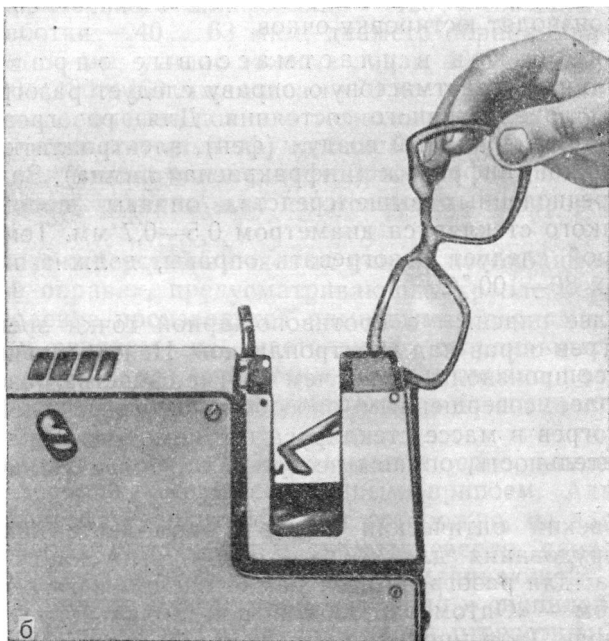
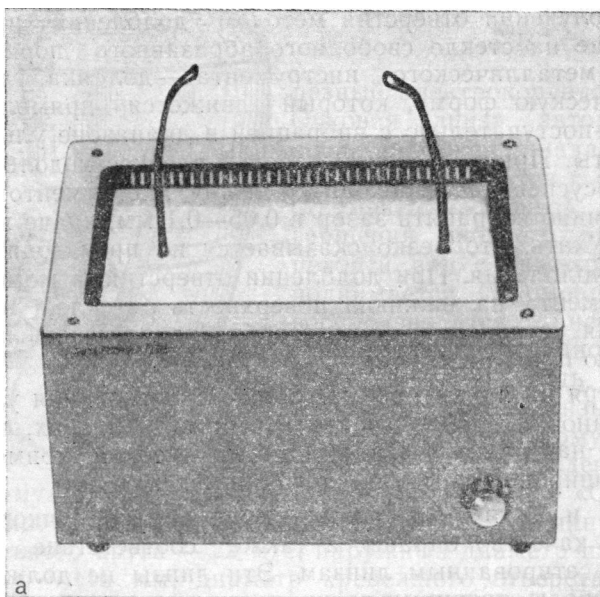


Рис. 70. Устройство для разогрева пластмассовых очковых оправ Ратеновского оптического завода.  
Объяснение в тексте.

Рис. 71. Полярископ.

грева рамки оправы  $10 \div 20$  с; потребляемая мощность 115 В·А; габариты  $240 \times 145 \times 145$  мм; масса около 2,2 кг. «Оптомеран-301» (рис. 10, б). Температура разогретого воздуха  $180^\circ\text{C}$ ; потребляемая мощность 400 В·А; габариты  $280 \times 82 \times 135$  мм; масса около 3 кг.

Сборка очков в металлических оправы. В ободковой металлической оправе вначале отвинчивают колодочку ободка, затем вставляют фасетированную линзу в ободок и затягивают колодочку ободка винтом. Сильно затягивать ободки нельзя, так как это может вызвать поломку линзы или появление сколов.

В безободковых металлических оправках сначала вывинчивают крепежные винты, затем устанавливают линзы по отверстиям и закрепляют винтами. Между головкой винта и линзой следует предусмотреть прокладку двух шайб, одной тонкой металлической (сразу после головки), а другой — мягкой пластмассовой. Между стержнем винта и линзой помещают пластмассовую трубочку, чтобы предохранить линзы от трещин.

Проверка степени натяжения, возникающего в линзе из-за сильного механического сжатия при сборке в металлические оправы, производится на полярископе ДКС-125 (рис. 71). Он состоит из подсвечного экрана с поляризующей пленкой (анализатор) и окуляра, который тоже имеет поляризующую пленку (поляризатор). Через окуляр виден равномерно окрашенный экран. Очки устанавливаются на экране. Если имеется натяжение в линзе, то в местах натяжения изменяется цвет. По измененному цвету можно судить о силе натяжения.

Варианты сборки в комбинированные оправы зависят от того, какой ободок имеет оправка — пластмассовый, металлический или оправка безободковая (крепление винтами). Некоторую специфику могут иметь очки, у которых закрепление линз производится стяжкой капроновой нитью.

**Юстировка очков.** После сборки очков производят выправку оправы согласно требованиям ГОСТ 18491—73 и проверяют правильность установок линз относительно оправы.

При сборке и выправке очков применяют набор специальных инструментов (рис. 72): тиски, приспособление для выгибки ободка по радиусу, приспособление для натягивания капроновой нити, плоско- и круглогубцы, молоточки с наковальней,

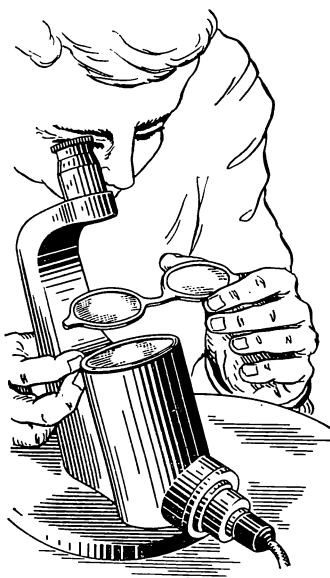
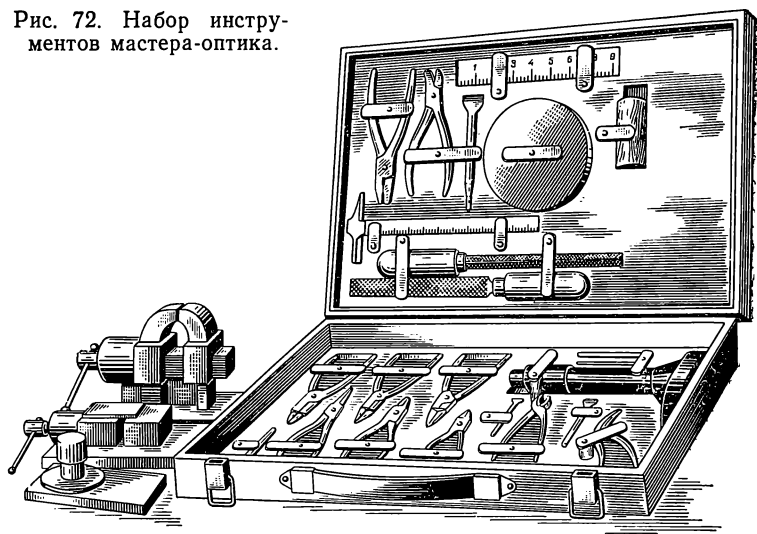




Рис. 72. Набор инструментов мастера-оптика.



отвертки, торцевой ключ, напильники и т. д. Эти инструменты необходимы также и при ремонте очковых оправ.

**Контроль готовых очков.** Вначале проверяют соответствие прописям на пакете-заказе: рефракцию, положение оптических центров и положение главных сечений (если это необходимо). Контроль производится с помощью диоптриметра и масштабной линейки.

Далее проверяется выправка очковой оправы: положения заушников, рамки, носовых упоров и их крепления. Путем осмотра проверяют отсутствие сколов, осыпи, царапин и т. п., качество поверхности очковой оправы, прочность крепления очковой линзы в оправе. Проверку прочности крепления линз в оправе осуществляют следующим образом: линзу по центру зажимают большим и указательным пальцами и производят при среднем усилии поворот кисти рук на  $90^\circ$  в одну, а затем в другую сторону, а потом с таким же усилием производят давление в стороны, перпендикулярные плоскости ободка оправы.

Специальное приспособление, предусмотренное ГОСТ 19134—81 «Очки корректирующие. Технические условия», должно обеспечивать усилие нажатия в центре линзы в двух направлениях, перпендикулярных к ее поверхности, до 5Н (0,5 кгс).

При контроле светозащитных очков проверяют на белой бумаге или установке типа «негатоскоп» равенство по визуальному коэффициенту пропускания и одноцветность линзы. При этом контролер руководствуется нормативными требованиями, изложенными в соответствующих стандартах на очковые линзы и оправы.

## Глава 4

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОЧКИ

Когда коррекция зрения обычными корригирующими очками не дает желаемого эффекта, назначают специальные очки и другие средства коррекции зрения.

**Призматические очки.** Призматические очки предназначены для коррекции зрения при патологии мышечного аппарата глаз. Принцип действия их заключается в следующем. Пусть левый глаз фиксирует точку  $C$  (рис. 73, а), изображение которой получается в области желтого пятна  $B$ . Если тот же глаз при меньшем угле конвергенции (рис. 73, б) фиксирует не точку  $C$ , а точку  $D$ , то для того, чтобы в области желтого пятна  $B$  получить изображение точки  $C$ , надо поставить перед глазом призму основанием к носу. Призма позволит осуществить фиксацию с меньшим напряжением конвергенции.

**Бифокальные сферопризматические очки (БСПО)** — применяются как средство коррекции, облегчающее деятельность аккомодации и конвергенции при работе на близком расстоянии (рис. 74). БСПО получают путем наклеивания под контролем специального прибора сферопризматических элементов (часть для близи) на основную линзу, предназначенную для коррекции зрения вдаль. Сферопризматический элемент содержит сферическую рефракцию  $+2,25$  дптр и призматическое действие в 6 срад основанием к носу.

Это обеспечивает оптическую установку глаз к расстоянию 450 мм при условии, что основные линзы полностью корригируют аметропию для дали.

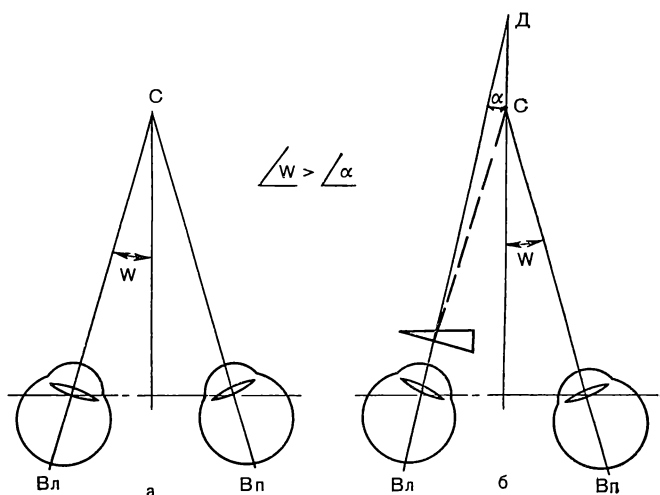


Рис. 73. К схеме коррекции призматическими линзами.  
Объяснение в тексте.

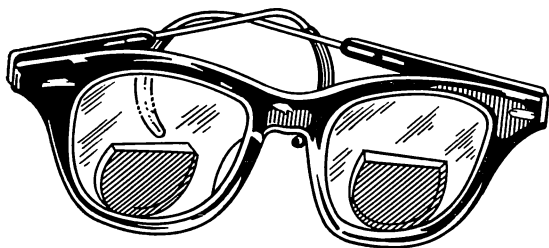


Рис. 74. Бифокальные сферопризматические очки.

Некоторые сложности при сборке связаны с наличием левого и правого элементов из-за их пантоскопической формы. В настоящее время реализуется предложение канд. техн. наук Ю. А. Утехина по изготовлению сферопризматических элементов прямоугольной формы, что исключает разделение их при изготовлении на левые и правые и при сборке. Так как они конгруэнтны, то будут размещаться на основных линзах только основаниями друг к другу (к носу).

Очки для чтения лежа. Призматические очки могут иметь и другое назначение. Если призмы расположить перед глазами так, чтобы они отклоняли лучи не в горизонтальном, а в вер-

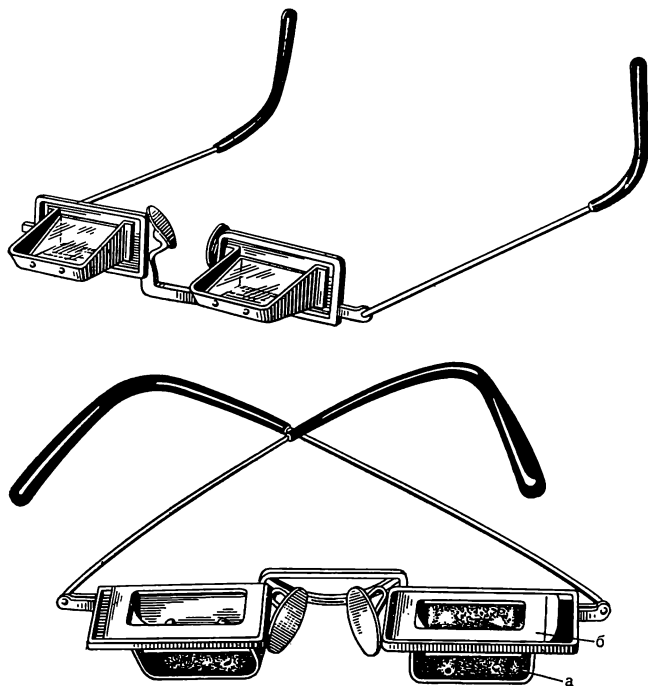


Рис. 75. Общий вид очков для чтения лежа.

тикальном направлении, то такие очки позволяют читать книгу, лежащую на груди больного. Очки (рис. 75) состоят из оправы, в которой установлены две призмы полного внутреннего отражения, изменяющие ход лучей на  $90^\circ$ , и заушников для фиксации очков на лице пациента. При необходимости коррекции зрения очки могут быть снабжены корригирующими насадками, которые изготавливаются в индивидуальном порядке по рецепту врача.

**Изейконические очки** предназначены для выравнивания масштаба изображения на глазном дне при афакии и анизометропии. Практика назначения и изготовления изейконических очков, в которых увеличение достигается только одной линзой, показала незначительный общий эффект их, так как достаточно большого увеличения очки не обеспечивают.

Более эффективными являются двухлинзовые изейконические очки или очки, у которых линзы отнесены на специальной державке от плоскости рамки оправы. Такие очки называются анизодистантными. В нашей стране организовывается подбор и изготовление изейконических очков по предложению канд. мед. наук И. А. Вязовского (рис. 76). Эффект коррекции такими очками достигается тем, что двухлинзовая телескопическая система для одного глаза увеличивает изображение, а для другого — уменьшает, что обеспечивает восприятие изображения двух глаз равной величины. Увеличение изображения имеем тогда, когда в оправу вставлена положительная линза, а линза, которая расположена ближе к глазу, отрицательная. При необходимости уменьшения изображения все происходит наоборот.

**Гемианопические очки** предназначены для коррекции зрения при односторонней гемианопсии — слепоты в пределах правой или левой половины поля зрения обоих глаз, которая поддается оптической коррекции.

На рис. 77 показаны очки комбината К. Цейс Йена. Конструкция очков предусматривает зеркала, жестко соединенные с очковой оправой и с корригирующими линзами. За зеркальным устройством расположено матовое стекло с прозрачной зоной

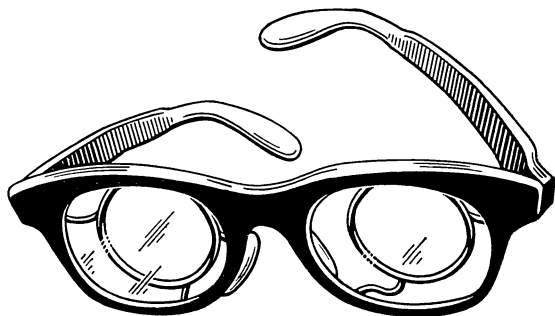


Рис. 76. Изейконические очки, предложенные И. А. Вязовским.

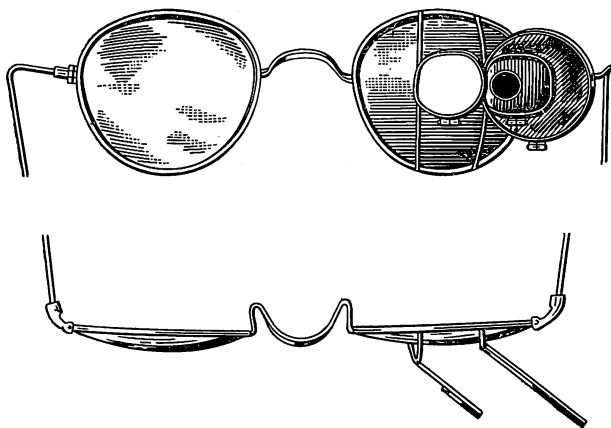


Рис. 77. Общий вид гемианопических очков.

диаметром 8 мм. Пациент, наблюдая сквозь это отверстие, видит только поле зрения, создаваемое зеркалами. При этом у него появляется иллюзия прямого наблюдения объектов сквозь прозрачную зону очков. Антирефлексное покрытие поверхностей зеркал исключает появление сдвоенных контуров и повышает четкость изображения.

Принцип действия очков при коррекции односторонней гемианопсии заключается в следующем. При слепоте, например, в области правой половины поля зрения обоих глаз левая половина поля зрения воспринимается правой половиной сетчатки левого глаза, а правая половина поля зрения изображается на правой половине сетчатки правого глаза с помощью соответствующим образом установленных зеркал.

**Дырчатые очки.** В случаях высокой степени миопии или в послеоперационный период необходимо применение очков, которые искусственно создавали бы условия узкого зрачка. Известно, что сужение зрачка глаза приводит к уменьшению диаметра кружков рассеяния, т. е. изображения объектов становятся при этом резче. Такими очками и являются дырчатые очки. Особенностью их является то, что по всей поверхности линз каким-либо способом нанесены прозрачные и непрозрачные участки. Размеры прозрачных участков (диаметры отверстий) порядка 1—2 мм, а количество и схема размещения их указываются в каждом случае врачом.

**Солнцезащитные очки** рекомендуются чаще всего носить при наличии большой солнечной радиации (горы, солнечный зимний день или летний день на юге).

Цветные линзы в очках должны быть одного цвета: зеленые, желто-зеленые, темно-коричневые, нейтральные (дымчатого цвета). Разность коэффициентов пропускания между двумя линзами в очках не должна быть более 10%.

**Оптические средства коррекции слабовидения.** Среди других средств коррекции зрения значительное место занимают устройства для коррекции зрения слабовидящих лиц и лиц с острым зрением. В настоящее время разработан достаточно широкий набор средств коррекции и компенсации слабовидения как чисто оптических, так и оптико-электронных. При их создании необходимо было стремиться к малой массе, эстетическому виду при наиболее полном решении функциональной задачи.

Установив с помощью таблиц остроту зрения, из зависимости остроты зрения от разрешающей способности глаза  $V = \frac{1}{\gamma}$ , определяют угол разрешающей способности слабовидящего глаза, что является первым исходным функциональным параметром средства коррекции или компенсации зрения. Следующие факторы, которые принимаются во внимание при создании и подборе средства коррекции: контрастность наблюдаемых предметов ( $K_{\text{макс}}=1$ ), освещенность в пространстве предметов (для темных предметов на светлом фоне необходима освещенность от 200 до 1000 лк, а светлых — на темном фоне — от 5 до 10 лк); диаметр зрачка глаза, место изображения на сетчатке глаза, допустимые аберрации выбранной оптической системы.

При достаточно большом количестве свободных параметров достичь при расчете системы значения аберрации в пределах, в которых их влияние на разрешающую способность незначительно, представляется возможным, варьируя соотношениями между увеличением, диаметром, полем зрения и сферической аберрацией и дисторсией. В случае однолинзовой системы этого достичь в большинстве случаев невозможно и тогда следует устанавливать приоритетность того или иного параметра.

Все оптические средства для коррекции и компенсации слабовидения и остаточного зрения можно подразделить, исходя из их назначения, на средства для коррекции зрения вдаль и средства для коррекции зрения вблизи. В первом случае применяются телескопические системы, во втором — еще и различные лупы.

**Телескопические очки.** Телескопические очки предназначены для повышения остроты зрения у слабовидящих (лиц, имеющих остроту зрения на корригируемом глазу не менее  $0,2 \div 0,05$ ), что достигается относительным повышением разрешающей способности за счет увеличения на сетчатке изображений рассматриваемых объектов и одновременной коррекцией аметропии. Очки (рис. 78) состоят из двух линз — положительной (объектив) 1 и отрицательной (окуляр) 2; последняя обычно состоит из двух склеенных линз для устранения хроматической аберрации.

Принцип действия телескопических очков с нулевой рефракцией для эметропического глаза с сильно пониженной остротой зрения заключается в следующем: линзы 1 и 2 устанавливают так, чтобы задний фокус линзы 1 совпадал с передним

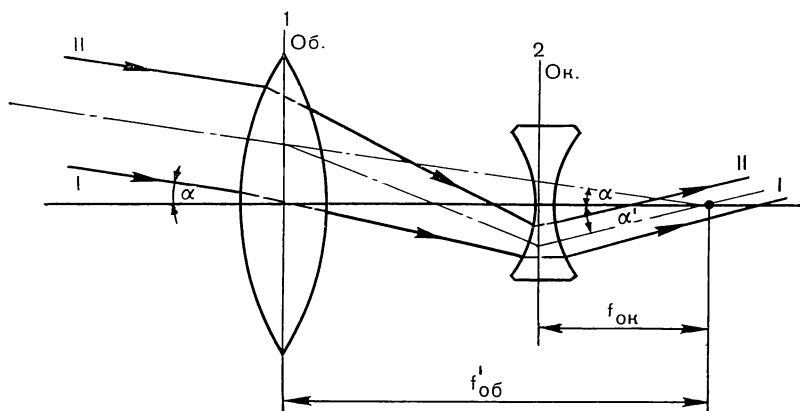


Рис. 78. Принципиальная оптическая схема телескопических очков.  
Объяснение в тексте.

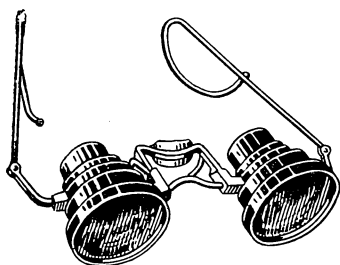


Рис. 79. Общий вид телескопических очков.

фокусом линзы 2. Тогда падающий на линзу под углом  $\alpha$  к оптической оси параллельный пучок лучей I—II после преломления в системе обеих линз выйдет из нее также параллельным, но под углом  $\alpha'$  к оптической оси, большим чем угол  $\alpha$ . Отношение углов  $\alpha'/\alpha$  и представляет собой увеличение системы.

Для корригирования аметропии глаза с сильно пониженной остротой зрения линзы 1 и 2 устанавливают следующим образом: для миопического глаза их надо сблизить, чтобы задний фокус линзы 1 оказался за передним фокусом линзы 2, а для гиперметропического — раздвинуть, чтобы задний фокус линзы 1 оказался впереди переднего фокуса линзы 2. В обоих случаях задача заключается в том, чтобы изображение удаленного объекта совпадало с дальней точкой корригируемого глаза.

Телескопические очки (рис. 79) выполнены в виде металлической очковой оправы с эластичными заушниками, несущей два тубуса с основными оптическими системами, имеющими нулевую рефракцию и дающими увеличение в 1,72 крат.

При коррекции аметропического глаза телескопические очки для рассматривания удаленных объектов снабжают окулярными насадками, а для рассматривания близких — объективными насадками и насадкой с матовым стеклом для окклюзии.

Таким образом, рассматривание близких объектов (например, при чтении) в телескопических очках возможно лишь при выключении одного глаза, для чего объективную насадку на-

девают на один тубус (для работающего глаза), а насадку с матовым стеклом — на другой.

Окулярные и объективные насадки изготавливают в индивидуальном порядке по рецепту врача.

Очки для слабовидящих предназначены для повышения остроты зрения у слабовидящих и лиц с остаточным зрением (с остротой зрения от 0,2 до 0,02). Очки изготавливают четырех типов (рис. 80).

1. Бифокальные монокулярные очки для близи применяют для чтения при нормальном рабочем расстоянии. Увеличение: 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 и 6 крат. Оптическая система очков представляет собой телескопическую систему в сочетании с положительной насадкой для чтения. Верхняя часть поля зрения используется для ориентировки в пространстве без увеличения. При необходимости может быть введена коррекция аметропии.

2. Бифокальные бинокулярные очки для дали. Верхняя часть очков имеет двукратное увеличение для дали. Поле зрения в пространстве объектов  $12^\circ$ . Нижняя часть используется для ориентирования и наблюдения без увеличения. Обязательно вводится коррекция аметропии для дали. При желании такие очки могут быть превращены в монокулярные для близи; для этого на одну телескопическую систему надевают положительную насадку, а на другую — окклюдор.



Рис. 80. Очки для слабовидящих.  
Объяснение в тексте.

Таблица 16. Технические характеристики отечественных монокуляров

Показатели	Монокуляры		
	ЛПШ-474	МПГ 7×50	МП 8×30
Видимое увеличение, крат	4	7	8
Удаление выходного зрачка, мм	17	14	12
Угловое поле зрения, град	10	7	8,5
Диаметр выходного зрачка, мм	4,8	7,14	3,75
Угловой предел разрешения, с	7,2	6	6,6
Световой диаметр объектива, мм	20	50	30
Масса, кг	0,15	0,44	0,3



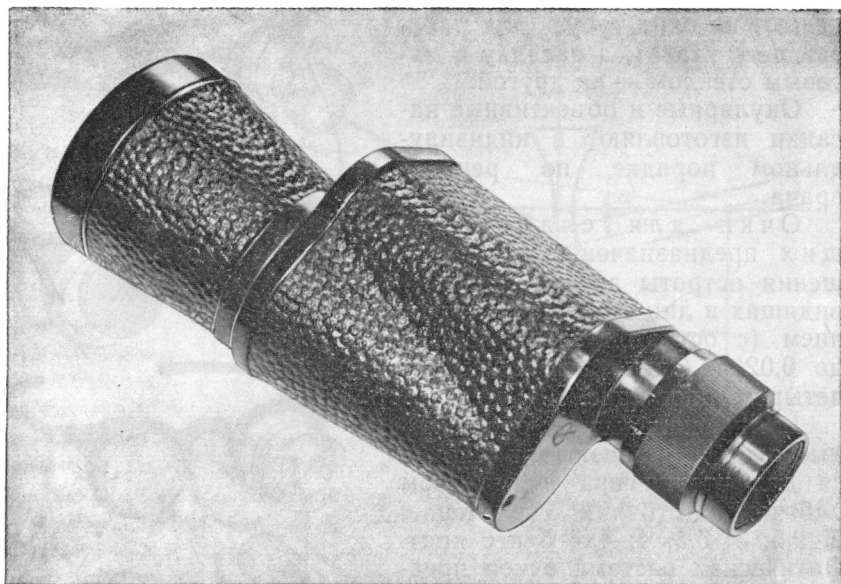


Рис. 81. Телескопическая лупа ЛПШ-474.



Рис. 82. Призменный светосильный монокуляр МПГ 7×50.

3. Унифокальные монокулярные очки с упором для близи. Очки применяются только для чтения. Увеличение 6 и 8 крат, диаметр поля зрения соответственно 35 и 26 мм, рабочее расстояние от первой поверхности линзы до объекта — 38 и 27 мм. Они удобны для тех, кому трудно удерживать читаемый текст на расстоянии резкого видения. При необходимости может быть введена корригирующая линза.

4. Унифокальные монокулярные очки с осветителем для близи применяются только для чтения. Увеличение: 10, 12, 15 и 20 крат, диаметр поля зрения соответственно 18, 13, 10 и 5 мм, рабочее расстояние от первой поверхности линзы до объектива так же соответственно 2, 17, 13 и 8 мм.

Эти очки предназначены для пациентов со значительно сниженным зрением. Читаемый текст держат в контакте с ламподержателем. При необходимости может быть введена корригирующая линза. Для подбора очков слабовидящим предназначен набор «НКС-1», описанный в главе 8.

Для улучшения рассматривания предметов на близком расстоянии лица с пониженным зрением используют ручные, опорные, накладные и часовые лупы, т. е. лупы немедицинского назначения. Заполнить ряд недостающих луп удалось, создав во Всесоюзном НИИ медицинского приборостроения опорную лупу с регулируемой фокусировкой, лупу с нагрудным упором, лупу опорную с ручкой и лупу стационарную с осветителем. Последняя предназначена для чтения письма, рисования и других работ слабовидящими с остротой зрения от 0,08 и выше. Лупа состоит из стойки, закрепленной на столе с помощью трубки-ны или фланца; фракционного устройства, обеспечивающего подъем или опускание рычажной системы; двух рычагов с рамкой, в которую устанавливают сменные элементы (лупу в оправе и светофильтры). Увеличение луп 1,5, 2,5 и 3 крат, поле зрения соответственно 130, 70 и 50 мм, освещенность от малогабаритных люминесцентных ламп в плоскости предмета не менее 500 лк.

Монокуляры (рис. 81 и 82) являются достаточно эффективным средством коррекции зрения слабовидящих вдаль с увеличителем 4 и более крат. Отечественной промышленностью выпускаются три вида монокуляров, которыми могут пользоваться по предписанию офтальмолога слабовидящие: телескопическая лупа с рукояткой ЛПШ-474, призмный светосильный монокуляр МПГ 7×50 и призмный широкоугольный монокуляр МП 8×30. В табл. 16 приведены их технические характеристики.

### Глава 5

## КОНТАКТНЫЕ ЛИНЗЫ

### КЛАССИФИКАЦИЯ И НЕКОТОРЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНЫХ ЛИНЗ

Современные контактные линзы являются роговичными. Исходя из материала, применяемого при изготовлении, делятся они на жесткие, мягкие и полужесткие (полумягкие) линзы.

Контактные линзы имеют форму мениска, где внутренняя поверхность прилежит к передней поверхности роговицы, а наружная обращена к векам.

На внутренней поверхности выделяют три функциональные зоны: оптическую, краевую и зону скольжения. Оптическая зона является центральной и представляет собой сферическую часть линзы диаметром 5—7 мм, предназначенную для коррекции зрения. Краевая зона (шириной около 0,4 мм) является переходной от внутренней поверхности линзы к наружной и имеет форму, обеспечивающую максимальное действие сил, удерживающих линзу на глазу, и обмен слезной жидкости под линзой. Зона скольжения находится между оптической и краевой зонами с шириной 1—2 мм. Оптимальное соответствие зоны скольжения определенному участку поверхностей роговицы является условием успешной адаптации контактной линзы и обеспечивает сохранение в этой области непрерывного слоя жидкости, предохраняющего роговицу от повреждения при движениях линзы. Наибольшее соответствие контактной линзы поверхности роговицы и равномерное распределение давления на роговицу происходит тогда, когда зона скольжения имеет сферическую форму.

По форме внутренней поверхности контактные линзы могут быть осесимметричными (сферические) и торическими.

Осесимметричные линзы имеют оптическую зону сферической формы (как внутренняя, так и наружная поверхности); зону скольжения — осесимметричной многорадиусной; краевая зона всех линз стандартная. При необходимости коррекции хрусталикового астигматизма и торичности роговицы до 0,5 мм, наружная поверхность должна иметь торическую форму.

Торические линзы подразделяются на сфероторические и центральноторические.

Сфероторические линзы имеют оптическую зону сферической формы; зона скольжения — тороид, наружная поверхность — сферическая, а при наличии хрусталикового астигматизма — торическая. Этими линзами корригируется астигматизм, когда торичность роговицы свыше 0,5 до 0,8 мм.

Центральноторические линзы имеют оптическую зону и зону скольжения торической формы, а наружную поверхность либо сферической формы, либо торической (при наличии хрусталикового астигматизма). Торичность роговицы свыше 0,8 мм. Для исключения вращения торической линзы и стабилизации ее положения на роговице применяются линзы с призматическим балластом. Для коррекции пресбиопии используют бифокальные контактные линзы.

Геометрия линз представлена на рис. 83. Размеры на рисунке совпадают с технологическими параметрами, где  $r$ -радиусы точения сфер на сферотокарном станке, а расстояния между центрами сфер ( $\delta$ ) равны подаче шпинделя этого станка.

Оптическая зона контактной линзы определяется радиусом кривизны (он называется чаще всего базовым радиусом линзы),  $r_1$  и  $r_2$  — крайние радиусы кривизны зоны скольжения. Разность  $r_2 - r_1$  обозначает степень сферичности контактной линзы. У линз, предназначенных для коррекции больных со сложными формами роговицы, между крайними радиусами кривизны зоны скольжения может быть еще несколько зон точения с промежуточными зонами.

По диаметру контактные линзы разделяют на микролинзы с диаметром менее 8 мм; линзы среднего диаметра от 8,1 до 10 мм и макролинзы диаметром свыше 10 мм.

При обследовании больного, помимо осмотра глазного дна, исследования рефракции, определяют размеры глазной щели, диаметры роговицы и зрачка, положение век по отношению к роговице, состояние глазного яблока и число миганий в минуту, так как эти показатели являются исходными для выбора некоторых параметров контактных линз.

Одним из основных показателей, влияющих на выбор диаметра контактной линзы, является горизонтальный диаметр роговицы, значение которого колеблется в пределах 10—12 мм. Диаметр контактной линзы выбирается примерно на 1,5—2 мм меньше значения замеренного диаметра роговицы. За норму принято расположение нижнего края века по краю лимба,

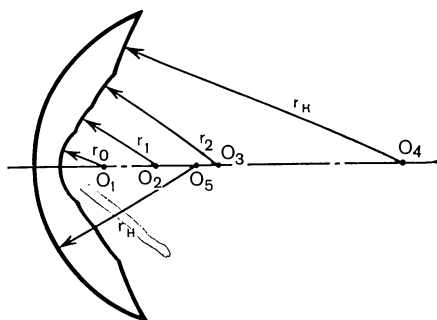


Рис. 83. Геометрия контактной роговичной линзы.

Объяснение в тексте.

а верхнего века — ниже верхнего края лимба на  $\frac{1}{3}$  диаметра роговицы. При более низком положении нижнего века рекомендуется увеличение общего диаметра контактной линзы. Однако при наличии «жестких» век (усиленный мышечный тонус, приводящий к значительному давлению века на линзу и возможность задерживания ее верхним веком) рекомендуется уменьшение диаметра контактной линзы.

Таким образом, контактная линза меньшего диаметра выбирается при малом диаметре роговицы, узкой глазной щели, «жестких» веках, малых радиусах кривизны роговицы, значительной степени асферичности роговицы и выраженном ее астигматизме.

Контактная линза большего диаметра выбирается при большом диаметре роговицы, широкой глазной щели, низком расположении нижнего века, большого радиуса кривизны роговицы, малой степени асферичности роговицы.

Для средних размеров зрачка диаметром 3 мм при рассеянном свете диаметр оптической зоны принимают равным 7 мм, чтобы вся область зрачка при движении линзы находилась в пределах оптической зоны. Выбор меньшего диаметра линзы, а следовательно малой оптической зоны, приводит к появлению бликов или искажению изображений предметов вследствие попадания периферической зоны линзы в область зрачка. Слишком большой диаметр линзы, а следовательно оптической зоны, уменьшает зону скольжения, что отрицательно сказывается на переносимости линзы.

Форма внутренней поверхности контактной линзы должна соответствовать форме роговицы.

Регулярная роговица, по результатам исследования Всесоюзного научно-методического центра контактной коррекции зрения Минздрава СССР при Московском НИИ глазных болезней им. Гельмгольца, характеризуется следующими параметрами, определенными по фотокератограммам:  $r_0$  — не менее 7 мм, асферичность не более 1 мм, асимметрия не более 0,4 мм, разность торичности на периферии и в центре не более 0,3 мм.

Оценка соответствия внутренней поверхности пробной или индивидуальной линзы форме роговицы производится при наблюдении флюоресцентной картины при диффузном освещении в щелевой лампе с синим светофильтром и при прямом фокальном освещении.

Оптическая сила индивидуальной контактной линзы определяется, исходя из исследования клинической рефракции коррируемого глаза.

Определение оптической силы индивидуальной контактной линзы производится так: после двукратной инстилляцией 0,5% декаинового раствора одевается пробная контактная линза, оптическая сила которой наиболее близка к определенной клинической рефракции глаза. Истинная рефракция подбираемой контактной линзы определяется с помощью сферических очко-

вых линз из набора пробных очковых линз и призм. Останавливаются на пробной линзе, при которой удастся достичь максимальной остроты зрения. При этом следует иметь в виду, что при коррекции миопии необходимо останавливаться на минимальном значении оптической силы пробной линзы, при которой обеспечивается наибольшая острота зрения, а при коррекции гиперметропии — на ее максимальном значении. Таким образом, оптическая сила индивидуальной контактной линзы складывается из оптической силы пробной контактной линзы и дополнительной линзы из набора пробных очковых линз и призм.

Когда дополнительная коррекция пробными очковыми линзами превышает  $\pm 4$  дптр, то необходимо учитывать поправку, связанную с влиянием расстояния от задней поверхности пробной очковой линзы до роговицы. Исходя из соотношения (формула 125), составлена специальная таблица, которой и пользуются в практике подбора контактных линз

$$D_{\text{к.л.}} = \frac{F'_v}{1 - \delta \cdot F'_v} + D_{\text{пр.к.л.}}, \quad (125)$$

где  $D_{\text{к.л.}}$  — оптическая сила контактной линзы, дптр.;  $D_{\text{пр.к.л.}}$  — оптическая сила пробной контактной линзы, дптр.;  $F'_v$  — значение задней вершинной рефракции пробной очковой линзы, дптр.;  $\delta$  — расстояние от задней поверхности пробной очковой линзы до роговицы глаза, м.

При гиперметропии или афакии оптическая сила контактной линзы увеличивается с увеличением расстояния и значения задней вершинной рефракции пробной очковой линзы, а при миопии — уменьшается с увеличением указанных показателей.

Радиус кривизны наружной поверхности центральной зоны роговичной линзы —  $r_1$  рассчитывается, исходя из требуемой оптической силы линзы —  $D_{\text{к.л.}}$ , радиуса кривизны вогнутой поверхности в оптической зоне —  $r_2$ , показателя преломления материала —  $n$  и толщины линзы по оси —  $t$ , т. е.

$$r_1 = \frac{1}{D_{\text{к.л.}}/10^3(n-1) + 1/r_2} + t \cdot \left( \frac{n-1}{n} \right). \quad (126)$$

Параметры типовых жестких роговичных контактных линз, применяемых по медицинским показаниям, приведены в табл. 17.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЛИНЗ

**Изготовление жестких контактных линз.** В настоящее время для изготовления жестких контактных линз применяются следующие полимерные материалы: полиметилметакрилат (ПММА), ацетобутират целлюлозы (СAB), поли-4-метилпентен-1 (ПМП) и др. Наиболее широкое использование получил ПММА, являющийся термопластичным материалом, который при нагревании свыше  $110^\circ\text{C}$  размягчается и легко формируется, а при охлаждении сохраняет заданную форму. В процессе

Таблица 17. Параметры жестких роговичных контактных линз

Параметры	Размерность	Значения	Предельные отклонения
Оптическая сила линзы	дптр	от 0 до $\pm 8$ от $\pm 9$ до $\pm 20$ свыше — 20	$\pm 0,125$ $\pm 0,25$ $\pm 0,5$
Общий диаметр	мм	от 8 до 12	$\pm 0,1$
Радиус кривизны внутренней поверхности оптической зоны	мм	от 4,5 до 9,0	$\pm 0,02$
Диаметр оптической зоны	мм	от 5,5 до 9,0	$\pm 0,1$
Толщина по оси линзы	мм	от 0,1 до 0,55	$\pm 0,02$
Толщина края линзы	мм	от 0,1 до 0,2	$\pm 0,05$
Радиус закругления края	мм	от 0,05 до 0,1	$\pm 0,05$
Шероховатость поверхности	класс	14 (ГОСТ 2789—73)	—
Чистота поверхности	—	PI—10,20 (ГОСТ 11141—76)	—

полимеризации его можно окрашивать. ПММА имеет высокий коэффициент светопропускания в видимой области спектра. Показатели преломления этого материала и роговицы глаза близки между собой, что позволяет создать практически однородную оптическую систему роговица-линза. ПММА инертен к жидкостям и тканям глаза. Основным недостатком этого материала является очень низкая кислородная проницаемость.

В нашей стране для изготовления жестких контактных линз применяется листовый полиметилметакрилат марок: СО-120 (ГОСТ 10667—74), СТ-4 (ГОСТ 14189—69) и СТ-1 (ГОСТ 15809—70), последние две марки применяются чаще всего.

**Изготовление контактных линз методом точения.** Метод точения контактных линз заключается в формообразовании алмазным резцом путем точения заготовок на специальных сферотокарных станках с последующей кратковременной полировкой.

Технологический процесс изготовления жестких роговичных линз методом точения включает следующие операции: подготовительную, точение вогнутой поверхности, полирование вогнутой поверхности, контроль вогнутой поверхности, точение выпуклой поверхности, полирование выпуклой поверхности, контроль качества оптики, обработка края, окончательный контроль и гравировка.

**Подготовительная операция.** Для изготовления жестких роговичных контактных линз используют цилиндрические заготовки из полиметилметакрилата диаметром  $12 \pm 0,5$  мм и толщиной от 4 до 5 мм. Такие заготовки можно получить из листового материала с помощью полого трубчатого инструмента (сверла или фрезы).

Перед изготовлением линз во избежание изменения размеров готовой линзы проводят отжиг заготовок с целью снятия

внутренних напряжений в материале. Отжиг производится в лабораторном термощафе при температуре  $130 \pm 5^\circ \text{C}$  в течение 8 ч. Затем в течение последующих 8—10 ч температура плавно снижается до комнатной. Остаточное напряжение в заготовке проверяют на полярископе по наличию цветowych узоров, которые наблюдают со стороны цилиндрической образующей, т. е. перпендикулярно оси симметрии заготовки. При наличии остаточных напряжений процесс отжига повторяют.

В состав подготовительных работ входят также изготовление полировальников из материалов ПМП-3 для полировки вогнутых поверхностей и ПМВ-1 — для полировки выпуклых. Температура размягчения полировального материала 100—120 °C. При изготовлении полировальника материал расплавляют в фарфоровой чашке и заполняют им латунные формообразующие цилиндры, из которых после остывания формы вынимают полировальник.

Точение вогнутой поверхности. При помощи воскового наклеечного материала НВ-Н заготовка наклеивается по центру нагретой стальной подложки-спутника. После остывания до комнатной температуры спутник с наклеенной заготовкой закрепляется в цанге сферотокарного настольного станка КП-61 для проточки вогнутой поверхности линзы.

Формирование многорадиусной поверхности проводится в соответствии с расчетными параметрами. Обработка начинается с протачивания заготовки до заданного размера с припуском 0,1 мм на формирование края.

Для этого на поперечном суппорте станка устанавливается стальной резец. Значение диаметра линзы задается при помощи индикатора часового типа. Соответственно заданным параметрам протачивается вогнутая поверхность линзы. Значение радиуса задается по индикатору часового типа, установленному на поворотном суппорте станка, а подача контролируется по индикатору подачи шпинделя. Точение начинают с поверхности большего радиуса в несколько последовательных переходов с глубиной резания 0,2 мм для черновых переходов и 0,01 мм для чистовых. Завершением проточки является нулевой отсчет на индикаторе подачи шпинделя.

Затем по индикатору поворотного суппорта устанавливают следующий по порядку (меньший) радиус проточки; резец выводится из зоны резания, а шпиндель перемещается на заданное значение подачи. Проточка остальных поверхностей проводится поэтапно в один проход. После проточки вогнутой поверхности линзы проверяется чистота ее поверхности, которая должна быть гладкой без заметных пузырей, царапин, сколов и других дефектов. Проверка осуществляется под бинокулярным стереомикроскопом или лупой увеличения 5—10 крат.

Полирование вогнутой поверхности линзы начинают с оптической зоны. Отлитую заготовку воскового полировальника устанавливают на сферотокарном станке КП-62



(для выпуклых поверхностей), где протачивается рабочая часть поверхности полировальника требуемого радиуса кривизны. Изготовленный притир-полировальник устанавливают на нижний шпиндель доводочного станка КП-64 и смачивают полировочной суспензией. Приклеенную к подложке-спутнику заготовку помещают на притир и удерживают на нем поводком верхнего шпинделя. Полировка производится в течение 1—2 мин. При этом край заготовки должен на 4—5 мм заходить за центр полировальника.

Периферийные зоны заготовки линзы полируются на вертикальном шпиндельном станке с помощью грибков, обтянутых медицинским лейкопластырем. Выбор радиуса кривизны соответствующего грибка производится с учетом толщины лейкопластыря.

Контроль на чистоту после полировки вогнутой поверхности осуществляют с помощью бинокулярного стереомикроскопа или лупы увеличения 5—10 крат. Радиус кривизны оптической зоны определяется на измерителе радиусов (например, отечественный прибор ИЗР-60 или радиусоскоп фирмы «Нисель», Великобритания). На полированной поверхности не должно быть царапин, пузырей, сколов, поверхность должна быть гладкой, блестящей, без шероховатых участков. Радиус кривизны оптической зоны должен соответствовать заданному в пределах установленного допуска.

При несоблюдении указанных требований производят корректировку процесса полирования. Если полированная поверхность имеет радиус кривизны меньше номинального, но не менее чем на 0,05 мм, тогда вновь протачивают полировальник тем же радиусом, немного поднимают качающийся суппорт доводочного станка и повторяют полировку: при этом центры линзы и притира будут приближены друг к другу и наиболее интенсивный съем материала происходит по краю оптической зоны линзы. Если полированная поверхность имеет радиус кривизны больше номинального значения на 0,05 мм и более, то это свидетельствует о неправильной настройке сферотокарного станка — необходима его наладка. Если же полированная поверхность имеет радиус кривизны несколько больше номинального значения, но не более 0,05 мм, то следует проточить полировальник прежним радиусом кривизны и несколько опустить качающийся суппорт доводочного станка: при этом края притира, имеющие большую линейную скорость относительно заготовки, будут интенсивно полировать центральную часть линзы.

После завершения корректировки и повторного контроля заготовку контактной линзы снимают с подложки-спутника путем нагревания, тщательно очищают ее от воска и промывают бензином Б-70. Затем толщиномером измеряют толщину по центру, которая учитывается при обработке внешней (выпуклой) образующей поверхности контактной линзы.

Точение выпуклой поверхности. Вначале на предварительно нагретую оправку с центральным отверстием и радиусом кривизны, соответствующем радиусу оптической зоны заготовки, приклеивают полузаготовку со стороны обработанной вогнутой поверхности и центрируют ее с точностью 0,02—0,04 мм.

После остывания оправка вместе с отцентрированной на ней линзой устанавливается на посадочный конус сферотокарного станка КП-62 для обработки выпуклой поверхности, радиус кривизны которой определен расчетным путем.

В зависимости от заданной рефракции рекомендуются следующие значения толщины линзы по центру: для минусовых линз от 0 до 20 дптр, соответственно от 0,3 до 0,12 мм; для положительных линз от 0,5 до 15 дптр и выше, соответственно от 0,35 до 0,55 мм.

Значение рассчитанного радиуса кривизны выпуклой поверхности устанавливают по индикатору, расположенному на поворотном суппорте. С помощью другого индикатора, соединенного со шпиндельной бабкой, определяют толщину слоя материала, снимаемого при обработке. Точение выпуклой поверхности производится до тех пор, пока в центре линзы будет заданная толщина, которая измеряется при помощи толщиномера.

Полирование выпуклой поверхности производится на доводочном станке КП-65 с помощью притира полировальника, радиус кривизны которого соответствует радиусу кривизны оптической зоны выпуклой поверхности контактной линзы.

Оправку с наклеенной заготовкой устанавливают на конус нижнего шпинделя доводочного станка. На выпуклую поверхность линзы помещают притир — полировальник, смоченный полирующей суспензией. Три штыря поводка верхнего шпинделя фиксируют в лунках подложки притира. Полирование длится 1—2 мин.

Контроль поверхности осуществляется сразу же после изготовления линзы до снятия ее с оправки аналогично контролю вогнутой поверхности. Достижение заданной рефракции при отклонении не более чем 0,5 дптр обеспечивается корректировкой процесса полировки. При отклонении более 0,5 дптр требуется изменение выпуклого радиуса путем переточки.

Доводочные станки КП-64 и КП-65 имеют широкие возможности корректировки режима полирования, поскольку скорость вращения нижнего шпинделя может изменяться независимо от верхнего. Это обеспечивает регулирование линейных скоростей относительных перемещений заготовки и притира.

Обработка края линзы осуществляется на специальном станке КП-63 после снятия линзы с оправки и очистки ее от блокировочного материала (воска). Обработываемую линзу центрируют и приклеивают выпуклой поверхностью к специаль-

ному спутнику, диаметр которого меньше диаметра линзы на величину, обеспечивающую выход резца при обработке переходной конической поверхности на выпуклой поверхности линзы. Поперечный суппорт устанавливают таким образом, чтобы при обработке края получился необходимый диаметр линзы. Установка осуществляется под контролем индикатора часового типа. Резец подводят к кромке линзы до касания под углом, обеспечивающим плавный переход внутренней поверхности к радиусу закругления. Далее, поворотом суппорта край линзы закругляется и обрабатывается конус со стороны выпуклой поверхности. Обработка ведется под наблюдением через бинокулярный стереоскопический микроскоп МБС-9, установленный на станке. При формировании края на шпинделе станка КП-63 производят полировку края линзы фетром, смоченным полирующей суспензией.

**Контроль готовой жесткой роговичной контактной линзы.** При окончательном контроле проверяют следующие параметры линзы.

Геометрические: диаметр общей и оптической зоны, толщину линзы по оптической оси и по краю, радиус кривизны оптической зоны вогнутой поверхности, радиус закругления края, профиль зоны утолщения (скольжения) вогнутой поверхности.

Оптические: заднюю вершинную рефракцию линзы, качество оптики и чистоту вогнутой поверхности.

Последовательность контрольных операций, контрольные приборы, а также требования к точности измерений указанных выше параметров изложены в табл. 18.

Для устранения влияния внешних факторов на результаты контроля жестких контактных линз его проводят при строго установленной температуре среды и изделия ( $+22 \pm 2^\circ\text{C}$ ) и относительной влажности 50—60%.

Измерение общего диаметра и диаметра оптической зоны осуществляется следующим образом: жесткую контактную линзу кладут на толстую стеклянную пластинку, устанавливаемую на столике проектора ПМК. Затем переключатель вида работ ПКЛ устанавливают в положение «план», при котором на экран проецируется прямоугольная шкала, используемая как линейка для измерения общего диаметра и диаметра центральной зоны.

Однако следует иметь в виду, что при незначительном отклонении поверхности зоны скольжения от сферы или отклонении в пределах 0,2—0,3 мм диаметров оптической зоны выпуклой и вогнутой поверхностей линз провести измерение диаметра оптической зоны всей линзы таким способом не удастся. В этих случаях линзу помещают в кювету (параллелепипед с двумя сферами — вогнутой и выпуклой) с иммерсионной жидкостью ПФМС (органический полимер — полифенилметилсил-аксан,  $n=1,49$ ). Измерения производят при увеличении 20 крат.

Измерение радиусов кривизны поверхностей жестких контактных линз производится следующим образом:

**Таблица 18. Последовательность операций при окончательном контроле жестких контактных линз**

Контролируемые параметры	Тип прибора	Требования к точностям измерений и оценка качества
Радиус кривизны вогнутой поверхности оптической зоны	ИЗР-60	$\pm 0,01$ мм
Астигматизм вогнутой поверхности оптической зоны	ИЗР-60	$\pm 0,01$ мм
Чистота вогнутой поверхности	Проектор ПКЛ или лупа 5—10 крат Микроскоп бинокулярный МБС-9	Проверка наличия дефектов поверхности
Задняя вершинная рефракция	ДП-02	$\pm 0,125$ дптр при рефракции меньше 12 дптр $\pm 0,25$ дптр при рефракции больше 12 дптр
Качество оптики	ДП-2	Размыв линий световой марки не больше их ширины
Общий диаметр линзы	Проектор ПКЛ или измерительная лупа	$\pm 0,1$ мм
Диаметр оптической зоны	Проектор ПКЛ или измерительная лупа	$\pm 0,2$ мм
Радиус закругления края	Проектор ПКЛ	$\pm 0,05$ мм
Толщина линзы по оси и по краю (0,4 мм от его кромки)	Индикаторный толщиномер, проектор ПКЛ	$\pm 0,02$ мм
Профиль зоны уплотнения (скольжения) вогнутой поверхности линзы	Проектор ПКЛ	$\pm 0,003$ мм

— в кювету со сферическим углублением, радиус кривизны которой близок к радиусу кривизны поверхности измеряемой линзы, закапывают 1—2 капли жидкости ПФМС и устанавливают жесткую линзу; наблюдая сверху, добиваются концентричности линии края линзы с краем кюветы и помещают кювету на столик проектора; переключатель рода работ устанавливают в положение «профиль»; ориентируясь по вертикальным линиям, центрируют изображение профиля линзы относительно центра экрана; совместив изображение профиля задней поверхности с любой из дуг по вершине, сравнивают величины отступления профиля от дуги на диаметре, образуемом одной из пар вертикальных линий шкалы; если величины отступления от сферы дуги справа или слева будут неодинаковы, перемещением столика с кюветой в сторону, где отступление больше, центрируют профиль; после центрировки смешают столик вверх или вниз, сравнивая радиус профиля с радиусами дуг, находят дугу, соответствующую измеряемому профилю.

Изложенная выше методика измерения относится также к радиусам оптической зоны и зоны скольжения.

Измерения удобнее производить при увеличении 50 крат, но при этом увеличении видны не все дуги шкал, поэтому при необходимости увеличения переключают на 20 крат.

Измерение других параметров жесткой контактной линзы осуществляется в кювете, установленной на столике проектора.

Для определения радиуса закругления края на экране высвечивают шкалу (7 концентричных окружностей с радиальными лучами) при увеличении 50 крат. Под центр шкалы подводят изображение края линзы и, сравнивая радиусы закругления края линзы и дуг окружностей шкалы, определяют искомый радиус закругления края линзы.

Измерение профиля жестких контактных линз осуществляется при 20 кратном увеличении. На экране устанавливается прямоугольная шкала. Добиваются такого положения линзы в кювете, чтобы ее края совпали с горизонтальной линией шкалы. Точность совпадения должна быть не менее 0,1 мм по шкале по всему диаметру линзы. Удостоверившись, что края линзы совпадают с горизонтальной линией шкалы и переключив увеличение на 50 крат, устанавливают наблюдаемый на экране профиль линзы так, чтобы горизонтальная линия проходила по краю оптической зоны линзы через деления, соответствующие выбранному значению координаты «х» на горизонтальной шкале. Для большинства линз это значение равно хорде 6 мм. Сначала совмещают профиль с делением горизонтальной шкалы (равным значению координаты «х») с одной стороны от вертикальной линии. Если с другой стороны профиль не совпадает с аналогичным делением, то горизонтальной подвижкой столика прибора сдвигают профиль относительно шкалы на половину величины рассогласования в сторону нужного деления. Оставшуюся величину рассогласования компенсируют вертикальной подвижкой столика.

Для контроля эту манипуляцию проводят и с другой стороны шкалы. На индикаторе вертикального перемещения столика устанавливают с помощью подвижного упора расчетную величину координаты «у» для заданного «х» и измеренного ранее значения радиуса кривизны оптической зоны— $r_0$ . Значение «у» находится по формуле:

$$y = r_0 - \sqrt{r_0^2 - x^2}. \quad (127)$$

По измеренным значениям координат можно восстановить технологические координаты для изготовления линзы или сравнить измеренные координаты профиля с расчетными. При этом, если измеренные координаты больше расчетных, значит изготовленная линза «крута» и ее можно доработать. Если же они меньше, то это неисправимый брак.

Измерение толщины жестких линз производится при 50-кратном увеличении с помощью прямоугольной шкалы. Одну из

вертикальных линий шкалы совмещают с вершиной наружной поверхности линзы, устанавливают индикатор вертикального перемещения столика на «0». Далее, опуская столик проектора, с этим же вертикальным делением шкалы совмещают вершину внутренней поверхности линзы и по индикатору снимают прямой отсчет толщины контактной линзы.

При необходимости после окончательного контроля на наружной поверхности линзы на расстоянии 0,5 мм от края при помощи специального гравировального устройства алмазной иглой наносят цифры, буквы или условные знаки, обозначающие геометрические и оптические параметры линзы. На стандартных линзах промышленного производства гравировывают значения радиуса кривизны вогнутой поверхности, задней вершинной рефракции, общего диаметра линзы, диаметра оптической зоны и степени утолщения периферийной зоны линзы (зоны скольжения). Например: 7,85; —5; 9,6; 7,0; 1.

### **Изготовление полужестких (полумягких) контактных линз.**

Изготовление таких линз осуществляется на том же оборудовании, что и изготовление жестких контактных линз.

Однако имеется ряд существенных особенностей.

1. Линзы изготавливаются в сухом (обезвоженном) состоянии, а затем подвергаются гидратации. Размеры линз в сухом и набухом состоянии различны и поэтому перед обработкой рассчитывают оптические и геометрические параметры линзы в сухом состоянии, исходя из заданных параметров линз в набухом (мягком) состоянии.

2. Механическая обработка ведется при постоянной температуре и влажности в рабочем помещении:  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  и  $45 \pm 5\%$  соответственно. Эти условия необходимы в связи с тем, что гидрофильный материал адсорбирует воду из атмосферы помещения, а набухая изменяет свойства и плохо поддается полировке.

3. Высушенный гидрофильный материал для сохранения стабильности основных свойств должен содержаться в герметично закрытых футлярах (контейнерах), например в стеклянной пробирке с полиэтиленовой пробкой.

4. Окончательный контроль готовых гидратированных линз проводится в жидкой среде в недеформированном состоянии.

Технологический процесс изготовления этих линз состоит из операций, аналогичных технологическому процессу изготовления жестких контактных линз, с добавлением в конце еще двух операций: гидратации и окончательного контроля параметров готовой линзы.

Для их изготовления применяются высушенные заготовки диаметром  $15 \pm 1$  мм и толщиной 5—6 мм. После контроля су-

хой линзы ее тщательно очищают от остатков полирующего состава, наклеечного воска и помещают в контейнер с изотоническим раствором натрия хлорида, где выдерживают до полного набухания в течение 48 ч при комнатной температуре или в течение 24 ч в термостате (40 °С). Дезинфекция производится в течение 20 мин в 10% растворе перекиси водорода.

У гидратированных контактных линз измеряют следующие параметры: базовый (центральный радиус кривизны внутренней поверхности), общий диаметр линзы, толщину линзы по оптической оси. Перед измерением необходимо приготовить иммерсионную жидкость ВЭС-3, сухую кювету с Т-образной подставкой, два пинцета (для водного раствора и для ПЭС-3), 4 салфетки и очищающий состав.

Измерения проводятся при 20-кратном увеличении. Линзы вынимают из контейнера для хранения, удаляют салфеткой излишки влаги на ее поверхности и с помощью пинцета для жидкости ПЭС опускают линзу в кювету, заполненную этой жидкостью. На экране проектора ПКЛ устанавливают шкалу с дугами выпуклостью вверх. Сравнивая контуры профиля внутренней поверхности линзы и дуги, измеряют радиус кривизны. Переключив проектор на прямоугольную шкалу, измеряют диаметр и толщину линзы. После измерения линзу вынимают из кюветы, проводят очистку и дезинфицируют.

## Глава 6

### ИНТРАОКУЛЯРНЫЕ ЛИНЗЫ И КЕРАТОПРОТЕЗИРОВАНИЕ

Интраокулярные линзы предназначены для коррекции зрения при удаленном хрусталике. Они выполняют одну только функцию хрусталика — собирают лучи света после прохождения его через роговицу.

Артифактический (с искусственным хрусталиком) глаз имеет следующие отличия от факического (нормального) глаза: отсутствие аккомодации, смещение главных и узловых точек глаза, изменение характера сферической и хроматической абераций.

Среди оптических показаний имплантации интраокулярных линз главным является анизейкония. Одной из трудностей коррекции односторонней афакии корригирующими очками является наличие высокой степени анизейконии (30—36%). Коррекция анизейконии контактными линзами этот процент снижает, при средней величине 7%, но не во всех случаях, при этом обеспечиваются удовлетворительные результаты в восстановлении бинокулярного зрения. К недостаткам интраокулярной коррекции афакии одного глаза следует отнести необходимость хирургического вмешательства и возможность возникновения послеоперационных осложнений.

Основные принципы выбора оптической силы интраокулярной линзы заключаются в следующем: максимальное приближение величины изображения в оперированном глазу к величине изображения во втором глазу, получение рефракции глаза приближенной к эметропии или небольшой миопии. Однако эти принципы иногда не могут быть полностью совмещены. Так, например, при анизометрии, особенно осевой, введение интраокулярной линзы с целью получения эметропической рефракции на оперируемом глазу может привести к значительной анизейконии и нарушению бинокулярного зрения.

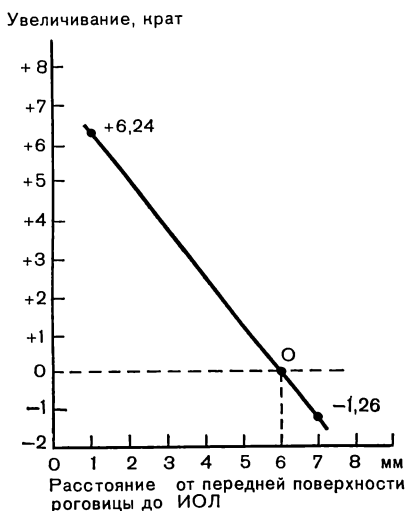
При полной идентичности оптических систем обоих глаз исключается возможность возникновения анизейконии, что приводит к быстрому восстановлению бинокулярного зрения.

При двусторонней афакии в тех случаях, когда основные характеристики оптических элементов обоих глаз не идентичны, ориентируются не на их средние величины, а добиваются получения эметропической или слабой миопической рефракции.

Оптическая сила хрусталика по результатам исследования Стренстона (1946) колеблется от 13,21 до 49 дптр, а Е. Ж. Трона (1947) от 12,9 до 39,8 дптр. Однако заднекамерная линза Ридлея, имеющая оптическую силу 22,84 дптр, во влаге передней камеры при возможности колебаний оптической силы замещенного хрусталика от 14,97 до 23,25 дптр может дать, как показал И. Троутман (1963), величину изображения от 0,3 до 11,2% меньше, чем в нормальном схематическом глазу. В отличие от других типов интраокулярных линз, дающих увеличение ретинального изображения в оперированном глазу, линза Ридлея при определенных условиях может дать уменьшение изображения. Общее правило таково: чем ближе к роговице располагается интраокулярная линза, тем большим получается изображение на сетчатке в афакическом глазу. Идеальным считается положение интраокулярной линзы на расстоянии 6,2 мм от передней поверхности роговицы, так как в этом случае в схематическом глазу одновременно отмечается эметропия и изейкония (рис. 84).

Учитывая значительную вариабельность оптических элементов, метод интраокулярной коррекции зрения, основанный

Рис. 84. Зависимость величины анизейконии в % от положения интраокулярной линзы в глазу [Троутман К., 1963].





на введении в глаз интраокулярной линзы одной и той же рассчитанной оптической силы, не оправдан.

В связи с этим предлагаются различные линзы для имплантации: 22,84 дптр (Ридлей), 21,5 дптр (Бинкхорст), 19,1 дптр (Троутман).

Другой метод предусматривает выбор оптической силы интраокулярной линзы, исходя из афакической очковой коррекции. Таблица пересчета (Руз, 1960) может быть применена только в случае, когда оптическая сила роговицы равна 43,05 дптр и глубина передней камеры составляет 1 мм.

Интраокулярная коррекция с расчетом ее индивидуальной оптической силы применяется в нашей стране [Федоров С. Н. и др., 1967]. При этом оптическая сила глаза принимается состоящей из двух элементов — роговой оболочки и хрусталика, представляемого в расчетах тонкой линзой.

Оптическая сила интраокулярной линзы для получения заданной клинической рефракции оперированного глаза вычисляется по формуле:

$$\Phi_{\text{иол}} = \frac{n(1 - \Phi_o \cdot d - \Phi_{\text{ор}} l/n)}{(l_r - k) \cdot (1 - \Phi_o \cdot d - \Phi_{\text{рк}}/n)}, \quad (128)$$

где  $\Phi_{\text{иол}}$  — оптическая сила интраокулярной линзы, дптр;  $\Phi_o$  — заданная оптическая сила очковой линзы артифактического глаза, дптр;  $\Phi_{\text{ор}}$  — рефракция оптической системы: очки — роговица, дптр;  $n$  — показатель преломления переднекамерной влаги (1,336);  $l$  — длина оптической оси глаза, м;  $\Phi_{\text{р}}$  — оптическая сила роговицы, дптр;  $d$  — расстояние от очковой линзы до передней поверхности роговицы, м;  $k$  — расстояние от передней поверхности роговицы до интраокулярной линзы, м.

В случае, когда необходимо получение эметропии  $\Phi_o = 0$ , формула 128 принимает вид:

$$\Phi_{\text{иол}} = \frac{n - \Phi_{\text{р}} \cdot l_r}{(l_r - k) \cdot (1 - \Phi_{\text{рк}}/n)}. \quad (129)$$

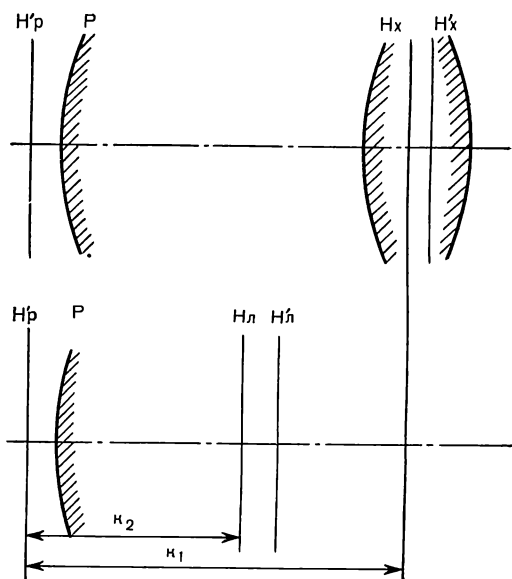
По этой формуле составлены номограммы при различной длине оси глаза, преломляющей силе роговицы и глубине передней камеры. Максимальная ошибка метода расчета интраокулярной линзы по установленной зависимости составляла 1,97 дптр, средняя ошибка 0,57 дптр.

#### ОПТИКА АРТИФАКИЧЕСКОГО ГЛАЗА

Если нормальный хрусталик имеет суммарный показатель преломления  $n_x = 1,386$ , то показатель преломления интраокулярной линзы зависит от применяемого материала, так для ПММА  $n_{\text{иол}} = 1,496$ . Отличие заключается еще и в толщине, и положении главных плоскостей линзы по отношению к роговой оболочке глаза. Так при толщине интраокулярной линзы от 0,3 до 0,5 мм (а толщина хрусталика схематического глаза

Рис. 85. Взаимное расположение главных плоскостей роговицы глаза, интраокулярной линзы и естественного хрусталика.

$H'_p$  — главная плоскость роговицы глаза;  $P$  — роговица;  $H_p H'_p$  — передняя и задняя главные плоскости интраокулярной линзы;  $H_x H'_x$  — передняя и задняя главные плоскости хрусталика глаза;  $k_1$  — расстояние от главной плоскости роговицы глаза до передней главной плоскости хрусталика;  $k_2$  — расстояние от главной плоскости роговицы глаза до передней главной плоскости интраокулярной линзы



по Гульстранду — 3 мм) ошибка, которая получается при допущении, что интраокулярная линза бесконечно тонкая, равна сотым долям диоптрии и для клинических целей ею можно пренебречь.

Положение интраокулярной линзы в глазу зависит от метода фиксации линзы: при переднекамерной фиксации она расположена впереди радужной оболочки на расстоянии 1,2—1,5 мм от передней поверхности роговицы; при зрачковой фиксации ирис-клипс-линзы это расстояние равно 2,8—3,4 мм.

Различие в положении главных плоскостей интраокулярной линзы и естественного хрусталика (рис. 85) ведет к изменению оптической силы их при одинаковой преломляющей силе роговой оболочки (43,05 дптр), длине оптической оси глаза (24 мм) и глубине передней камеры (3,6 мм). Так, например, для получения эметропии в схематическом глазу необходима интраокулярная линза с оптической силой 16,8 дптр, в то время как преломляющая сила хрусталика в этом глазу равна 19,11 дптр.

Положение главных плоскостей глаза при интраокулярной коррекции афакии определяется прежде всего положением задней главной плоскости ( $H'_2$ ), так как оно определяет размер изображения в глазу. Чем дальше от сетчатки глаза будет располагаться  $H'_2$ , тем больше величина ретинального изображения. Расстояние от задней главной плоскости глаза до вершины роговицы в артифакическом глазу ближе, чем в нормальном глазу на 0,657 мм.

Наиболее точные результаты определения длины оптической оси глаза и глубины передней камеры обеспечивает ультразвуковой метод исследования с помощью отечественного прибора

эхоокулометра. Оптическая сила роговой оболочки определяется с помощью офтальмометра.

**Анизейкония при артифакции.** В большинстве случаев, когда возникает анизейкония до 4—5%, расчетные методы ее определения дают более точное представление о действительном соотношении размеров изображения по сравнению с субъективными методами.

С. Н. Федоровым и соавт. (1977) выведена формула для расчета анизейконии:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(l_2 - k_2) \cdot (1 - \Phi_{o_1} \cdot d - \Phi_{p_1} \cdot k_1/n)}{(l_1 - k_1) \cdot (1 - \Phi_{o_2} \cdot d - \Phi_{p_2} \cdot k_2/n)}, \quad (130)$$

где  $V_1$  — величина изображения на одном глазу, крат;  $V_2$  — величина изображения на втором глазу, крат;  $l_1$  — длина оси одного глаза, м;  $l_2$  — длина оси второго глаза, м;  $k_1$  — расстояние от задней главной плоскости роговицы до передней главной плоскости хрусталика, м;  $k_2$  — расстояние от задней главной плоскости роговицы до передней главной плоскости интраокулярной линзы, м;  $\Phi_{o_{1(2)}}$  — оптическая сила корригирующих очков, дптр (1 — первый глаз, 2 — второй глаз);  $\Phi_{p_{1(2)}}$  — расстояние от очковой линзы до вершины роговицы, м (0,012);  $n$  — показатель преломления схематического глаза.

При эмметропии обоих глаз, когда  $\Phi_o = 0$ , соотношение размеров изображений определяется следующей зависимостью:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(l_2 - k_2) \cdot (n - \Phi_{p_1} \cdot k_1)}{(l_1 - k_1) \cdot (n - \Phi_{p_2} \cdot k_2)}. \quad (131)$$

При этом расстояние от задней главной плоскости роговицы до передней главной плоскости хрусталика —  $k_1$  соответствует глубине передней камеры при артифакции.

Для факического глаза  $k_1$  рассчитывается по следующей формуле:

$$k_1 = n(\sigma - h_x) + 0,05 \text{ мм}, \quad (132)$$

где  $\sigma$  — редуцированное расстояние от задней главной плоскости роговицы до передней главной плоскости хрусталика;  $k_1$  — глубина передней камеры, м;  $h_x$  — редуцированное расстояние от передней главной плоскости хрусталика до его передней поверхности.

Положение главной плоскости хрусталика определяется из следующей зависимости:

$$h_x = \frac{s_x}{n_x} \cdot \frac{\Phi_3}{\Phi_{2,3}}, \quad (133)$$

где  $s_x$  — толщина хрусталика, м;  $n_x = 1,386$ , показатель преломления хрусталика;  $\Phi_3$  — преломляющая сила задней поверхности хрусталика, дптр;  $\Phi_{2,3}$  — преломляющая сила всего хрусталика, дптр.

Зная все входящие в формулу величины, можно рассчитать соотношение размеров изображений двух глаз. Можно также

определить силу корригирующих очковых линз, при которых изображение одного глаза будет равно по величине изображению на сетчатке второго глаза:

$$\frac{V_2}{V_1} = 1. \quad (134)$$

При односторонней артифакции задняя главная плоскость глаза с интраокулярной линзой располагается дальше от сетчатки, чем в факическом глазу с той же клинической рефракцией и одинаковыми оптическими элементами обоих глаз. Это приводит к увеличению ретинального изображения в глазу, корригированному интраокулярной линзой (в схематическом глазу на 3,7% при эметропии).

#### **Влияние ряда факторов на величину анизейконии.**

1. Положение главных плоскостей интраокулярной линзы и естественного хрусталика. Основным фактором, вызывающим анизейконию при односторонней артифакции, является разность в расстоянии от задней главной плоскости до передней главной плоскости хрусталика факического глаза, с одной стороны, и до главной плоскости интраокулярной линзы в артифактическом глазу — с другой. В зависимости от способа фиксации расстояние между главной плоскостью интраокулярной линзы и задней главной плоскостью роговицы колеблется от 1 до 4,5 мм, а анизейкония от 4 до 0,1% соответственно. Таким образом, меньше всего увеличивает изображение по сравнению с факическим глазом заднекапсулярная линза. Особенно невыгодна, с точки зрения оптики, переднекамерная линза, которая вызывает наибольшую анизейконию.

2. Разность размеров переднезадних осей двух глаз на соотношение ретинальных изображений в них. При удлинении артифактического глаза по сравнению со здоровым в нем получается большее по величине ретинальное изображение. При этом на каждый миллиметр удлинения артифактического глаза приходится 5% увеличения анизейконии.

3. Разность оптических сил роговой оболочки двух глаз на значение анизейконии не так велика, как в первых двух случаях. При разности в рефракции 5 дптр анизейкония увеличивается только на 1,22%.

4. Изменение клинической рефракции артифактического глаза по отношению к факическому в сторону гиперметропии увеличивает анизейконию, а в сторону миопии — уменьшает ее.

Однако если влияние на анизейконию длины оси глаза, рефракции роговицы и глубины передней камеры только учитывается, то клиническую рефракцию артифактического глаза можно изменять путем предварительного расчета интраокулярной линзы. При этом величина анизейконии изменяется от 0,4 до 6,3%.

Расчеты [Федоров С. Н., 1977] показали, что при одинаковой клинической рефракции здорового и оперированного глаза ре-

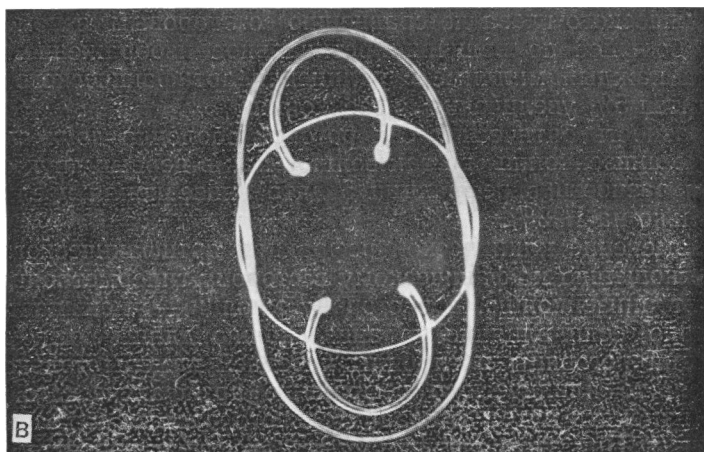
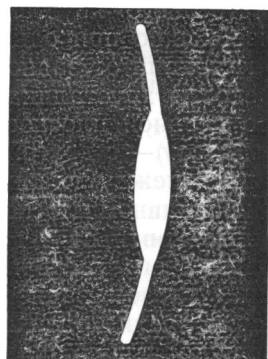
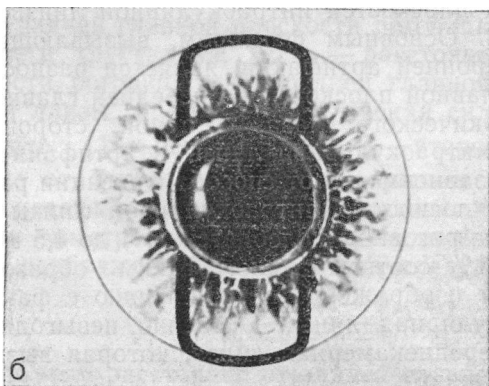
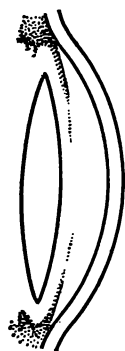
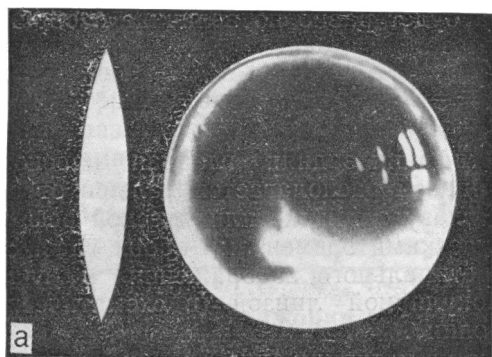
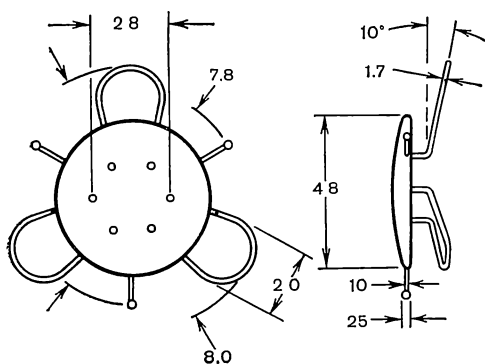


Рис. 86. Вид некоторых интраокулярных линз.

а — линза Ридлея и схема расположения ее в глазу; б — переднекамерная линза, в — Ирис — клипс — линза Бинкхорста; г — Ирис — клипс — линза Федорова — Захарова.



тинальное изображение в артифактическом глазу увеличено по сравнению со здоровым на 2,9—4,4%. Поэтому интраокулярные линзы рассчитываются для получения после операции миопии порядка 2 дптр. При необходимости возможно получение изейконии.

### МОДЕЛИ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ

В настоящее время существует свыше 20 моделей интраокулярных линз, но не все они нашли широкое применение. Поступающие новые предложения направлены на уменьшение массы, улучшение их оптических свойств, совершенствование методов фиксации в глазу.

Все интраокулярные линзы можно подразделить на 5 групп: заднекамерные, переднекамерные, Ирис-клипс-линзы, линзы с наружной фиксацией и капсулярные линзы.

**Некоторые характеристики интраокулярных линз.** Заднекамерные: диаметр двояковыпуклой линзы 8,35 мм, радиусы кривизны передней поверхности — 17,8 мм, задней поверхности — 10,7 мм, толщина по центру 2,44 мм, масса 112 мг, во влаге — 20,28 мг; диаметр линзы 9,5 мм, диаметр оптической части 6 мм, толщина по центру 1 мм, имеется 8 отверстий по периферии диаметром 1 мм. Переднекамерные: мениск с радиусом кривизны 12 мм, диаметр оптической части 5 мм, толщина по центру 1,2 мм, масса 25 мг, во влаге — 3÷3,5 мг. Ирис-клипс-линза: диаметр оптической части 5 мм, масса 10 мг.

На рис. 86 показаны некоторые модели интраокулярных линз.

Технология изготовления интраокулярных линз требует не только большой тщательности и скрупулезности выполнения технических требований, но и стабильного температурного режима. Линзы изготавливаются методом штампования в стальных формах. При превышении температурного режима (более 160 °С для ПММА) может возникнуть разрушение части полимера, что приведет к выделению на поверхности линзы значи-

тельного количества мономера, который обладает раздражающим действием. Некачественное закрепление опорных петель в Ирис-клипс-линзе может привести к разрушению линзы во время операции.

В готовой интраокулярной линзе не допускаются на оптической поверхности царапины, неровности, в пластмассе — пузыри и инородные включения. Большое значение имеет качество обработки опорных частей линзы, которые должны быть закругленными и не иметь зазубрин, острых граней, ранящих ткани глаза.

Монтаж интраокулярной линзы, сверление отверстий производятся специальным инструментом под микроскопом. На краю оптической части линзы наносится обозначение ее оптической силы, что исключает возможность ошибки при проведении операции.

### КЕРАТОПРОТЕЗИРОВАНИЕ

При сквозном кератопротезировании заменяются все слои роговицы в ее центральной части. Рефракция кератопротеза для факического глаза должна определяться с учетом рефракции роговой оболочки и клинической рефракции глаза до заболевания. Однако в большинстве случаев это получить невозможно и поэтому на факических глазах применяют протезы стандартной оптической силы, исходя из преломляющей силы роговицы схематического глаза Гульстранда, равной 43,5 дптр. В других странах специалисты используют кератопротезы с оптической силой от 45 до 46,5 дптр.

Для афакического глаза основной величиной, определяющей оптическую силу кератопротеза, является длина анатомической оси (длина передней задней оси), устанавливаемой методом ультразвуковой эхографии.

При двух постоянных величинах, заданных в конструкции кератопротеза (рис. 87): длиной оптической части  $l_k$  и радиусом кривизны передней поверхности оптического цилиндра  $r_1$ , рефракцию протеза  $\Phi_k$  рассчитывают, исходя из известной зависимости, устанавливающей связь между оптической силой двухкомпонентной системы и оптическими силами каждой из составляющих,

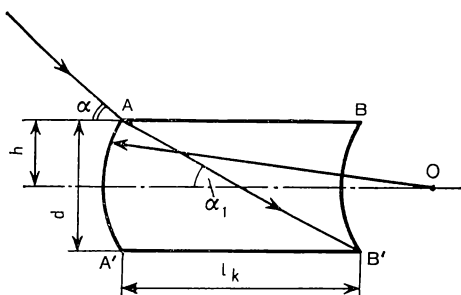
$$\Phi_k = \Phi_1 + \Phi_2 - \frac{l_r}{n_2} \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \quad (135)$$

$$\Phi_1 = - \frac{n_1 - n_2}{r_1} ;$$

$$\Phi_2 = \frac{n_3}{l_r} - \frac{\Phi_1}{l_r - l_r \cdot \Phi_1 / n_2} ;$$

$$r_2 = \frac{n_2 - n_3}{\Phi_2} ,$$

Рис. 87. Оптическая часть кератопротеза.  
Объяснение в тексте.



где  $n_1=1$  (показатель преломления воздуха);  $n_2=1,489$  (показатель преломления ПММА);  $n_3=1,336$  (показатель преломления стекловидного тела)  $l_r$  — длина глаза (переднезадней оси).

В случае достаточно высокой остроты зрения здорового глаза и необходимости кератопротезирования другого глаза качество бинокулярного зрения в значительной степени зависит от величины анизейконии  $A$ , которая определяется соотношением физической рефракции глаза:

$$A = \left( \frac{\Phi_k}{\Phi_{зд}} + 1 \right) \cdot 100 (\%), \quad (136)$$

где  $\Phi_k$  — суммарная рефракция протеза;  $\Phi_{зд}$  — рефракция здорового глаза.

В среднем величина анизейконии составляет 6%. Так, кератопротез при  $l_k=4$  мм для глаза, равного по длине схематическому глазу Гюльстранда  $l_r=22,2$  мм, будет изейконичен ему при  $\Phi_1=44,5$  дптр и  $\Phi_2=19$  дптр.

Диаметры оптической части кератопротеза: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм. Стремление уменьшить возможность отторжения протеза заставили создателей протезов увеличить его длину  $l_k$  и уменьшить диаметр  $d$ , что существенно влияет на величину видимого поля зрения  $2\alpha'$ . Зависимость видимого поля зрения через кератопротез от его диаметра и длины определяется так:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{n_1}{n_2} \cdot \operatorname{tg} \alpha + h_1 \cdot \frac{n_2 - n_1}{n_2 \cdot n_1}. \quad (137)$$

При выпуклой поверхности оптической части кератопротеза  $r_1 < 0$  и  $\Phi_1 = \frac{(n_1 - 1)}{r_1}$ , поэтому истинное поле зрения  $2\alpha$  будет вычисляться по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = d \left( \frac{n_2}{l_k} + \frac{\Phi_1}{2} \right), \quad (138)$$

где  $h=0,5d$ .

В настоящее время зарубежные офтальмологи применяют для изготовления опорной части протеза новые высокополимер-



ные материалы: дакрон, тефлон, силикон. Внутривитреальная опорная пластинка, выполненная из этих материалов, обладает необходимой гибкостью, эластичностью и инертностью.

На разрешающую способность оптики протеза влияет остаточное напряжение в полимере, которое возникает в процессе его производства и при технологической обработке — изготовлении оптики протеза, что может привести к децентрированию оптических поверхностей.

В связи с этим необходимо проверять разрешающую способность оптической части протеза перед его применением. Методика проверки разрешающей способности заключается в определении остроты зрения по таблице Сивцева при нахождении глаза исследователя в фокальной плоскости оптической части кератопротеза, закрепленного в специальной установке.

## Раздел III

### ПРИБОРЫ ДЛЯ ПОДБОРА СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

---

#### Глава 7

#### ПРИБОРЫ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОГО ПОДБОРА СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Объективные исследования рефракции глаза и других величин, необходимых при подборе средств коррекции зрения, заключаются в определении с помощью приборов врачом или оптометристом параметров без опроса пациента.

К приборам, обеспечивающим объективное исследование рефракции глаза и других необходимых параметров, относятся скиаскопические линейки, измерители расстояния между центрами зрачков глаз и линейки для определения антропометрических данных, офтальмометры, фотокератометры, рефрактометры, в том числе автоматические.

**Скиаскопические линейки** предназначены для объективного определения рефракции глаза методом теневой пробы (скиаскопии). Исследование сводится к наблюдению за движением светового пятна в области зрачка. Поэтому название «скиаскопия» (буквально «наблюдение тени»), так же как и термин «ретиноскопия», укоренившийся в ряде стран, недостаточно точно отражают сущность исследования.

На рис. 88 представлена оптическая схема скиаскопии. Направление и скорость движения светового пятна зависят от взаимного расположения четырех элементов: источника света (S), дальнейшей точки ясного видения исследуемого глаза (K), зрачка исследуемого глаза (P) и скиаскопа (M).

В случае, рассмотренном на схеме, исследуемый глаз имеет миопическую рефракцию, и дальнейшая точка K находится между скиаскопом и глазом. Плоское зеркало s лежит дальше от глаза, чем M. При этом движение зеркала против часовой стрелки эквивалентно движению источника света в ту же сторону. Как видно из рис. 88, оно вызывает смещение света по направлению к оптической оси и, следовательно, смещение пятна в зрачке, противоположное смещению зеркала.

Аналогично может быть выведена зависимость рефракции исследуемого глаза от движения пятна во всех остальных случаях. Эта зависимость показана в табл. 19.

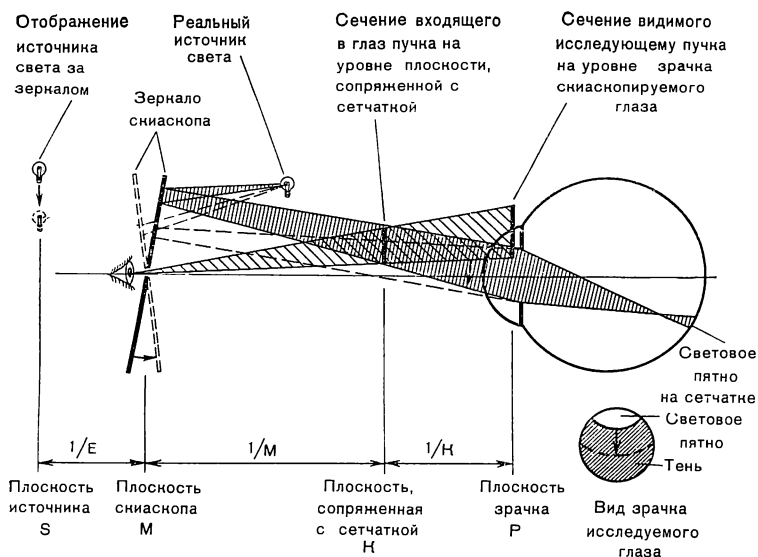


Рис. 88. Оптическая схема скиаскопии.

Объяснение в тексте.

Скиаскопические линейки бывают двух типов — с круглыми и квадратными линзами (рис. 89). В гнездах обойм закреплены линзы от 1 до 9 дптр. Ближайшее к рукоятке гнездо без линзы. Устанавливая подвижную рамку в том или ином положении против гнезд, можно получить рефракции от 0,5 до 19 дптр с градацией через 0,5 дптр до 9,5 дптр и через 1 дптр свыше 10 дптр.

Каждый комплект линеек состоит из двух обойм: одна с положительными, другая с отрицательными линзами. На каждой обойме находится подвижная рамка с линзами 0,5 и 10 дптр.

Скиаскопию проводят по следующей методике. Врач сидит

Таблица 19. Рефракция исследуемого глаза при скиаскопии в зависимости от вида зеркала, расстояния и характера движения светового пятна

Движение пятна	Вид зеркала	
	плоское	вогнутое
Одноименное	Гиперметропия, эметропия или миопия менее А дптр	Миопия более А дптр
Отсутствует	Миопия А дптр	Миопия А дптр
Противоположное	Миопия более А дптр	Гиперметропия, эметропия или миопия менее А дптр

Примечание.  $A=1/g$ , где  $g$  — расстояние от глаза исследователя до исследуемого глаза (м).

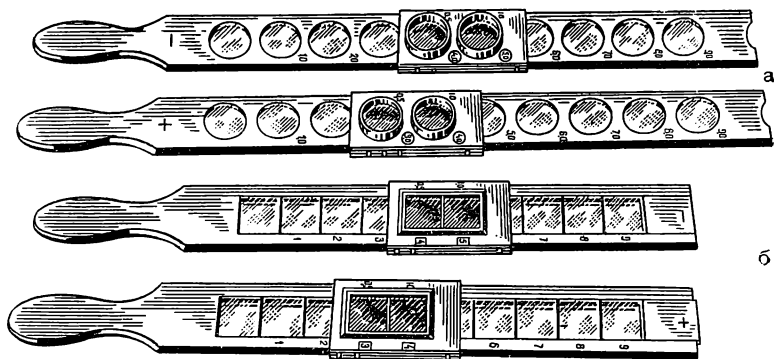


Рис. 89. Общий вид скиаскопических линеек.

напротив больного, обычно на расстоянии 0,67 или 1 м, и освещает зрачок исследуемого глаза скиаскопом (плоским зеркалом) или зеркалом офтальмоскопа и, поворачивая его вокруг горизонтальной или вертикальной оси в одну или в другую сторону, наблюдает за характером движения светового пятна в области зрачка. При скиаскопии плоским зеркалом с расстояния 1 м в случае гиперметропии, эметропии и миопии меньше 1,0 дптр пятно на зрачке движется в ту же сторону, что и зеркало, а при миопии больше 1,0 дптр — в противоположную. При применении вогнутого зеркала соотношения обратные. Отсутствие движения светового пятна в зрачке при скиаскопии и плоским, и вогнутым зеркалом означает, что у обследуемого миопия равна 1 дптр.

Таким путем определяют вид рефракции. Для установления ее степени обычно пользуются способом нейтрализации движения пятна. При миопии больше 1 дптр к исследуемому глазу приставляют скиаскопическую линейку с отрицательными линзами, начиная со слабых и переходя к более сильным, пока движение пятна на зрачке не исчезнет. Степень миопии определяют, прибавляя к силе нейтрализующей линзы 1 дптр (поправка на расстояние). При гиперметропии, эметропии и миопии меньше 1 дптр аналогичную процедуру производят с положительными линзами и степень рефракции определяют, отнимая 1 дптр от силы линзы, при которой исчезает движение пятна на зрачке. При астигматизме то же делают последовательно в двух главных меридианах. При исследовании с расстояния 67 и 50 см к силе найденной линзы прибавляют или от нее отнимают 1,5 и 2 дптр соответственно.

В общем виде вычисление рефракции исследуемого глаза при скиаскопии производят по формуле:

$$P = C - \frac{1}{d}, \quad (139)$$

где  $C$  — рефракция нейтрализующей линзы, в дптр;  $P$  — рефрак-

ция исследуемого глаза, в дптр (миопия со знаком —, гиперметропия со знаком +); д — расстояние, с которого производится исследование, в метрах.

Для получения более точных данных при скиаскопии рекомендуется: использовать по возможности электроскиаскоп, а при его отсутствии плоское зеркало и лампу накаливания с прозрачным баллоном; скиаскопировать с расстояния 67 см, которое практически легче соблюдается в течение всего времени исследования и при котором линейка может находиться в руке исследующего; при исследовании глаза в условиях циклоплегии просят пациента смотреть на отверстие зеркала, а при исследовании, когда аккомодация не расслаблена, мимо уха врача на стороне исследуемого глаза; держать линейку на стандартном расстоянии от глаза (примерно в 12 мм от вершины роговицы), при пользовании дополнительной к линейке насадкой 10 дптр обращать ее к исследуемому глазу; если пятно остается неподвижным при смене ряда линз, то за показатель скиаскопии принимают среднее арифметическое силы этих линз.

При скиаскопии в условиях циклоплегии могут встретиться следующие трудности.

1. Световое пятно движется в различных направлениях и нейтрализуется разными линзами в разных участках зрачка, так называемый симптом ножниц. При этом имеет место неправильный астигматизм, чаще всего за счет несферической формы роговицы. Диагноз в этом случае уточняется с помощью офтальмометра и щелевой лампы. Если имеется какая-либо закономерность в движении пятна, например различный его характер в центре и на периферии зрачка, то следует нейтрализовать его движение в центральной зоне.

2. Отмечается неустойчивый, меняющийся характер движения пятна во время исследования. Это указывает на недостаточность циклоплегии; если она была кратковременной, следует перейти к длительной, т. е. продолжить инстилляцию атропина.

Предложен ряд усовершенствований для уточнения результатов скиаскопии при астигматизме.

Штрих-скиаскопия, или полосчатая скиаскопия, осуществляется с помощью специальных скиаскопов, имеющих источник света в виде полоски, которая может устанавливаться обследуемым в разных положениях. Установив световую полоску прибора в нужном положении (так, чтобы при переходе на зрачок она не меняла своего направления), скиаскопируют по общим правилам в каждом из найденных главных меридианах, добиваясь нейтрализации движения полоски: в этот момент полоска на зрачке исчезает, свечение всего зрачка сразу же сменяется чернотой.

Другим методом, уточняющим данные скиаскопии, является цилиндроскопия, основанная на явлении мобильного астигматизма. Вначале производят обычную скиаскопию с линейка-

ми, ориентировочно определяют положение главных меридианов астигматического глаза и силу линз, нейтрализующих движение пятна в каждом из них. Надевают пациенту пробную оправу и устанавливают в гнезде против исследуемого глаза сферическую и астигматическую линзы, которые должны давать одновременную нейтрализацию движения пятна в обоих главных меридианах. Если при этом в обоих случаях наблюдается движение пятна, то достигнута нейтрализация аметропии. Если же движение пятна в направлении оси цилиндра не отмечается и не исчезает в направлении его деятельного сечения, то цилиндр ослабляют или усиливают до исчезновения движения. В случае, если движение пятна не исчезает в обоих направлениях, добиваются сначала нейтрализации в направлении оси цилиндра путем подбора сферы, а затем в перпендикулярном направлении путем подбора цилиндра.

Если пятно движется не по направлению оси цилиндра и его деятельного сечения (меридиана), а между ними (чаще всего примерно под углом  $45^\circ$  к ним), то это свидетельствует о том, что ось цилиндра стоит неправильно. При этом поворачивают цилиндр в оправе, пока направление движения пятна не совпадает с направлением оси.

Добиваются нейтрализации движения пятна в обоих главных сечениях. Затем ослабляют сферическую линзу, т. е. уменьшают положительную или усиливают отрицательную линзу в соответствии с расстоянием, с которого производилась скиаскопия: при расстоянии 1 м — на 1 дптр, 67 см — на 1,5 дптр, 50 см — на 2 дптр. Полученная сфероцилиндрическая комбинация соответствует рефракции данного глаза.

**Измеритель расстояния между центрами зрачков глаз пациента** предназначен для определения расстояния между серединой переносицы и центрами зрачков при параллельно направленных осях глаз. Сумма этих двух расстояний, отсчитываемых по шкалам прибора, составляет общее расстояние между центрами зрачков глаз.

Принципиальная схема измерителя показана на рис. 90. Прибор представляет собой пластмассовый корпус, в котором вмонтированы сферопризматические объективы 3 (на схеме, обведенные пунктиром части линзы), перед которыми установлены шкалы 2 и индексы-указатели. На крышке корпуса прибора закреплен наглазник с диафрагмой 4. С внутренней стороны отверстие диафрагмы окружено белым кольцом, которое служит фиксационной маркой. Диапазон измерений расстояний от середины переносицы до центра зрачков глаз от 25 до 38 мм; цена деления шкалы 1 мм; погрешность измерения 0,3 мм.

При работе прибор располагается таким образом, чтобы рукоятки перемещения индексов были обращены вниз. Держа прибор в левой руке, осторожно накладывают его носовым упором на переносицу пациента. Пациенту предлагают смотреть на фиксационную марку. В это время наблюдатель видит оба

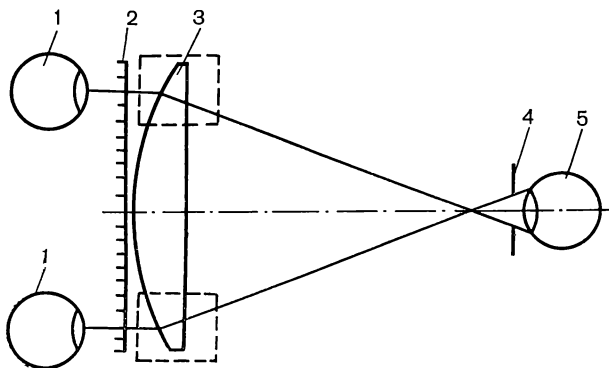


Рис. 90. Принципиальная схема измерителя расстояния между центрами глаз пациента.

1 — глаз пациента; 2 — шкала; 3 — объективы; 4 — диафрагма; 5 — глаз наблюдателя.

глаза пациента и находящиеся перед ними шкалы и индексы. При помощи рукояток, расположенных внизу корпуса, производят поочередно установку индексов так, чтобы они разделяли видимые зрачки глаза пополам. После этого прибор снимают с переносицы и производят отсчет по шкалам. Полученные данные записывают в рецепт на очки для дали.

**Измерительная линейка для подбора очковых оправ** предназначена для измерения расстояния между центрами зрачков глаз, а также для измерения на лице и голове пациента всех необходимых параметров с целью выбора очковой оправы в соответствии с индивидуальными особенностями пациента. Кроме того, она позволяет контролировать размеры очковых оправ и измерять диаметр зрачков глаз.

Измерительная линейка (рис. 91) изготовлена из прозрачного и бесцветного оргстекла. На ней нанесены различные шкалы с цифровыми обозначениями: общая шкала 1, шкала-трапеция 2, круговая шкала 3, шкала-сетка 4, шкала специального профиля 5, шкала скошенного конца линейки 6, шкала на базовом углублении 7. Для повышения контрастности штрихов

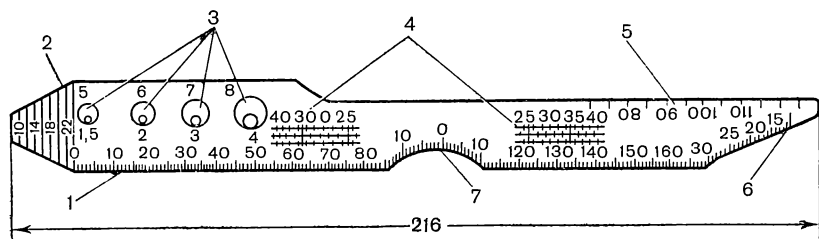


Рис. 91. Измерительная линейка.  
Объяснение в тексте.

шкалы 4 и 5 окрашены в желтый цвет, а остальные — в черный или красный.

Общая шкала (прямой направленности) имеет предел измерения от 0 до 170 мм, цена деления 1 мм. Шкала-трапеция — предел измерения от 10 до 24 мм, цена деления 2 мм. Шкала-сетка — предел измерения в горизонтальной плоскости от 23 до 42 мм, цена деления 1 мм, а в вертикальной плоскости — от 0 до  $\pm 2$  мм, цена деления 2 мм. Шкала специального профиля (обратной направленности) имеет предел измерения от 0 до 125 мм, цена деления 5 мм в пределах от 70 до 125 мм. Шкала скошенного конца линейки (шкала-уклон) предел измерения от 10 до 30 мм, цена деления 1 мм.

Общая шкала предназначена в основном для измерения расстояния между висками. Шкала-трапеция — для измерения расстояния между носовыми упорами оправы. Шкала-сетка — для измерения расстояния между центрами зрачков глаз отдельно для каждого глаза, от центра переносицы, а также вертикального смещения центров зрачков глаз. Шкала специального профиля предназначена для измерения расстояния от верхнего козелка ушной раковины до переносицы и для измерения длины заушника оправы от места крепления шарнира до начала загиба заушника. Шкала скошенного конца линейки предназначена для определения высоты переносицы.

**Офтальмометры** предназначены для определения радиуса кривизны и рефракции передней поверхности роговицы глаз, величины и вида роговичного астигматизма, а также направления главных сечений астигматической роговицы. Прибор находит наибольшее применение при подборе контактных линз с целью уточнения радиуса кривизны передней поверхности роговицы, а также при подборе очков для определения астигматизма глаза. Он может быть использован и при диагностике глазных заболеваний, связанных с изменением формы и кривизны роговой оболочки глаза (кератоконус, гидрофтальм и т. п.).

В основу методики офтальмометрии заложено допущение, что радиус кривизны, измеряемый в том или ином главном сечении, имеет постоянное значение на всем участке от центра роговицы к периферийным ее участкам, т. е. вся поверхность роговицы является сферической. В действительности это справедливо лишь для центральной зоны роговицы, диаметром 4 мм, называемой оптической зоной, которую и измеряют офтальмометром.

Принципиальная оптическая схема офтальмометрии показана на рис. 92.  $M'N' = 2l'$  является изображением объекта  $MN = 2l$ , полученного в результате отражения от роговицы 1 исследуемого глаза. Объектив 2 образует изображение  $M''N'' = 2l''$ , сопряженное с  $M'N'$ , которое рассматривается с помощью окуляра 4.



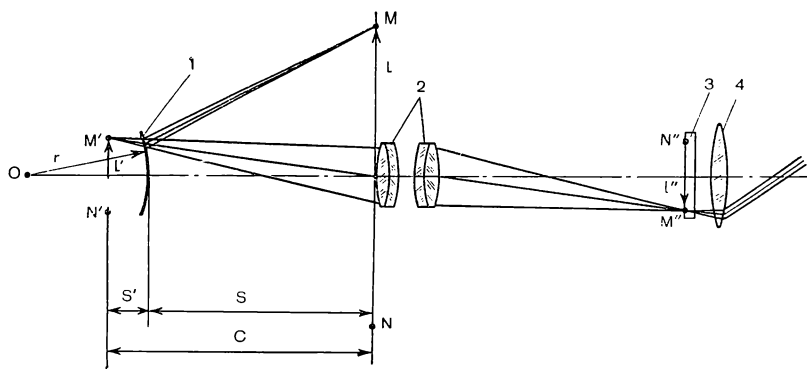


Рис. 92. Принципиальная оптическая схема офтальмометрии.

Объяснение в тексте.

Действие офтальмометров основано на том, что величины объекта 1, установленного перед роговицей, изображение этого объекта 1', полученное в результате отражения от роговицы, и радиус кривизны роговицы  $r$  связаны зависимостью, которая позволяет определить значение радиуса кривизны роговицы, если известны следующие величины:

$$r = \frac{2s \cdot l'}{l' - 1}, \quad (140)$$

где  $s$  — расстояние от поверхности роговицы до объекта.

Чтобы исключить необходимость определения величины  $s$ , оптическая система офтальмометра построена, таким образом, что изображение объекта 1', которое для оптической системы прибора является предметом, находится на одном и том же расстоянии от объектива. Для этого вся оптическая система устанавливается по отношению к глазу наблюдателя так, чтобы изображение совпадало с плоскостью неподвижно установленной сетки 3, обеспечивая постоянство расстояния от объектива 1 до изображения  $M''N''$ , которое обозначено на рис. 92 через  $s$ . Это значение заранее известно для офтальмометра и связано с  $s$  и  $s'$  соотношением:  $s = s - s'$ .

Выражая  $s'$  через  $s$  и  $c$ , подставляя  $s'$  в уравнение нулевых лучей, получаем:

$$s = \frac{r + c + \sqrt{r^2 + c^2}}{2}. \quad (141)$$

Это выражение справедливо для выпуклой поверхности. Подставляя значение  $s$  в выражение (140), получаем следующую зависимость:

$$l' = - \frac{r \cdot l}{c + \sqrt{r^2 + c^2}}. \quad (142)$$

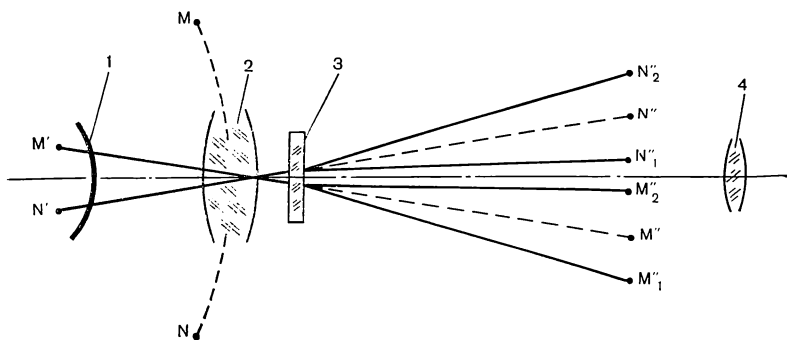


Рис. 93. Элемент удвоения в офтальмометре.  
1 — роговица глаза; 2 — объектив; 3 — элемент удвоения; 4 — окуляр.

Поскольку увеличение объектива  $\beta''$  величина постоянная для определенного прибора и заранее известна, постольку определение радиуса кривизны роговицы  $r$  сводится к измерению  $l'$  при известной  $l$  или  $l$  при известной  $l'$ . В первом случае величина объекта  $l$  постоянна, а  $l'$  переменна. Измеряя  $l'$ , определяют значение радиуса кривизны роговицы  $r$ . Такая схема используется в офтальмометрах с неподвижными марками. Во втором случае  $l'$  постоянна, а  $l$  — переменна и подлежит измерению. Вторая схема определения  $r$  используется в офтальмометрах с подвижными марками.

Особенностью оптических схем всех офтальмометров, имеющие выносные световые марки, является наличие в них элементов удвоения, необходимых для фиксации подлежащих измерению постоянно перемещающихся изображений световых марок из-за движений глаза. При введении элемента удвоения (рис. 93) вместо одного изображения в поле зрения элемента видны два  $M_1''N_1''$  и  $M_2''N_2''$ . Если точки  $M_2''N_2''$  совпадают, то величина линейного удвоения, которую всегда можно увязать с угловым удвоением  $2\varepsilon$ , равна величине изображения  $M''N''$ . Таким образом, зная величину удвоения, знают и величину изображения. Момент совпадения точек  $M_2''$  и  $N_1''$  хорошо виден в поле зрения офтальмометра, несмотря на то, что изображение объекта находится в постоянном движении. В приборах точки объекта  $M$  и  $N$  принадлежат специальному симметрично расположенным световым маркам.

Офтальмометры с подвижными марками характеризуются наличием двух подвижных световых марок, которые симметрично перемещаются по дуге, и элемента удвоения с постоянной величиной удвоения. Расстояние между марками изменяется до тех пор, пока величина изображения, зависящая от радиуса кривизны роговицы, станет равной  $l'$ , постоянной для данного офтальмометра. Расстояние между марками соответствует определенному радиусу кривизны роговицы, значение ко-

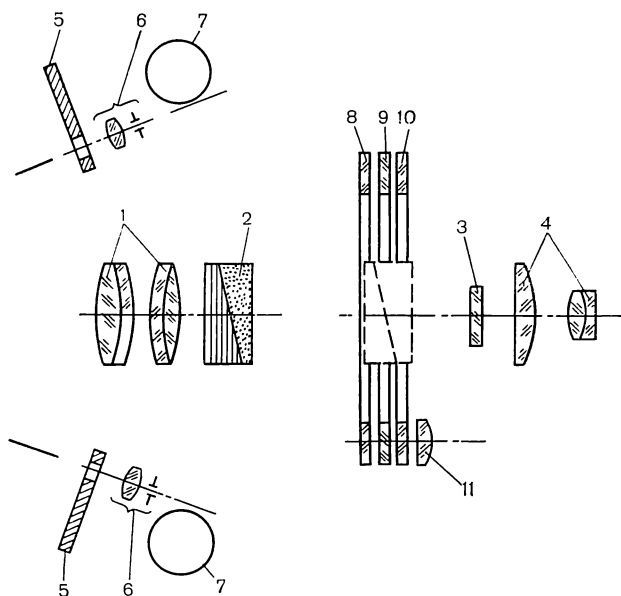


Рис. 94. Оптическая схема офтальмометра ОФ-3 с неподвижными марками: 1 — объектив; 2 — элемент удвоения (призма Волластона); 3 — сетка; 4 — окуляр; 5 — две марки; 6 — источник света; 7 — проекционное устройство; 8, 9 и 10 — шкалы отсчета; 11 — лупа.

торого читается по шкале, связанной с подвижными марками.

Офтальмометры с неподвижными марками характеризуются наличием двух неподвижных световых марок и элемента удвоения. Значение удвоения изменяется до тех пор, пока не станет равно  $1'$ , которая в свою очередь зависит от радиуса кривизны роговицы. Каждому значению радиуса кривизны роговицы соответствует определенное значение удвоения, изменения которого связаны со шкалой радиусов кривизны роговицы глаза.

Модели офтальмометров с неподвижными марками отличаются друг от друга, помимо дизайна, различными по конструкции элементами удвоения, определяющими кинематику прибора.

Отечественный офтальмометр ОФ-3 представляет собой модель с неподвижными марками. Оптическая схема офтальмометра ОФ-3 показана на рис. 94. Особенностью ее является использование призмы Волластона в качестве переменного элемента удвоения, помещаемой в сходящемся пучке лучей и перемещающейся вдоль оптической оси.

Увеличение всей системы офтальмометра совместно с исследуемым глазом определяется следующей зависимостью:

$$\Gamma = \beta' \cdot \beta'' \cdot \beta''', \quad (143)$$

где  $\beta'$  — увеличение при отражении от исследуемого глаза

$\beta''$  — увеличение собственно объектива (в офтальмометрах обычно равно 1);  $\beta'''$  — увеличение окуляра.

Пользуясь формулой (142), находят выражение для  $\beta'$ :

$$\beta' = \frac{l'}{l} = - \frac{r}{c + \sqrt{r^2 + c^2}}. \quad (144)$$

Для приближенных расчетов формула (144) будет иметь следующий вид:

$$\beta' = \frac{l'}{l} = - \frac{r}{2 \cdot c}. \quad (145)$$

Величина  $\beta'$ , как следует из формулы (145), может повышаться за счет уменьшения величины  $c$  при прочих равных условиях. Выбор этой величины в свою очередь зависит от расстояния между световыми марками и должен обеспечивать попадание в объектив прибора только тех лучей света, которые отразились от центра роговицы, а не от периферийных ее участков.

Другая возможность увеличить изображение марки заключается в увеличении расстояния между марками: учитывая  $\beta'' = 1$  и принимая во внимание формулу (145) можно записать:

$$l''_1 = \beta'_1 \cdot l \quad \text{и} \quad l''_2 = \beta'_2 \cdot l,$$

где  $l''_1$  — величина изображения после объектива для радиуса кривизны  $r_1$ ;  $l''_2$  — величина изображения после объектива для радиуса кривизны  $r_2$ ;  $\beta'_1$  — увеличение при отражении от поверхности с радиусом кривизны  $r_2$ ;  $l$  — высота световой марки от оптической оси в пространстве объектов.

Вычитая одно выражение из другого, получим:

$$\Delta l'' = l''_2 - l''_1 = l(\beta'_2 - \beta'_1). \quad (146)$$

Последнее выражение следует понимать так: если разница в оптических силах, соответствующих радиусам  $r_1$  и  $r_2$ , равна 1 дптр, то  $\Delta l''$  — будет изображением ступеньки марки. Если световая марка содержит 6 ступенек, как это принято, то и радиусы  $r_1$  и  $r_2$  должны соответствовать оптическим силам, отличающимся на 6 дптр. Величина марок не может быть изменена произвольно. Выражение (146) показывает, что размеры марки возрастут, если увеличить  $l$ .

Призма Волластона представляет собой два склеенных клина с одинаковыми углами, изготовленных из исландского шпата с определенной ориентацией оптических осей (рис. 95). Пользуясь приближенной формулой для угла отклонения, вносимого клином, следует записать для первого клина:  $[\epsilon_1]_I = \sigma_1(n_0 - 1)$  и для второго клина:  $[\epsilon_2]_I = \sigma_2(n_e - 1)$ , где  $\epsilon_1$  — угол отклонения обыкновенного луча  $I$  после первого клина;  $\sigma_1$  — угол при вершине первого клина;  $n_0$  — показатель преломления для обыкновенного луча;  $\epsilon_2$  — угол отклонения луча  $I$  после

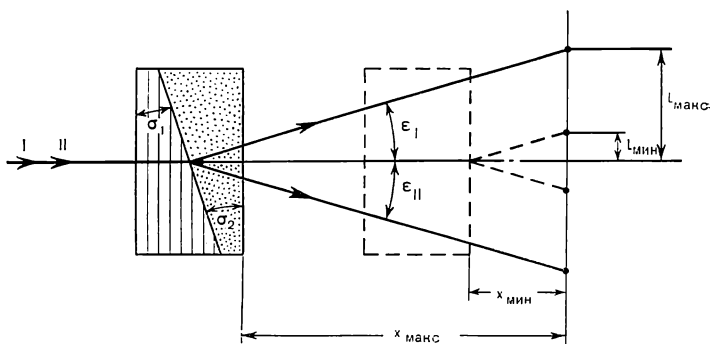


Рис. 95. Призма Волластона.  
Объяснение в тексте.

второго клина;  $\sigma_2$  — угол при вершине второго клина;  $n_e$  — показатель преломления для луча I во втором клине.

Во втором клине обыкновенный луч превращается в необыкновенный, т. е. распространение световой волны происходит перпендикулярно оптической оси клина.

Суммируя равенства  $[\epsilon_1]_I = [\epsilon_2]_I$  при  $\sigma_1 = \sigma_2$ , получим угол отклонения луча I после призмы Волластона:  $\epsilon_1 = \sigma_1(n_o - n_e)$ .

Таким же образом получают значение угла отклонения для луча II, но оно будет при равенстве значения иметь обратный знак:  $\epsilon_1 = -\epsilon_2$ .

Если вычислить величины, входящие в формулу (146), для максимального и минимального радиусов кривизны, то полученное значение  $\Delta l''$  покажет, в каких пределах должна изменяться величина удвоения, а следовательно, позволит рассчитать параметры призмы Волластона. Из рис. 94 видно, что:

$$l''_{\text{макс}} = x_{\text{макс}} \cdot \text{tg } \epsilon_1$$

$$l''_{\text{мин}} = x_{\text{мин}} \cdot \text{tg } \epsilon_1.$$

Вычитая из  $l''_{\text{макс}} - l''_{\text{мин}} = \text{tg } \epsilon_1 (x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}})$ , получим  $\Delta l''$ ,  $x_{\text{макс}}$  и  $x_{\text{мин}}$  — соответствуют расстояниям от призмы до плоскости изображения при  $\gamma_{\text{макс}}$  и  $\gamma_{\text{мин}}$ , а разность этих величин определяет границы перемещения призмы вдоль оси.

Анализ расчета показывает, что для уменьшения угла призма расстояние между световыми марками должно быть минимальным, а расстояние от призмы до плоскости изображения по возможности большим. Чем шире границы перемещения призмы вдоль оси, тем выше чувствительность офтальмометра.

Окончательное значение всех параметров офтальмометра находится в результате тригонометрического расчета хода лучей через всю оптическую систему.

Расчет шкалы производится в следующем порядке: по формуле (141) определяется значение  $s$  для какого-либо выбран-

ного радиуса кривизны роговицы  $г$ ; используя зависимость  $s=s-s'$ , где  $s$  и  $s'$  известны, находят значение  $s'$ , определяющее изображение после прохождения первой поверхности; значение  $l'$  определяется в результате просчета главного действительного луча через первую поверхность; по имеющимся результатам находится расстояние  $e$  от объектива до призмы Волластона для любого радиуса кривизны роговицы  $г$ ; каждому расстоянию  $e$  соответствует определенный угол поворота шкалы, рассчитываемый по формуле:

$$a^{\circ}_r = \frac{350^{\circ}}{72} (e_{r_{\min}} - e_r), \quad (147)$$

где  $a^{\circ}_r$  — угол поворота шкалы относительно неподвижного индекса для определенного радиуса кривизны  $г$ ;  $e_{r_{\min}}$  — расстояние между призмой и объективом для минимального радиуса кривизны; 72 — постоянная величина, соответствующая перемещению призмы для всего измеряемого диапазона радиусов кривизны. Полный угол поворота шкалы при этом равен  $350^{\circ}$ . Величина  $a^{\circ}_r$  подсчитывается для каждого значения радиуса кривизны через каждые 0,05 мм.

Шкала рефракции отражает значения оптической силы роговицы при преломлении —  $F_v$ , соответствующие определенным значениям радиусов кривизны роговицы  $г$ , а именно:

$$F_v = - \frac{(n' - n) \cdot 1000}{г} = \frac{332}{г}, \quad (148)$$

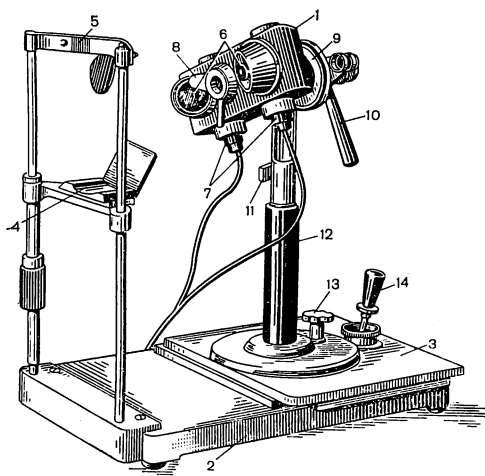
где  $n=1$ , а  $n'=1,322$  — показатель преломления роговицы.

На рис. 96 показан общий вид офтальмометра. Прибор состоит из оптической головки 1, основания 2, координатного столика 3 и лобноподбородной опоры (подбородник 4 и налобник 5). Оптическая головка предназначена для проведения всех необходимых измерений. На корпусе головки неподвижно укреплены две испытательные марки 6, которые освещаются осветителями 7. Около каждой марки расположено отверстие для образования проекции световых пятен, по которым производится предварительная установка в рабочее положение. Заслонка 8 закрывает отверстия, когда ими не пользуются. В центре корпуса заслонки нанесена белая кольцевая марка для фиксации взгляда исследуемого. Изображение марок рассматривается через окуляр, который имеет диоптрийную подвижку для коррекции аметропии наблюдателя.

Для отсчетов при измерениях служит шкала 9, красная круговая 8 по системе ТАБО и две черные шкалы, из которых наружная служит для отсчета рефракции роговицы, а внутренняя — ее радиусов. Лупа предназначена для удобства отсчетов. Она выполнена с возможностью наведения на резкость по глазу наблюдателя. С помощью рукоятки 10 оптическую головку можно поворачивать вокруг горизонтальной оси. Головка кре-

Рис. 96. Общий вид офтальмометра с неподвижными марками.

Объяснение в тексте.



пится винтом 11 на стойке 12 координатного столика. Установка головки по высоте производится вращением рукоятки 13. Координатный столик служит для перемещения оптической головки в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи рукоятки 14. Он крепится совместно с лобно-подбородной оп-

рой на одном основании-плите. Налобник снабжен заслонкой для закрытия неисследуемого глаза.

Перед исследованием производят регулировку прибора. Вначале проверяют, соответствуют ли электролампы напряжению сети, включают прибор в сеть, нажимают кнопку включателя и проверяют видимость световых пятен. Для этого на расстоянии примерно 100 мм от объектива ставят экран (лист белой бумаги) и открывают отверстия поворотом заслонки. Для проверки правильности показаний прибора устанавливают контрольную сферу в специальном отверстии в центре подбородника и производят измерение радиуса кривизны сферы по методике, изложенной ниже. Показания по шкале радиусов должны соответствовать радиусу контрольной сферы с точностью  $\pm 0,05$  мм. На этом регулировка заканчивается.

В начале исследования наблюдатель размещает перед объективом лист белой бумаги и устанавливает окуляр до появления резкого изображения сетки. Затем, перемещая лупу, добиваются резкого изображения шкалы прибора. Пациент располагается удобно перед прибором, опираясь головой на лобно-подбородную опору. При этом исследуемый глаз закрывается заслонкой. Пациент фиксирует центр белого кольца на корпусе заслонки. Путем поворота рукоятки заслонки открывают отверстия марок, изображения которых проектируются на глаз пациента. Перемещая прибор с помощью рукояток, добиваются совмещения обоих световых пятен на зрачке исследуемого глаза. После предварительной установки прибора световые марки закрывают. В дальнейшем наводку на резкость осуществляют с помощью перемещений рукоятки 14. При наблюдении в окуляр офтальмометра в поле зрения врача видны четыре изображения марок зеленого цвета. Для измерения используют две внутренние марки (рис. 97, а), которые сдвигают одна отно-

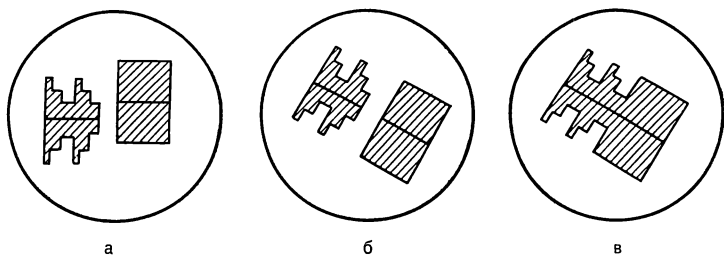


Рис. 97. Световые марки офтальмометра ОФ-3.  
Объяснение в тексте.

сительно другой путем вращения кольца 9 (рис. 97, б). Наблюдатель сдвигает эти марки до их соприкосновения (рис. 97, в). При этом, если преломляющая сила во всех меридианах роговицы одинакова, марки располагаются на одном уровне, т. е. черная линия в середине первой марки совпадает по уровню с соответствующей линией другой марки. Отсчет по шкалам прибора производят в момент соприкосновения марок. По шкалам определяют радиус кривизны роговицы и ее преломляющую силу в диоптриях в измеряемом меридиане.

Наличие астигматизма проверяют путем поворота прибора с помощью рукоятки 10 на  $90^\circ$  (см. рис. 96). Если при этом наблюдается перекрытие марок или их расхождение одна относительно другой, вновь передвигают марки до их соприкосновения и производят отсчет преломляющей силы роговицы. Разность значений преломляющих сил роговицы в обоих главных сечениях указывает степень астигматизма в диоптриях. Если в начале исследования марки располагаются на разных уровнях (см. рис. 97, а), прибор с помощью рукоятки 10 (см. рис. 96) поворачивают до тех пор, пока средние черные линии обеих марок не окажутся на одном уровне. Затем марки передвигают до соприкосновения (см. рис. 97, б) вращением кольца 9 (см. рис. 96) и по шкале отсчитывают величину преломляющей силы роговицы и угол наклона оси.

Поворачивая прибор на  $90^\circ$ , определяют преломляющую силу роговицы в другом главном сечении и степень астигматизма.

#### Технические характеристики

Диапазон измерения радиуса кривизны роговицы, мм	5—11,8
Цена деления шкалы радиусов, мм	0,05
Диапазон определения рефракции передней поверхности роговицы, дптр	28—66
Цена деления шкалы рефракции, дптр	0,25
Цена деления градусной шкалы, град	5
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	40
Габариты, мм	490×340×475
Масса, кг	12



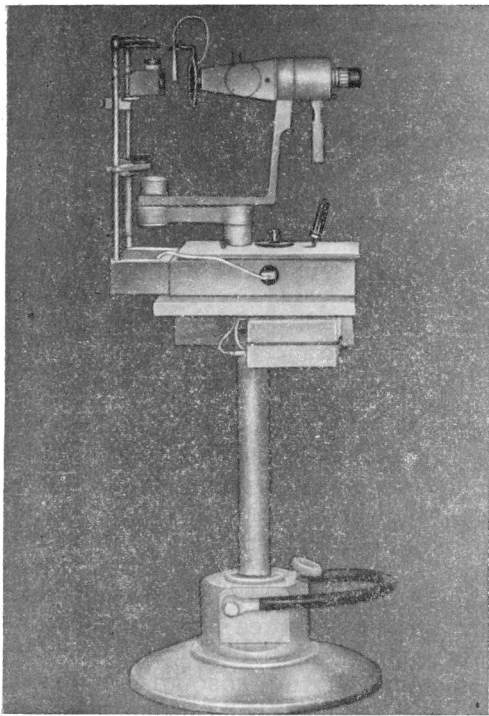


Рис. 98. Общий вид офтальмометра модели 110 комбината К. Цейс Йена

Современные офтальмометры, применяемые, прежде всего, при подборе контактных линз, а также при оптико-реконструктивных операциях на роговой оболочке глаза (кератотомия, кератофакия и др.), оснащаются устройством для топометрии роговой оболочки глаза и съемными перемещаемыми кюветами для измерения радиуса кривизны жестких и мягких контактных линз.

Устройство для топометрии роговой оболочки глаза представляет фиксационную светящуюся точку, имеющую собственно две степени свобо-

ды: перемещение по дуге от центра роговицы к ее периферии и одновременное перемещение по меридианам в диапазоне от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Примером такого устройства может служить фиксационная светящаяся координатная точка (рис. 98), являющаяся дополнительным приспособлением к офтальмометру модели 110 комбината К. Цейс Йена. В связи с тем что данная модель офтальмометра предназначена для подбора контактных линз, диапазоны измерения радиуса кривизны роговицы расширены до 13 мм, а диаметра, измеряемого с помощью перемещаемой фиксационной светящейся точки, до 4,4 мм.

Для измерения радиуса кривизны жестких и мягких контактных линз предназначена призматическая кювета, заполненная жидкостью (изотонический раствор натрия хлорида) со сферической выпуклой прозрачной стороной, на которую укладывают измеряемую контактную линзу. Далее радиус кривизны выпуклой поверхности контактной линзы определяется так же, как и радиус кривизны роговицы глаза.

Применение в современных офтальмометрах телецентрического хода лучей, когда световые измерительные марки проецируются на роговицу глаза из бесконечности (измерительные марки находятся в фокальной плоскости объективов проекционных систем), исключает влияние на результаты измерения радиуса кривизны роговицы глаза расстояния между прибором и

исследуемым глазом пациента, т. е. исключается необходимость точной наводки.

Осуществлены попытки создания офтальмометров, позволяющих производить измерение астигматической роговицы одновременно в двух меридианах при одной установке прибора. При этом результаты измерения не зависят от расстояния между прибором и исследуемым глазом и от аметропии и аккомодации исследователя, кроме того, изменение диаметра зрачка исследователя или небольшое смещение его с оптической оси не вызывает исчезновения одной из марок из поля зрения исследователя. Все это в определенной мере сокращает время исследования, делает его менее утомительным для пациента и врача или оптометриста.

В связи с тем что метод офтальмометрии обеспечивает прежде всего определение радиуса кривизны роговицы в двух главных сечениях, что недостаточно при подборе контактных линз, в последние годы все более широкое применение находят устройства, обеспечивающие кератоскопический, а теперь и фотокератометрические методы исследования формы передней поверхности роговой оболочки глаза, не требующие в своих схемах элементов удвоения.

Фотокератометр ФК-1. Метод исследования, обеспечивающий фотокератометрию, основан на оценке фотоизображения, полученного в результате отражения тест-объектов в виде концентрических колец известных диаметров и радиальной сетки от исследуемой поверхности. Результатом оценки фотоизображения концентрических колец является топография роговицы глаза, по которой производится расчет и выбор жестких роговичных контактных линз.

На фотокератограмме получается изображение 15 концентрических колец, расстояния между которыми различны и зависят от степени асферичности роговицы. Измеряя диаметры колец в главных сечениях роговицы и координатах радиальной сетки, рассчитывают коаксиальные радиусы кривизны роговицы (длина нормали от измеряемой точки на поверхности роговицы до оси симметрии под определенным углом к оси).

Схема фотокератометра ФК-01 показана на рис. 99. Он представляет собой полушаровой корпус 19 с встроенной в него фотооптической системой — камерой 11, укрепленной на стойке, связанной с координатно-подвижным столиком. Прибор снабжен лобно-подбородной опорой. Внутри корпуса 19 нанесены элементы измерительной марки; кольца 15 и радиальные линии 16 (на корпусе смонтированы марки наведения 9). Для создания равномерного фонового освещения внутри корпуса 19 вокруг тубуса 8 установлен диффузный рассеиватель 7. Подсветка осуществляется лампами накаливания 6 и 10. На тубус 8 устанавливают в торце экран 4 для предохранения от ослепления в момент вспышки импульсных ламп 5.

Внутри фотокамеры 11 находятся: фотообъектив 3, фикса-

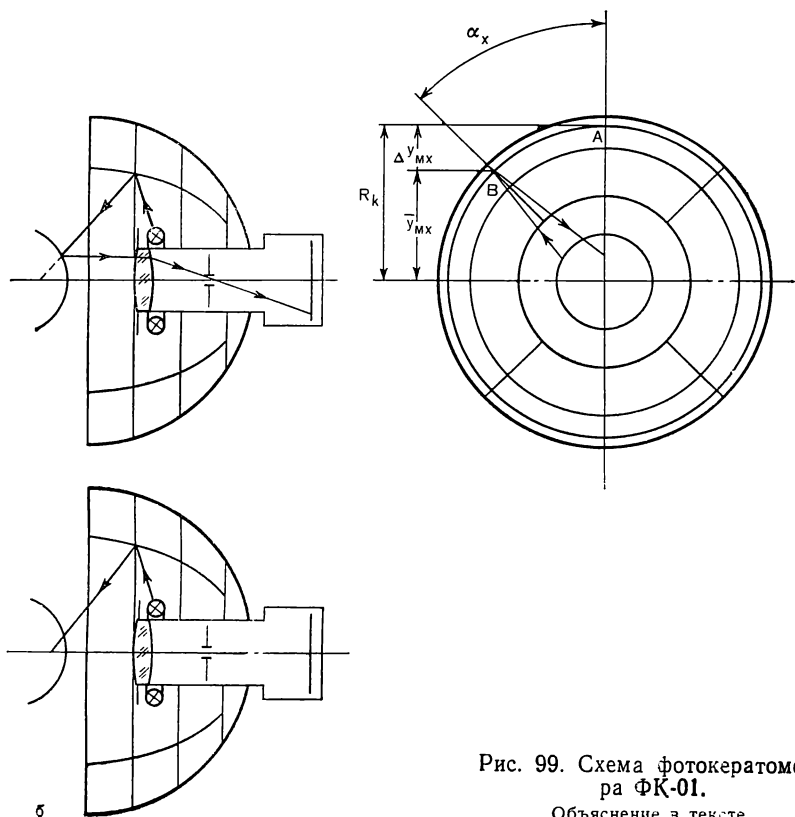
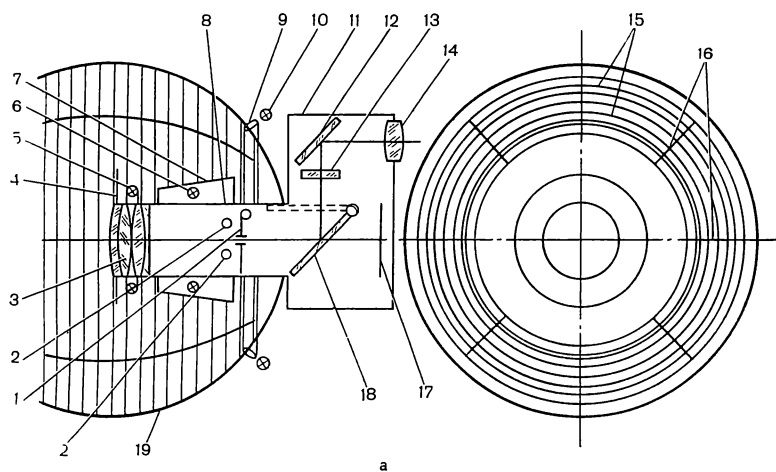


Рис. 99. Схема фотокератометра ФК-01.

Объяснение в тексте.

ционные точки 2, диафрагма, 1, откидное зеркало 18, фотопленка 17, пластина с перекрестием 13, зеркало 12 и окуляр 14.

Схема хода лучей в оптической системе «фотокератометр — роговица глаза» показана на рис. 99,б (случай отклонения нормали к поверхности роговицы глаза от меридиональной плоскости). Луч, падающий на поверхность роговицы глаза из какой-либо точки измерительной марки, всегда проходит вне меридиональной плоскости. Тогда и падающий луч отклоняется от меридиональной плоскости и при этом действительное значение координат точки измерительной марки отличается от номинального значения  $y_{мк}$  на величину

$$y_{мк} = r_k \cdot (1 - \cos \alpha_k), \quad (149)$$

где  $r_k$  — координатно-осевой радиус точки сечения поверхности роговицы глаза, равный длине отрезка нормали к сечению поверхности роговицы между сечением и оптической осью.

Фирмы «Оптометрик» и «Хэмфри» (США) создали автоматические кератометры для объективного измерения кривизны роговицы глаза, являющиеся основой для подбора контактных линз на первом этапе. Результаты измерения кривизны роговицы обрабатываются встроенной микроЭВМ, отображаются на панели прибора и регистрируют с помощью термопечати. Прибор позволяет измерять кривизну роговицы глаза в центральной и периферийной зонах (на  $13,3^\circ$  вправо и влево от оси наблюдения) и базисную кривую жестких контактных линз. В конструкции прибора использованы три инфракрасных светоизлучающих детектора, генерирующие лучи для измерения. Сигнал с фотодетектора преобразуется в цифровые величины и обрабатывается микропроцессором. Результат измерения кривизны роговицы представляет собой усредненное значение 10 измерений. Четвертый инфракрасный светоизлучающий диод предназначен для измерения базисной кривой жестких контактных линз.

#### Технические характеристики

Диапазон измерения кривизны роговицы, дптр	от 30 до 60
Градация диапазона, дптр	0,12
Диапазон измерения кривизны роговицы, мм	от 11,25 до 5,62
Градация диапазона, мм	0,01
Диапазон угловой шкалы, град	от 0 до 180
Градация диапазона, град	1
Потребляемая мощность, В·А	200
Габариты, мм	580×430×380
Масса, кг	33

**Рефрактометр** предназначен для объективного определения недостатков оптической системы глаза, учитываемых для установления рефракции корректирующих очковых линз и положений главных сечений при астигматизме.

Наибольшее распространение в отечественных офтальмологических учреждениях нашел коинцидентный рефрактометр Хартингера производства комбината К. Цейс Йена.

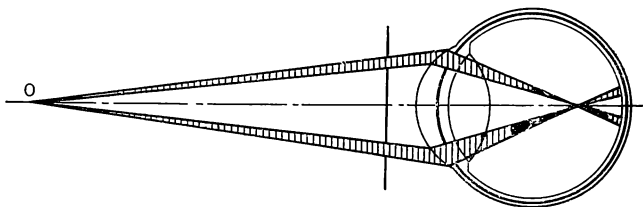


Рис. 100. Принцип Шейнера.  
Объяснение в тексте.

Схема рефрактометра Хартингера построена на принципе совмещения изображений (коинциденции). Если перед глазом установить две диафрагмы (рис. 100), то резкое изображение точки *О* получится только тогда, когда плоскость изображения будет находиться на сетчатой оболочке. При несовпадении сетчатки с этой плоскостью получают два кружка рассеяния (принцип Шейнера). В приборах в качестве тест-марки применяется не световая точка, а группа штрихов, нанесенных на посеребренную пластинку — мирю.

С помощью оптических клиньев свет от верхней половины миры будет проходить через одну диафрагму, а от нижней — через другую. Так достигается раздельное проектирование двух половин на глазное дно.

Величина дефокусировки в этом случае будет зависеть от минимального расстояния между изображениями, которое еще не вносит заметного разделения изображений.

Значение величины  $\sigma$  зависит от способности глаза раздельно видеть изображение двух линий, т. е. диаметр дифракционного пятна может быть определен из следующего соотношения:

$$2\sigma = 2 \frac{z \cdot \lambda \cdot l'}{\pi \cdot d}, \quad (150)$$

где  $\lambda$  — длина световой волны;  $z$  — величина, измеряемая в оптических единицах и принимающая значение, равное 3,83, при определении диаметра центрального дифракционного пятна;  $l'$  — расстояние от главной плоскости глаза до сетчатки;  $d$  — диаметр диафрагмы (ширина пучка лучей).

Отсюда порог чувствительности в пространстве изображения будет равен:

$$\delta l' = \frac{z \cdot \lambda \cdot l'^2}{\pi \cdot d \cdot 2h} = \gamma \cdot \frac{l'^2}{2h}. \quad (151)$$

При введении точного отсчета длины по делениям шкалы (Верньера) используется свойство глаза наблюдателя к деформации линии. Тогда  $\sigma$  будет в среднем в 5 раз меньше.

На рис. 101 показана принципиальная оптическая схема рефрактометра, состоящая из систем освещения, наблюдения и отсчета. Осветительная и наблюдательная системы имеют

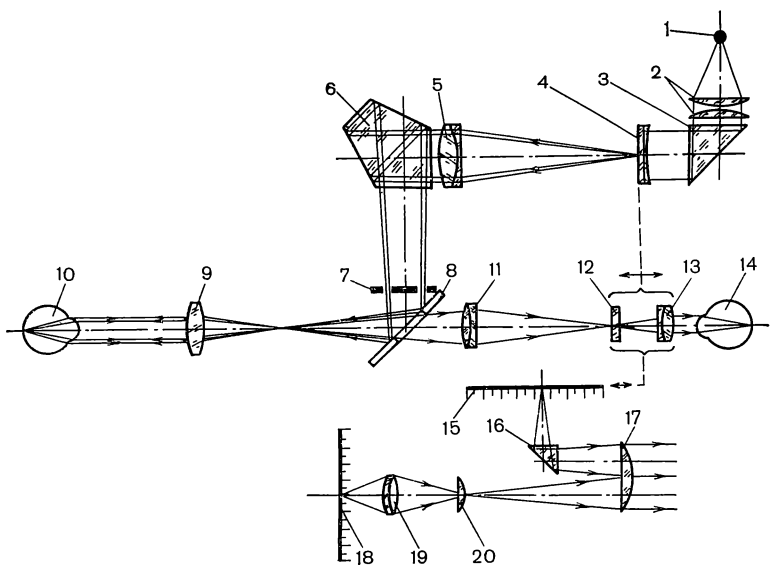


Рис 101. Принципиальная оптическая схема рефрактометра.  
Объяснение в тексте.

общую офтальмоскопическую линзу. Лучи от источника света 1, пройдя конденсор 2 и призму 3, падают на тест-метку 4, которая представляет собой три вертикальные и две горизонтальные щели. На вертикальных гранях призмы имеются две щели, разделяющие лучи, идущие от тест-метки, на два пучка. Далее эти пучки проходят объектив 5, пентапризму 6, диафрагму 7 с двумя щелями, отклоняются зеркалом 8 и с помощью офтальмоскопической линзы 9 попадают в исследуемый глаз 10. Пучки лучей, отраженные от глазного дна офтальмоскопической линзой, собираются в ее фокальной плоскости. Объективом 11 изображение из фокальной плоскости линзы переносится через отверстие в зеркале в плоскость сетки 12, затем рассматривается через окуляр 13 глазом наблюдателя 14.

Для определения рефракции наблюдатель совмещает изображение тест-метки с сетчаткой исследуемого глаза и производит отсчет. Отсчетная система включает в себя диоптрийную шкалу 15, по которой с помощью призмы 16 и лупы 17 определяются перемещения тест-метки. Отсчет поворота прибора вокруг горизонтальной оси производится по шкале 18 с помощью объектива 19, коллиектива 20 и лупы 17.

На рис. 102 представлен общий вид прибора. Рефрактометр установлен на вертикальном кронштейне координатного столика 15. Рукоятка 2 служит для перемещения прибора по высоте, а винт 11 — для закрепления его в нужном положении. Координатный столик установлен вместе с прибором на офтальмо-

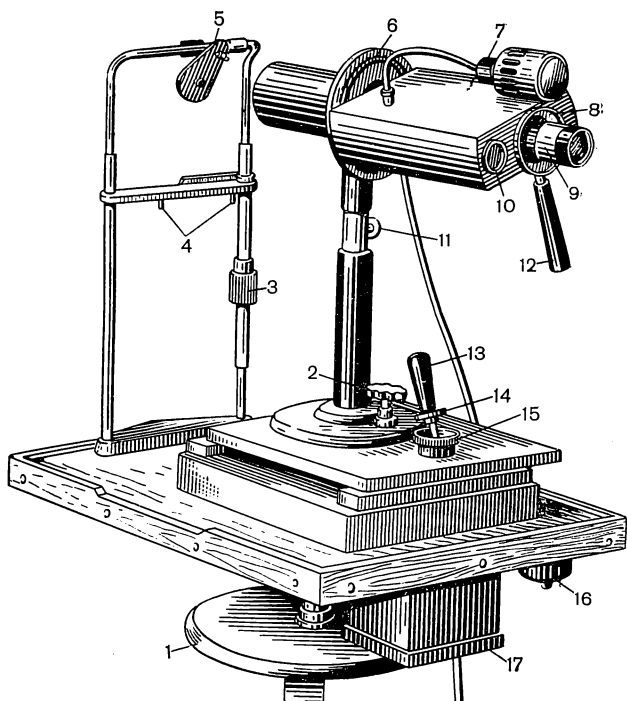


Рис. 102. Общий вид рефрактометра Хартингера комбината К. Цейс Йена.

логическом столе 1, где крепится лобно-подбородная опора 5, включающая в себя подбородную опору 4 и винт регулировки 3.

Рефрактометр состоит из двух основных узлов. Узел 6, расположенный со стороны исследуемого, представляет собой толстостенный патрубок, в котором находится офтальмоскопическая линза. Патрубок с линзой служит одновременно противовесом — он облегчает вращение прибора. Узел 7, расположенный со стороны исследователя, состоит из плоского пыленепроницаемого кожуха 8 с крышкой, в котором размещены все оптические и механические узлы. На задней наружной стороне кожуха находится маховичок для перемещения тест-марок вместе с окуляром. Рядом расположена лупа 10 для отсчета значений измеряемых рефракций. Осветительная лампа установлена в специальном корпусе. Рукоятка 12 служит для поворота прибора.

Регулировка и юстировка рефрактометра осуществляется в следующей последовательности: включив прибор 16, добиваются получения резких и полных изображений световых диафрагм на листе белой бумаги, расположенном примерно на расстоянии 80 мм от офтальмоскопической линзы. Для этого вращают

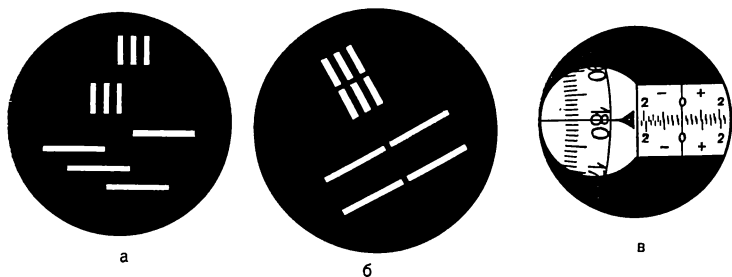


Рис. 103. Световые марки рефрактометра Хартингера комбината К. Цейс Йена.  
Объяснение в тексте.

вокруг оси лампы и вдвигают ее до отказа в корпус. Правильное положение тела накала обеспечивается центрирующим патроном, поэтому при замере лампы дополнительной юстировки не требуется.

В начале исследования пациент, удобно расположившийся перед прибором, закрывает исследуемый глаз, на веки которого проектируются изображения диафрагмы, причем четкость этих изображений достигается перемещением рукоятки координатного столика 13, снабженного фиксатором 14. Затем пациент открывает глаз и врач, наблюдая в окуляр прибора, видит горизонтальные и вертикальные светящиеся штрихи, представляющие собой отражение от глазного дна изображения тест-марки.

Аметропия глаза наблюдателя компенсируется регулировкой окуляра. При несовмещении вертикальных штрихов (рис. 103, а), которые предназначены для измерения осевой рефракции, наблюдатель вращает маховичок 9 (см. рис. 102), добиваясь их совмещения (рис. 103, б). Затем по освещенной шкале (рис. 103, в) определяется значение имеющейся аметропии. При этом цифры черного цвета указывают величину клинической рефракции исследуемого глаза, а цифры красного — заднюю вершинную рефракцию очковой линзы, необходимой для коррекции. Диапазон измерений клинической рефракции находится в пределах от  $-26$  до  $+20$  дптр, вершинной рефракции от  $-28$  до  $+15,5$  дптр.

Исследователь при совмещении горизонтальных штрихов, поворачивая прибор вокруг горизонтальной оси, наблюдает в окуляр за их расположением. Сохранение совмещения горизонтальных штрихов после поворота свидетельствует об отсутствии астигматизма, а смещение штрихов — на его наличие. При несовмещении горизонтальных штрихов в начале исследования, поворачивая прибор вокруг горизонтальной оси, добиваются их совмещения, при котором и определяют положение одного из главных сечений астигматического глаза. Другое главное сече-



ние располагается под углом  $90^\circ$  по отношению к первому. Отсчет углов производится по шкале. При этих двух положениях осей путем совмещения вертикальных штрихов определяют рефракцию в двух главных сечениях, разность которых и характеризует величину астигматизма.

Необходимо отметить, что исследование пациентов с помощью рефрактометра рекомендуется производить при медикаментозно расширенном зрачке для исключения аккомодации. При узком зрачке исследуемого глаза применяют методы, позволяющие уменьшать его аккомодацию (установку исследуемого глаза вдаль, отвлечение внимания пациента путем счета в уме и т. п.).

**Автоматические рефрактометры.** Расширение применения инфракрасного излучения в оптике и современные достижения электроники позволили ряду зарубежных фирм Японии, США, ФРГ создать несколько моделей автоматических рефрактометров, значительно сокращающих этап объективного определения рефракции глаза, позволяющих обслуживать прибор младшим персоналом, документировать результаты измерений.

В этих приборах на глазное дно исследуемого глаза проецируется невидимая (в инфракрасных лучах) марка, осуществляется автоматический электронно-оптический анализ ее изображения и регистрируются результаты измерения.

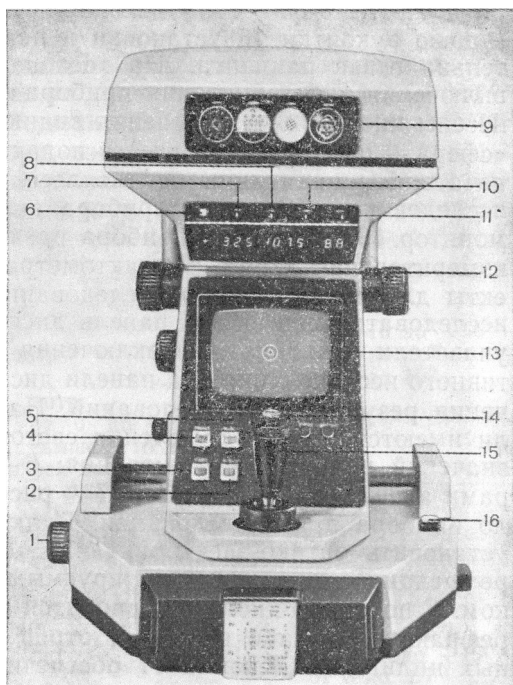
Впервые промышленный выпуск автоматических рефрактометров начался в начале 70-х годов в США. За 20 лет развития этих приборов они значительно видоизменились.

Регистрация результатов измерения в виде графика (Офталметрон); далее на специальной карте (Диоптрон) до предъявления на дисплее и регистрацией с помощью термопечати (модели 80-х годов); наведение прибора по зрачку глаза — от визирного оптического устройства до использования телевизионного монитора, встроенного в прибор. Усовершенствовано управление автоматическим рефрактометром — от многочисленных кнопок и рукоятки перемещения и фиксации прибора до минимального количества управляющих кнопок и введения в рукоятку перемещения части управляющих команд; и от индивидуального использования прибора только для объективного определения рефракции глаза до соединения в одну систему с автоматическим фороптером (для субъективного исследования рефракции глаза) или, как в самых последних моделях японских автоматических рефрактометров, введение тестов для субъективного определения рефракции глаза.

В автоматическом рефрактометре марка в ближайшей области ИК-спектра проецируется на дно исследуемого глаза. Изображение этой марки, отраженное от глазного дна, попадает на фотодатчики анализирующей системы через узкую щель, ориентируемую в каждый данный момент в одном из меридианов исследуемого глаза, и специальную подвижную оптическую

Рис. 104. Автоматический рефрактометр модели АР-3300 фирмы «Нидек» (Япония).

Объяснение в тексте.



систему. Анализатор настроен на поиск положения наибольшего контраста изображения (максимальной яркости). Поиск этот осуществляется перемещением линзы подвижной оптической системы. Положение линзы, при котором достигается наибольший контраст, указывает рефракцию глаза в данном меридиане. В процессе измерения щель, вращаясь, проходит все меридианы исследуемого глаза и данные, полученные в меридианах с максимальной и минимальной рефракцией, после двухразового измерения и при совпадении их, с помощью ЭВМ высвечиваются в привычной для офтальмологов форме: «сфера — цилиндр — ось».

Представителем современных автоматических рефрактометров является «Аutoreфрактометр» модели АР-3300 фирмы «Нидек» (Япония). Вид этого рефрактометра показан на рис. 104. Прибор устанавливается на офтальмологическом столике. В основании прибора вмонтировано термопечатающее устройство и электроэлектронные блоки управления и регистрации результатов измерения и исследования глаз.

К основанию прикреплена лобно-подбородная опора. На основании смонтирован координатный механизм, на котором установлена стойка, а на стойке корпус. Координатный механизм позволяет плавно перемещать в горизонтальной плоскости стойку, а соответственно и корпус прибора. Перемещение стой-

ки и жесткая фиксация ее положения осуществляется с помощью рукоятки 15 установки и центрировки прибора относительно глаза пациента. На основании установлена кнопка включения электропитания прибора 16. На стойке прибора вынесены кнопки: 2 — включения индикации на дисплее значений: «сфера — цилиндр — ось», 3 — подача термобумаги, 4 — термопечать, 5 — индикации на дисплее результатов субъективного исследования. В стойку прибора вмонтирован телевизионный монитор 13. В корпусе прибора размещена оптико-электронная измерительная схема рефрактометра и установлены тест-объекты для субъективного исследования. На корпусе со стороны исследователя вынесены панель дисплея 12 и информационные указатели с кнопками 9 включения тест-объектов для субъективного исследования. На панели дисплея 12 индицируются значения результатов исследований. На верхней части этой панели имеются кнопки включения световой индикации на дисплее значений результатов измерения: 6 — расстояния между центрами зрачков глаз пациента, 7 — расстояния от глаза пациента до прибора при исследовании. Включение кнопки 8 позволяет установить оптико-электронную схему прибора для измерения рефракции глаза с имплантируемым искусственным хрусталиком. С помощью кнопки 10 вводится измерение астигматической рефракции глаза с помощью отрицательных или положительных цилиндров. Кнопка 11 обеспечивает установку градации рефракции, с какой исследователю желательно проводить определение рефракции глаза пациента.

Начало исследования происходит после нажатия стартовой кнопки 14, расположенной сверху рукоятки 15. Заканчивается исследование определением рефракции субъективным методом, управляя ручкой 1. Так как исследование рефракции полностью автоматизировано, то от пациента требуется только сохранять неподвижное положение головы и внимательно смотреть на световую марку в приборе. Для расслабления аккомодации во время исследования световая марка предъявляется одновременно двум глазам и видна ему как бы в бесконечности. В это время исследователь, перемещая прибор, наводит, наблюдая за экраном телевизионного монитора 13, концентрические световые кольца на центр зрачка глаза пациента и нажимает стартовую кнопку 14. Когда исследование одного глаза заканчивается и результаты измерения рефракции высвечиваются на панели дисплея 12, то оператор наводит прибор с помощью рукоятки 15 на второй глаз пациента. По окончании исследования обоих глаз оператор нажимает кнопку 4, после чего с помощью термопечати результаты исследования фиксируются на специальной термобумаге. На регистрационном листке отпечатаны следующие данные: фамилия, пол, число, при каком расстоянии от глаза проводилось измерение, градация рефракций результатов трехкратного измерения и среднее значение рефракции «сфера — цилиндр — ось» правого и левого глаза, соответствующую

щие субъективные измерения, расстояние между центрами зрачков глаз пациента.

Следует заметить, что данные объективного измерения рефракции глаза, полученные то ли с помощью окулярного рефрактометра, то ли на автоматическом рефрактометре, не могут являться основанием для изготовления очков. Эти данные служат как исходные при подборе очков с учетом индивидуальной переносимости коррекции, т. е. этап подбора очков субъективным методом обязателен.

### Технические характеристики

Диапазон объективного измерения:

сферической рефракции, дптр	от —16 до +16
цилиндрической рефракции, дптр	от 0 до $\pm 7$
ось цилиндра, град	от 0 до 180

Точность измерения рефракций:	дптр:	
при значении рефракций	от 0 до $\pm 15$ дптр	$\pm 0,25$
	свыше $\pm 15$ дптр	$\pm 0,5$

Точность определения положения	оси цилиндра, град	
при значении рефракции:	от 0,25 до 1 дптр	$\pm 10$
	свыше 1 дптр	$\pm 5$

Градация значений результатов	измерений рефракции	
через, дптр	0,25, 0,12 или 0,01	
Время измерения одного глаза, с	0,5	

Субъективные измерения:

диапазон измерений рефракций:	
сферической, дптр	от —14 до +19
цилиндрической, дптр	от 0 до $\pm 7$

Градация значений измерения:	
рефракции, дптр	0,25
оси цилиндра, град	1
кросс-цилиндр, дптр	$\pm 0,25$

Точность измерения рефракции, дптр:	
до 0,75 дптр	$\pm 0,25$
свыше 1	$\pm 0,5$

Тест-объект «кольца Ландольта»

для исследования остроты зрения 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,2

Измерение расстояния между центрами зрачков глаз пациента, мм:

диапазон	до 85
градация через	1 мм

Размер экрана телевизионного монитора

Диапазон перемещения подбородной опоры, мм

Габариты, мм	50
Масса, кг	340×510×490
	25

## Глава 8

### ПРИБОРЫ ДЛЯ СУБЪЕКТИВНОГО ПОДБОРА СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Субъективные исследования рефракции глаза и других величин, необходимых при подборе средств коррекции зрения, предусматривают определение параметров на основании ответов пациентов. Для субъективного исследования рефракции

глаза отечественная промышленность выпускает следующие изделия: наборы пробных очковых линз и призм, наборы пробных контактных линз, пробные оправы, скрещенные цилиндры, астигмодорректор, призмный офтальмокомпенсатор, набор для подбора очков слабовидящим, установку для лазерорефрактометрии.

Наборы пробных очковых линз и призм предназначены для подбора очков методом субъективной пробы и ряда других офтальмологических исследований.

Наборы пробных очковых линз и призм должны удовлетворять ряду требований.

— Элементы набора должны быть удобны и просты в обращении и храниться в специальном футляре-укладке.

— Линзы и призмы должны обладать высокими оптическими характеристиками, т. е. точный расчет номинальных значений рефракций и максимально возможное устранение остаточного астигматизма наклонных пучков лучей.

— Завальцовка линз в обоймы должна производиться при минимальной децентрации, а в астигматических линзах и призмах еще и с минимальным отклонением положения главных сечений от нанесенных на обоймах индексов.

— Общая толщина линзы в обойме не должна превышать 4 мм, так как ширина каждого гнезда линзодержателя пробной оправы равна 4,2 мм; линзы и призмы желательно иметь наибольших диаметров, обоймы должны быть прозрачными, слегка замотированными, чтобы при подборе очков создавались условия, близкие к условиям повседневного их ношения.

Так как наборы являются средствами измерения медицинского назначения — они проверяются представителями Госстандарта при их выпуске. При этом предъявляются более высокие требования к приборам и приспособлениям, с помощью которых устанавливаются оптические параметры элементов наборов.

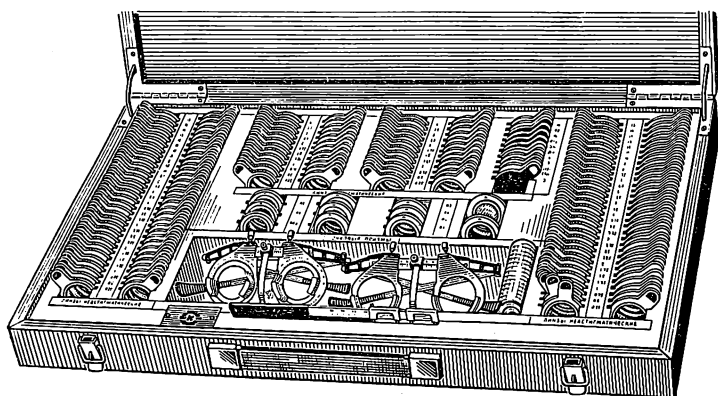


Рис. 105. Общий вид набора пробных очковых линз и призм.

Комплектность набора НС-2 (рис. 105): стигматических линз 68 пар до  $\pm 20$  дптр; астигматических линз 40 пар до  $\pm 6$  дптр; очковых призм 6 пар до 5 срад и 3 шт.: 6,8 и 10 срад; скрещенные цилиндры 2 шт.:  $\pm 0,25$  и  $\pm 0,5$  дптр, пробных очковых оправ — 2 шт (универсальная и с регулируемым расстоянием между линзодержателями), линейка измерительная для подбора очковых оправ — 1 шт.

В принадлежности наборов входят: нейтральные светофильтры с коэффициентом пропускания 75, 50, 25%, непрозрачные диафрагмы с диаметром отверстий 1,5; 3,0; 4,0 мм; щель размером  $1,5 \times 12$  мм, экран; красный и зеленый светофильтры; цилиндр Меддокса, пластины плоскопараллельные, матовое стекло.

#### Основные характеристики.

Наружный диаметр прозрачных обойм 37,5 мм, максимальная толщина обойм — 3 мм, световой диаметр для линз: до 4 дптр — 28 мм, свыше 4 до 8 дптр — 20 мм, свыше 8 дптр — 15 мм, для очковых призм — 22 мм. Градация пробных очковых линз: до  $\pm 4$  дптр через каждые 0,25 дптр, свыше  $\pm 4$  до 8 дптр — через каждые 0,5 дптр; свыше  $\pm 8$  до  $\pm 16$  дптр — через 1 дптр, далее  $\pm 18$  и  $\pm 20$  дптр.

Предельные отклонения рефракции пробных очковых линз: до 6 дптр —  $\pm 0,06$  дптр; от 6 дптр до 15 дптр  $\pm 0,12$  дптр; свыше 15 дптр  $\pm 0,25$  дптр.

Предельное отклонение призматического действия очковых призм: до 3 срад —  $\pm 0,2$  срад; свыше 3 срад —  $\pm 0,3$  срад.

Децентрация в линзах 0,25 и 0,5 дптр — 5 мм; в линзах от 0,75 до 2,0 дптр — 3 мм; свыше 2,0 дптр — 1 мм.

Предельное отклонение главного сечения (нулевого действия) астигматических пробных очковых линз и очковых призм: от номинального положения в линзах от 0,25 до 0,75 дптр (срад) —  $6^\circ$ ; свыше 0,75 до 3,00 дптр (срад) —  $4^\circ$ ; св. 3,00 —  $3^\circ$ .

Направления образующего цилиндра Меддокса и длинных краев щели должны быть параллельны направлению вертикальной оси обойм. Предельное отклонение направления,  $\pm 2^\circ$ .

Красные и зеленые светофильтры при наложении друг на друга не должны пропускать более 3% видимой части излучения, падающего на светофильтры. Матовое стекло должно пропускать не менее 60% падающего на него света от лампы накаливания.

Предельное отклонение коэффициента пропускания нейтральных светофильтров от их номинального значения не должно быть более  $\pm 5\%$ .

Местные натяжения в линзах, призмах и стеклянных пластинах, закрепленных в обоймах (удельная разность хода в стекле), не должна быть более 100 нм на 1 см.

Изделия наборов должны вставляться в соответствующие гнезда футляра и выниматься из них без заеданий; при этом на поверхностях элементов не должно появляться царапин и других видимых невооруженным глазом дефектов.

Каждая обойма имеет указатель, цвет и индекс которого соответствует определенной группе линз и других элементов набора. В красный цвет окрашены указатели обойм положительных линз, в черный — указатели обойм отрицательных линз, в синий — очковые призмы, в зеленый — дополнительные элементы.

На указателях обойм стигматических линз нанесены знак плюс (минус) и номинальное значение задней вершинной рефракции, выраженной в диоптриях. На указателях обойм астигматических линз нанесены знак плюс (минус) и наибольшее абсолютное значение задней вершинной рефракции (наименьшее значение — равно нулю). Кроме того, на обойме имеется треугольный индекс,

вершина которого показывает положение главного сечения с нулевой рефракцией (ось цилиндра).

На указателях обойм очковых призм нанесено значение призматического действия, выраженное в сантирадианах, и треугольный индекс, показывающий направление главного сечения очковой призмы.

На указателях обойм нейтральных фильтров нанесены значения коэффициентов пропускания в процентах, на указателях обойм красных светофильтров — буква К, зеленых — З. На указателе цилиндра Меддокса нанесена буква М, а на обойме имеется треугольный индекс, показывающий положение оси цилиндра. На указателе диафрагм нанесены значения диаметров отверстий, а на обоймах непрозрачных пластинок со щелью нанесена буква Щ. На указателе экрана — буква Э, а на плоскопараллельной пластине — ПС.

Габариты: 584×354×76 мм. Масса набора НС-2 — 6,8 кг.

Проверка задней вершинной рефракции пробных линз, призматического действия очковых призм, децентрации, положения главного сечения астигматической линзы и направление главного сечения очковой призмы производится с помощью диоптриметра или других устройств, погрешность измерения которых не должна превышать следующих значений:

От 0,25 до 6,0 дптр	±0,03 дптр
свыше 6,0 до 12,0 »	±0,06 »
» 12 » 15,0 »	±0,09 »
» 15,0 »	±0,12 »
при проверке призматического действия:	
до 3 срад	±0,10 срад
свыше 3 до 10 срад	±0,15 »
» 10 »	±0,25 »
при проверке децентрации:	
до 0,5 дптр	±2,0 мм
свыше 0,5 до 1,0 дптр	±1,0 »
» 1,0 »	±0,5 »
при проверке положения (направления) главного сечения:	
до 0,5 дптр (срад)	±3°
свыше 0,5 до 3,0 дптр (срад)	±2°
» 3,0 дптр (срад)	±1°

Проверка светопропускания цветных светофильтров осуществляется следующим образом: при наложении красного и зеленого светофильтров друг на друга нить накаливания лампы 25 Вт, расположенной на расстоянии наилучшего видения (300—330 мм), не должна быть видна.

Коэффициент светопропускания матового стекла проверяется с помощью люксметра класса точности 10 путем измерения освещенности поля, созданного непосредственно источником света, и освещенности этого поля через матовое стекло.

Коэффициент светопропускания нейтральных светофильтров должен проверяться с помощью фотоэлектрического колориметра с погрешностью измерения  $\pm 1\%$ .

Проверка дополнительного натяжения должна проверяться на полярископе. При отсутствии натяжений, т. е. с удельной разностью хода в стекле, не превышающей 100 нм на 1 см, должен быть виден равномерный фиолетовый фон, ограниченный обоймой.

Пробные оправы предназначены для точной установки линз относительно центров зрачков глаз путем тщательной

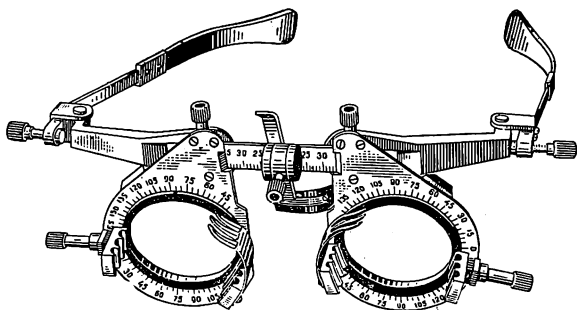


Рис. 106. Общий вид универсальной пробной оправы.

пригонки оправ применительно к индивидуальным особенностям строения лица и головы пациента.

Универсальная пробная оправка (рис. 106) предназначена для подбора очков при астигматизме, косоглазии и других офтальмологических исследований. Пробная оправка с регулируемым расстоянием между линзодержателями позволяет подбирать очки только со сферической рефракцией. Оправы имеют возможность регулировки положения упора на переносице. Расстояние между центрами линзодержателей может регулироваться от 48 до 82 мм. Установку линзодержателей по центрам зрачков исследуемых глаз осуществляют путем перемещения рамок вдоль направляющей линейки, на которой нанесена шкала. Рамки линзодержателей фиксируются стопорными винтами.

В универсальную пробную оправку можно вставлять (для каждого глаза) до 4 различных линз и призм. Вставленные в линзодержатели линзы прижимаются лепестковыми пружинами. Линзодержатели вращаются в рамках и при помощи винтов-поводков фиксируются в нужном направлении. Отсчеты угла направления оси цилиндра или положения базы призмы производят по круговым градусным шкалам на рамках. Цена деления шкалы  $5^\circ$ .

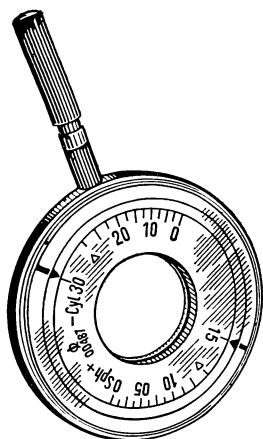
Для регулирования расстояния между линзами и глазом изменяют положение и наклон упора на переносице. Требуемое положение фиксируется винтом.

Конструкция заушников осуществлена таким образом, что они охватывают голову пациента и прижимаются к ней с помощью регулировочных винтов. В упрощенной пробной оправке с регулируемым расстоянием между линзодержателями градусные шкалы и подвижные линзодержатели отсутствуют.

Астигмокорректор предназначен для ускоренного определения астигматической рефракции глаза (рис. 107). Прибор состоит из двух вращающихся относительно друг друга, разных по знаку, но одинаковых по абсолютному значению рефракций цилиндрических линз ( $-1,5$  и  $+1,5$  дптр). Линзы вмонтированы в оправы. Поворот оправ с линзами относитель-



Рис. 107. Общий вид астигморекоректора.



но друг друга осуществляется вращением рукоятки прибора. Диапазон сферического компонента от 0 до 1,5 дптр, цена деления сферического компонента 0,125 дптр; диапазон цилиндрического компонента от 0 до —3,0 дптр, цена деления цилиндрического компонента 0,5 дптр. Наружный диаметр астигморекоorrectора 37,5 мм.

Астигморекоorrectор вставляют во внешнее гнездо универсальной пробной оправы. Ось прибора, обозначенную риской на ободке, устанавливают в положение, совпадающее с более слабым преломляющим главным сечением астигматического глаза, а затем вращением валика устанавливают значение цилиндра в соответствии с ориентировочными данными скиаскопии или рефрактометрии. Вводя стигматические линзы из набора в свободные гнезда оправы, следует добиваться наилучшей остроты зрения. С помощью осевой пробы со скрещенными цилиндрами можно уточнить положение оси, а с помощью силовой пробы (вращением валика астигморекоorrectора) — силу корригирующего цилиндра.

Скрещенные цилиндры (рис. 108) предназначены для уточнения цилиндрического компонента и положения оси цилиндра при определении астигматизма глаза.

Скрещенный цилиндр представляет собой оправу 4 с вставленной астигматической линзой 3, ось цилиндра которой составляет  $45^\circ$  с осью рукоятки оправы 2. Цилиндры выпускаются двух видов: с астигматической разностью 0,5 дптр ( $-0,25$  и  $+0,25$  дптр) и астигматической разностью 1 дптр ( $-0,5$  и  $+0,5$  дптр). Световой диаметр скрещенных цилиндров 34 мм, толщина оправы 4 мм.

Поворачивая рукоятку 2 на  $180^\circ$  относительно ее оси, быстро меняют местами положение направления отрицательного или положительного цилиндров, что обеспечивает уточнение величины цилиндрической составляющей астигматической рефракции.

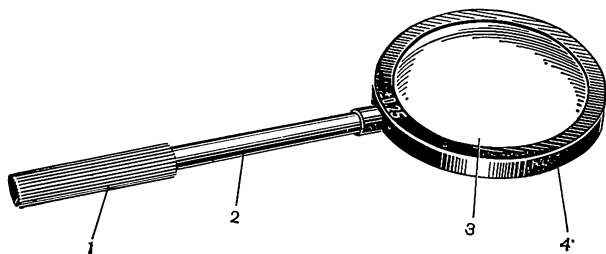


Рис. 108. Скрещенные цилиндры.  
Объяснение в тексте.

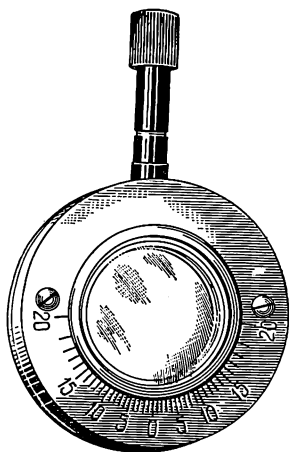
Рис. 109. Общий вид офтальмокомпенсатора.

Перемещая оправу 4 вокруг центра линзы на  $4-10^\circ$ , уточняют положение оси цилиндрической составляющей астигматической рефракции. Описанные выше манипуляции производятся во время подбора очков пациенту с помощью пробной оправы.

Офтальмокомпенсатор призмennyй ОКП-1 (рис. 109) предназначен для определения величины угла косоглазия и фузионных резервов, для проведения тренировочных упражнений с целью расширения фузионных резервов и подбора средств коррекции зрения. Офтальмокомпенсатор состоит из корпуса, в котором установлены две призмы, вращающиеся с помощью рукоятки в противоположные друг другу стороны. На одной из сторон корпуса нанесена шкала в сантирадианах (призмённых диоптриях). Принцип работы компенсатора основан на изменении преломляющей силы системы из двух вращающихся призм. Величина призматического действия от 0 до 20 срад. Цена деления 1 срад. Диаметр корпуса 37,5 мм. Офтальмокомпенсатор призмённый вставляют во внешнее гнездо универсальной пробной оправы. Вращением рукоятки устанавливают необходимое призматическое действие.

**Ф о р о п т е р ы.** Вместо наборов пробных очковых линз все шире за рубежом используются устройства для механизированной, а в последнее время и автоматизированной смены линз и призм перед глазами пациентов. Эти устройства чаще всего называют фороптерами, но имеются и другие фирменные названия: рефрактор, форовист, формат.

Механизированный фороптер для определения рефракции вдаль и вблизи (рис. 110) в принципе представляет собой набор дисков, сегментов, оправок с пробными линзами, призмами и другими необходимыми элементами, размещёнными в двух подвижных корпусах, перемещаемых на консоли. Консоль фороптера соединена с системой рычагов, которая закрепляется на вертикальной стойке установки для подбора очков или на стене. Корпуса с линзами перемещаются раздельно посредством червячной пары. Это перемещение позволяет установить смотровые отверстия для левого и правого глаза на расстоянии между центрами зрачков глаз по горизонтали от 50 до 80 мм. Предусмотрена возможность и вертикального раздельного перемещения корпусов до 5 мм, что позволяет точно выставить смотровые отверстия в соответствии с расстояниями от середины переносицы до центров зрачков левого и правого глаз от 25 до 40 мм.



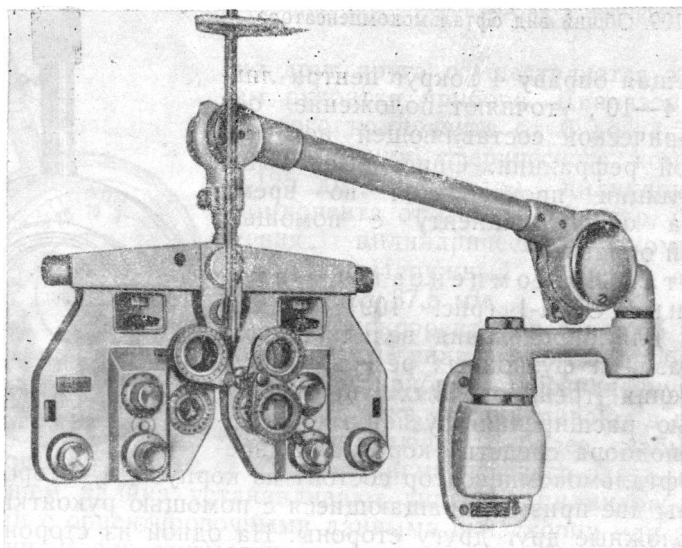


Рис. 110. Общий вид механизированного фороптера.

Первый диск с корригирующими линзами (диск Рекосса) состоит из набора с 12 обоймами. Из них одна обойма свободная, а в других вставлены линзы:  $+3$ ;  $+6$ ;  $+8$ ;  $+12$ ;  $+15$ ;  $-3$ ;  $-6$ ;  $-9$ ;  $-12$ ;  $-15$ ;  $-18$  дптр.

Второй диск Рекосса также состоит из набора с 12 обоймами, в которых одна обойма свободная, а в других вставлены второго на  $-2$  дптр с последующим уменьшением до  $-0,25$   $-1,00$ ;  $-1,25$ ;  $-1,5$ ;  $-1,75$  и  $-2,00$  дптр.

Таким образом, в сумме два диска обеспечивают предъявление пациенту пробных линз в диапазонах, для положительных линз от 0 до  $+15,75$  дптр (рефракции  $+1,0$  и далее до  $+2,75$  дптр получают установкой первого диска на  $+3$  дптр и второго на  $-2$  дптр с последующим уменьшением до  $-0,25$  дптр).

С введением из четвертого диска линзы  $+10$  дптр диапазон положительных линз расширяется до  $+25,75$  дптр, для отрицательных линз от 0 до  $-20$  дптр.

Третий диск Рекосса содержит астигматические линзы. Он также состоит из набора с 12 обоймами, из которых одна свободная, а в других следующие линзы с цилиндрической составляющей  $0,25$ ;  $0,50$ ;  $0,75$ ;  $1,00$ ;  $1,25$ ;  $1,5$ ;  $1,75$ ;  $2,00$ ;  $2,25$ ;  $2,5$ ;  $2,75$  дптр. Введение вращающихся астигматических линз с цилиндрической составляющей  $2,4$  и  $6$  дптр увеличивает диапазон определения астигматической рефракции до  $8,75$  дптр.

Четвертый диск заполнен следующими 12 элементами: окклюдор, свободным отверстием диаметром  $18$  мм, стигматичес-

кой линзой +0,12 дптр, для завершающей стадии определения рефракции глаза, призмой (6 срад с направлением главного сечения к виску для правого глаза пациента и 10 срад с направлением главного сечения к носу для левого глаза), фиксированный скрещенный цилиндр для завершающей стадии определения астигматической рефракции  $\pm 0,5$ , ось  $90^\circ$  — (минусовый цилиндр сф. +0,5  $\ominus$  цилиндр. —1,0, ось  $90^\circ$ ), стенопическое отверстие, поляризационный фильтр (для правого глаза плоскость поляризации  $135^\circ$ , для левого —  $45^\circ$ ), светофильтр (для правого глаза — красный, для левого — зеленый), цилиндр Меддокса с горизонтальным направлением оси цилиндра, цилиндр Меддокса с вертикальным направлением оси цилиндра, линза +10 дптр, линза +1,5 дптр для офтальмоскопии с расстояния 66,6 см.

На корпусе со стороны исследователя находятся цилиндрические ручки управления четырьмя дисками. На стойках размещены убирающиеся сегменты с вращающимися скрещенными цилиндрами (по заказу выбирается один из ряда:  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 0,85$ ;  $\pm 1,0$  дптр) — астигмокорректором, призмами (по заказу выбираются или по 10 срад, или по 20 срад) — призмный компенсатор, с ценой деления 2 срад. На самом корпусе в соответствующих местах нанесены градусная шкала ТАБО, шкалы расстояния от средней линии носа до центров зрачков глаз, в подсвеченные прорези которых наблюдается показание рефракций предъявленных пациенту линз.

Между корпусами с этой же стороны находится рукоятка управления положением корпусов относительно лица пациента. Это положение изменяется за счет перемещения лобного упора. Диапазон изменения расстояния от плоскости смотрового отверстия со стороны пациента до вершины роговицы его глаза от 14 до 22 мм. Наблюдение производится через оптический визир в специальных прорезях, находящихся у внешнего края корпусов со стороны исследователя.

Несколько ниже рукоятки управления положением корпусов, относительно лица пациента, на стойке укреплен держатель, в который вставляется штанга с тест-объектами для исследования рефракции, бинокулярного зрения, фузионной способности и других исследований вблизи.

Установка корпуса, перемещение линз, введение других элементов в смотровое отверстие осуществляется с помощью цилиндрических ручек. Шкалы расстояния от середины переносицы до центра зрачков глаз и показаний значений рефракций линз подсвечиваются мини-лампами.

Тест-объекты при определении рефракции для дали представляются проектором знаков для исследования остроты зрения, размещенным на стойке установки для исследования рефракции глаза субъективным методом.

Развитие микропроцессорной техники позволило перейти к созданию автоматизированных фороптеров. Одним из предста-

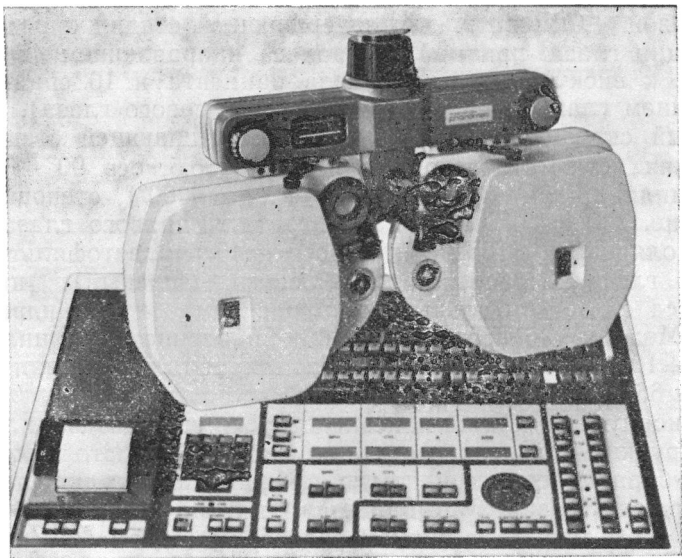


Рис. 111. Общий вид фороптера фирмы «Роденшток» (ФРГ).

вителей фороптеров нового поколения является «Форомат» фирмы «Роденшток» — рис. 111. Он состоит из фороптера, проектора знаков для исследования остроты зрения, стойки с пультом управления и кресла. Отличие этого устройства заключается в смене позиций дисков с линзами и другими элементами по команде с пульта управления. На пульте управления имеется четыре основные зоны: слева — термопечатающее устройство, регистрирующее результаты исследования рефракции правого и левого глаза; перед исследователем — кнопки управления дисками фороптера и цифровая индикация результатов исследования; у внешнего края пульта слева располагаются кнопки управления положением кресла, а справа — кнопки управления проектором знаков для исследования остроты зрения.

Вручную производится установка фороптера относительно лица пациента, установка на расстояние между центрами глаз каждого корпуса с дисками, введение в смотровое отверстие офтальмокомпенсаторов, установка корпусов под углом друг к другу при определении рефракции для близи и установка на стойке тестов для близи.

Технические характеристики «Форомата»: первый диск Рекокса состоит из набора обойм, из которых одна свободная, диаметром 18 мм, а в другие вставлены стигматические линзы:  $+3$ ;  $+6$ ;  $+9$ ;  $+12$ ;  $+15$ ;  $-3$ ;  $-6$ ;  $-9$ ;  $-12$ ;  $-15$  и  $-18$  дптр.

Второй диск Рекокса состоит из набора обойм, из которых одна свободная, а в другие вставлены следующие стигматические линзы:  $+0,25$ ;  $+0,50$ ;  $+0,75$ ;  $-0,25$ ;  $-0,50$ ;  $-0,75$ ;  $-1,0$ ;  $-1,25$ ;  $-1,5$ ;  $-1,75$ ;  $-2,0$  дптр.

Область определения сферической рефракции с помощью этих двух дисков: для положительных линз от 0 до +15,75 дптр, а для отрицательных от 0 до -20 дптр.

Третий диск Рекосса заполнен свободной обоймой и 11 обоймами с отрицательными астигматическими линзами от -0,5 до 5,5 дптр, через каждые -0,5 дптр с осью цилиндра 90°.

Четвертый диск Рекосса заполнен 12 обоймами: свободной со стенопическим отверстием, окклюдором, линзой +0,12 дптр, скиаскопическими линзами для расстояния 66,6 мм (+1,5 дптр), а для расстояния 50 мм (+2 дптр), фиксированным скрещенным цилиндром для завершающей стадии определения рефракции (сфера +0,5 дптр  $\ominus$  цилиндр -1,0 дптр, ось 90°), цилиндр Меддокса с горизонтальным направлением оси, призмой 6 срад для правого глаза с направлением главного сечения к носу и 10 срад для левого глаза с направлением главного сечения к виску, поляризационными фильтрами (135/45° для правого глаза и 45/135° для левого глаза), светофильтры для правого глаза красный, а для левого — зеленый, центрирующим перекрестием, цилиндром Меддокса с вертикальным направлением оси.

Офтальмокомпенсатор призмный имеет предельные значения до 20 срад, цена деления 2 срад, угловая шкала 360° с ценой деления 5°, световой диаметр 25 мм. Установка корпусов фороптера относительно роговицы глаза от 12 до 24 мм, индексные линии в визирном устройстве 12, 14, 18, 22 и 24 мм. Перемещение корпусов по вертикали до 6 мм.

Прогресс в развитии вычислительной и микропроцессорной техники позволили реализовать идею соединения в одной системе аппаратуру для объективного и субъективного исследования рефракции глаза. Такая система состоит из автоматизированного глазного рефрактометра, например, авторефрактометр фирмы «Хэмфри» (США), командно-регистрирующего электронного блока и автоматизированного фороптера. Данные объективного исследования рефракции глаз пациента направляются в вычислительно-управляющее устройство, от которого поступают сигналы на фороптер. При установке последнего перед лицом пациента, после перемещения от него автоматизированного глазного рефрактометра, в смотровых отверстиях корпусов фороптера находится набор пробных линз по рефракции и другим параметрам, соответствующим значениям рефракции глаз, определенных с помощью автоматизированного рефрактометра. С помощью пульта ручного дистанционного управления дисками фороптера и кассетами знаков проектора для исследования остроты зрения, расположенного на панели вычислительно-управляющего устройства, производится уточнение рефракции глаз пациента, переносимость подобранной и уточненной субъективным методом рефракции. В заключение происходит распечатка всех полученных данных с помощью термопечатающего устройства на бланке, по которым следует изготовить корригирующие очки.

Комбинат К. Цейс Йена разработал автоматизированную систему «Метрофор», обеспечивающую полный цикл исследования рефракции глаза от объективного, с помощью глазного коинцидентного рефрактометра, до заключительного субъективного этапа с помощью автоматизированного фороптера и проектора знаков для исследования остроты зрения с дистанционным управлением.

В системе «Метрофор» передача результатов измерения глазным рефрактометром к управляемому от микропроцессора фороптеру осуществляется вручную — набором клавиш; имеется цифровая индикация данных измерения, автоматическое печатание значений рефракций и других параметров, возможность подключения к внешним устройствам обработки данных, возможность смены линз фороптера вручную — нажатием клавиш.

#### Технические характеристики

Диапазон измерения сферической рефракции, дптр	от —13,5 до +16,5
Градация линз через, дптр	0,25
Диапазон измерения астигматизма, дптр	от +0,25 до +7,00
Градация астигматических линз через, дптр	0,25
Цена деления угловой шкалы (180 °С), град	1
Расстояние от вершины роговицы до линзы, мм	от 14 до 22
Диапазон расстояния между центрами зрачков	(базис — 18)
глаз пациента в фороптере, мм	от 50 до 80
Скращенный цилиндр, дптр	±0,25
Потребляемая мощность, В·А	1000

По заказу потребителя диск с цилиндрическими линзами в фороптере может быть заменен отрицательными цилиндрами (до —7 дптр), тогда диапазон сферических положительных линз расширяется до 23,5 дптр.

Отсутствие автоматического глазного рефрактометра несколько снижает эффективность системы «Метрофор».

Автоматизированные приборы и описанная система для подбора очков сокращают подготовительное время, облегчают труд исследователя рефракции глаз, исключают возможные ошибки при выписке рецептов и внесении результатов исследования в поликлиническую документацию. Наибольшее распространение автоматизированные системы для исследования рефракции глаз найдут в специализированных кабинетах для подбора очков при салонах-магазинах «Очковая оптика» и в поликлиниках.

Набор для подбора очков слабовидящим. Предназначен для подбора специальных очков лицам с сильно пониженной остротой зрения — 0,2 и ниже. Набор обеспечивает подбор следующих видов очков: бифокальных монокулярных для близи, унифокальных монокулярных с упором для близи, унифокальных монокулярных с осветителем для близи, бифокальных бинокулярных для дали.

Увеличение телескопических систем для дали — двукратное, оптическая сила насадок для чтения к телескопическим системам от +3 до +12 дптр, увеличители с упором 6 и 8 крат, увеличители с осветителем 10, 12, 15, 20 крат.

Подбор очков осуществляется с помощью имеющихся в наборе элементов. Набор позволяет подобрать размеры оправы по лицу пациента, выбрать подходящее увеличение для дали и близи. При наличии аметропии следует ввести коррекцию,

пользуясь для этого линзами из набора пробных очковых линз.

Результаты подбора очков записывают в специально разработанный рецепт.

Набор пробных жестких роговичных контактных линз. Подбор контактных линз в принципе можно разделить на два этапа—подбор формы контактной линзы и определение ее оптической силы. Эти параметры для большей части регулярных роговиц глаз определяются с помощью серийно выпускаемого набора пробных жестких роговичных контактных линз, разработанного Всесоюзным центром контактной коррекции зрения.

Набор пробных жестких роговичных контактных линз содержит 522 сферических и сфероторических линз, а также линз для коррекции кератоконуса. Номенклатура набора пробных жестких роговичных контактных линз приведена в табл. 20.

На основании данных офтальмометрии определяют базовый радиус кривизны подбираемой пациенту контактной линзы и в зависимости от степени астигматизма решают вопрос о применении сферосферической или сфероторической линзы. На глаз пациента надевается пробная линза из набора, оптическая сила и базовый радиус кривизны которой наиболее соответствует клинической рефракции и радиусу кривизны роговицы. Оценивая положение линзы на глазу, ее подвижность, распределение флюоресцеина в подлинзовом пространстве уточняют: базовый радиус кривизны индивидуальной линзы; определяют ее общий диаметр; диаметр оптической зоны и степень общей асферичности (разность между двумя радиусами кривизны, в начале и в конце зоны скольжения  $r_1-r_2$  чаще всего равно 0,65 мм). Ес-

Т а б л и ц а 20. Номенклатура набора пробных жестких роговичных контактных линз

Тип линзы	$r_0$ — радиус кривизны, мм	$F_v'$ — рефракция, дптр
10,2/7,0—1	от 7,10 до 8,20 через 0,1	—5, —10, +15
9,6/7,0—1	от 7,05 до 8,40 через 0,05	—5, —10, +15
—2	от 7,05 до 8,40 через 0,05	—5, —10, +15
—3	от 7,10 до 8,20 через 0,1	—5
9,0/6,4—2	от 7,05 до 8,40 через 0,05	—5, —10, +15
8,4/6,4—3	от 7,10 до 8,20 через 0,1	—5
9,6Т4	от 7,10 до 8,50 через 0,5	—5, —10, +15
Т6	от 7,10 до 8,50 через 0,5	—5, —10, +15
9,0Т4	от 7,10 до 8,50 через 0,1	—5
Т6	от 7,10 до 8,50 через 0,1	—5

Для линз типа 9,5/6,0 и 8,5/5,5 имеется в наборе:

$r_0$	4,5	4,75	5,00	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9
$F_v'$	—25	+24	+23	+21	+19	+18	+17	+15	+13	—12	—11	+9	+8	+7	+6

$r_0$  — радиус кривизны оптической зоны контактной линзы или базовый.



ли выбранная из набора линза соответствует глазу пациента, то ее оставляют на глазу для пробного ношения. За это время прекращается действие местного анестетика, уменьшается лакримация, возникающая при одевании линзы, происходит психологическая адаптация пациента к линзе. Если она выбрана правильно, то при повторном осмотре через 30 мин отсутствуют жалобы, не выявляются существенные изменения в подвижности, положении контактной линзы и флюоресцентной паутине. В противном случае подбор линзы следует продолжить.

Если в процессе подбора появляется покрасивание роговицы, то повторный подбор рекомендуется производить после полного исчезновения покрасивания. При необходимости назначают дезинфицирующие и кератопластические средства.

В большинстве случаев, применяя набор и учитывая данные офтальмометрии удастся подобрать индивидуальную контактную линзу.

## Глава 9

### ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Контроль оптических параметров готовых корригирующих очков и контактных линз производят с помощью диоптриметра, центрископа и кератометра.

**Диоптриметр** предназначен для измерения задней вершинной рефракции и призматического действия очковых линз, а также для определения и простановки оптического центра, положения главного сечения с наименьшей рефракцией (ось цилиндра) у астигматических линз и направления главных сечений у призматических линз.

Диоптриметры подразделяются на окулярные, проекционные и фотоэлектрические.

**Окулярный диоптриметр.** Принцип действия его заключается в следующем: если в параллельный пучок лучей поместить очковую линзу, то пройдя ее параллельный пучок лучей преобразуется в сходящийся для положительной линзы или расходящийся — для отрицательной. Изменяя сходящность или расходимость пучка лучей, падающего на очковую линзу, можно добиться такого положения, когда из данной очковой линзы будет выходить параллельный пучок лучей.

Оптическая система, состоящая из объектива и световой марки (коллиматор), изображение которой через объектив рассматривается с помощью телескопической зрительной трубы, позволяет получить резкое изображение световой марки коллиматора на сетке зрительной трубы только в том случае, когда в объектив зрительной трубы попадает параллельный пучок лучей. Введение в ход лучей очковой линзы изменяет сходи-

мость лучей и тогда изображение световой марки коллиматора на сетке зрительной трубы будет размытым. Если же перемещать световую марку коллиматора, то можно найти такое ее положение, при котором получится резкое изображение световой марки в поле зрения зрительной трубы.

Зная оптические данные объектива коллиматора и положение очковой линзы относительно объектива коллиматора, можно математически связать положение световой марки коллиматора, необходимое для получения ее резкого изображения, с положением заднего фокуса измеряемой очковой линзы. Положение заднего фокуса очковой линзы и определяет значение ее задней вершинной рефракции  $F_v^1$  в дптр, т. е.  $F_v^1 = 1000/s'$ , где  $s'$  — заднее вершинное расстояние системы в мм. Само же это расстояние равно  $s' = f'^2/z$ , где  $f'$  — заднее фокусное расстояние очковой линзы, мм;  $z$  — перемещение световой марки коллиматора, мм.

Отсюда значение вершинной рефракции измеряемой очковой линзы, отсчитываемой по диоптрийной шкале, равно:

$$F_v^1 = \frac{z}{f'^2} \quad (152)$$

т. е. каждому положению световой марки коллиматора соответствует определенное значение задней вершинной рефракции измеряемой очковой линзы, которое нанесено на шкалу, перемещаемую вместе со световой маркой коллиматора.

Оптическая схема окулярного диоптриметра показана на рис. 112. Лучи света от лампы 1 освещают световую марку 2. Чтобы из объектива 3 коллиматора выходил параллельный пучок лучей (на рис. 112 показан сплошными линиями), световая марка 2 должна быть установлена в задней фокальной плоскости объектива коллиматора. При этом против отсчетного индекса должно находиться нулевое деление диоптрийной шкалы. Пройдя через плоскопараллельную стеклянную пластинку 4 (с агатовым стержнем 5), пучок лучей попадает в объектив зрительной трубы 6. Далее лучи света собираются в фокальной плоскости объектива 6, в которой помещены две пластины 7; на одной из них нанесено перекрестие, а на другой — круговая шкала. Изображение световой марки коллиматора, перекрестие и круговая шкала рассматриваются через окуляр 8. Установив по глазу окуляр на резкость изображения, наблюдатель 9 увидит картину, изображенную на рис. 113.

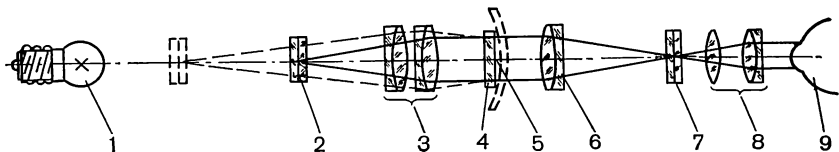


Рис. 112. Принципиальная оптическая схема окулярного диоптриметра.

Объяснение в тексте.

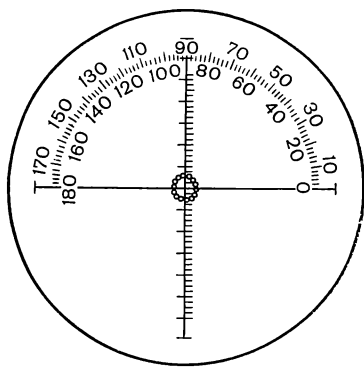


Рис. 113. Поле зрения зрительной трубы окулярного диоптриметра.

После того как в ход лучей введена очковая линза, четкое изображение световой марки коллиматора в фокальной плоскости объектива зрительной трубы может быть получено только при смещении световой марки коллиматора 2 из фокальной плоскости объектива 3 вдоль оптической оси диоптриметра.

Если рефракция очковой линзы отрицательная, то для того, чтобы из коллиматора выходил параллельный пучок лучей, необходимо, чтобы падающий пучок был сходящимся, т. е. световая марка 2 должна быть выве-

дена из фокальной плоскости объектива 3 влево от первоначального положения (в направлении от объектива), если же рефракция очковой линзы положительная, то для получения после нее параллельного пучка лучей необходимо, чтобы падающий пучок был расходящимся, т. е. световая марка 2 должна быть выведена из фокальной плоскости объектива 3 вправо от первоначального положения (в направлении к объективу).

При измерении задней вершинной рефракции стигматической линзы изображение световой марки коллиматора имеет вид круга из светлых точек (рис. 113), расположенного либо в центре, либо смещенного, если имеется призматическое действие проверяемой очковой линзы (очковая призма, децентрация стигматической линзы).

Если очковая линза астигматическая, то изображение световых точек коллиматора вытягиваются в группу параллельных линий, осью которых является прямая, лежащая в одном из главных сечений астигматической линзы (рис. 114). Резкое изображение этих линий можно наблюдать в двух положениях, соответствующих направлениям, перпендикулярным главным сечениям астигматической очковой линзы.

В диоптриметрах ряда зарубежных фирм конфигурации световых марок отличаются друг от друга. Наиболее распространена световая марка, которая принята в отечественных диоптриметрах. В других диоптриметрах светящаяся точечная окружность дополняется сплошными или точечными вертикальными и горизонтальными световыми линиями, имеются еще 4 совмещаемые (коинцидентные) световые марки.

В современных окулярных и проекционных диоптриметрах изображение диоптрийной шкалы и индекс отчета выносятся в само поле зрения окуляра (соответственно экрана) прибора. Это облегчает работу с прибором и сокращает время измерения, так как отпадает необходимость фиксировать отсчет с

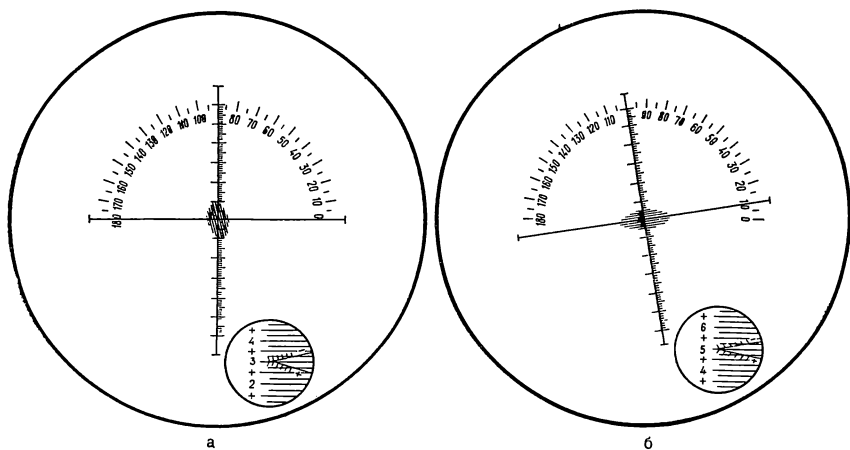


Рис. 114. Поле зрения окуляра зрительной трубы диоптриметра при определении главного сечения в астигматических линзах.

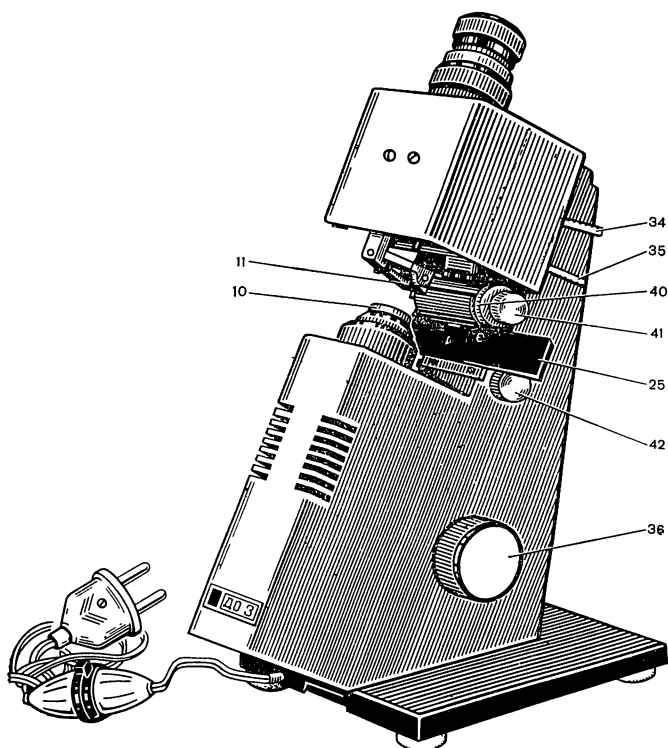


Рис. 115. Общий вид окулярного диоптриметра ДО-3.

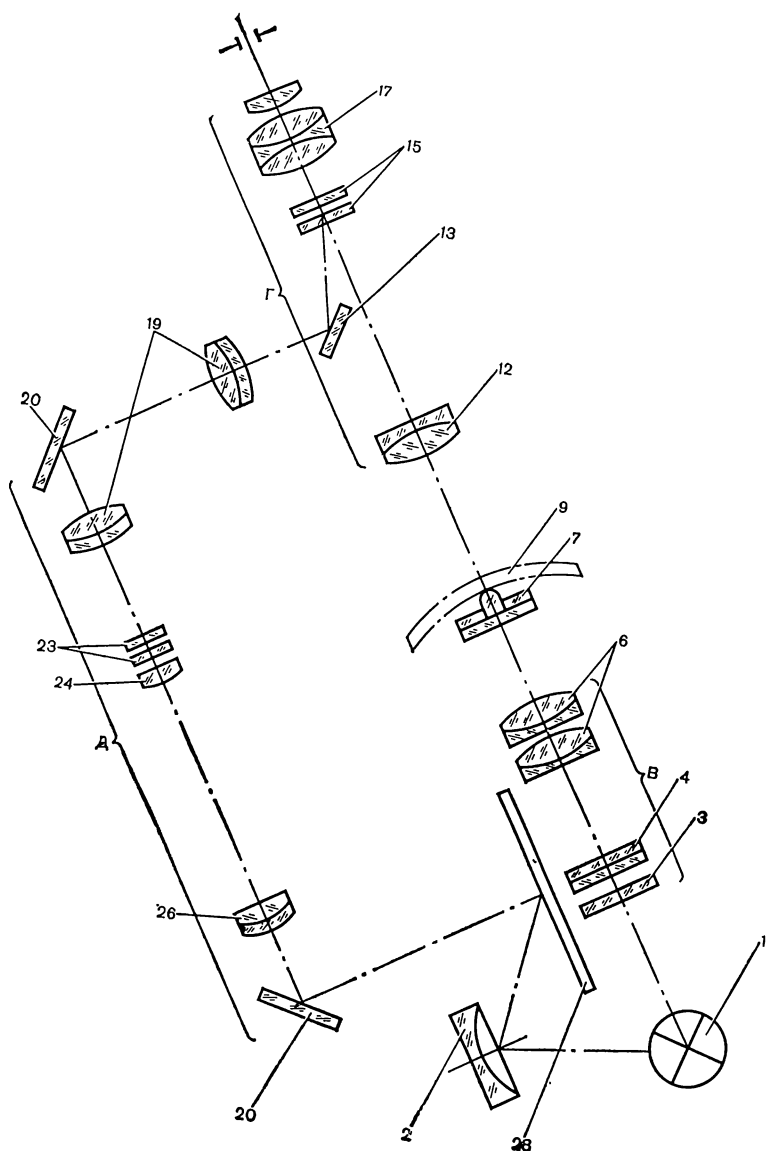


Рис. 116. Оптическая схема окулярного диоптриметра ДО-3.  
Объяснение в тексте.

помощью другой оптической системы, находящейся вне первоначального поля зрения. Примером служат два отечественных окулярных диоптриметра ДО-2 и ДО-3, диоптриметры проекционные ДО-59 и ДП-2.

Окулярный диоптриметр ДО-3. Общий вид прибора показан на рис. 115, а его оптическая схема на рис. 116.

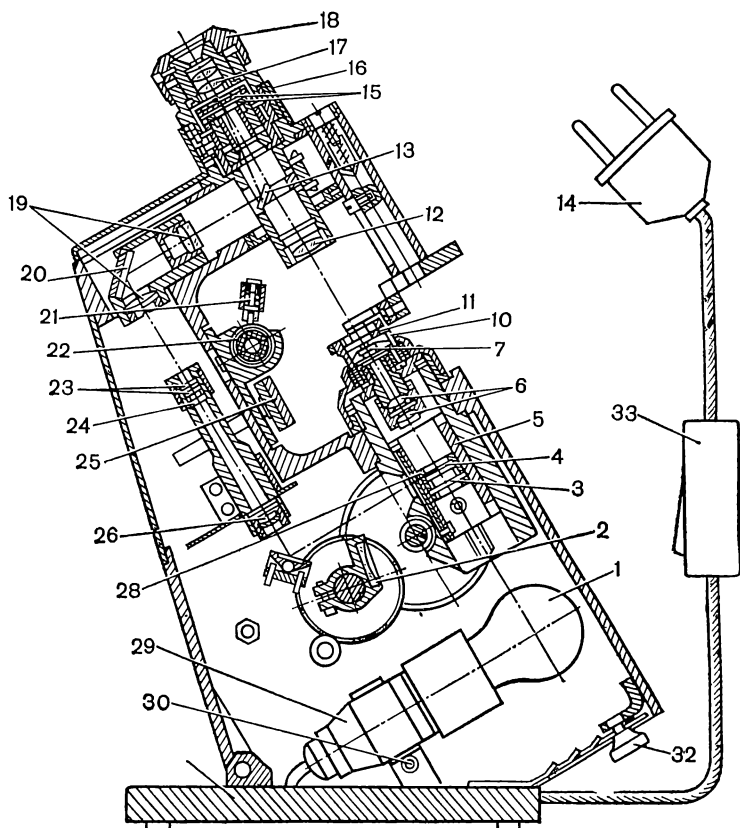


Рис. 117. Схематический разрез окулярного диоптриметра ДО-3.

Лучи света от осветителя проходят оптическую схему диоптриметра и через отсчетный канал Д проецируют изображение диоптрийной шкалы 28 в поле зрения окуляра 17 зрительной трубы Г.

**К о л л и м а т о р.** В цилиндрической трубке 5 смонтированы светофильтр 3 и сетка коллиматора 4. Шкала диоптрий 28 прикреплена к той же трубке. При вращении маховичков 39 (см. рис. 115) трубка 5 (рис. 117) при помощи шестеренки и пальца перемещается вдоль оптической оси коллиматора и сетка 4 устанавливается в нужном положении.

Объектив коллиматора 6 смонтирован в оправе, в верхней части которой закреплено стекло 7 с агатовым стержнем, на который опирается задняя поверхность очковой линзы, а ее поддержкой служит подвижная гильза 10. Фиксация очковой линзы осуществляется таким образом, что вершина задней поверхности очковой линзы совпадает с фокусом объектива кол-

лиматора 6. Это необходимо для правильного измерения задней вершинной рефракции.

Зрительная труба состоит из объектива 12, окуляра 17 и пластинок 15, расположенных в фокальной плоскости объектива. Окуляр 17 зрительной трубы закреплен в оправе 18 со специальной резьбой. Поворачивая эту оправу, можно установить окуляр по глазу наблюдателя на резкость изображения. Вращая кольцо 16, можно поворачивать верхнюю пластинку 15 с нанесенным на нем перекрестием и устанавливать его в любое положение относительно круговой шкалы, нанесенной на нижней пластинке 15, закрепленной неподвижно.

Механизм крепления очковой линзы устроен следующим образом: на подвижной шайбе имеется прижимное кольцо 11, которое непосредственно соприкасается с линзой, прижимая ее к агатовому стержню через подпружиненную гильзу 10. Необходимое давление осуществляется винтовой пружиной. Для установки очковой линзы на диоптриметре необходимо рычаг 3 (см. рис. 115) вывести из бокового паза и, поддерживая его, опустить приспособление на очковую линзу, в нерабочем положении приспособление находится в поднятом положении.

Механизм для маркировки очковой линзы состоит из планки, к которой прикреплены три штока 21, служащие для нанесения трех точек на поверхности очковой линзы. На другом конце планки имеется рычаг с рифлениями, на который при маркировке нажимают пальцем. В нерабочем положении штоки находятся над чернильницей 22. Чернильница представляет собой втулку с ввинченным в нее фетровым валиком. С помощью маховичка 36 втулку можно вынуть из гнезда корпуса чернильницы, вывернуть фетровый валик и при необходимости промыть его водой. Затем вернуть валик во втулку, пропитать его краской и вставить втулку в гнездо корпуса чернильницы до упора. С помощью маховичка 37 валик можно повернуть вокруг своей оси.

Для того, чтобы произвести маркировку линзы, надо: нажать на рычаг для смачивания отметочных штоков в чернильнице; поднять рычаг вверх до упора; опустить рычаг на небольшое расстояние, повернуть от себя до упора и нажать вниз до соприкосновения штоков 21 с поверхностью линзы; поднять рычаг вверх до упора и повернуть к себе. По окончании работы отметочные штоки следует промыть ацетоном.

Выравнивающий механизм предназначен для правильной установки очков относительно штриха  $0-180^\circ$  сетки зрительной трубы, для измерения расстояния от оптического центра до нижнего края линзы или оправы очков, а также измерения расстояния между оптическими центрами в бифокальных очковых линзах. Механизм состоит из выравнивающей планки 25, прикрепленной к оси, вставленной во втулку, которая прикреплена к корпусу диоптриметра. В оси профрезерован паз, в котором закреплена рейка. Рейка находится в зацеплении с

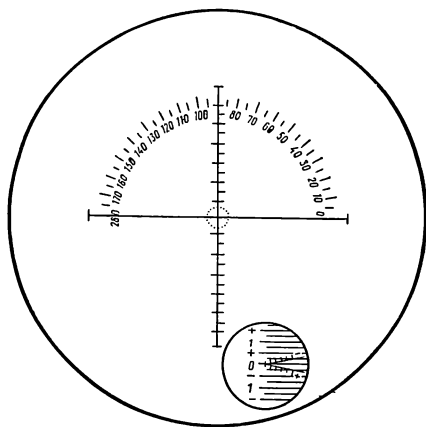


Рис. 118. Поле зрения окуляра зрительной трубы диоптриметра ДО-3.

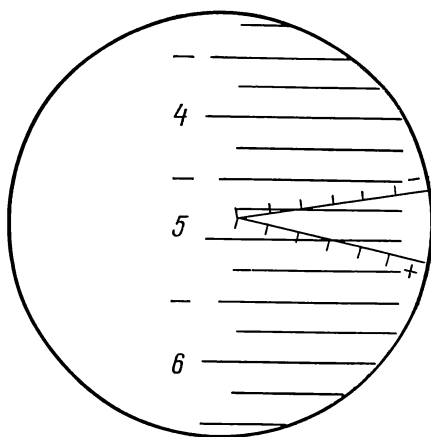


Рис. 119. Числовой отсчет по нониусу.

трубкой, на оси которой закреплен маховичок 38 со шкалой, а на корпусе имеется неподвижный индекс. Оцифровка шкалы соответствует расстоянию от оптической оси диоптриметра до выравнивающей планки.

Осветитель состоит из патрона 29 (см. рис. 117), лампочки 1 и скобы, в которую вставляется патрон. Патрон может перемещаться в скобе для получения оптимального освещения сетки коллиматора 4 и шкалы 28, после чего зажимается винтом 30.

Отсчетная система состоит из объектива 26, коллектива 24, нониуса 23, состоящего из двух пластин, оборачивающей сис-

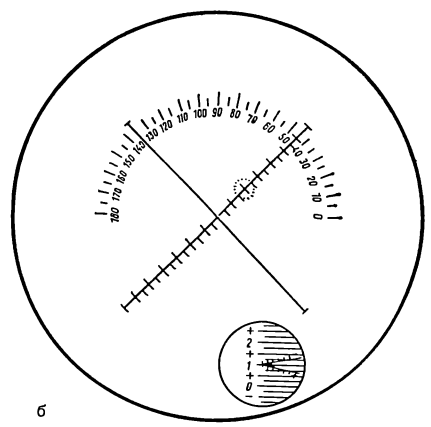
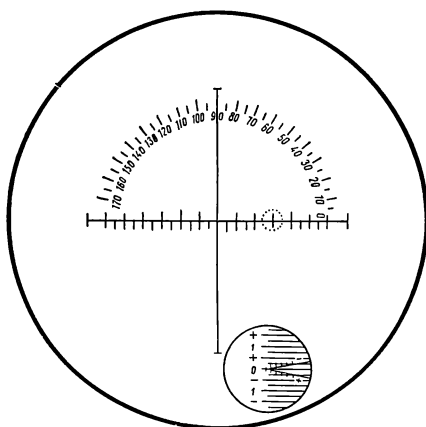


Рис. 120. Поле зрения окуляра зрительной трубы при измерении призматического действия очковой линзы.

а — значение призма 3 срад, ось  $0^\circ$ ; б — значение сфера +1 дптр, призма 2 срад, ось  $45^\circ$ .



темы 19, зеркал 13 и 20. Нониус имеет две линии, направленные друг к другу под углом. Одна линия — для снятия отсчета при измерениях плюсовых диоптрий, другая — минусовых. Эти линии имеют соответствующие знаки «+» или «—». Лучи нониуса делят каждое деление шкалы рефракций на 5 равных частей. В поле зрения окуляра зрительной трубы нониус вынесен за угловую шкалу (рис. 118). Пример числового отсчета по нониусу приведен на рис. 119.

Подготовка диоптриметра к работе. После включения прибора в сеть выключатель следует перевести в положение «включено» и, вращая оправу 18 (см. рис. 117) окуляра зрительной трубы, добиться резкого изображения сетки с перекрестием и шкалы рефракций. Перемещая с помощью маховичков 39 (см. рис. 115) точечную световую марку коллиматора, получают резкое ее изображение. При правильной установке световой марки отсчет по шкале рефракций должен быть равен 0 с отклонением до толщины штриха. После такой предварительной установки диоптриметра на нем можно производить измерение очковых линз. В зависимости от вида очковой линзы приемы измерения будут несколько различны.

Измерение задней вершинной рефракции стигматических очковых линз. Отдельную очковую линзу или линзу, вмонтированную в оправу, следует положить на подвижную гильзу 10 той поверхностью, которая должна быть обращена к глазу. Опустив рычаг 35, прижимают линзу к вершине агатового стержня. Перемещая ее по агатовому стержню, приводят изображение центральной точки световой марки на перекрестие сетки зрительной трубы. Наблюдая в окуляр зрительной трубы и перемещая с помощью маховичков 39 световую марку коллиматора, получают в поле зрения ее резкое изображение. Переводя взгляд на изображение шкалы рефракций с нониусом — отсчитывают значение задней вершинной рефракции измеряемой линзы в диоптриях. Цена деления шкалы рефракций 28 (см. рис. 116) равна 0,25 дптр, но нониус делит ее еще на пять частей с ценой деления каждой части 0,05 дптр. Оптический центр линзы отмечается средним штоком отметочного приспособления.

Измерение очковых линз с призматическим действием. При измерении очковой призмы или линзы с призматическим действием необходимо определить ее призматическое действие в сантирадианах, направление главного сечения линзы и при проверке готовых очков угол, под которым расположено главное сечение относительно оправы очков. Отсчет значения этого угла производится по шкале ТАБО.

Для линз, обладающих призматическим действием, при их измерениях на диоптриметре изображение центра точечной сетки располагается всегда вне центра перекрестия сетки зрительной трубы (рис. 120).

Значение призматического действия линз определяется по

делениям, нанесенным на одном из штрихов перекрестия сетки. Каждое малое деление соответствует 0,1 срад, каждое большое деление — 1 срад.

Измерение призматического действия производят в следующем порядке. Очковую линзу устанавливают на агатовый стержень и, вращая маховичок 39 (см. рис. 115), получают в поле зрения резкое изображение точечной сетки. Вращая кольцо 16 (см. рис. 117), устанавливают сетку с перекрестием так, чтобы штрих с делениями проходил через изображение центральной точки световой марки. Число делений, отсчитанное от перекрестия до изображения центральной точки световой марки, определяет призматическое действие очковой линзы.

Если линза помещена в очковую оправу, то оправу устанавливают так, чтобы ее нижние края касались планки 25 механизма перемещения.

По расположению штриха с делениями относительно угловой шкалы можно отсчитать угол, под которым располагается главное сечение призматической линзы относительно оправы очков.

Для отметки на линзе направления главного сечения следует поворачивать измеряемую линзу в плоскости опоры до тех пор, пока изображение центральной точки световой марки не расположится на штрихе перекрестия, совмещенном с делениями 0—180° круговой шкалы (рис. 120, а). В этом положении с помощью отметочного приспособления наносят три точки, которые и определяют направление главного сечения.

Измерение стигматических очковых линз, обладающих призматическим действием. В этом случае как при проверке готовых очков, так и отдельных очковых линз необходимо определить: заднюю вершинную рефракцию линзы в диоптриях, призматическое действие в сантирадианах и направление главного сечения.

Для того чтобы простая стигматическая линза обладала призматическим действием, она должна быть децентрированной, т. е. за счет перемещения линзы по вершине агатового стержня смещают на требуемое число сантирадиан изображение центральной точки световой марки и намечают с помощью отметочного приспособления точку, которая будет центром готовой линзы.

Измерения задней вершинной рефракции линз, обладающих призматическим действием, производят так же, как и измерения простых стигматических линз. Отличием является лишь то, что в данном случае изображение центральной точки световой марки не может быть приведено за счет перемещений линзы на центр перекрестия.

На рис. 120, б дан вид поля зрения при измерениях стигматических очковых линз, обладающих призматическим действием.

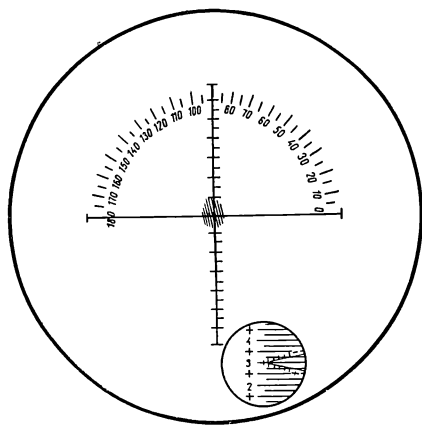


Рис. 121. Поле зрения окуляра зрительной трубы при измерении астигматической очковой линзы в главном сечении с наименьшей рефракцией.

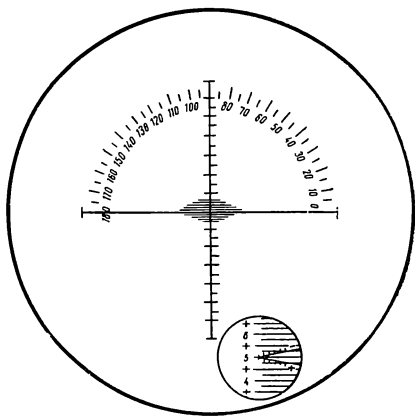


Рис. 122. Поле зрения окуляра зрительной трубы при измерении астигматической линзы в главном сечении с наибольшей рефракцией.

Измерение призматического действия, определение направления главного сечения и отметку его производят по методике, описанной выше.

Измерение астигматических очковых линз. Отличительной особенностью астигматической очковой линзы является наличие в ней двух главных сечений, в каждом из которых задняя вершинная рефракция имеет свое значение. При помощи диоптриметра можно определить значение этих рефракций, а также установить направление обоих главных сечений.

При измерении астигматической очковой линзы в поле зрения зрительной трубы вместо окружности из светлых точек виден ряд полос, расположенных параллельно одному из двух главных сечений очковой линзы (рис. 121). При определении рефракции второго главного сечения ряд параллельных полос будет направлен перпендикулярно направлению ряда полос в первом главном сечении. Чем больше астигматическая разность данной линзы, тем более вытянутыми будут полосы.

Установив очковую линзу на агатовый стержень и прижав ее, перемещением маховичков добиваются отчетливого изображения параллельных полос в поле зрения окуляра зрительной трубы.

Перемещая очковую линзу по агатовому стержню, подводят середину группы параллельных полос к перекрестию (это возможно в случае, если астигматическая очковая линза не имеет призматического действия). Затем, добившись резкого изображения световой марки, путем вращения маховичков 39 (см. рис. 115), делают отсчет (см. рис. 121). Рекомендуется первый отсчет производить для первого главного сечения (в котором рефракция меньше). При этом необходимо учесть, что при из-

мерении рефракции астигматических очковых линз сечение, в котором измеряется рефракция, всегда перпендикулярно направлению видимой в поле зрения диоптриметра группы параллельных полос.

Для измерения рефракции второго главного сечения нужно группу параллельных полос в поле зрения окуляра поставить в положение, перпендикулярное первому. Это легко достигается медленным вращением маховичка. Группа параллельных полос займет новое положение и будет наиболее отчетливо видна при расположении ее точно под углом  $90^\circ$  к первому. Наблюдая в окуляр зрительной трубы, делают второй отсчет (рис. 122).

Разность между первым и вторым отсчетами дает значение астигматической разности линзы.

Для астигматической линзы, вмонтированной в оправу, кроме астигматической разности, необходимо еще определить положение главного сечения с наименьшей рефракцией. Для этого оправу очков устанавливают на диоптриметр таким образом, чтобы ее нижние края касались планки 25 (см. рис. 117). Задняя (обращенная к глазу) поверхность очковой линзы должна быть прижата к агатовому стержню.

Вращая кольцо 16, поворачивают сетку с перекрестием так, чтобы один из его штрихов (лучше тот, который не имеет делений) установился параллельно направлению полос для главного сечения с более сильной рефракцией. По положению этого штриха на круговой шкале отсчитывают угол, под которым располагается первое главное сечение относительно оправы очков (см. рис. 121). Чтобы отметить на очковой линзе положение первого главного сечения, необходимо очковую линзу положить на агатовый стержень и прижать резиновым кольцом 11 (см. рис. 117).

Вращая маховички, устанавливают световую марку на резкость и положение, соответствующее отсчету наибольшей (алгебраически) рефракции. Поворачивают линзу до тех пор, пока направление группы параллельных полос не станет параллельным штриху перекрестия, совмещенному с делениями  $0-180^\circ$  угловой шкалы; при этом середина группы полос должна быть на перекрестии (см. рис. 122). Затем с помощью отсчетного приспособления наносят на линзу три точки, которые определяют положение главного сечения с наибольшей рефракцией. Перед маркировкой еще раз проверяют рефракцию и направление полос параллельно положению этого главного сечения.

Часто приходится отмечать на очковой линзе не положение первого главного сечения, а так называемую нулевую линию. Для этого очковую линзу устанавливают на диоптриметр, как указано выше, и вращают маховички до получения вытянутых полос в направлении главного сечения, соответствующего максимальному отсчету рефракции.

Поворачивая линзу, устанавливают ее так, чтобы отсчет по круговой шкале, произведенный по штриху перекрестия, совме-

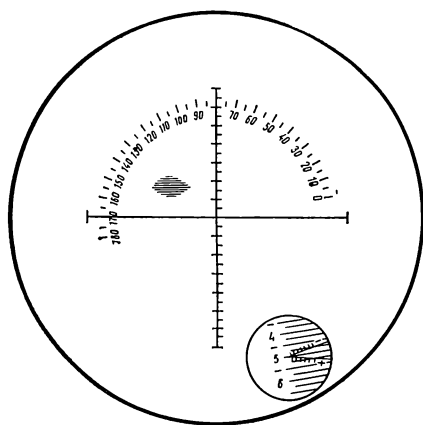


Рис. 123. Поле зрения окуляра зрительной трубы при измерении астигматической линзы с призматическим действием.

щенному с направлением вытянутых полос, соответствовал заданному рецептом углу, например  $10^\circ$  (рис. 114, б). В этом положении наносят на линзу три точки, которые и будут определять направление «нулевой линии».

Измерение астигматических очковых линз, обладающих призматическим действи-

ем. В этом случае определяют следующие величины: заднюю вершинную рефракцию в двух главных сечениях, положение главного сечения с наибольшей рефракцией, призматическое действие очковой линзы и направление главного сечения призматической линзы.

Задняя вершинная рефракция в двух главных сечениях определяется так же, как это описано ранее. При этом середина параллельных полос при любых перемещениях очковой линзы располагается вне перекрестия сетки зрительной трубы (рис. 123).

Направление главного сечения с наибольшей рефракцией определяется в данном случае по пересечению с угловой шкалой штриха перекрестия, установленного параллельно направлению соответствующей группы параллельных полос.

Для определения призматического действия данной очковой линзы и направления главного сечения, подводят ветвь перекрестия с призматическими делениями к середине группы параллельных полос. Количество делений, отсчитанное от перекрестия до середины группы полос и определит призматическое действие, а пересечение данного штриха с угловой шкалой определит угол, под которым находится направление главного сечения призматической линзы.

В случаях, когда необходимо отметить тремя точками направление главного сечения или «нулевую линию», поступают так, как описано выше, с той только разницей, что группу параллельных полос нельзя привести на перекрестие, а следует устанавливать параллельно штриху перекрестия, совмещенному с соответствующим делением угловой шкалы.

Измерение бифокальных очковых линз. В данном случае необходимо определить отдельно характеристики обеих частей очковой линзы и измерить расстояние между их оптическими центрами. Для этого, установив на агатовый стержень диоптриметра верхнюю часть линзы и приведя изображение центра

световой марки на центр перекрестия, определяют ее характеристики. Затем, вращая маховичок выравнивающего механизма, подводят до соприкосновения с измеряемой линзой поперечную планку. По шкале выравнивающего механизма снимают отсчет, определяющий расстояние в миллиметрах от оптического центра верхней части очковой линзы до поперечной планки.

Затем устанавливают на агатовый стержень нижнюю часть линзы так, чтобы световой марки и центр перекрестия были совмещены, и определяют ее характеристики. После чего, вращая маховичок выравнивающего механизма, подводят поперечную планку до соприкосновения с измеряемой линзой. По шкале выравнивающего механизма снимают отсчет для нижней части линзы. Разность двух отсчетов по шкале выравнивающего механизма дает расстояние в миллиметрах между оптическими центрами двух зон бифокальной очковой линзы.

#### Технические характеристики

Диапазон измерения задних вершинных рефракций очковых линз, дптр	от +25 до —30
Цена деления диоптрийной шкалы, дптр	0,25
Цена деления иониуса диоптрийной шкалы, дптр	0,05
Диапазон измерения призматического действия, срад	от 0 до 6
Цена деления шкалы призматического действия, срад	0,1
Диапазон показаний угловой шкалы, град	от 0 до 180
Цена деления угловой шкалы, град	1
Диапазон измерения расстояния от оптического центра очковой линзы до ее края или края очковой оправы, мм	от 17 до 37,5
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, В·А	не более 32
Габариты, мм	325×225×150
Масса, кг	не более 5

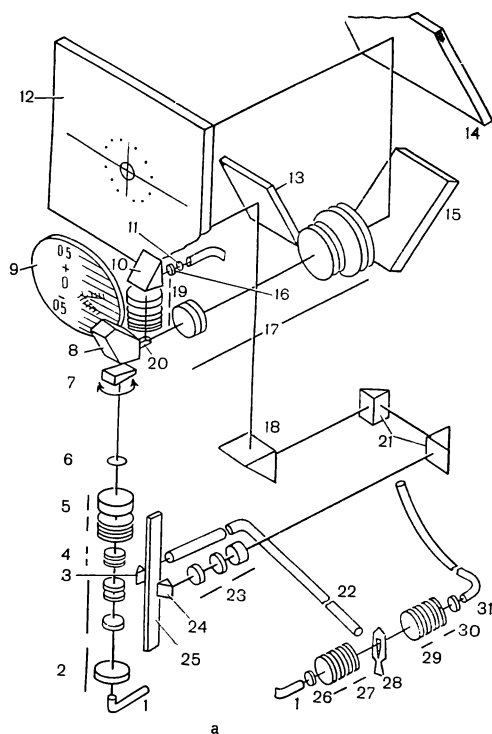
Проекционный диоптриметр ДП-02. Оптическая схема его изображена на рис. 124. Лучи света от лампы 28 через конденсор 27, световод 1 и линзовую систему 2 освещают световую марку 4. Чтобы из объектива 5 выходил параллельный пучок лучей, световая марка 4 должна быть установлена в его фокальной плоскости. При этом на отсчетном экране 9 должно быть установлено нулевое деление шкалы диоптрий. Пройдя диафрагму 6, пучок лучей попадает в проекционный объектив 17 и далее собирается на экране 12, где проецируется изображение световой марки 4.

После ввода исследуемой очковой линзы выход лучей около диафрагмы 6, резкое изображение световой марки 4 на экране 12 может быть получено только при ее смещении вдоль оптической оси к объективу 5 или от него. Световая марка 4 имеет вид двух светлых концентрических окружностей (точечной — внешней и сплошной с перекрестием — внутренней). Если контролируемая линза астигматическая, то изображение световой марки 4 имеет вид размытого овала с перекрестием и внешнего овала, образованного из небольших светлых штрихов. Перемещением световой марки 4 коллиматора вдоль оптичес-

Рис. 124. Проекционный диоптриметр ДП-02.

а — оптическая схема; б — общий вид.

Объяснение в тексте.



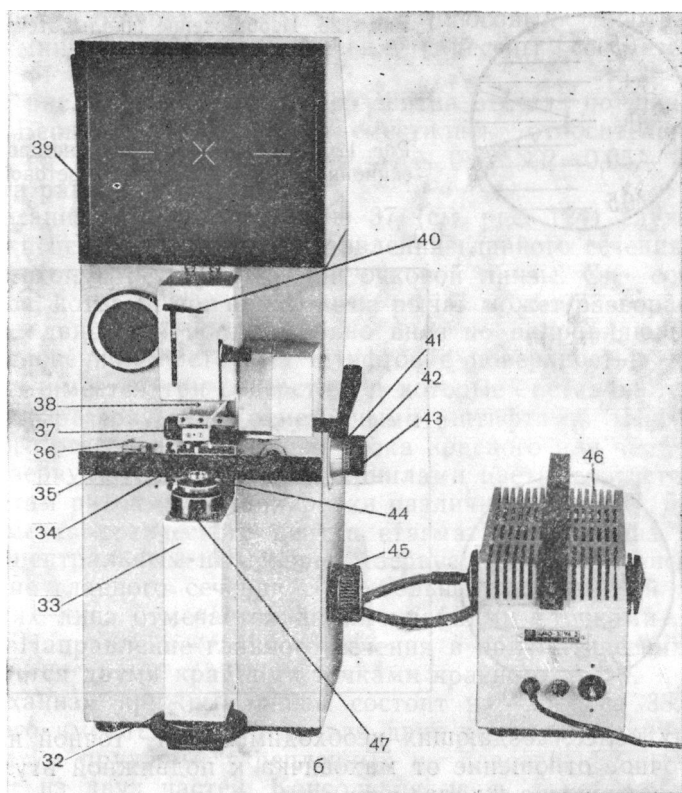
кой оси добиваются резкого изображения одного из штрихов перекрестия. При дальнейшем перемещении световой марки коллиматора вдоль оптической оси наблюдается резкое изображение другого штриха перекрестия. Эти два положения соответствуют положениям двух главных сечений тинзы.

Диоптриметр ДП-2 (рис. 124, б) состоит из следующих основных узлов: блока осветителя, помещенного в отдельном корпусе и соединенного с прибором световодами; коллиматора с системой проецирования

световой марки; системы проецирования шкалы диоптрий; механизма маркировки очковых линз; механизма подвижки шкалы диоптрий; механизма прижима линзы; механизма выравнивающей линейки; механизма призменного компенсатора; системы проецирования шкалы призматического действия; набора приспособлений для контроля контактных линз.

**Блок осветителя.** Источником света является лампа КГМ-9-70, питающаяся от понижающего трансформатора. Нить лампы 28 конденсаторами 27 и 29 проецируется на торцы световодов 1 и 31, торце третьего световода 22 устанавливается непосредственно перед лампой. Между световодом и конденсором помещают светофильтры 26 и 30. Световод 22 служит для подсветки шкалы диоптрий, световод 1 — для подсветки световой марки коллиматора, а световод 31 — для подсветки кольцевой шкалы призматического действия 16. На панели блока осветителя имеется выход сетевого шнура, тумблер для включения блока и держатель предохранителя с предохранителем на 2 А. С другой стороны и по боковым стенкам имеются три гнезда для подключения световодов.

**Коллиматор.** Внутри цилиндрической трубки смонтирован конденсор, входящий в систему подсветки световой марки коллиматора. В верхней части трубки устанавливается марка, ко-



торая состоит из двух прозрачных знаков, наложенных друг на друга. Расстояние между знаками равно глубине резкости системы, состоящей из коллиматора и проекционной системы.

С помощью механизма подвижки шкалы световая марка может перемещаться вдоль оптической оси, а также вращаться вокруг своей оси с помощью маховичка 32. На подвижной втулке коллиматора закреплена шкала диоптрий, которая перемещается вдоль оси совместно со световой маркой при помощи маховичка 45.

В верхней части коллиматора находится объектив 5, который передает изображение световой марки через линзу. На оправу объектива накручена втулка с подвижной гильзой и защитным стеклом с агатовым стержнем для фиксированной установки очковой линзы на приборе.

Контролируемая очковая линза снизу опирается на подвижную гильзу и агатовый стержень, а сверху прижимается резиновыми штифтами механизма прижима.

Механизм подвижки шкалы предназначен для перемещения вдоль оптической оси световой марки коллиматора и связанной с ней шкалы диоптрий. Он состоит из маховичка 45 и двух пар



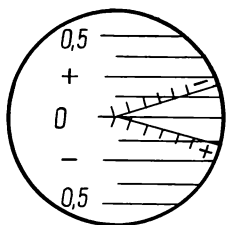
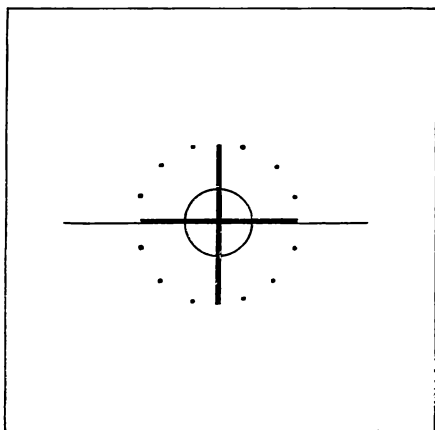
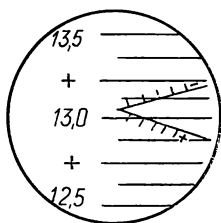


Рис. 125. Изображение шкалы отсчета рефракции линз.

Рис. 126. Изображение на экране проекционного диоптриметра световой марки.

Объяснение в тексте.



зубчатых колес, создающих необходимое для точной наводки передаточное отношение от маховичка к подвижной втулке, на которой закреплена шкала.

Система проецирования марки коллиматора предназначена для передачи изображения световой марки 4 на экран 12. Марка 4 подсвечивается от осветительного блока через световод 1 и систему линз 2. После прохождения через линзу изображение световой марки попадает на пентапризму 8 и проецируется телескопической системой 17 на два зеркала 15 и 14 и на матовый экран 12. На поверхности экрана нанесено перекрестие. Экран вмонтирован в бленду. Бленда крепится к основному корпусу. На бленду могут дополнительно устанавливаться съемные стальные козырьки 39.

Система проецирования шкалы состоит из световода 22, стеклянной шкалы 25, системы призм и зеркал 24, 21, 18, 13, проекционного объектива 23 и экрана 9. Экран состоит из двух стеклянных пластин. Одна пластина имеет матовую поверхность с нанесенной на ней половиной нониуса. Вторая половина нониуса нанесена на прозрачной стеклянной пластине. Нониусы двух пластин обращены друг к другу и находятся внутри экрана.

Цена деления шкалы диоптрий (рис. 125) равна 0,125 дптр, но отсчетный нониус делит ее еще на 5 частей с ценой деления каждой части — 0,025 дптр. Нониус имеет две ветви: одна —

для снятия отсчета при измерении плюсовых диоптрий, другая — минусовых. На этих ветвях нанесены соответствующие знаки «+» или «—».

На рис. 126 показан пример снятия отсчета по шкале диоптрий. Вершина угла нониуса сместилась относительно риски +13,0 на два деления нониуса, т. е.  $0,025 \times 2 = 0,05$ . Значение отсчета равно +13,05 дптр.

Механизм маркировки линз 37 (см. рис. 124) служит для отметки центра, а также направления главного сечения у призматической и астигматической очковой линзы. Он состоит из корпуса, который при нажатии на рычаг может разворачиваться на оси и двигаться поступательно вниз по направляющим до соприкосновения отметочных штифтов с поверхностью линзы. В корпусе имеется три отверстия, в которые вставляются легко-съемные резервуары с отметочными штифтами. На корпусе каждого резервуара нанесена риска красного или черного цвета. Резервуары заполняются чернилами цвета, соответствующего цветам рисок, для маркировки различных линз.

Отметка оптического центра стигматических линз производится центральным штырьком резервуара с черной риской. Положение главного сечения с наибольшей рефракцией астигматических линз отмечается двумя крайними точками черного цвета. Направление главного сечения в призматических линзах отмечается двумя крайними точками красного цвета.

Механизм прижима линзы состоит из корпуса 33, внутри которого имеются отверстия для двух цилиндрических направляющих и пружины, укрепленных на пластине 34. Пластина состоит из двух частей. Консольная часть пластины крепится винтом, имеющим на головке накатку. На консольной части пластины винтом крепится прижимная шайба с резиновыми штифтами. На основной направляющей нарезана зубчатая рейка, входящая в зацепление с зубьями кулачка, который находится на одной оси с рычагом 36. С помощью рычага прижимные штифты приподнимаются и под действием пружины опускаются, фиксируя очковую линзу на агатовом стержне 44. В верхнем положении механизм удерживается пружиной, находящейся внутри корпуса прибора. Механизм прижима используется только при работе с очковыми линзами.

Механизм выравнивающей линейки предназначен для правильной установки очков относительно штриха  $0-180^\circ$  на экране 12, измерения расстояния от оптической оси до края линзы или оправы очков, а также измерения расстояния между оптическими осями в бифокальных очковых линзах. Механизм состоит из выравнивающей планки 35, прикрепленной к направляющей, вставленной во втулку, прикрепленной к корпусу прибора. На направляющей закреплена рейка, которая находится в зацеплении с трибкой. На оси трибки закреплен маховик 43 со шкалой 42, а на приливе корпуса — неподвижный индекс 41.

Механизм призмного компенсатора 38 предназначен для определения призматического действия очковых линз свыше 6 срад. Он состоит из оптического клина в 6 срад, вмонтированного в оправу. Оправа может разворачиваться вокруг оптической оси прибора. Этот механизм съёмный и устанавливается на прибор при необходимости измерения призматического действия линз свыше 6 срад.

Система проецирования кольцевой шкалы призматического действия (см. рис. 124) состоит из лампы 28, световода 31, кольцевой марки 16, призмы 10, зеркала 20, объектива 17, зеркала 14 и 15, экрана 12 и предназначена для определения призматического действия и направления главных сечений астигматических и призматических линз.

Световод 31 освещает марку 16, изображение которой передается оптическими элементами на экран 12. Кольцевая марка состоит из концентрических световых колец. Кольца, соответствующие целым значениям сантирадиан имеют оцифровку. На кольцо, соответствующем 6 срад, нанесена градусная шкала для определения направления главных сечений астигматических и призматических линз. Для получения изображения кольцевой марки на экране включенного прибора, необходимо повернуть по часовой стрелке рычаг 40. При работе со стигматическими линзами кольцевую шкалу рекомендуется отключать поворотом рычага 40 против часовой стрелки.

Величина призматического действия линз определяется по шкале, состоящей из 30 концентрических окружностей. Расстояние между соседними окружностями соответствует 0,2 срад. Отсчет призматического действия ведется по оцифрованным концентрическим кольцам от центра экрана к его краю. Дробная часть расстояния между кольцами оценивается на глаз.

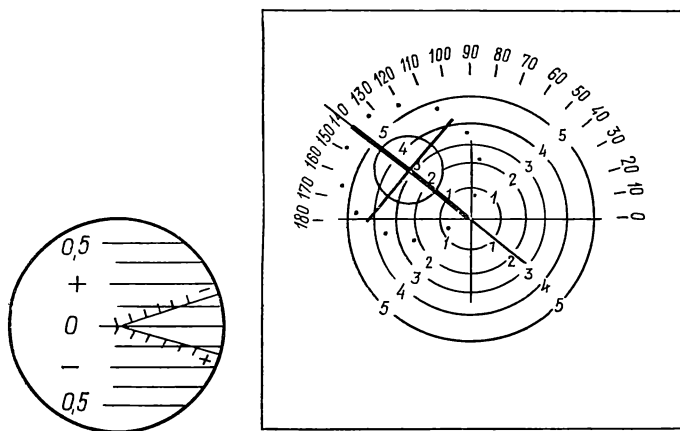


Рис. 127. Изображение на экране проекционного диоптриметра при измерении линзы с призматическим действием.

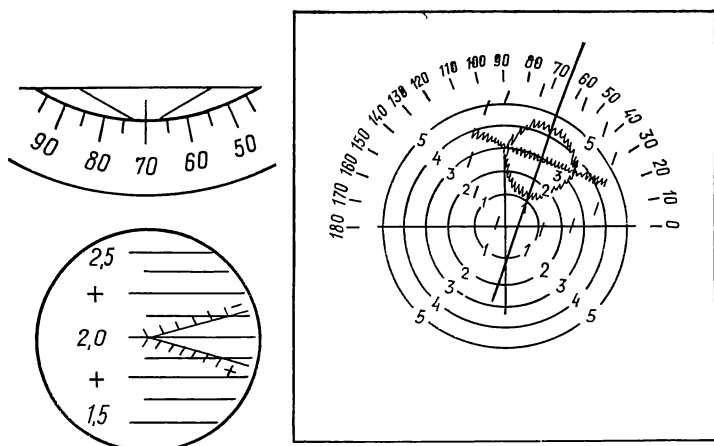
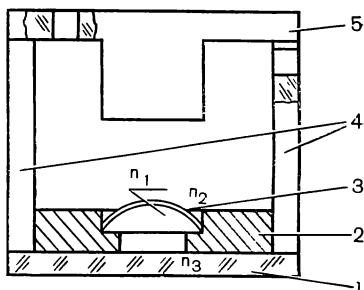


Рис. 128. Изображение на экране проекционного диоптриметра при измерении астигматической линзы с призматическим действием.

Рис. 129. Кювета для измерения вершинной рефракции мягкой контактной линзы с помощью проекционного диоптриметра ДП-02.

Объяснение в тексте.



На рис. 127 показан пример отсчета призматического действия: на приборе установлена линза 3 срад, центр световой марки пересекается с концентрической окружностью 3.

На рис. 128 показан пример отсчета рефракции астигматической линзы, положения главного сечения, призматического действия и направления призматического действия при измерении на проекционном диоптриметре ДП-2. Показания: +2,0 дптр, положение 70°, 3 срад, 65°.

При измерении контактных линз с диоптриметра снимается опорная оправа и оправа с агатовым стержнем, и навинчивается гайка, на которую устанавливаются различные насадки для измерения жестких или мягких контактных линз. Механизм для маркировки линз при контроле контактных линз находится в нерабочем положении, а механизм прижима отводят в сторону, чтобы он не мешал измерениям. Для последнего ослабляют винт с накатанной головкой и консольную часть пластины отводят в левую сторону и снова зажимают винтом.

Измерение контактных линз на проекционном диоптриметре ДП-2 производится с помощью набора специальных насадок.

Вершинная рефракция мягких контактных линз контролируется в закрытой кювете, наполненной жидкостью и устанавливаемой вместо оправки для проверки жестких контактных линз. Конструкция кюветы предложена Московским НИИ глазных болезней им. Гельмгольца и приведена на рис. 129, где 1 — пластина дна кюветы, 2 — кольцо с гнездом для установки линз, 3 — контролируемая линза, 4 — стенки кюветы, 5 — пластина крышки кюветы.

При контроле проверяемая линза 3 укладывается в гнездо установочного кольца 2, кювета заливается жидкостью (дистиллированной водой) и закрывается крышкой 5. Избыточное количество жидкости сливается через отверстие в стенке 4 кюветы. Центрировка линзы в процессе измерения выполняется вручную, подвижкой линзы 3 деревянным штоком, вводимым в отверстие крышки 5.

Измерение рефракции линз производится в соответствии с методикой, описанной выше. Ввиду того, что на приборе контролируется суммарная рефракция  $D_k$  линзы и кюветы с жидкостью, рефракция измеряемой мягкой контактной линзы  $D_v$ , приведенная к воздуху, вычисляется из соотношения:

$$D_v = \frac{D_k}{k}, \quad (153)$$

где  $k$  — коэффициент, показывающий, во сколько раз рефракция линзы, измеренная в кювете с жидкостью, отличается от ее рефракции в воздухе.

Рефракция  $D_k$  линзы и кюветы, а также рефракция линзы  $D_v$  в воздухе получены расчетом хода нулевого луча через систему кюветы и линзы. Вычисления проведены для мягких контактных линз с радиусами вогнутой поверхности 7, 8, 9 и 9,8 мм с показателем преломления материала линзы  $n_D = 1,435$  и толщине линз «t» в гидратированном состоянии в соответствии с табл. 21.

Т а б л и ц а 21. Толщина мягких контактных линз

$D_v$ , дптр		t, мм	$D_v$ , дптр		t, мм
от	до		от	до	
—6	—20	0,24	+13	+15	0,48
+1	+9	0,37	+15	+17	0,52
+9	+11	0,41	+17	+18	0,55
+11	+13	0,45			

Пластины дна и крышки кюветы выполнены из стекла К8 ( $n_D = 1,5163$ ) толщиной 3 мм. Кювета заполнена дистиллированной водой ( $n_D = 1,333$ ). Общая высота кюветы — 11 мм.

При замене жидкости необходимо провести перерасчет величин коэффициентов «к».

Последовательность операций при измерении. Контролируемая линза вынимается из раствора, в котором хранится и укладывается в гнездо кольца 2 кюветы, которая заполняется жидкостью, закрывается крышкой 5 и устанавливается на оправу проекционного диоптриметра. При необходимости производится центрировка линзы 3 небольшой подвижкой ее штоком до совмещения изображения марки с центром шкалы экрана. После измерения рефракции  $D_k$  линзы и кюветы по формуле вычисляют рефракцию линзы, приведенную к воздуху.

(Например, при измерении линзы с радиусом вогнутой поверхности 8 мм получено значение рефракции  $D_k$ , равное +3 дптр. По графику в описании к диоптриметру находят соответствующее этому значению рефракции значение коэффициента «к», равное 0,22. Значение рефракции  $D_v$  равно +13,6 дптр).

#### Требования к конструкции кюветы:

Плоскопараллельность пластин дна и крышки кюветы должна быть выдержана с погрешностью, не превышающей  $\pm 10''$ .

Отступление от плоскости наружных поверхностей пластин дна и крышки кюветы не должно превышать двух интерференционных колец. Отступление от плоскости поверхностей пластин, граничащих с жидкостью, не более четырех интерференционных колец.

Отступление показателя преломления жидкости, заполняющей кювету от  $n_D = 1,333$  на  $\pm 0,005$  приводит к изменению величины коэффициента «к» на  $\pm 0,01$ .

При изменении температуры жидкости, наполняющей кювету, на  $\pm 10^\circ\text{C}$ , изменение показателя преломления от  $n_D = 1,333$  при  $20^\circ\text{C}$  составляет  $\pm 0,001$ .

Отступление показателя преломления материала линзы от  $n_D = 1,435$  на  $\pm 0,005$  приводит к изменению величины коэффициента «к» на  $\pm 0,01$ .

#### Технические характеристики

Диапазон измерения задних вершинных рефракций очковых линз, дптр

от +25 до —30

Цена деления шкалы диоптрий, дптр

0,125

Цена деления нониуса, дптр

0,025

Диапазон измерения призматического действия, срад

до 12

Цена деления шкалы призматического действия, срад

0,2

Диапазон угловой шкалы, град

от 0 до 180

Цена деления угловой шкалы, град

1

Питание осветительного блока от сети переменного тока, В

220

Мощность, потребляемая диоптриметром, В·А

не более 100

Габариты: диоптриметра, мм

$370 \times 590 \times 245$

блока осветителя, мм

$306 \times 185 \times 195$

Масса диоптриметра с блоком осветителя, кг

не более 25

В последних моделях проекционных диоптриметров (например, проекционный диоптриметр фирмы «Оптон», ФРГ) (рис. 130) шкалы заменены цифровой индикацией результатов измерения сферического компонента рефракции линзы, цилин-

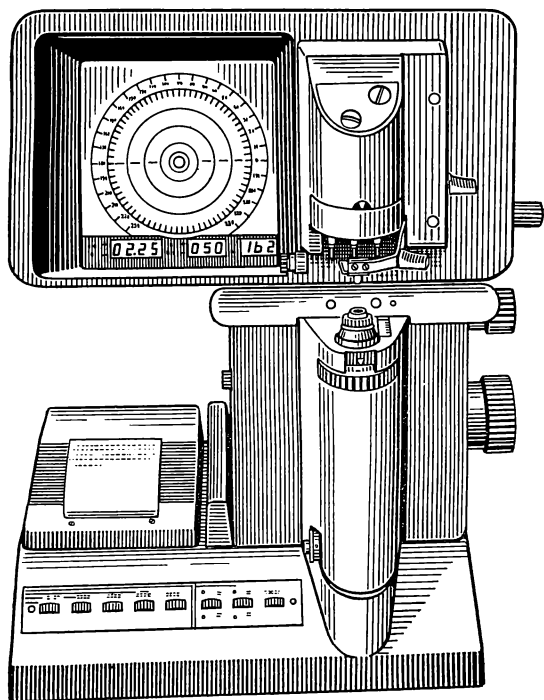


Рис. 130. Общий вид проекционного диоптриметра фирмы «Оптон».

дрического, добавочной рефракции при бифокальных и трифокальных линзах, определения положения главного сечения астигматической линзы и направления главного сечения призматической линзы. Документирование результатов измерения производится на специально установленном термопечатающем устройстве.

**Фотоэлектрические диоптриметры.** Принцип действия фотоэлектрических диоптриметров заключается в использовании фотоэлементов как регистраторов оптических характеристик очковых линз.

Полуавтоматический фотоэлектрический диоптриметр, разработанный во ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева (1974), являлся первым в отечественной и мировой практике измерительным, а не сортировочным автоматическим диоптриметром, обеспечивающим погрешность измерения рефракции в пределах  $\pm 0,02$  дптр. В нем автоматизировано измерение рефракции стигматических линз, центрирование линзы в двух взаимно перпендикулярных направлениях и ее расположение на заданном расстоянии от основного (масштабного) объектива. В этом диоптриметре использован метод сканирования изображения измерительной световой марки по глубине при помощи вращающегося модулятора в виде плоскопараллельной пластины, пересекающей световой пучок в течение половины оборота. Перио-

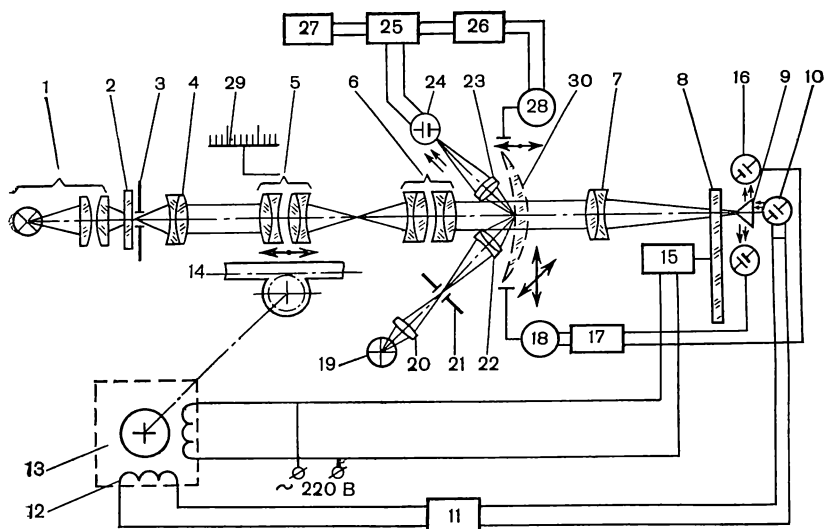


Рис. 131. Принципиальная схема автоматизированного диоптриметра.  
Объяснение в тексте.

дичность сканирования определяется скоростью вращения модулятора, а глубина сканирования — его толщиной и показателем преломления стекла, из которого он изготовлен.

Принципиальная схема автоматизированного диоптриметра представлена на рис. 131. Освещаемая осветителем 1 через матовое стекло 2 входная малая диафрагма 3, расположенная в заднем фокусе коллиматорного объектива 4, проектируется объективами 4, 5, 6, 7 в плоскость, положение которой периодически изменяется в зависимости от того, проходит ли световой пучок через стеклянный модулятор 8 или мимо него. Выходной диафрагмой является полированная площадка в вершине стеклянной четырехгранной пирамидки 9. В исходном положении (без измеряемой линзы) плоскость этой диафрагмы находится посередине того отрезка, в пределах которого сканируется плоскость изображения. Световой поток, прошедший через выходную диафрагму на фотоэлемент 10 в момент пересечения светового пучка модулятором, равен потоку, прошедшему через диафрагму в момент нахождения модулятора вне зоны светового пучка. Сигнал с фотоэлемента 10 подается на усилитель 11 следящей системы канала рефракции. Четыре фотоэлемента 16, расположенные против каждой из боковых граней пирамидки, служат для автоматического центрирования измеряемой линзы. В исходном положении, соответствующем отсчету «ноль диоптрий» по шкале 29 прибора, объективы 5 и 6 образуют телескопическую систему и на объектив 7 падает параллельный пучок лучей.



При введении в ход лучей измеряемой линзы сходимость падающего на объектив 7 пучка меняется и центр сканирования плоскости изображения смещается вдоль оси из плоскости выходной диафрагмы в направлении к объективу 7 (в случае измерения положительной линзы) или от объектива 7 (при измерении отрицательной линзы). Равенство световых потоков, падающих на фотоэлемент в момент пересечения светового пучка модулятором вне зоны светового пучка, нарушается, что вызывает появление в цепи фотоэлемента пульсирующего тока. При этом фаза сигнала будет постоянной, если центр сканирования плоскости изображения находится по одну сторону диафрагмы, и изменится на  $180^\circ$  при смещении центра на другую ее сторону.

Нагрузкой усилителя переменного тока 11 является обмотка управления 12 двухфазного реверсивного двигателя 13. При поступлении сигнала двигатель начинает вращаться и посредством механической передачи 14 перемещает подвижный объектив 5 вдоль оси до положения полной компенсации рефракции измеряемой линзы. В момент компенсации на объектив 7 снова падает параллельный пучок лучей, переменный ток на фотоприемнике исчезает, двигатель останавливается. Величина перемещения объектива 5, характеризующая вершинную рефракцию линзы, отсчитывается с помощью микроскопа по шкале, жестко связанной с объективом и отградуированной непосредственно в диоптриях.

При измерении рефракции линзу следует располагать так, чтобы ее оптическая ось совпадала с оптической осью прибора (центрирование), а вершина поверхности линзы, относительно которой определяют рефракцию, — с передним фокусом объектива 6 (позиционирование). Эти две операции также осуществляются автоматически. Центрирование измеряемой линзы проводится следующим образом: фотоэлементы 16 включаются попарно по дифференциальной схеме на вход двух одинаковых стандартных усилителей постоянного тока 17, нагрузкой которых являются два реверсивных двигателя 18 (на рис. 131 условно показаны одна пара фотоэлементов, один усилитель и один электродвигатель). В отцентрированной оптической системе падающий на пирамидку 9 световой поток делится ею на четыре равные части и фотоэлементы 16 освещаются одинаково. Если измеряемая линза вносит децентрировку, то равенство световых потоков, падающих на фотоэлементы, нарушается, и в их цепи возникает сигнал рассогласования, пропорциональный разности освещенностей на фотоэлементах. Этот сигнал через усилитель 17 подается на электродвигатели 18, управляющие перемещением измеряемой линзы в плоскости, перпендикулярной оптической оси, по горизонтали и по вертикали до тех пор, пока световые потоки, падающие на фотоприемники, не станут равными.

Позиционирование линзы выполняется с помощью оптико-

электронного устройства типа двойного микроскопа с осветителем 19, 20 в одном из тубусов и фотоэлементом 24 — в другом. Щель 21 проектируется микрообъективом 22 на поверхность линзы, рефракция которой измеряется. Микрообъектив 23 переносит изображения щели от первой и второй поверхностей линзы в плоскость фотоэлемента 24, причем изображение от первой поверхности располагается справа от изображения, полученного от второй поверхности. Система регулирования построена таким образом, что устойчивое положение достигается только при освещении фотоприемника краем правого изображения. Настройка системы должна обеспечить соответствие этого устойчивого положения положению патрона с линзой, при котором вершина поверхности измеряемой линзы находится в фокусе масштабного объектива. Сигнал с фотоприемника подается на схему сравнения 25, на второй вход которой поступило опорное напряжение от специального источника 27. Если фотоэлемент не освещен, то на вход усилителя 26 поступит только опорное напряжение, которое заставит двигатель 28 смещать патрон с линзой вдоль станины прибора до тех пор, пока край правого изображения не осветит край фотоэлемента; напряжение фотоприемника при этом уравнивается опорным напряжением. В случае, когда фотоэлемент освещен полным изображением или тем более двумя изображениями, напряжение на выходе усилителя превысит опорное и двигатель будет перемещать патрон с линзой до тех пор, пока край фотоэлемента не окажется освещенным только краем правого изображения щели.

Конструктивно прибор состоит из оптико-механической части и блока электроники (в оптико-механическую часть входят также исполнительные двигатели и фотоприемники).

Все узлы диоптриметра установлены и закреплены на станине и закрыты кожухом, средняя часть которого во время измерения снимается, открывая доступ к патрону-держателю измеряемой линзы. Блок питания выполнен в виде сварного каркаса, в котором находятся усилители и стабилизированные блоки питания. При включении прибора в сеть сразу же включается следящая система канала рефракции.

Измеряемая линза помещается в кассету патрона-держателя. Рукоятка переключения центрировки устанавливается в положение «плюс» или «минус» в зависимости от знака рефракции линзы. При этом включаются системы центрировки и позиционирования линзы. Одновременно следящие системы центрировки линзы смещают каретку патрона-держателя и закрепленную на ней кассету с линзой в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а следящая система позиционирования перемещает патрон-держатель вдоль станины прибора. После остановки исполнительных двигателей снимается отсчет по шкале рефракций. Таким образом, все три операции выполняются четырьмя следящими системами одновременно. Воспроиз-

водимость показаний прибора определяется зоной нечувствительности четырех следящих систем и находится в пределах 0,005 дптр. Погрешность измерения обуславливается в основном систематической погрешностью. Основными источниками погрешности измерения являются: погрешность аттестации образцовых линз (по которым производится наладка и аттестация прибора); погрешность, вносимая остаточными аберрациями измеряемых линз, и погрешность, связанная с неточным положением измеряемых линз в оправках (в случае измерения пробных линз, запрессованных в оправках с перекосом).

#### Технические характеристики

Диапазон измерения рефракции, дптр

— от  $-8$  до  $+8$

Цена деления диоптрийной шкалы, дптр

— 0,01

Время контроля одной линзы, с

— 8

Современные достижения электронной техники позволили создать ряд автоматизированных проекционных фотоэлектрических диоптриметров с применением микропроцессорной техники, дисплеем и термопечатью. Одним из представителей нового поколения диоптриметров может служить «Метроленз-II» фирмы Роденшток, ФРГ (рис. 132). Он позволяет измерять очковые линзы (в очках тоже) и контактные линзы.

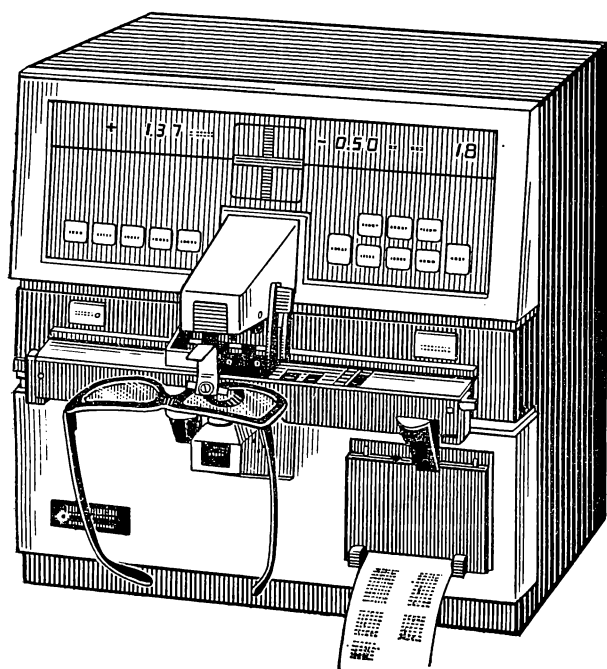


Рис. 132. Автоматизированный диоптриметр «Метроленз-II» фирмы «Роденшток».

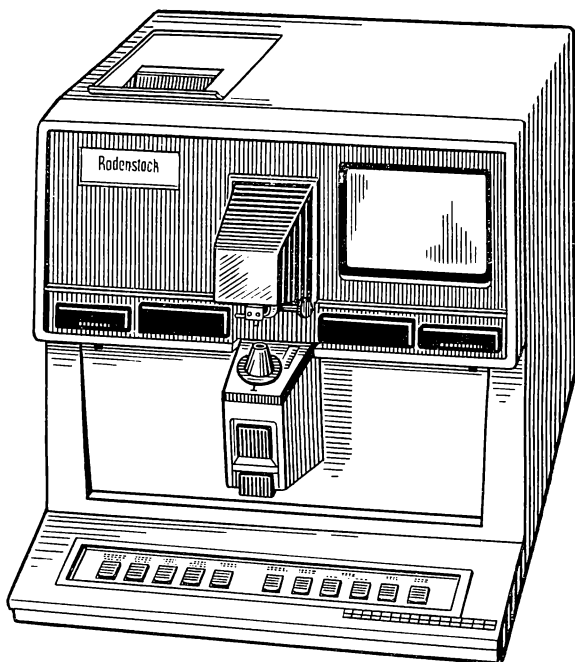


Рис. 133. Автоматизированный диоптриметр «Анализатор линз», модель 322, фирмы Хэмфри (США).

На панели управления имеется 11 кнопок, нажатием которых производится управление следующими процессами: измерение сферического компонента рефракции очковой линзы; цилиндрического компонента; призматического действия; положения главного сечения у астигматических линз и направления главного сечения у призматической линзы (оси цилиндра, базы призмы); дополнительной рефракции в бифокальных линзах (аддицион): отображение результатов измерения обеих линз в очках на экране дисплея; команда на термопечать; центрирование (определение положения оптического центра) за счет наблюдения на экране дисплея неподвижного перекрестия и подвижной световой марки в виде креста. Движение световой марки осуществляется в случае перемещения очковой линзы в месте ее установки на диоптриметре.

#### Технические характеристики

Пределы измерения сферического компонента задней вершинной рефракции линз, дптр  
 Цилиндрического компонента, дптр  
 Дополнительной рефракции в бифокальных линзах, дптр  
 Призматического действия, срад  
 Цена деления шкалы сферического и цилиндрического компонента, дптр

от —25 до +25  
 » —10 » +10  
 » —10 » +10  
 » 0 » 14

1/8; 1/4

Наиболее перспективным представляется фотоэлектрический проекционный диоптриметр фирмы Хэмфри (США), названный «Анализатор линз», модель 322, в котором на одной панели, в одной плоскости перед глазами исследователя находятся сенсорные кнопки управления, отображения результатов исследования оптических параметров линз (сфера, цилиндр, ось, призма) и проекция светового перекрестия при отметке оптического центра линз (рис. 133). Результаты определения параметров очков фиксируются печатающим устройством, вмонтированным в корпусе прибора.

#### Технические характеристики

Пределы измерения сферической рефракции, дптр от  $-25$  до  $+25$ .

Погрешность измерения цилиндрической рефракции, дптр:

от 0 до $\pm 6$	$\pm 0,06$
» $\pm 6$ до 12	от 0,06 до 0,08

Пределы угловой шкалы (определение положения оси) — от 0 до  $180^\circ$ .

Погрешность определения положения главного сечения астигматических линз, в градусах:

от 0,25 до 0,37 дптр	$\pm 3$
» 0,5 » 1,0	$\pm 2$
свыше 1	$\pm 1$

Погрешность определения призматического действия, срад от 0 до 15.

Погрешность определения призматического действия, срад:

от 0 до 7	$\pm 0,03$
» 7 » 15	от $\pm 0,03$ до 0,2

Максимальный диаметр измеряемой линзы, мм 100.

**Центрископ** предназначен для проверки правильности положения оптических центров корригирующих очковых линз в очках относительно центров зрачков глаза.

Метод проверки центрископом основан на использовании отражения световой марки кольцевой формы от двух поверхностей очковой линзы.

Прибор (рис. 134) состоит из двух частей: рукоятки 1, в которую вмонтированы патрон с лампой и выключатель, и головки 2 с отверстием, в которое вмонтирована лупа 3 частично матированная по краям, что создает эффект светящегося кольца. Рефракция линзы — лупы 2 дптр, длина прибора 150 мм. К прибору дается понижающий трансформатор.

Наблюдатель, помещая прибор на расстоянии 25—30 см от глаза пациента, видит его и два светящихся кольца (рис. 135, а). Перемещая центрископ, он добивается совмещения обоих светящихся колец; исследуемый в это время должен фиксировать светящуюся марку прибора. Если изображения светящейся марки расположены концентрично внутри зрачка (рис. 135, б), то оптический центр линзы совпадает с центром зрачка глаза. Отклонение изображенной светящейся марки от центра зрачка (рис. 135, в) указывает на наличие децентрировки.

Рис. 134. Центрископ.

Объяснение в тексте.

Центрископ можно использовать также для проверки правильности положения оптических центров в очках с бифокальными линзами.

**Кератометр** предназначен для измерения диаметра роговицы и зрачка глаза, а также для определения расстояния от вершины задней поверхности линзы в очках до вершины роговицы глаза. От правильности установки линзы в оправе очков относительно глаза зависит качество коррекции зрения.

Пределы измерения шкалы кератометра от 0 до 20 мм; цена деления шкалы 0,5 мм, фокусное расстояние линзы  $143 \pm 3$  мм.

Кератометр представляет собой трубку 4 (рис. 136), на одном конце которой установлена диафрагма 7 с окулярным отверстием для глаза наблюдателя, на верхней части поверхности которой нанесена фиксационная марка. На другом конце трубки имеется измерительная шкала 2, которая обращена внутрь трубки. В середине трубки помещена линза 5, в плоскости переднего фокуса которой располагается объект наблюдения. На расстоянии 58 мм от переднего фокуса, вдоль оптической оси, расположена измерительная шкала 3 кератометра. При таком расположении объект наблюдения и шкала находятся в пределах глубины изображаемого пространства, что исключает необходимость наводки на резкость. За

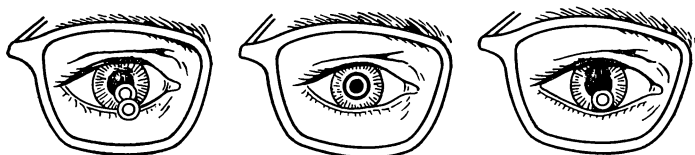
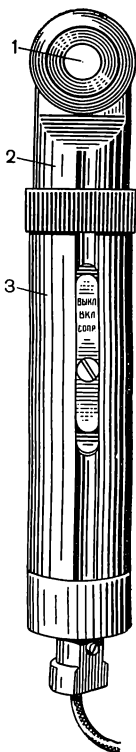


Рис. 135. Схема работы с центрископом.

Объяснение в тексте.

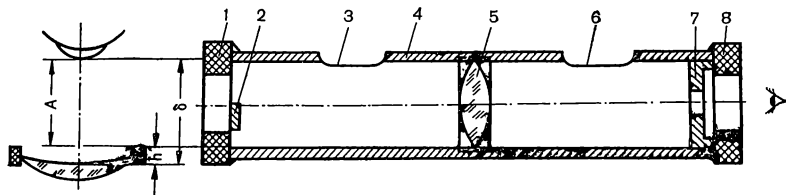


Рис. 136. Схема кератометра.

Объяснение в тексте.

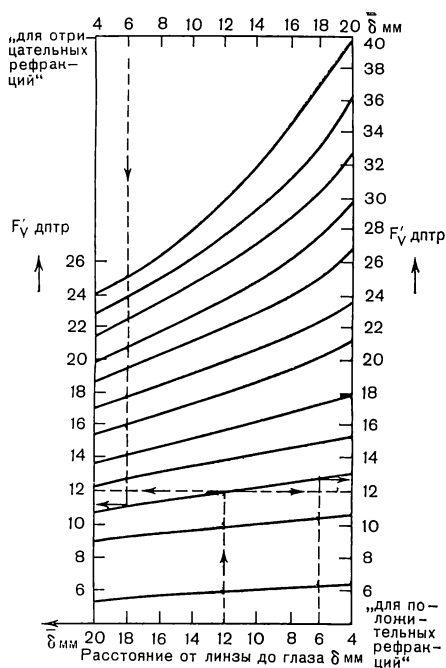


Рис. 137. Номограмма изменения рефракции очковой линзы в зависимости от расстояния между вершиной задней поверхности линзы и вершиной роговицы глаза.  
Объяснение в тексте.

диафрагмой, на расстоянии 5 мм в плоскости заднего фокуса, располагается зрачок глаза наблюдателя, на сетчатке которого одновременно изображаются исследуемый объект и измерительная шкала.

В трубке прибора предусмотрены проемы 3 и 6 для освещения шкалы и фиксационной марки. На концах трубки имеются наглазники 1 и 8.

При определении диаметра роговицы и зрачка кератометр должен быть установлен против глаза

пациента на расстоянии около 25 мм. Пациент должен смотреть на фиксационную марку. Диаметр определяется разностью показаний делений шкалы, совпадающих с обеими границами роговицы или зрачка. Вращая прибор, можно определить размер в любом меридиане. При определении расстояния между вершиной поверхности очковой линзы, обращенной к глазу, и вершиной роговицы наблюдатель устанавливает кератометр около виска пациента в очках и совмещает плоскость рамки оправы с каким-либо делением, отсчитывая расстояние — плоскость рамки оправы — вершина роговицы.

Таким образом, расстояние от вершины роговицы глаза до вершины очковой линзы  $\bar{\delta}$  будет равно:  $\sigma = A + h$ , где  $A$  — расстояние от вершины роговицы до плоскости рамки оправы;  $h$  — расстояние от плоскости рамки до вершины очковой линзы, которое необходимо измерять в каждом конкретном случае масштабной линейкой либо составлять таблицы, исходя из диаметра светового проема очковой оправы.

Изменение расстояния  $\bar{\delta}$  при выборе очковых оправ в отличие от расчетного расстояния  $\bar{\delta} = 12$  мм, при котором осуществляется подбор очков с помощью пробной очковой оправы, приводит к снижению качества коррекции зрения. В связи с этим при средних и высоких рефракциях необходимо вносить изменения в величину ранее прописанной рефракции в соответствии с номограммой, представленной на рис. 137.

# ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДБОРА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

---

## Глава 10

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДБОРА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОЧКОВ

Увеличивающийся объем обслуживания населения по обеспечению корригирующими очками повлек за собой определенные изменения в системе организации подбора, приема, изготовления и отпуска очков населению нашей страны.

Подбор корригирующих очков и выписка рецептов на очки в нашей стране осуществлялись только офтальмологами. При этом большинству пациентов, обращающихся к офтальмологу, проводится подбор очков. Министерством здравоохранения СССР в 1983 г. были сформулированы основные положения и мероприятия по организации службы оптометрии в нашей стране.

С 1984 г. в ряде городов при активном участии офтальмологических учреждений были организованы курсы по подготовке оптометристов. Появилась в нашей стране новая специальность — оптометрист со средним медицинским образованием, получивший право подбора корригирующих очков.

Оптометристы, сняв нагрузку с офтальмолога по подбору средств коррекции зрения, высвободили его время для более глубокой диагностики глазных заболеваний и лечения их. Специальные кабинеты оптометристов создаются в поликлиниках и при салонах-магазинах «Очковая оптика». Опыт развитых в техническом отношении стран, в которых имеется служба оптометрии, наглядно показывает необходимость ее развития.

До середины 60-х годов преобладающей первичной структурной единицей по приему и отпуску очков населению были отделы очковой оптики при аптеках с одним или двумя работниками, а в лучшем случае с третьим сотрудником, осуществляющим сборку и ремонт очков. В ряде крупных городов имелись оптические производства, на которых в незначительных количествах изготавливались очковые линзы по индивидуальным заказам, собиралась часть заказных очков, проводилась сборка так называемых массовых очков.

С организацией Всесоюзного объединения «Союзмедтехника» в системе Министерства здравоохранения СССР и соответ-



ствующими республиканскими объединениями «Медтехника», кроме РСФСР, были созданы салоны-магазины «Оптика», подчиненные «Медтехнике», а отделы при аптеках закрыты. В настоящее время начался процесс перехода системы обеспечения населения корригирующими очками из аптечных управлений РСФСР в областные и городские организации «Медтехника».

Перестройка системы обеспечения населения очками в ряде стран восточной Европы произошла несколько раньше, чем в СССР. Наиболее отчетливо этот процесс прослеживался в ЧССР: от маленьких магазинчиков и отделов в аптеках (1—3 работника) до созданной по всей стране и успешно работающей системе салонов-магазинов трех типов: малый — для обслуживания региона в 40 000 жителей; средний — для обслуживания региона свыше 40 000 жителей до 100 000; большой — для обслуживания региона свыше 100 000 жителей.

Аналогичные изменения произошли и в ГДР, где за основу формирования специализированного магазина взят функциональный модуль, обеспечивающий прием, изготовление и отпуск 30 000 очков в год.

Наличие первичной структурной производственной единицы в виде салона-магазина создает наиболее благоприятные условия для современного управления, обеспечения материальными средствами, рационального использования техники и оборудования, закрепления и роста квалификации кадров, повышения качества всего комплекса обслуживания населения по обеспечению корригирующими очками.

Выбор первичной структурной производственной единицы predetermined в то время следующую структуру управления организациями и предприятиями по приему, отпуску и изготовлению очков:

- Салоны-магазины, а в крупных городах еще и оптические производства;

- Городские (областные) производственно-торговые объединения «Очковая оптика»;

- Областные (городские) управления (отделения) «Медтехника»;

- Республиканские управления «Медтехника»;

- Всесоюзное объединение «Союзмедтехника».

Естественно, что в организациях «Медтехника» были предусмотрены структурные подразделения (группы, отделы), которые осуществляют управление организациями и предприятиями «Очковая оптика».

Для того чтобы представить, какая численность работников и салонов-магазинов требуется для обеспечения населения нашей страны корригирующими очками, необходимо учитывать следующие факторы: общее количество людей, носящих очки; средний срок ношения очков; характер местности, социальных групп (город, село); норма приема или ремонт очков одним

работником; регион населения, обслуживаемого одним салоном-магазином.

Отсюда можно сделать вывод формулы расчета ориентировочной потребности в работниках сферы «Очковая оптика» и в салонах-магазинах, определить ориентировочное количество работников как во всей системе «Очковая оптика», так и для любого выбранного региона. Обозначим  $A$  — количество людей, нуждающихся в коррекции зрения.

Это количество определяется из следующей зависимости:

$$A = \frac{H \cdot d}{100}, \quad (155)$$

$H$  — население страны (региона);  $d$  — часть населения, нуждающаяся в коррекции зрения, в процентах.

Введем следующее обозначение:  $B$  — средний срок ношения очков;  $k$  — коэффициент, учитывающий характер местности и социальные группы;  $B_0$  — норма изготовления очков для оптика-сборщика в салоне-магазине;  $B_n$  — норма приема или отпуска очков для работника за прилавком в салоне-магазине;  $H_p$  — количество жителей в регионе, обслуживаемом одним салоном-магазином;  $O$  — потребное количество оптиков-сборщиков;  $\Pi$  — потребное количество работников за прилавком (прием и отпуск очков населению). Тогда:

$$O = \frac{A \cdot k}{B \cdot B_0} = \frac{H \cdot d \cdot k}{100 \cdot B \cdot B_0} \quad (156)$$

$$\Pi = \frac{A \cdot k}{B \cdot B_n} = \frac{H \cdot d \cdot k}{100 \cdot B \cdot B_n} \quad (157)$$

$$B_n = \frac{A \cdot k}{B \cdot \Pi} \quad (158)$$

Ориентировочное количество салонов-магазинов «Очковая оптика» можно определить, разделив численность населения страны  $H$  на количество населения в регионе —  $H_p$ , обслуживаемом одним салоном-магазином:

$$M = \frac{H}{H_p}. \quad (159)$$

Пример 1. Определить ориентировочную потребность нашей страны в оптиках-сборщиках очков.

В настоящее время принято считать, что около 40% всего населения нашей страны нуждается в коррекции зрения. Это связано прежде всего с пресбиопией (свыше 50 млн человек пенсионеров), со школьной миопией (около 14% от всех учащихся), с косоглазием и амблиопией (около 4% всех рождаемых детей и т. д.).

Таким образом  $d = 40\%$ .

Если принять во внимание самую ближайшую перспективу роста населения нашей страны, то целесообразно  $H$  принять равной 290 млн человек.

Тогда количество нуждающихся в коррекции зрения будет равно:

$$A = \frac{290 \cdot 40}{100} = 116 \text{ млн человек.}$$

Коэффициент  $k$ , учитывающий характер местности и социальные группы, имеет следующие значения: село — 0,7, город — 1, столичный город — 1,3. В данном расчете  $k=1$ .

Средний срок ношения очков  $B=2$  годам.

$B_0$  — норма изготовления очков сборщиком-оптиком ориентировочно равна 12 000 очков в год. Это количество получено из расчета 40 сборок в день, умноженное на 300 рабочих дней в году.

Отсюда расчетная ориентировочная потребность в оптиках-сборщиках составляет:

$$O = 116\,000\,000 / 212\,000 = 4835 \text{ человек.}$$

Учитывая ремонтные работы и время отпуска, следует расчетное количество работников увеличить на 20%, т. е.  $O=5800$  человек.

Пример 2. Определить ориентировочное количество салонов-магазинов «Очковая оптика» для нашей страны. Если исходить из того, что в настоящее время предлагается одним салоном-магазином обслуживать регион с населением  $N_p=200\,000$  человек, то

$$M = 290\,000\,000 / 200\,000 = 1450 \text{ салонов-магазинов.}$$

Пример 3. Определить ориентировочную потребность в оптиках-сборщиках в каждом салоне-магазине.

Количество нуждающихся в коррекции зрения в регионе  $A_p=80\,000$  человек. Если  $B=2$  годам, а  $B_0=12\,000$  очков в год, то

$$O_p = 80\,000 / 2 \cdot 12\,000 = 3 \text{ оптика-сборщика.}$$

Учитывая ремонтные работы и время отпуска, следует иметь в каждом салоне-магазине 4 сборщиков-оптиков.

Пример 4. Определить необходимое число оптиков-приемщиков в салонах-магазинах. По технологическому процессу изготовления очков по индивидуальным заказам предусмотрена как приемка и оформление заказов, так и отпуск их заказчику после изготовления. Поэтому в салоне-магазине должно быть как минимум, 2 оптика-приемщика в смену. При двухсменной работе в 1450 салонах-магазинах потребуется 5800 оптиков-приемщиков.

Насколько это реально, можно определить, подсчитав норму приема (отпуска) очков населению:

$$B_n = \frac{80\,000 \cdot 1}{2 \cdot 2} = 20\,000 \text{ заказов в год.}$$

За рабочий день норма приема (отпуска) очков населению будет равна:

$$\frac{20\,000}{300} = 70 \text{ заказов.}$$

В каждом салоне-магазине как минимум должны быть предусмотрены, при условии работы в две смены, еще следующие штаты:

Заведующий салоном-магазином	— 1 человек;
Заместитель заведующего салоном-магазином	— 1 человек;
Бухгалтер	— 1 человек;
Кассир	— 2 человека;
Уборщица	— 2 человека;

---

Итого: — 7 человек

Следовательно, в типовом салоне-магазине, обслуживающем регион в 200 000 жителей, должно работать как минимум 15 человек. Для обслуживания всего населения нашей страны ориентировочное количество сотрудников салонов-магазинов составит 21 750 человек.

Решая вопрос об общем количестве сотрудников, обеспечивающих население корректирующими очками, следует к числу сотрудников салонов-магазинов «Очковая оптика» добавить работников оптических производств, занимающихся изготовлением очковых линз по индивидуальным заказам (астигматические, призматические, сферопризматические), которые из-за небольшого количества серийно не выпускаются промышленностью; сборкой сложных очков (бифокальных, стигматических и астигматических высоких рефракций, бифокальных сферопризматических) и сложным ремонтом. Кроме того, необходимо учитывать работников склада, экспедиции, отдела главного механика и других, выполняющих административно-управленческие функции в производственно-торговом объединении «Очковая оптика».

Управление таким объединением может осуществляться следующим образом: директору непосредственно подчинены главный инженер, заместитель директора по экономическим вопросам, главный бухгалтер, начальник планово-производственного отдела, начальник отдела кадров, начальник отдела технического контроля, начальник производственных участков и заведующие салонами-магазинами.

Главному инженеру подчиняются: технический отдел, отдел главного механика, начальники производственных участков. Заместителю директора по экономическим вопросам — отдел снабжения и сбыта (торговый отдел), экспедиция, склад, заведующие салонами-магазинами.

Для обеспечения на современном уровне технологического цикла от приема заказов на корректирующие очки, их изготовления и до отпуска очков населению необходимо иметь в типовом салоне-магазине «Очковая оптика» следующее оснащение.

В зале приема и отпуска очков населению: диоптриметр — 2 шт., зеркало с таблицей для исследования остроты зрения вблизи — 2 шт., измерительная линейка для подбора очков — 2 шт., кератометр — 1 шт. (место отпуска очков); набор ручных инструментов для выправки оправ очков — 1 шт. (место отпуска очков); поляриском — 1 шт. (место отпуска очков); прибор для исследования остроты зрения вблизи ПОЗБ-1 — 1 шт. (место отпуска очков); центрископ — 1 шт. (место отпуска очков).

В мастерской салона-магазина. Рабочее место для комплектовки: диоптриметр — 1 шт., кассы с очковыми линзами и оправами (деревянные или пластмассовые), настольная схема ТАБО — 1 шт., парафиновые карандаши; школьная линейка — 1 шт.

Рабочее место для сборки очков: полуавтомат для фасетировки очковых линз — 2 шт., алмазные карандаши, кругло- и плоскогубцы, набор ручных инструментов для выправки оправ — 2 шт., отвертки часовые, полярископ — 1 шт., приспособление для изготовления копиров — 1 шт., станок для обрезки очковых линз — 1 шт., станок для фасетировки очковых линз — 1 шт., устройство для правки шлифовальных кругов — 1 шт., центрирующее устройство — 1 шт., фен для разогрева оправ — 2 шт.

Место пайки и ремонта очков: газовая горелка для пайки — 1 шт., матерчатый полировальный круг — 1 шт., молоток зубо-врачебный — 2 шт., набор напильников, отвертки часовые, ручной пресс — 1 шт., сверлильный станок — 1 шт., тиски малые слесарные — 1 шт.

Некоторые сведения о размерах помещений салонов-магазинов в странах восточной Европы.

В ГДР специализированные магазины «Очковая оптика» с мастерской и кабинетом для подбора очков строились по модульному принципу. Модулями являются: торговый зал с зоной для подбора и подгонки оправ, мастерская, склад, помещение для отдыха персонала с гардеробной, конторское помещение, кабинет для проверки зрения (определения рефракции), при этом каждый из этих модулей имеет следующие размеры площадей: торговый зал — 35 м<sup>2</sup>, мастерская — 25 м<sup>2</sup>; склад — 15 м<sup>2</sup>; помещение для отдыха с гардеробной — 20 м<sup>2</sup>; контора — 10 м<sup>2</sup>; кабинет для проверки зрения — 15 м<sup>2</sup>. Итого 120 м<sup>2</sup>.

В ЧСФР размеры помещений салонов «Очковая оптика» зависят от региона обслуживаемого населения: малый салон — обслуживание до 40 000 жителей, общий размер помещений 50 м<sup>2</sup>; средний салон — обслуживание от 40 до 100 000 жителей, общий размер помещений от 60 до 100 м<sup>2</sup>. Большой салон — обслуживание более 100 000 жителей, общий размер помещений от 80 до 160 м<sup>2</sup>.

Наши проектные организации пока не выработали единого подхода в нормировании размеров помещения салонов-магазинов «Очковая оптика», поэтому общие площади их, соотношение площадей подразделений в салоне различное. Однако следует отметить недостаток, присущий практически всем салонам-магазинам: маленькая площадь торговых залов, наличие высоких прилавков; отсутствие открытых зон подбора оправ, что необходимо при правильном подборе оправ (прежде всего детям). Кроме того, можно отметить неудобные и малоинформативные демонстрации имеющихся моделей оправ (на прилавке под стеклом), витрины салонов выглядят «скромно», а то и вовсе не оформлены.

Постоянно развивающаяся сеть по приему, изготовлению и отпуску корректирующих очков населению, необходимость коренного повышения качества обслуживания требуют более

пристального внимания к комплексному оснащению салонов-магазинов современной техникой, повышению квалификации работников путем периодического привлечения их к занятиям на специальных курсах, заочному обучению в техникумах на отделениях «Медицинский оптик», к разработке рациональных нормативных размеров площадей салонов-магазинов и т. д.

При современных объемах товарной массы изделий очковой оптики, значительной номенклатуре и ассортименту изделий, больших географических расстояниях особую актуальность приобретает организация автоматизированного учета движения материальных ценностей (линз, оправ, запасных частей к оправам, готовых очков) и управления предприятиями «Очковая оптика» (ход выполнения плановых показателей, анализ и принятие решения по обеспечению материальными ценностями и т. п.).

Условия для организации сбора и обработки необходимой информации и принятия управленческих решений в настоящее время имеются, так как существует определенный набор технических средств с применением электронно-вычислительной техники и наличие математического обозначения продукции очковой оптики.

Практически вся продукция очковой оптики по номенклатуре и ассортименту имеет свои коды в «Общесоюзном классификаторе промышленной и сельскохозяйственной продукции», далее называемым «кодами ОКП».

Коды ОКП на изделия очковой оптики состоят из определенных групп и цифр и графически представлены на рис. 138.

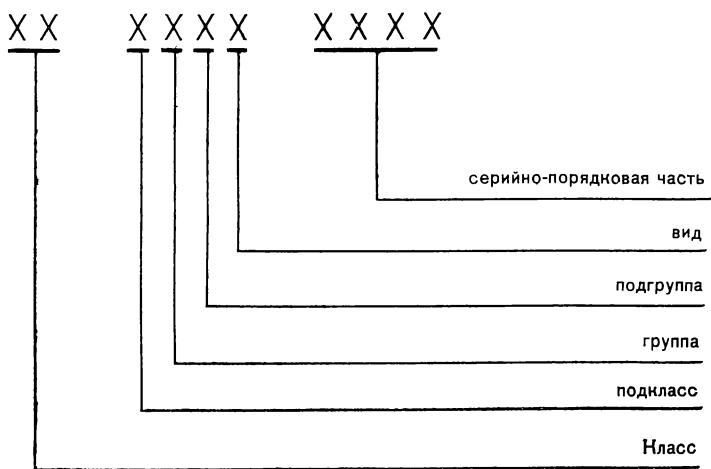


Рис. 138. Структура кодов очковых линз по «Общесоюзному классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции».

Первые две цифры обозначают принадлежность продукции к медицинской технике «94»; следующие четыре цифры раскрывают обозначение типа очковой линзы и ее диаметр, например: линзы для коррекции зрения очковые, бесцветные и неорганического стекла, афокальные — 94 8110, диаметром до 48 мм — 94 8111, то же от 50 до 52 мм — 94 8112, свыше 72 мм — 94 8118; линзы для коррекции зрения очковые бесцветные из пластмассы 94 8200, далее последние две цифры раскрывают все линзы по типам и диаметрам; линзы для коррекции зрения очковые с пониженным светопропусканием, окрашенные в массу (светозащитные) — 94 8300, далее аналогично приведенным выше примерам.

Информация о всех видах линз с покрытием (фильтром) содержит коды 94 8400 и изменяемые последние две цифры, а 94 8500 — о всех возможных фотохромных линзах.

Линзы очковые специальные (призматические, изейконические) включены в код 94 8600, а трансфокальные в код 94 8700.

Код 94 8800 включает другие очковые линзы: просветленные — 94 8810, лентикулярные — 94 8830, упрочненные — 94 8850, контактные мягкие — 94 8870, контактные жесткие — 94 8880.

Элементы оптические для коррекции зрения, заготовки и полуфабрикаты линз имеют код 94 8900.

Замыкающие четыре цифры десятичного кода ОКП обозначают конкретное изделие, в нашем случае линзу.

Например: линза +1,0 дптр, диаметром 72 мм, бесцветная из неорганического стекла имеет код ОКП 94 8120 0005; линза —5,0 дптр, диаметром 60 мм, светозащитная из неорганического стекла с покрытием (фильтром) — 94 8424 0120; линза бифокальная +0,5/+2,5 дптр, диаметром 60 мм, бесцветная из неорганического стекла с сегментной частью для близи, левая и правая — 94 8160 1063 и 94 8160 1064; линза бифокальная —4,0/—1,0 дптр, диаметром 60 мм, бесцветная из неорганического стекла, с сегментной частью для близи, левая и правая — 94 8160 2347 и 94 8160 2348; линза очковая бесцветная из неорганического стекла однофокальная астигматическая, диаметром 72 мм с рефракцией +1,0; +4,0 дптр — 94 8128 1872.

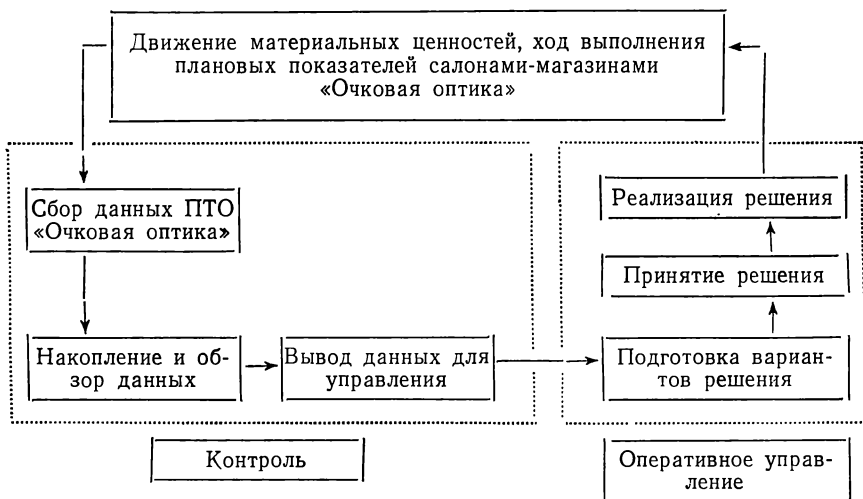
Оправы очков имеют код высшей классификационной группы 94 4265. Остальные четыре цифры десятизначного кода указывают на конкретную модель и ее параметры.

Запасные части к оправам очков (очкам) имеют код 94 9426.

Очки имеют код 94 4260, а специальные — 94 4267.

В общем виде содержание основных функций и операций управления представлены на схеме 2. Основными функциями управления являются контроль и оперативное управление. Контроль над объектом управления, в нашем случае движением материальных ценностей и ходом выполнения плановых показателей в салонах-магазинах «Очковая оптика», содержит следующие основные операции управления: сбор данных производственно-торговыми объединениями «Очковая оптика» (го-

Схема 2. Основные функции и операции управления салонами-магазинами:  
«Очковая оптика»



родскими и областными управлениями «Медтехника»), накопление, обзор и упорядочение информации, вывод данных для управления. Оперативное управление содержит следующие основные операции: подготовка вариантов решения, принятие решения, реализация (передача) указаний объектам управления.

Аналогичные функции и операции управления осуществляются республиканскими управлениями «Медтехника», а затем Всесоюзным объединением «Союзмедтехника».

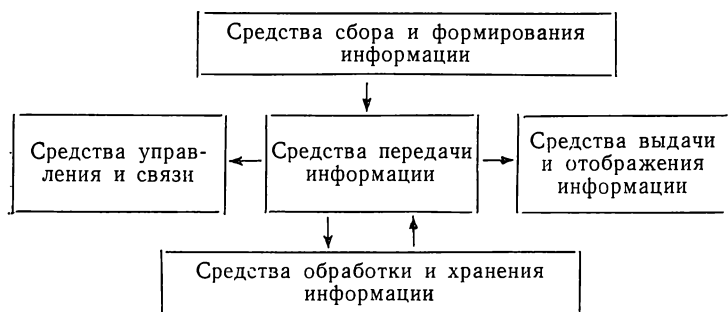
Структурная схема управления предприятиями «Очковая оптика» предопределяет в основном комплекс технических средств, позволяющий получить своевременную и достоверную информацию, осуществить ее обработку и анализ, выработать необходимое оптимальное решение, передать решения объектам управления. В общем виде взаимосвязь технических средств автоматизированной системы управления показана на схеме 3.

Средства сбора и формирования данных предназначены для получения первичной информации о состоянии объекта управления и преобразования полученных сведений в форму, воспринимаемую средствами передачи информации, хранения и обработки ее.

Средства передачи информации служат для своевременного представления достоверных данных на первое число каждого месяца для Всесоюзного и республиканских объединений и еженедельно для ПТО «Очковая оптика», городских или областных управлений «Медтехника» о материальных запасах в салонах-магазинах «Очковая оптика» (линз, оправ, запасных деталей оправ) и о ходе выполнения плана товарооборота.



**Схема 3. Взаимосвязь технических средств автоматизированной системы управления**



Информация поступает из салонов-магазинов «Очковая оптика», а в крупных городах и с оптического производства, в производственно-торговое объединение «Очковая оптика» и далее в городское или областное управление «Медтехника». При отсутствии ПТО «Очковая оптика» информация 1 раз в месяц представляется в республиканское управление «Медтехника», а через него во Всесоюзное объединение «Союзмедтехника».

Анализ материальных запасов происходит на всех уровнях, стоящих выше салонов-магазинов «Очковая оптика». Это создает условия для оперативного маневрирования товарной массой, т. е. закрытие дефектуры по рефракциям линз, моделям оправ, запасным частям, решение о передаче материальных запасов из одного региона в другой и т. п.

Средства выдачи и отображения информации включают в себя автоматические цифropечатающие устройства (АЦПУ), видеоконтрольные устройства (ВКУ) — дисплеи.

Средства управления и связи используют приведенные выше средства и связь (телефон, телетайп).

При данных объемах информации и ее периодичности коммутируемые каналы связи (телефонная и телеграфная связь) обходятся значительно дешевле, чем организация специального некоммутируемого канала.

Средством обработки и хранения информации в автоматизированных системах управления являются современные электронно-вычислительные машины (ЭВМ).

Весь комплекс мероприятий по организации и внедрению автоматизированного управления включает:

— планирование обеспечения и управления предприятиями «Очковая оптика» с применением современной электронно-вычислительной техники, что позволит осуществить обработку заявок на изделия очковой оптики, распределение и перераспределение выделенных фондов и выполнения плана товарооборота в системе «Очковая оптика»;

— сбор заявок на машинах—носителях информации (перфоленты, магнитные ленты) для формирования сводной заявки;

— развитие оперативной системы связи, оборудование пунктов сбора, подготовки и передачи информации;

— выбор технически и экономически обоснованного варианта оснащения электронно-вычислительной техники надежными каналами связи от пунктов подготовки данных до центра во Всесоюзном отделении «Союзмедтехника» и обратно.

Внедрение автоматизированной системы управления производством очков в системе Всесоюзного отделения «Союзмедтехника» позволит экономно и достаточно эффективно использовать материальные и трудовые ресурсы, будет способствовать дальнейшему улучшению обеспечения населения страны корректирующими очками.

## Глава 11

### ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ КОНТАКТНЫМИ ЛИНЗАМИ

В начале 70-х годов в Советском Союзе было всего 24 лаборатории контактной коррекции зрения, которые не могли обеспечить потребность населения. Лаборатории могли оказать помощь лишь небольшому количеству больных, в основном по медицинским показаниям.

Широкое внедрение контактной коррекции зрения за рубежом, многочисленные публикации по этому вопросу, а также растущая популярность этого вида коррекции зрения в нашей стране привели к всестороннему и комплексному развитию контактной коррекции зрения.

В частности, в Московском НИИ глазных болезней им. Гельмгольца был создан Всесоюзный центр контактной коррекции зрения, на который возложены функции головной организации по всестороннему развитию службы контактной коррекции зрения в СССР.

Для решения вопроса о разработке новой системы подбора и изготовления контактных линз, обеспечивающей комплексное развитие этой проблемы, необходимо было в первую очередь определить научно обоснованную потребность в этом виде коррекции зрения в масштабе страны. Было проведено обследование большого контингента населения в различных регионах страны, а также учтены отчетные данные действующих лабораторий контактных линз.

Обработка полученных материалов показала, что в контактной коррекции зрения нуждается порядка 7 млн человек. В том числе по медицинским показаниям около 4 млн человек, по профессиональным — около 3 млн человек и порядка 50 000 тыс. человек, нуждающихся в косметических контактных

линзах. Решение этой задачи потребовало разработки в государственном масштабе новых принципов организации этой службы и ее структуры.

Развитие сети в системе Министерства здравоохранения СССР осуществлялось по следующим принципам. За основную структурную единицу принята лаборатория контактных линз, где должен производиться подбор и изготовление всех типов контактных линз, с возложением на нее следующих функций: определение показаний к контактной коррекции зрения и ее осуществление путем подбора, изготовления и адаптации к глазу контактной коррекции, а также наблюдения за лицами, корригированными контактными линзами. Штатная структура типовой лаборатории: заведующий лабораторией (врач-офтальмолог), врач-офтальмолог, старший инженер, инженер, медицинский оптик, художник-эктопротезист, старшая медицинская сестра и медицинская сестра.

Решение задач, поставленных перед лабораторией, потребовало ее современного технического оснащения. Кроме традиционного офтальмологического оборудования, она должна иметь: пробные наборы жестких роговичных контактных линз, комплект типовых мягких контактных линз, фотокератометр для замеров параметров роговицы корригированного глаза, а также специальное технологическое оборудование — токарные станки для обработки выпуклых и вогнутых сферических поверхностей контактных линз и обработки их краев, доводочные станки для обработки этих поверхностей, радиусомер, проекционные приборы для замера параметров жестких и мягких контактных линз и проекционный диоптриметр для определения их рефракции.

Для более рационального использования лабораторией контактных линз, в основном для сложных случаев коррекции зрения, а также учитывая широкое внедрение в практику мягких контактных линз, оказалось целесообразным, помимо лабораторий контактных линз, организовать кабинеты контактной коррекции зрения.

Функции кабинетов контактной коррекции зрения заключаются в определении показаний к контактной коррекции и ее осуществлении путем подбора и адаптации к глазу мягких контактных линз типовых серий, а также в наблюдении за пациентами, корригированными этими линзами.

Штатный норматив для типового кабинета контактной коррекции зрения: врач-офтальмолог и медицинская сестра.

Техническое оснащение кабинетов контактной коррекции зрения, помимо традиционного офтальмологического оборудования, должно быть дополнено пробными наборами жестких контактных линз и комплектом типовых мягких контактных линз.

Специальное оборудование (офтальмологическое, измерительное и техническое), а также наборы, необходимые для

оснащения на современном техническом уровне лабораторий контактных линз и кабинетов контактной коррекции зрения, были разработаны в нашей стране; организован серийный выпуск их и оснащение ими как действующих лабораторий, так и вновь организованных лабораторий контактных линз и кабинетов контактной коррекции зрения.

Признано целесообразным развивать сеть специализированных лабораторий контактной коррекции зрения по территориальному признаку с учетом количества и плотности населения и данных о потребности в контактной коррекции в различных регионах страны. Исходя из этих предпосылок, планировалось открыть 100 лабораторий контактных линз и 150 кабинетов контактной коррекции зрения. Последние — в областных центрах и крупных городах, где нет лабораторий контактных линз.

Индивидуальное изготовление контактных линз в лабораториях более трудоемко, чем их массовый промышленный выпуск. Поэтому промышленное изготовление контактных линз экономически более выгодно. Представляется целесообразным найти наиболее оптимальный вариант комплексного решения проблемы с одновременным участием как промышленного производства контактных линз, так и их изготовления специализированными лабораториями. Рассматривались различные варианты возможной организации данной работы.

Сущность первого варианта заключается в том, что промышленность будет обеспечивать выпуск наиболее применяемых типоразмеров линз, а неохваченные промышленным выпуском типоразмеры линз будут изготавливаться лабораториями контактных линз.

По второму варианту в лабораториях осуществляют определение параметров линзы, необходимой пациенту, и промышленному предприятию направляются полученные данные для изготовления линзы.

Оба этих варианта имеют свои достоинства и недостатки, однако в сложившихся условиях наиболее приемлем третий вариант, сущность которого заключается в следующем. Промышленные предприятия изготавливают полуфабрикаты контактных линз с полностью обработанной внутренней поверхностью, а обработка наружной поверхности линз осуществляется специализированной лабораторией по индивидуальным параметрам для каждого пациента. Такая система обработки полуфабриката в условиях завода более экономична, чем в лабораторных условиях: сокращение объема работ в лаборатории (не надо обрабатывать внутреннюю поверхность) позволяет намного увеличить их производительность.

В настоящее время в стране насчитывается 103 лаборатории контактных линз и 115 кабинетов контактной коррекции зрения, обеспечивающих ежегодную коррекцию зрения контактными линзами около 140 000 человек.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Когда книга написана авторами, над ней начинают работать в редакции, типографии, на что уходит, естественно, определенное время. К моменту выхода книги в свет в наш век стремительного технического прогресса обнаруживается, что произошли изменения не только во внешнем виде приборов и оборудования для подбора и изготовления средств коррекции зрения, но и по существу. Так произошло и с данной книгой. Завершилась работа над ней в редакции, когда состоялось в мае 1990 г. примечательное событие в г. Москве: международная выставка «Здравоохранение-90», которая проводится один раз в 5 лет.

Огромное количество изделий медицинской техники для применения практически во всех направлениях медицины представлялись небывало большим числом иностранных фирм. Полученная на выставке информация дает возможность продолжить описание некоторых видов изделий очковой оптики, технологических приемов их изготовления и оборудования по состоянию на сегодняшний день и в той последовательности, в которой изложен материал в книге.

Первое на чем следует остановить внимание — это продолжающееся расширение применения прозрачных полимерных материалов при изготовлении очковых линз. В настоящее время в развитых странах почти 50% рынка очковых линз составляют линзы из прозрачного полимерного материала. Это вызвано тем, что широкое распространение очковых линз из прозрачных полимерных материалов значительно снизило детский травматизм глаз и травмы глаз водителей транспорта. Кроме того, они уменьшают массу очков в современных оправках с большими размерами световых проемов ободков. При сборке очковых линз в оправы с металлическими ободками исключаются возможность сколов по периферии линз и возникновение трещин у отрицательных линз.

Наибольших успехов в значительном расширении номенклатуры очковых линз из прозрачного полимерного материала добилась японская фирма «ХОЙЯ». Она выпускает стигматические, астигматические, призматические, бифокальные с сегментной частью для близи, а также линзы с плавноменяющейся рефракцией (трансфокальные), диаметр которых достигает 82 мм.

Получение очковых линз с плавноменяющейся рефракцией большого диаметра методом полимеризации в стеклянных формах само по себе является большим техническим достижением.

Бифокальные очковые линзы с сегментной частью для близи получают за счет изменения радиуса кривизны наружной поверхности — более крутого, чем радиус кривизны наружной поверхности основной части линзы, корректирующей зрение вдаль. Плоский срез сегмента части для близи несколько выступает из общей сферической наружной поверхности линзы. Получение такого сегмента части для близи бифокальной линзы, осуществляется за счет соответствующей выборки в стеклянной полуформе, обеспечивающей получение выпуклой поверхности линзы в стеклянной форме в процессе полимеризации.

Отмечаемая теоретическая и практическая возможность применения зональных поверхностей (поверхностей Френеля) в очковой оптике в связи с появлением прозрачных полимерных материалов и совершенствованием процесса полимеризации не нашла пока своей реализации, т. е. такие очковые линзы не демонстрировались на выставке. Хотя известно применение зональных поверхностей при изготовлении призматических и стигматических линз из мягкого прозрачного полимерного материала, кусочки которого вырезают и наклеивают как часть для близи или для дали на линзы очков при проведении лечения органа зрения. Наклеенные линзы легко снимаются с основной линзы очков, что позволяет изменять рефракцию в процессе лечения. Имеются образцы мягких прозрачных полимерных линз с зональной поверхностью до  $-20$  дптр, а призматические — до 20 срад. Толщина их не зависит от рефракции и составляет около 1—1,5 мм.

Применение современных средств информатики, достижений в области автоматизации станочного оборудования и технологических процессов формирования различных поверхностей оптических деталей позволили разрешить проблему снижения массы силикатных очковых линз в очках за счет изменения ее геометрических параметров, исходя из размера светового проема конкретно одной подобранной пациентом оправы. Публикация об этой оригинальной технологии получения облегченных силикатных очковых линз при сборке их в очки появилась в «Журнале по электронике, оптике и точной механике в точном приборостроении и измерительной технике», № 6, 1988 г., изд. «К. Ханзер ферлаг», Мюнхен. Автор статьи «Максимальное уменьшение веса очковых линз с помощью компьютерного расчета и оценка их параметров». Й. Песек из г. Ветцлар является научным консультантом фирмы «ЛОО».

На выставке «Здравоохранение-90» фирмой «ЛОО» был представлен автоматизированный комплект технологического оборудования для изготовления облегченных силикатных очковых

линз, вставляемых в заранее выбранную пациентом очковую оправу с большим световым проемом ободков.

У астигматических очковых линз в зависимости от расположения цилиндрической составляющей в очках возможно уменьшение массы за счет изготовления положительной линзы некруглой формы (по форме светового проема ободков), утолщенной (уменьшение толщины по центру линзы) так, как это только допустимо в сечении максимального радиуса кривизны торической поверхности ( $R_{\text{макс}}$ ). В сечении минимального (более крутого) радиуса кривизны торической поверхности ( $R_{\text{мин}}$ ) толщина линзы по центру всегда будет больше, чем в сечении по  $R_{\text{макс}}$ .

Снижение массы линз в очках определенной оправы возможно также при наличии несимметричной по отношению к оптической оси асферической образующей поверхности, т. е. у линзы с плавноменяющейся рефракцией. Зависимость следующая: чем больше значение дополнительной задней вершинной рефракции, тем больше возможности снижения массы линзы в случае ее уплощения (уменьшение толщины за счет изменения радиуса кривизны образующей поверхности).

Оптимизация массы линзы путями, указанными выше, достигается тогда, когда очковая линза рассчитывается и изготавливается с точным учетом необходимого положения оптического центра и формы ободков оправы, а также антропометрии лица пациента. Последнее находит свое отражение прежде всего в рецепте на очки. Кроме того, размеры радиусов светового проема очковой оправы, в которую следует вставить очковую линзу, даются в полярных координатах при градуировке по шкале ТАБО. Минимальная толщина фасета (кромки рассчитываемой линзы по форме, соответствующей форме светового проема оправы) должна быть не менее 0,7 мм.

Такой метод снижения массы вставляемой в оправу силикатной очковой линзы значительно эффективней, чем использование круглых линз, диаметр которых в нашей стране достигает 72 мм, а за рубежом — до 82 мм, или применение срезанных (прямоугольных) линз. Толщина положительных линз в этих случаях достаточно велика, а следовательно, и масса значительна.

До настоящего времени изготовление силикатных очковых линз с оптимальной массой не могло реализоваться, так как комплексная задача по расчету линзы некруглой формы (по форме светового проема ободка подобранной пациентом очковой оправы) с учетом ее децентрировки может решаться за приемлемое время только с использованием средств информатики (ЭВМ). С другой стороны, необходимы были разработка и создание комплекта автоматизированного технологического оборудования, позволившего реализовать результаты расчета линз некруглой формы в каждом конкретном случае.

Организация процесса изготовления очковых линз некруг-

лой формы предполагает перед фрезерованием новых образующих поверхностей обработку кромки заблокированной заготовки линзы в соответствии с формой светового проема ободка оправы, выбранной пациентом, с соответствующим припуском на фасетирование. После этого линза с некруглой уже формой проходит дальнейшую обработку по формообразованию новой поверхности и фасетированию.

Увязка размеров и форм ободков очковой оправы с процессом получения некруглой фасетированной линзы при получении новой образующей поверхности осуществляется в данном случае в системе измерительных линий. На этой базе фирма «Лео» разработала программную систему «RX-Datasystem», обеспечивающую электронную обработку и передачу команд (данных) от центральной ЭВМ до фрезерных станков «Тороматик» с числовым программным управлением (ЧПУ). В этой системе введен метод оптимизации толщины линзы в центре.

Комплект автоматизированного технологического оборудования для обработки силикатных облегченных очковых линз под выбранную очковую оправу фирмы «Лео» состоит из: центральной ЭВМ, двух персональных компьютеров, двух печатающих устройств (принтеров), видеокопировального прибора, прибора для измерения кривизны, электронного накопителя-распорядителя данных (менеджера данных), двух автоматизированных фасетировочных станков и 4 фрезерных станков с ЧПУ.

Данные рецепта на очки, дополненные данными, необходимыми для расчета геометрических параметров очковых линз с минимальной массой, направляются в электронный накопитель-распорядитель данных и поступают в промежуточную память. В нужное время эти данные затребуются подключенным персональным компьютером и будут представлены на экране. Если данные для расчета линзы еще отсутствуют, то их можно ввести с помощью клавиатуры персонального компьютера. В случае необходимости возможна корректировка ранее заданных параметров. Полученные путем расчета данные для обработки некруглой линзы направляются в память электронного накопителя-распорядителя.

Заготовка линзы после блокировки, где происходит и децентрировка ее, проходит грубое фрезерование (изменение геометрической формы ее по кромке) на автоматизированном станке с ЧПУ в соответствии с параметрами оправы, определенными видеокопировальной системой, и с учетом припуска на фасетирование перед сборкой линзы в очковую оправу. Линза с обработанной кромкой направляется на фрезерный станок с ЧПУ для получения новых формообразующих поверхностей по данным, полученным ими от электронного накопителя-распределителя. Поверхность линзы сначала фрезеруют, затем шлифуют и полируют. После разблокировки и промывки получают линзы с минимальной толщиной по центру, которая после снятия небольшого припуска и закладки фасета на фасетировоч-



ном станке готова для вставки в подобранную ранее пациентом очковую оправу.

Ярким примером экономии материалов и рабочей площади за счет удачного соединения достижений механики, электроники и информатики, является создание фирмой «ХОЙЯ» (Япония) автоматизированного универсального станка для фасетировки очковых линз. Совершенно необычно в нем отсутствие копира, по которому происходит перемещение вала с зажатой линзой.

В верхней части универсального станка находится устройство для фиксации рамки выбранной пациентом очковой оправы. Щуп этого устройства прижимают к ободку оправы с внутренней стороны, а затем по фасетной канавке он полностью обходит ободок по его контуру. Данные о контуре и геометрических параметрах светового проема оправы вводятся в компьютер. Слева, на небольшой горизонтальной плоскости на стороне станка, обращенной к рабочему, оборудовано приспособление для центрировки очковых линз относительно центра держателя линз при блокировке. Следует добиваться максимального совпадения этих центров. С правой стороны станка расположен пульт управления, в котором имеются сенсорные кнопки для введения рецептурных данных очков (сфера, цилиндр, ось, расстояние между центрами зрачков глаз), значение величины децентрировки, левая, правая линза, вид материала очковой линзы (силикатное или органическое стекло), включение и отключение станка, начало работы по фасетированию линзы.

Сам процесс получения фасета на очковой линзе аналогичен процессу в полуавтоматических фасетировочных станках. Однако кинематика движения вала с зажатой по центру очковой линзой определяется не жестким копиром, а управляется компьютером, в котором ранее были заложены геометрические данные светового проема ободка очковой оправы и значение необходимой децентрировки.

Таким образом, полуавтоматический универсальный фасетировочный станок обеспечивает проведение технологических операций, до сих пор выполняемых на 3 отдельных устройствах: станок для изготовления копиров, устройство для центрировки линз при блокировке их с держателем и полуавтоматический фасетировочный станок. Площадь, которую занимает полуавтоматический универсальный фасетировочный станок фирмы «ХОЙЯ», равна площади обычного полуавтоматического фасетировочного станка. Наличие такого станка, помимо экономии материалов и рабочей площади, сокращает также вспомогательное время процесса подготовки очковых линз для фасетирования.

В приборах для объективного подбора средств коррекции зрения обращают на себя внимание удобные легкие координатные столики, входящие как единое целое с основаниями приборов, на которых устанавливаются головки самих приборов. Так

прямоугольной компактной головкой выглядит глазной рефрактометр Хартингера, модель 110 (К. Цейс Йена). В этой модели расширен диапазон измерения рефракции глаза, упрощена наводка прибора на глаз за счет возможности переключения измерительного и наблюдательного хода лучей. В том же дизайне выполнен проектор знаков для исследования остроты зрения с дистанционным управлением. В новой модели офтальмометра CL110 введен внутренний отсчет всех шкал. Демонстрировался небольшой по размерам проекционный диоптриметр SBM 110/210, позволяющий измерять очковые линзы в диапазоне от  $-30$  до  $+25$  дптр с погрешностью для линз до  $\pm 8$  дптр в пределах  $\pm 0,06$  дптр.

Увеличилось число фирм, представлявших автоматизированные системы для определения рефракции глаз и подбора очковых линз. Наибольшее впечатление производят системы японских фирм, которые на небольшом столике монтируют автоматизированный компьютерный рефрактометр, небольшой пульт дистанционного управления проектором знаков для исследования зрения и автоматизированным фороптером. Пациент и исследователь сидят за столиком друг против друга, здесь же происходит весь процесс от подбора очковых линз и определения расстояния между центрами зрачков глаз до выдачи рецепта на очки.

Фирма «Такаги» (Япония) продемонстрировала настольный автоматизированный фороптер AV-1, представляющий собой сенсорный пульт управления с принтером (печатающим устройством), выдающим результаты субъективного подбора корректирующих линз. На небольшой стойке укреплен автоматизированный фороптер. Площадь, занимаемая фороптером AV-1,  $490 \times 390$  мм, высота 589—689 мм (подъем и опускание фороптера).

Представленный краткий обзор фрагментарно выделил то, что не встречалось ранее и было необычным в решении определенных технических проблем; приборы, описанные в данной книге, совершенно по другому предстали на выставке «Здравоохранение-90».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аветисов Э. С., Розенблюм Ю. З. Оптическая коррекция зрения. — М.: Медицина, 1981. — 200 с.
- Власов В. А. Материаловедение корригирующих средств. — М.: Медицина, 1978. — 256 с.
- Дроздов А. А., Разбродин А. В. Особенности учета параметров при конструировании оптических систем для слабовидящих//Электронно-оптическая и физико-оптическая аппаратура. Разработка и применение. — М., 1985. — С. 23—24.
- Егорова Г. Б., Аветисов С. Э., Варшавский В. Л. Сравнительная клиническая характеристика контактных линз из различных материалов//Вестн. офтальмол. — 1987. — № 1. — С. 46—48.
- Егорова Т. С. Монокулярные для коррекции зрения слабовидящих вдаль//Новости мед. техники. — 1982. — Вып. 1. — С. 38—41.
- Егорова Т. С., Усик В. А., Скуратов А. Д., Якушина М. Г. Комплект корригирующих средств для слабовидящих при чтении//Электронно-оптическая и физико-оптическая аппаратура. Разработка и применение. — М., 1985. — С. 28—30.
- Урмахер Л. С., Айзеништат Л. И. Очковая оптика. — М.: Медицина, 1982. — 192 с.
- Федоров С. Н. Имплантация искусственного хрусталика. — М.: Медицина, 1977. — 206 с.
- Федоров С. Н., Мороз З. И., Зуев В. К. Кератопротезирование. — М.: Медицина, 1982. — 144 с.
- Федоров С. Н., Егорова Э. В. Хирургическое лечение травматических катаракт с интраокулярной коррекцией. — М.: Медицина, 1985. — 328 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
История и тенденции развития средств коррекции зрения . . . .	4
Основные сведения по физической, геометрической и физиологической оптике . . . . .	9

## Раздел I. ОЧКИ

Глава 1. Очковые линзы . . . . .	45
Классификация очковых линз . . . . .	45
Характеристики материалов, применяемых при изготовлении очковых линз . . . . .	45
Обоснование расчета очковых линз . . . . .	48
Расчет однофокальных стигматических очковых линз . . . . .	57
Краткие сведения по изготовлению однофокальных стигматических очковых линз . . . . .	64
Некоторые особенности расчета сложных очковых линз . . . . .	78
Изготовление сложных очковых линз . . . . .	88
Основные технические требования, предъявляемые к очковым линзам и методы их испытаний . . . . .	96
Глава 2. Очковые оправы . . . . .	102
Антропометрия лицевой части головы человека . . . . .	102
Типы очковых оправ . . . . .	103
Материалы, применяемые для изготовления очковых оправ . . . .	107
Основные требования, предъявляемые к очковым оправам, и методы их испытаний . . . . .	108
Глава 3. Корректирующие очки . . . . .	111
Классификация очков . . . . .	111
Основные технические требования, предъявляемые к корректирующим очкам . . . . .	111
Изготовление корректирующих очков . . . . .	113
Глава 4. Специальные очки . . . . .	133

## Раздел II. КОНТАКТНЫЕ И ИНТРАОКУЛЯРНЫЕ ЛИНЗЫ

Глава 5. Контактные линзы . . . . .	142
Классификация и некоторые конструктивные особенности контактных линз . . . . .	142
Изготовление контактных линз . . . . .	145
Глава 6. Интраокулярные линзы и кератопротезирование . . . .	154
Оптика артификаического глаза . . . . .	156

Модели интраокулярных линз . . . . .	161
Кератопротезирование . . . . .	162
<b>Раздел III. ПРИБОРЫ ДЛЯ ПОДБОРА СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ</b>	
<b>Глава 7. Приборы для объективного подбора средств коррекции зрения . . . . .</b>	<b>165</b>
<b>Глава 8. Приборы для субъективного подбора средств коррекции зрения . . . . .</b>	<b>191</b>
<b>Глава 9. Приборы для контроля средств коррекции зрения . . . . .</b>	<b>204</b>
<b>Раздел IV. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДБОРА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СРЕДСТВ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ</b>	
<b>Глава 10. Организация подбора и изготовления очков . . . . .</b>	<b>235</b>
<b>Глава 11. Организация службы коррекции зрения контактными линзами . . . . .</b>	<b>245</b>
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>248</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>254</b>

## Монография

**Леонид Самуилович Урмахер,  
Ленин Иосифович Айзенштат**

### ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ

Зав. редакцией **Ю. В. Махотин**  
 Редактор издательства **Т. Н. Ерегина**  
 Набор выполнен с авторского оригинала, подготовленного  
 мл. редактором **Н. Д. Карцевой**  
 Художественный редактор **С. М. Лымина**  
 Художник **А. Е. Гейнце**  
 Технический редактор **Г. Н. Жильцова**  
 Корректор **Т. В. Ульянова**

ИБ № 6007

Сдано в набор 21.03.90. Подписано к печати 3.12.90. Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
 Бумага тип. № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 16,0.  
 Усл. кр.-отт. 16,0. Уч.-изд. л. 16,44. Тираж 5450 экз. Заказ 174. Цена 3 р.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Медицина»,  
 101000, Москва, Петроверигский пер., 6/8.

Московская типография № 11 Государственного комитета СССР по печати.  
 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.



