

535
К-84

68184
К-84

Я. КРУГЕР и Б. М. КУЛИЖНОВ

Депозитарий

ПРОВЕДЕНО
1950 г.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Утверждено ГУУЗ НКТП
в качестве учебного пособия
для вузов

Пров. 1965



~~29843~~



ПРОВЕДЕНО
1950 г.

ОПТИ • НКТП • СССР
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ И
АВТОТРАКТОРНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАД 1937 МОСКВА

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

4 р. 40 к., переплет 1 р. 60 к.

Рецензенты:

проф. Н. Завадский

инж. Г. З. Кофман

Авторы книги — сотрудники Конструкторско-исследовательского бюро ВООМП — использовали весь богатый материал, накопленный за последние годы оптико-механической промышленностью, и обработали его в такой форме, что сделали возможным успешное пользование им при конструкторских работах по новым приборам. Таким образом книга является достаточно полным руководством для учащихся соответствующих вузов и техникумов и для конструкторов оптико-механического приборостроения.

Книга предполагает читателя, обладающего знанием высшей математики и элементарной теории оптических приборов, однако богатый материал в виде окончательных выводов и формул, а также многих таблиц и чертежей дает возможность использовать ее с успехом и лицам, не имеющим указанной подготовки.

Ответственный редактор инж. К. Е. Солодцлов
Корректор О. А. Волькенштейн

Технический редактор А. М. Усова

Сдана в набор 25/IV 1937 г.

Подписана к печати 8/VIII 1937 г.

Формат 60×92 $\frac{1}{2}$

Изд. № 179

Печ. листов 21

Бум. л. 10 $\frac{1}{2}$

Тип. зн. в 1 бум. л. 94 400

Литгорионт № 2562

Тираж 3000

Учет.-авт. л. 21,99

Заказ № 2121

МС-80-5-2

ТКК № 103 от 1/VIII 1937 г.

Настоящая книга рассчитана на учащихся соответствующих вузов и техникумов, конструкторов и на работников сборочных цехов и лабораторий предприятий ВООМПа.

До настоящего времени сколько-нибудь систематизированного курса по конструкциям оптико-механических приборов, за исключением расчета и конструирования оптических систем, не существовало ни в СССР ни, насколько нам известно, за границей. Первое объясняется сравнительной молодостью советской оптико-механической промышленности, развившейся после Великой пролетарской революции, второе — конкуренцией капиталистических предприятий, строго охраняющих секреты своего производства. Следует также иметь в виду, что оптико-механическое производство является одним из сложнейших видов точного машиностроения.

На конференции оптико-механической промышленности в Ленинграде (5 апреля 1936 г.) т. Жданов сказал: „Потребность страны в оптической продукции с каждым днем колоссально возрастает. Мы должны дать деревне как можно больше звуковых кинопередвижек... В учебных комбинатах и наших институтах стонут из-за недостатка оптических приборов... Микроскопы надо выпускать тысячами. Нельзя также ограничиваться и тремя типами фотоаппаратов, производимых нашими заводами. Надо быстрее осваивать новую продукцию... Мы обязаны и в области конструирования новых видов продукции и в области промышленного освоения ее идти на уровне передовой техники“.¹

В этих условиях роль конструктора является решающей. Глубокое знание основ конструирования оптико-механических приборов и современного состояния технологии изготовления с уче-

¹ Оптико-механическая промышленность, № 4, 1936, стр. 7.

том всего того нового, что внесло и вносит в технологию станхановское движение, а также изучение новейших образцов приборов как наших, так и заграничных в условиях их эксплуатации совершенно необходимы конструктору.

В данной книге рассматривается механическая часть оформления оптических приборов. Расчеты оптических систем не приводятся ввиду наличия соответствующей литературы. Приводятся схемы оптических систем приборов, а также все указания и данные, необходимые для уяснения конструкции. Основные сведения по геометрической оптике предполагаются известными читателю, хотя знание их не является необходимым для изучения всех глав книги. Также предполагается известным читателю общий курс деталей машин.

Книга состоит из двух частей. В первой части изложены общие сведения о конструкциях оптических приборов, требования к конструкциям, вопросы допусков и точности работы приборов, методика предварительного расчета точности прибора, обзор материалов, применяемых в оптико-механическом приборостроении, и ряд практических указаний и советов конструктору.

Во второй части рассмотрены типовые детали и механизмы оптических приборов. Эта часть разработана с возможной полнотой.

Главы I—IV второй части и раздел „Стекло“ главы IV первой части написаны Б. М. Кулижновым. Часть первая и все остальные главы второй части написаны М. Я. Кругером.

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Глава I

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

1. Общие сведения

Термин оптические или, как сейчас принято называть, оптико-механические приборы включает в себя приборы, действие которых основано на световых явлениях, или — более общо — на явлениях лучистой энергии, ограниченной известным участком спектра.

Во всех случаях оптико-механический прибор представляет собой комплекс оптических, механических и тому подобных деталей, т. е. систему оптических деталей: линз, призм, зеркал и др., связанных между собой более или менее сложной механической конструкцией.

По своим свойствам и назначению оптико-механические приборы можно разбить на две основные группы:

1) приборы для визуального наблюдения, т. е. работающие совместно с глазом;

2) все остальные оптические приборы, действие которых основано на химических (фотоаппаратура) и фотоэлектрических действиях света, а также осветительные приборы и т. п.

Наиболее обширной пока является первая группа. Мы говорим пока, потому что последняя группа приборов (фотоэлектрические и т. п.) стала развиваться лишь недавно и имеет перед собой широкие перспективы. В то же время группа приборов, работа которых связана с человеческим глазом, ограничена в своем развитии физиологическими свойствами глаза. Это относится, конечно, только к оптическим системам данных приборов (разрешающая сила, светосила и т. п.).

Приборы первой группы можно разбить на две подгруппы:

а) приборы для наблюдения близко расположенных мелких предметов; сюда относятся: лупы и микроскопы всех видов, лабораторные и контрольно-измерительные приборы и т. п.;

б) приборы для рассматривания удаленных предметов (телефоические приборы); сюда относятся все виды зрительных

труб: бинокли, стереотрубы, прицелы, военные и геодезические дальномеры, панорамы, перископы, геодезические приборы и т. д.

К приборам второй группы относятся: а) фотоаппараты, б) киноаппараты, в) осветительные системы и т. п.

Понятно, что современные сложные оптические приборы — иногда целые машины весом до нескольких тонн (рис. 1 и 2) — могут включать в себе как составные элементы приборы из перечисленных групп.

2. Технические требования и условия эксплуатации оптико-механических приборов

При проектировании прибора конструктор должен получить задание, содержащее в себе технические требования, которым должен отвечать проектируемый прибор. Технические требования (техническое задание) можно разделить на три группы:

1. Назначение прибора и задачи, которые должен разрешать прибор. Требования к точности работы прибора, габариту, весу, условиям эксплуатации (удобству управления) и т. п.

2. Оптические требования: а) разрешающая сила; б) увеличение; в) поле зрения; г) диаметр и удаление выходного зрачка; д) светосила; е) углы визирования; ж) пределы установки окуляра и т. п. Техническое задание должно содержать также допуски на указанные требования, равно как и допуски на аберрации, параллакс сеток, непараллельность осей (в бинокularных и перископических приборах), наклон изображения и т. п.

3. Требования к механическим качествам прибора (прочность, антикоррозийность, водонепроницаемость, нечувствительность к температурным влияниям, вибрациям и т. п.).

Последние требования, а также требования малого габарита и веса относятся почти исключительно к приборам военного назначения. Условия эксплуатации последних предъявляют весьма жесткие требования ко всем качествам оптико-механических приборов. Во время эксплуатации приборы работают при самых резких изменениях температуры. Так, авиационные приборы должны работать в пределах температур $\pm 50^\circ$, не давая при этом заметных расстройств или затруднений в работе.

Некоторые приборы должны работать в условиях жесточайших вибраций (пулеметные и оружейные прицелы, авиационные). Должна быть обеспечена надежная герметичность приборов, так как эксплуатация их производится на открытом воздухе при любых метеорологических условиях. Понятно, что малейшее проникновение пыли и влаги на оптические детали прибора выведет его из строя.

Герметичность достигается применением сальников, соответствующих прокладок, а также замазок. Подшипники всех выходящих наружу валов должны иметь сальники.

Смазка, применяемая в приборах, эксплуатируемых на открытом воздухе, не должна размягчаться и вытекать из соединений при высших температурах эксплуатации и не должна загустевать при наиболее низких.

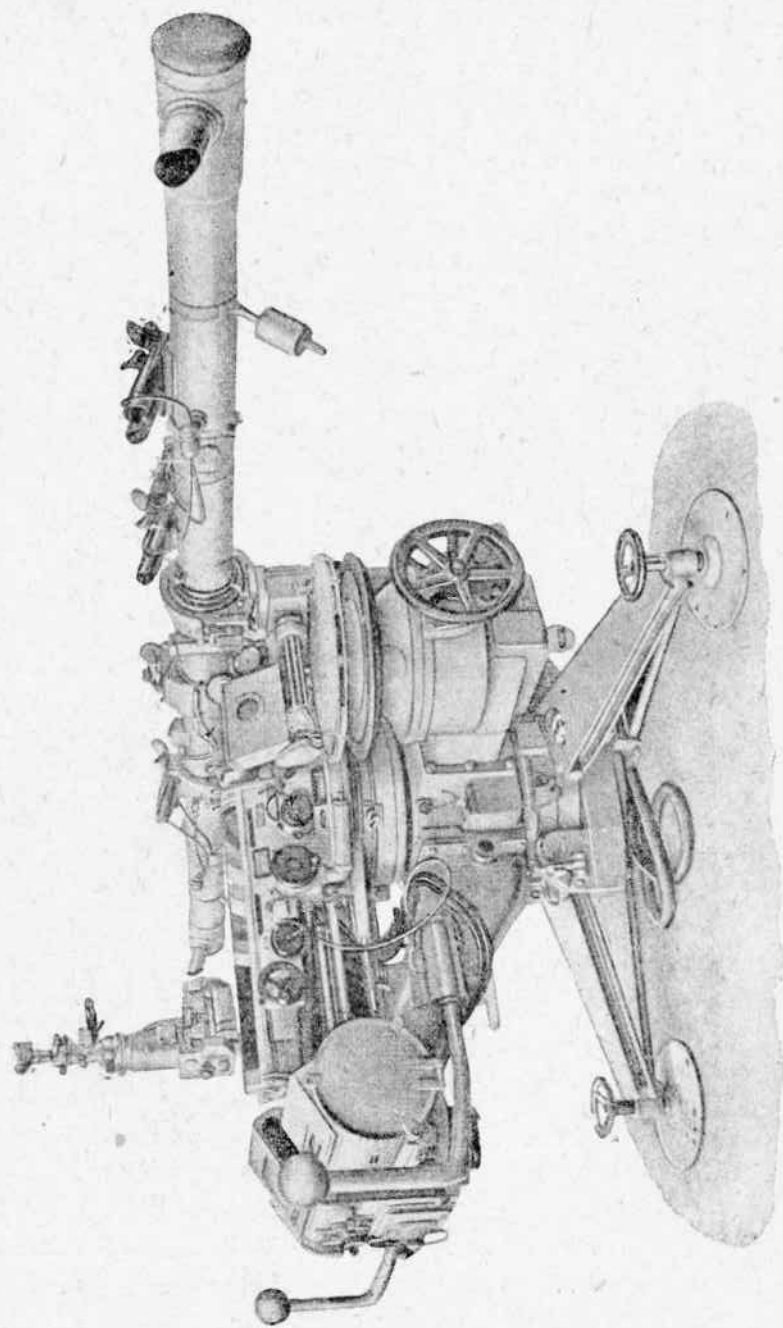


Рис. 1.

Габариты и вес приборов должны быть наименьшими;¹ это вызывает применение легких сплавов (сплавы алюминия, электрон и др.).

Следует иметь в виду, что жесткие требования в отношении габарита и веса усложняют получение высоких точностей в работе приборов: так как труднее обеспечить достаточную жесткость как всего прибора в целом, так и его деталей, приходится выбирать меньшие масштабы

отсчетных перемещений (что увеличивает относительное влияние ошибок изготовления) и т. п.

Условия эксплуатации вызывают также применение антикоррозийных сплавов (бронза, морская латунь, нержавеющие стали) и надежных поверхностных покрытий (хромирование, никелирование, чернение, воронение, окраска). Вообще отделка оптических приборов требует особой тщательности, опыта и вкуса у конструктора.

Для авиационных, морских и геодезических приборов частым требованием является диамагнитность, т. е. отсутствие железа, стали и чугуна.

Общим требованием ко всем оптико-механическим приборам является максимальная простота и

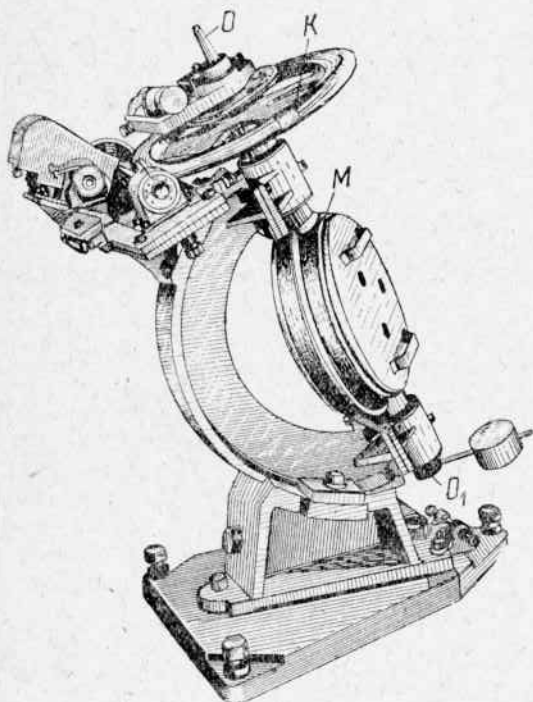


Рис. 2.

надежность конструкции, простота и удобство обращения с ними, дешевизна изготовления и сборки. За счет последних требований иногда бывает выгодным допустить принципиальные ошибки (неполное решение задачи) в схеме прибора, так как выигрыш в простоте, экономичности и надежности конструкции может с лихвой покрыть указанные ошибки.

Ниже приводятся краткие описания и подробные конструктивные чертежи двух наиболее типовых оптико-механических приборов. К сожалению, объем книги, а также невозможность опубликования конструктивных чертежей специальных приборов не позволили развить этот отдел. Узлы и механизмы приборов, не вошедших в эту часть, подробно описаны во второй части книги.

¹ Это требование относится, конечно, главным образом к полевым переносным приборам.

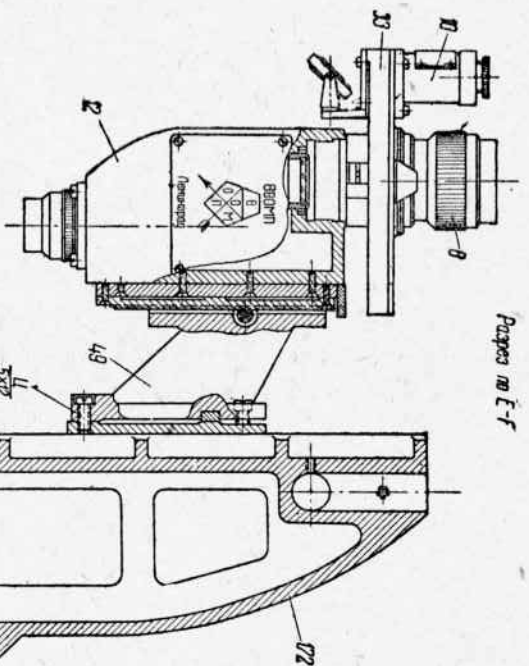


Рис. 2

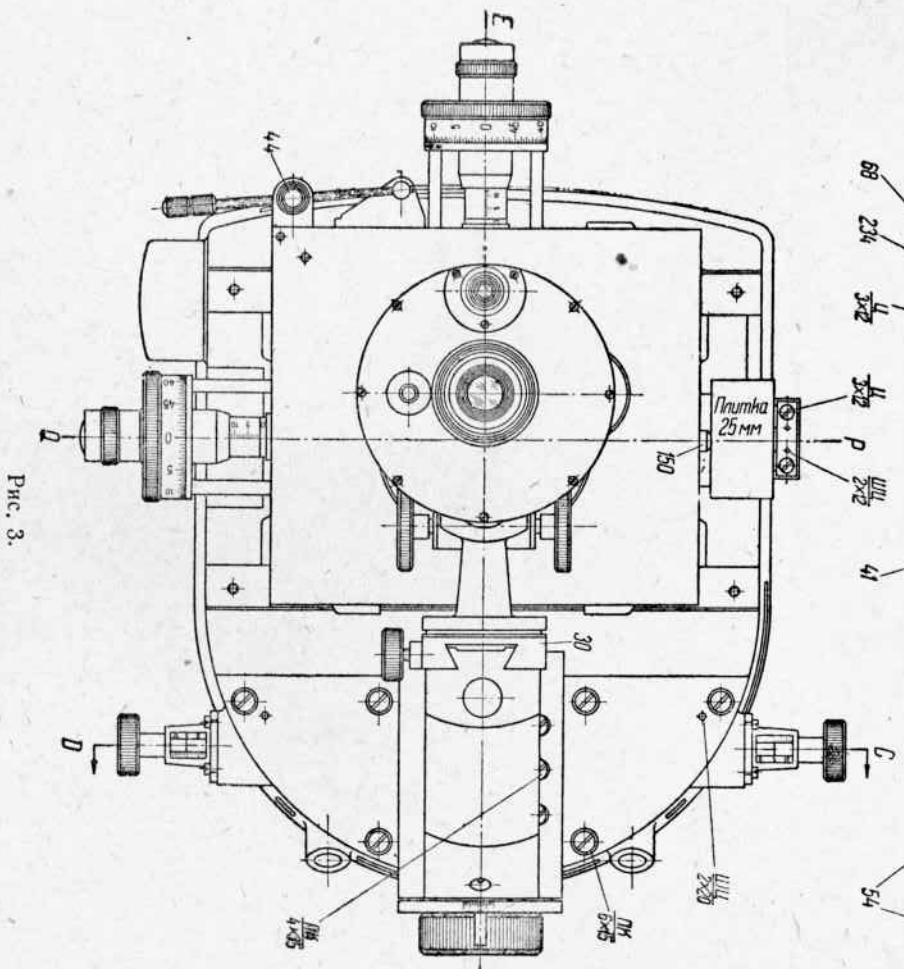
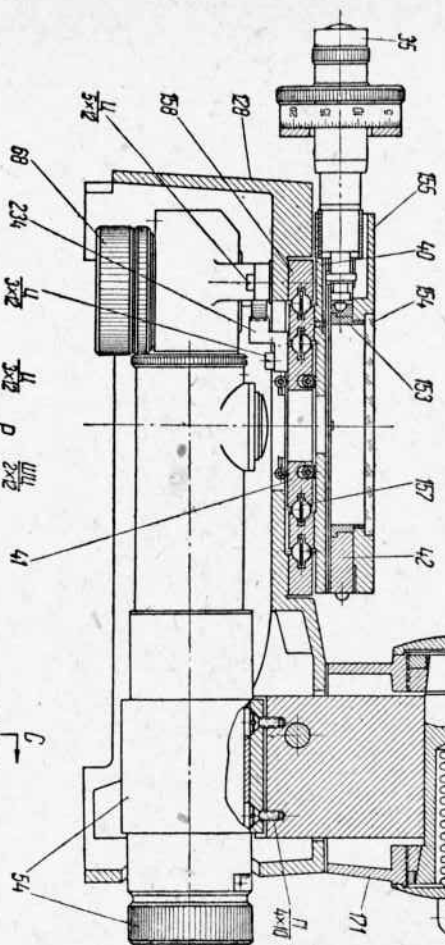


Рис. 3.

Инструментальный микроскоп (рис. 3—9). Описываемый прибор является одним из наиболее интересных по насыщенности механизмами и типичным для группы контрольно-измерительных приборов.

Инструментальный микроскоп предназначается главным образом для проверки резьбовых изделий и калибров. При измерениях штрихи сетки микроскопа совмещаются с изображением профиля нарезки.

Измеряемое изделие перемещается в продольном и поперечном направлениях посредством микрометрических винтов. Угол профиля нарезки измеряется и отсчитывается при поворотах измерительной сетки с помощью специального отсчетного микроскопа.

Тубус главного микроскопа 12 (рис. 3) может быть повернут на угол подъема средней винтовой линии изделия (иначе одна сторона профиля будет видна не резко). Прибор в целом изображен на рис. 3. Он состоит из чугунного основания 128, на котором смонтированы крестообразные салазки с шариковыми направляющими (детали 41, 157). Передвижение салазок производится микрометрическими винтами 35; отсчет—0,01 мм, вследствие этого допустимая ошибка на шаг и длину всей нарезанной части винта (25 мм) составляет всего 0,003 мм. Изготовление винта длиной свыше 25 мм с такой точностью представляет большие трудности, поэтому продольные салазки прибора, имеющие общий ход в 75 мм, сделаны комбинированными. Перемещение микрометрическим винтом ограничивается 25 мм. Дополнительное движение на 50 мм производится при помощи калиброванных плиток; для этого стол с находящимися на нем салазками отодвигают от упора рукой и в образовавшийся промежуток вкладывают плитку требуемого размера (см. рис. 3—план). При этом стол остается прижатым к плитке с помощью пружины. После удаления плитки стол под действием тех же пружин возвращается к упору. Для того чтобы при этом не произошло удара, движение стола замедляется с помощью специального амортизатора (регулятора скорости), с шестеренкой которого сцеплена рейка, привинченная к продольным салазкам прибора.

Амортизатор, изображенный на рис. 4, представляет собой цилиндр, наполненный маслом требуемой вязкости. Внутреннее пространство цилиндра разделено на два резервуара перегородками — неподвижной *А* и подвижной *В*. Подвижная перегородка *В* и шестеренка *С* жестко соединены с валиком *Д*. Резервуары сообщаются друг с другом посредством перепускного канала. Сечение последнего может быть изменено винтом *Е*. При поворачивании шестеренки, заштифтованной на валике, в направлении, указанном стрелкой, масло открывает клапан подвижной перегородки и свободно проходит через нее. Это направление соответствует отводу стола от упора. При обратном вращении шестеренки клапан закрывается, и масло принуждено идти в перепускной канал. Возникающее при этом большое трение

жидкости о стенки канала обеспечивает равномерное и медленное приближение стола к упору. Применяемая конструкция амортизатора компактна и проста в изготовлении.

На рис. 5 представлена оптическая схема прибора.

Увеличение микроскопа — $30\times$, после зрения — 6 мм. Рабочее расстояние (расстояние от предмета до первой поверхности объектива) — 60,5 мм. Объектив дает увеличение $3\times$, окуляр — $10\times$. Для установки окуляра по глазу наблюдателя предусмотрено диоптрийное перемещение на ± 5 диоптрий. За объективом по-

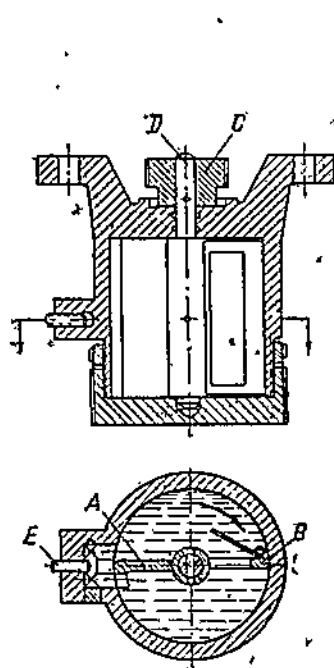


Рис. 4.

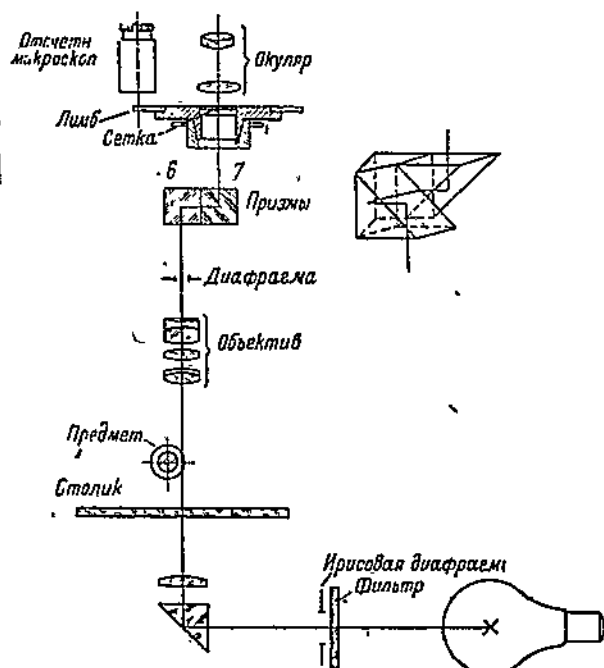


Рис. 5.

мещена оборачивающая система призм Порро второго рода (в схеме дополнительно указана в перспективе). Благодаря наличию этой системы исследуемый объект виден в окуляре в его естественном положении, и все движения предмета воспринимаются соответственно действительным направлениям перемещений.

Осветительная система при визуальном наблюдении состоит из нормальной электролампы, зеленого светофильтра, призмы и линзы. Для получения наилучшего освещения перед призмой помещена ирисовая диафрагма с переменным диаметром светового отверстия от 3 до 30 мм. Вся система (54) прикреплена к нижней части фермы (рис. 3). Оптическая ось системы после преломления призмой совпадает с оптической осью объектива.

Изображенный на схеме сменный окуляр 8 для измерения углов (см. также рис. 6) имеет в поле зрения штриховую стеклянную пластинку P (рис. 6 и 7). Пластика связана с лимбом L , разделенным на градусы. Угол поворота пластинки определяется помощью отсчетного микроскопа 10, укрепленного на крышке корпуса окуляра (рис. 3). Микроскоп имеет шкалу, 60 делений которой соответствуют одному делению лимба, следовательно, точность отсчета составляет $1'$. Увеличение отсчетного микроскопа — $42\times$.

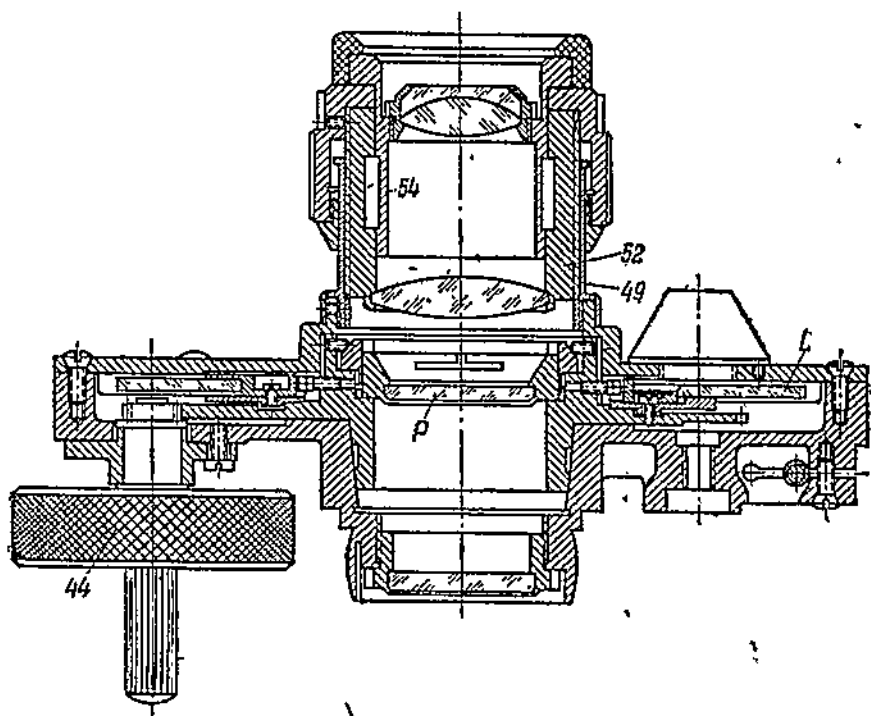


Рис. 6.

Другой сменный окуляр снабжен револьверной сеткой. На сетке фотографическим путем нанесены нормальные профили метрической резьбы (рис. 77). Каждый из нанесенных профилей может быть приведен в центр поля зрения окуляра вращением оправы сетки, ось которой смещена относительно оси окуляра. На краю поля зрения окуляра расположена неподвижная шкала (рис. 8). При правильном положении нормального профиля радиальный штрих его совпадает с нулевым делением шкалы. Назначение шкалы — определение отклонения резьбы от нормального профиля и положения его относительно оси винта.

Применение прибора может быть расширено дополнением сменных револьверных окуляров с различными штриховыми пла-

стинками для профилей измельченной резьбы — круглой, трапециoidalной, эдиссоновской (для оправ лампочек накаливания) — и дуг окружностей различных радиусов.

Для объективного наблюдения обоими глазами и одновременно несколькими лицами к прибору спроектировано проекционное устройство (рис. 9). Оно состоит из осветительной системы, проекционной головки и экрана. Осветительная система в этом случае отличается от освещения при визуальном наблюдении. Нормальная лампа заменяется специальной, мощностью 100 W, со святищейся поверхностью размером 4×4 мм. За лампой помещены конденсатор и кювета с жидкостью для поглощения тепловых лучей. Перед ирисовой диафрагмой ставится дополнительная линза. Проекционная головка вставляется на место вынутой из окуляра глазной линзы и образует совместно с коллективом

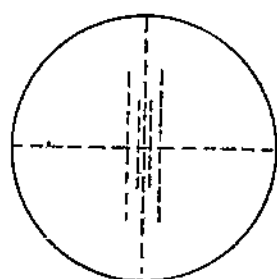


Рис. 7.

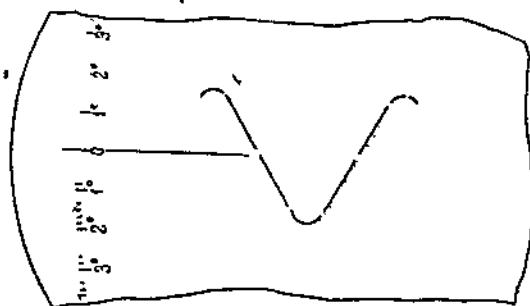


Рис. 8.

окуляра проекционный объектив. Окуляр при этом смещается на —5 диоптрий. Увеличение проекционного объектива — $10\times$. Объект изображается на экране с увеличением в $30\times$.

Артиллерийская панорама системы Герца. Артиллерийская панорама системы Герца является классическим прицельным прибором и применяется в большинстве стран. Несмотря на несколько десятков лет своего существования, она очень мало конструктивно изменялась за это время. Этот прибор служит для горизонтальной (иногда и вертикальной) наводки орудий. Он представляет собой перископическую систему с небольшой перископичностью (рис. 10).

Верхняя головная призма панорамы (отражатель) может поворачиваться по горизонту на 360° и по вертикали на 12° .

Для компенсации наклона изображения, при вращении головной призмы вокруг вертикальной оси, применяется призма 2, вращающаяся в ту же сторону, но с угловой скоростью вдвое меньшей, чем угловая скорость отражателя.

Таким образом на долю основного механизма панорамы падает задача осуществления поворотов призмы Дове и головной призмы с указанным передаточным отношением. Кроме того панорама имеет механизм для вращения головной призмы в вер-

тикальной плоскости, а также механизмы для отсчета углов как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях.

Оптическая система панорамы состоит из головной призмы 1, призмы Дове 2, объектива 3, окулярной призмы (дахпризмы) 4 и симметричного четырехлинзового окуляра 5 с вынесенным зрачком выхода для возможности работы в противогазе.

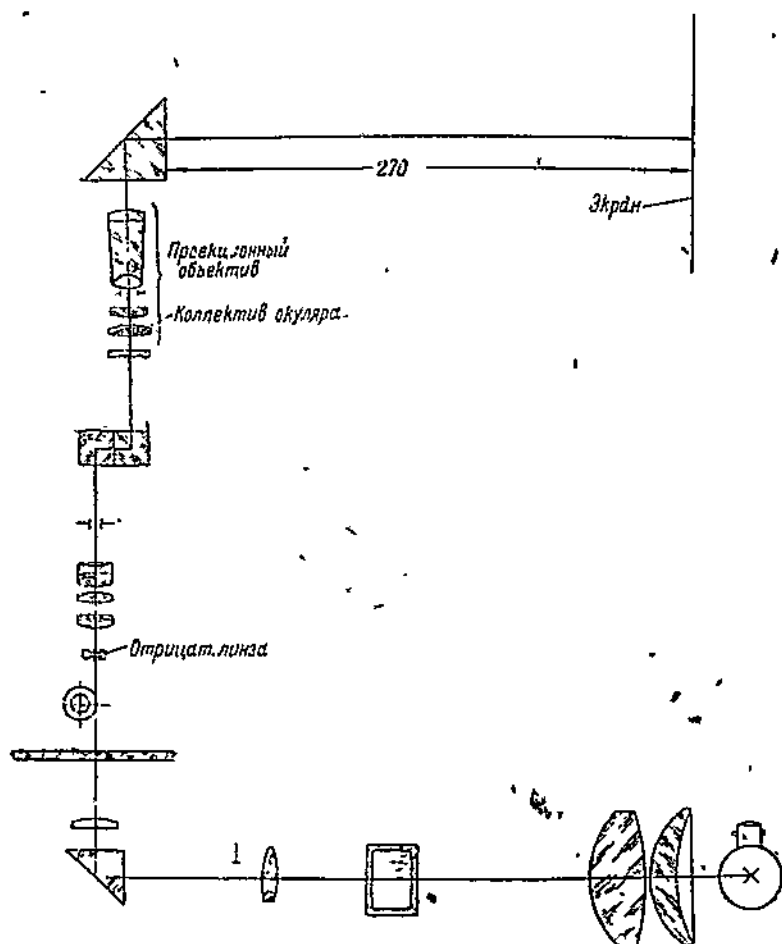


Рис. 9.

Сама панорама состоит из трех основных частей: 1) вращающейся головки с механизмом для вертикальной наводки и механизмом отсчета вертикальных углов, 2) средней части, несущей призму Дове, дифференциал для компенсации наклона изображения и червячный механизм для горизонтальной наводки, и 3) окулярного колена, несущего объектив, дахпризму и окуляр.

Головная часть вращается вокруг вертикальной оси с помощью маховичка 6. Кроме того стакан, в котором заключена призма-отражатель, вращается вокруг горизонтальной оси с помощью маховичка 7. С этим маховичком жестко соединен барабан 15 со шкалой для отсчета вертикальных углов; цена деления барабана — 1 артиллерийская тысячная (0—01), что соответствует 3,6'.

Дифференциальный механизм средней части панорамы служит для вращения призмы Дове. Он состоит из трех конических зубчатых колес: нижнего венца 8, закрепленного в корпусе панорамы, верхнего венца 9, соединенного с вращающейся головной частью, и сателлита 10, вращающегося на оси, находящейся на оправе призмы Дове. Такой механизм обеспечивает отношение угловых скоростей вращения призмы Дове и верхней головки как 1:2.

Червячный механизм, с помощью которого вращаются головная призма и призма Дове, состоит из червячного колеса 11, связанного с головной частью, и червяка 12, имеющего маховичок 6 и барабан со шкалой. Углы поворота в горизонтальной плоскости отсчитываются по делениям, нанесенным на кольцо угломера 13, и по барабану 14. Кольцо укреплено на головной части панорамы, индекс 16 — на средней неподвижной, со стороны окуляра. Кольцо разделено на 60 частей; цена каждого деления — 100 арт. тысячных (1—00). Точная наводка осуществляется при помощи барабана червяка, имеющего 100 делений; цена каждого деления — 1 арт. тысячная. Один оборот барабана (и червяка) соответствует повороту отражателя на одно деление кольца. Для быстрого поворота отражателя на большие углы червяка можно выключить и поворачивать головную часть панорамы от руки.

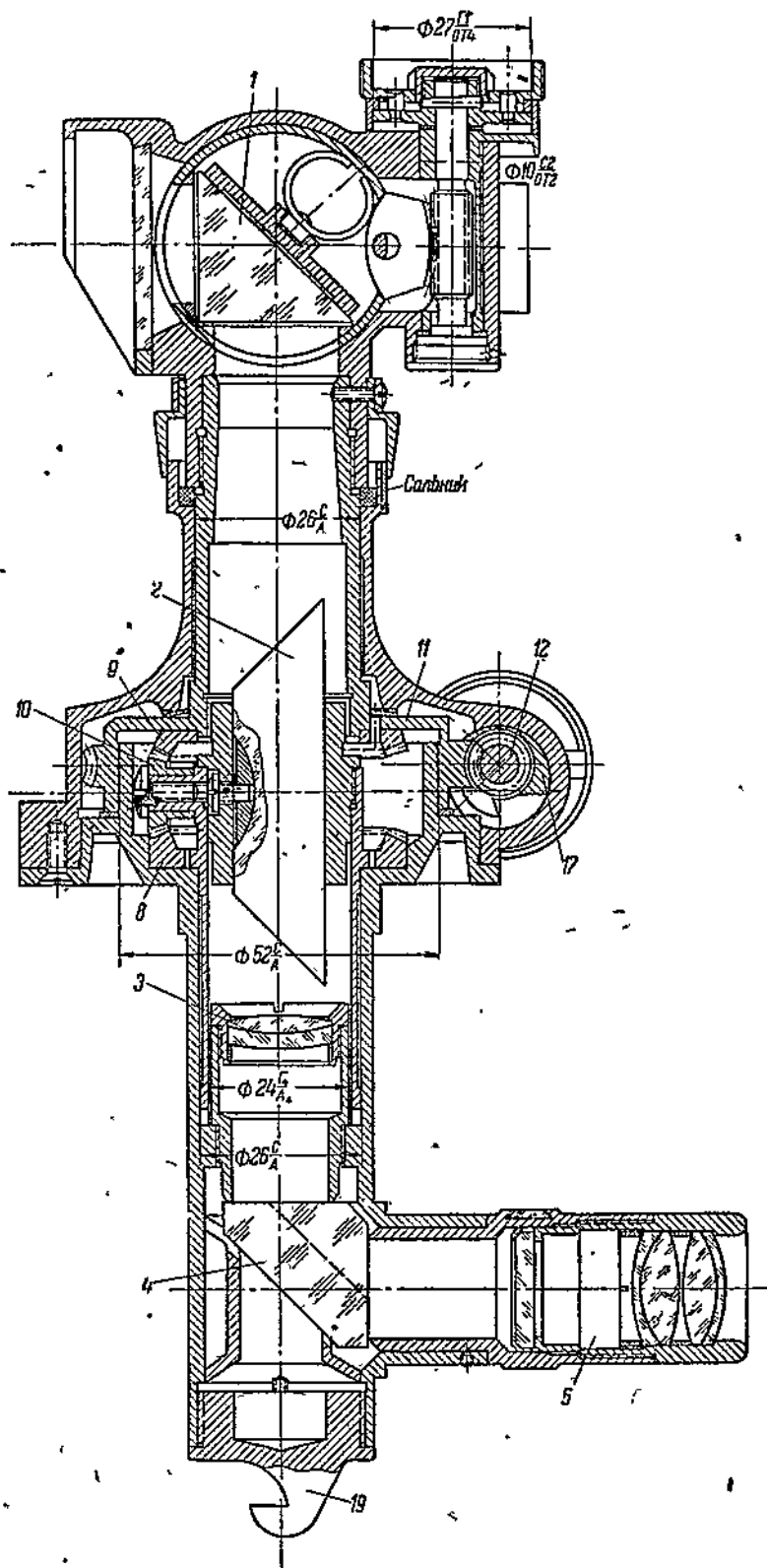
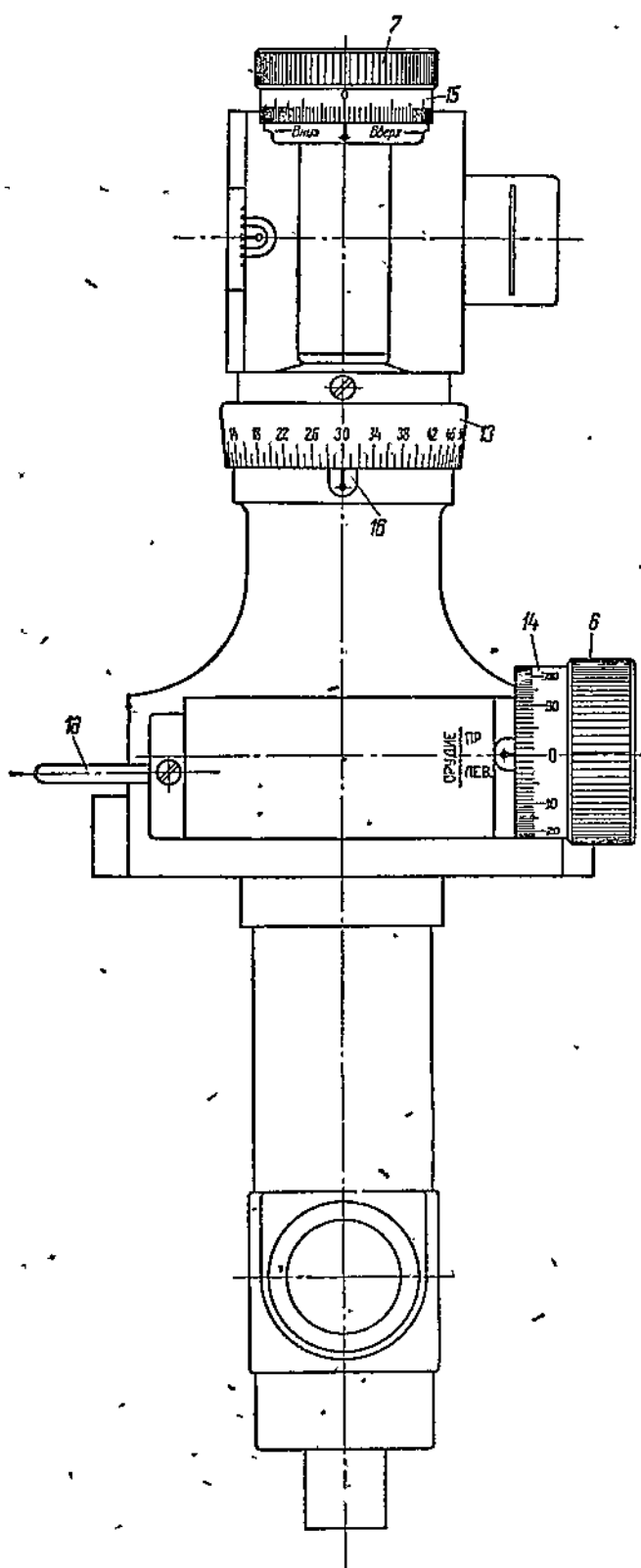
Выключающий механизм состоит из вращающейся эксцентриковой втулки 17, в которой заключен червяк, и цилиндрической пружины, работающей на скручивание, один конец которой входит в корпус панорамы, а другой — во втулку 17. Эта пружина постоянно прижимает червяк к червячному колесу. Эксцентриковая втулка снабжена рычагом (отводкой) 18, с помощью которого производится выключение червяка.

Укрепление панорамы в гнезде прицела производится при помощи защелки, находящейся в нижней части гнезда прицела и захватывающей хвост 19 панорамы; зажимной винт в верхней части гнезда закрепляет специальный прилив на средней части панорамы. Таким образом панорама очень прочно соединяется с люлькой лафета и выдерживает сотрясения, неизбежные при выстреле.

3. Влияние технологии сборки и выверки на конструкцию оптико-механических приборов

Важным моментом, определяющим в известной степени конструкцию прибора, является процесс сборки и выверки.

Как должны будут производиться сборка и выверка проектируемого прибора, конструктор должен иметь в виду при



конструировании. Дело в том, что расстояния, определяющие положение деталей оптической системы в приборе, указываемые в расчете оптики, являются лишь номинальными благодаря большим допускам, с которыми изготавливаются оптические детали. Так, например, по техническим условиям на изготовление, допуски для объективов телескопических приборов устанавливаются в размере $\pm 2\%$ от фокусного расстояния. Таким образом при сборке прибора, имеющего в фокальной плоскости сетку с делениями, бывает необходимым перемещать либо объектив либо сетку, для того чтобы штрихи сетки оказались в главной

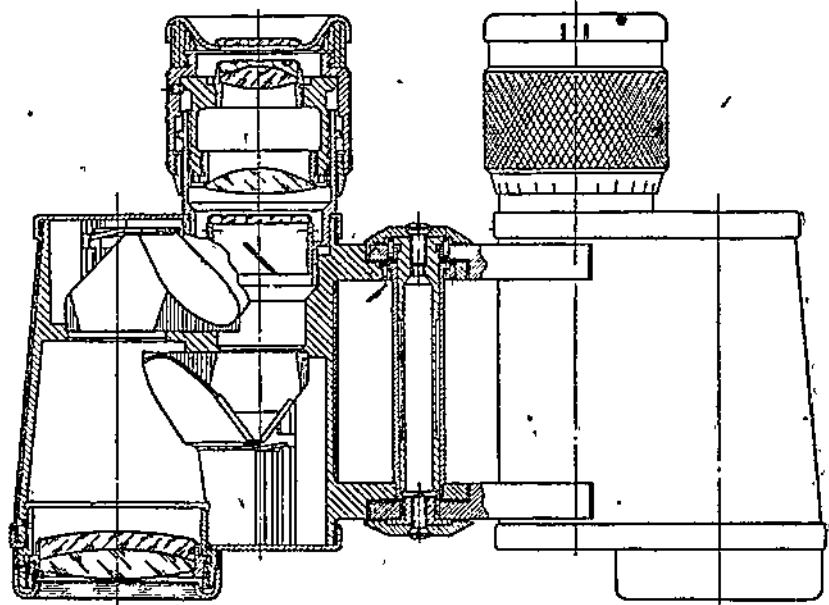


Рис. 11.

фокальной плоскости объектива. Возможность такого перемещения должна быть учтена конструкцией прибора (см., например, конструкцию бинокля рис. 11). В конструкции нивелира (рис. 12) предусмотрена возможность приведения изображения в плоскость сетки путем перемещения дополнительной линзы A^1 при приближении или удалении от рассматриваемого объекта.¹

Допуски на центровку линз и углы призм при требованиях параллельности осей в бинокулярных приборах (бинокль, стереотруба, дальномеры) заставляют вводить некоторые приспособления, дающие возможность радиального перемещения линз или качания призм при юстировке. К таким приспособлениям относятся эксцентриковые оправы (рис. 94), клиновидные кольца-подкладки (для юстировки призм), шаровые оправы для призм

¹ Интересным в данной конструкции является также оптическое приспособление для прочтения показаний уровня (детали 1, 2, 3, 4).

(рис. 107). Для призмы Дове, служащей компенсатором поворота изображения в большом числе приборов, делаются оправы, позволяющие регулировать положение гипотенузы призмы относительно оси ее вращения (см. рис. 104).

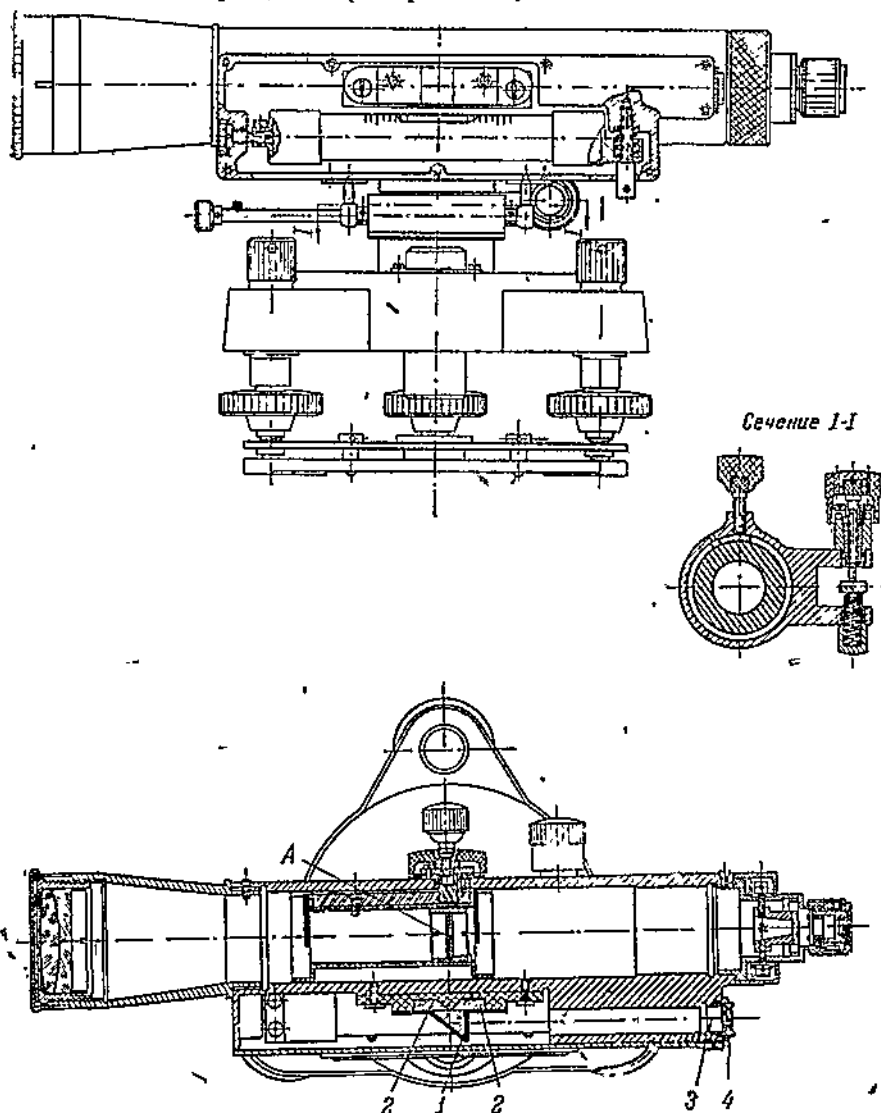


Рис. 12.

Для компенсации суммарных погрешностей (допусков) оптических частей и механизмов прибора отсчетные шкалы должны иметь возможность регулировки. Кроме этого нужно иметь в виду следующее: сложную оптическую систему, состоящую из

большого числа оптических деталей, бывает очень трудно отъюстировать в полностью собранном виде без предварительной юстировки отдельных ее частей, ибо при этом, имея дело с общими ошибками всего прибора, расчленив их и найти, какие элементы системы вносят те или иные погрешности, является чрезвычайно затруднительным, сложным и требующим большой затраты времени, так как действовать приходится наощупь. Поэтому конструктор должен продумать последовательность сборки прибора по узлам и предусмотреть в конструкции возможность и удобство такой сборки.

Глава II

ПОНЯТИЕ ОБ ОШИБКАХ ПРИБОРОВ. ДОПУСКИ В ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

1. Методика теоретического расчета ошибок приборов

Предварительный расчет (определение) точности, которую следует ожидать от работы того или иного прибора в целом или отдельных его узлов или механизмов, является задачей достаточно сложной, так как при таком расчете следует учитывать:

1) внешние условия работы прибора (например: вибрации, температурные влияния, условия освещенности наблюдаемых объектов и т. п.);

2) пределы точности человеческого глаза (при визуальном наблюдении), разрешающую способность эмульсии (в случае фотографирования) и т. п.;

3) ошибки оптической системы и механизмов прибора.

Кроме перечисленных, в расчет ошибок прибора могут входить ошибки входных данных (если последние вводятся), например, размеры цели (дальномеры с базой на цели), скорости и курса цели (прицелы для стрельбы по движущимся целям) и т. п.

Взаимное влияние всех перечисленных факторов можно считать подчиняющимся закону вероятностей Гаусса, и определение суммарных погрешностей целесообразно производить, пользуясь способом „наименьших квадратов“.

Если $m_f = f(x, y, z, \dots)$, т. е. есть функция независимых аргументов (например, угол упреждения при стрельбе по движущимся целям есть функция от скорости и курса цели, дистанции до цели и т. п.), причем вероятные ошибки аргументов известны, то вероятное значение функции m_f может быть найдено вычислением полного дифференциала указанной функции. Мы знаем, что полный дифференциал некоторой функции равен сумме частных дифференциалов этой же функции, т. е.:

$$dm_f = \frac{\partial m_f}{\partial x} dx + \frac{\partial m_f}{\partial y} dy + \frac{\partial m_f}{\partial z} dz + \dots \quad (1)$$

Заменив дифференциалы погрешностями (в данном случае — вероятными погрешностями), мы получим погрешность как функ-

цию погрешностей независимых переменных x, y, z . Однако, пользуясь методом наименьших квадратов (этот метод наиболее подходит для учета случайных ошибок), необходимо выражение (1) представить в виде:

$$\Delta m_f = \sqrt{\left(\frac{\partial m_f}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial m_f}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2 + \left(\frac{\partial m_f}{\partial z}\right)^2 (\Delta z)^2 + \dots} \quad (2)$$

Выражение (2) представляет собой абсолютную вероятную погрешность в зависимости опять же от абсолютных погрешностей аргументов. В значительной части случаев необходимо иметь выражение для относительной погрешности функции в зависимости от относительных погрешностей аргументов; тогда выражение (2) примет вид:

$$\frac{\Delta m_f}{m_f} = \sqrt{\left(\frac{\partial m_f}{\partial x}\right)^2 \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\partial m_f}{\partial y}\right)^2 \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2 + \left(\frac{\partial m_f}{\partial z}\right)^2 \left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \dots} \quad (3)$$

К этому последнему виду особенно просто приводятся одночленные функции, если их предварительно прологарифмировать, а затем уже дифференцировать.

Например:

$$a = \frac{bc}{D};$$

логарифмируя, получаем:

$$\lg a = \lg b + \lg c - \lg D;$$

дифференцируя данное выражение, получаем:

$$\frac{da}{a} = \frac{db}{b} + \frac{dc}{c} - \frac{dD}{D};$$

заменяв db , dc и dD через их погрешности и пользуясь методом наименьших квадратов, получим выражение, аналогичное выражению (3).

Данный метод дает, конечно, возможность решить и обратную задачу, т. е., имея заданную техническими условиями точность прибора, определить допустимые ошибки отдельных элементов прибора.

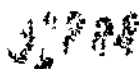
В сложных приборах подробный расчет ошибок с учетом влияния ошибок деталей (допуски на изготовление), механизмов и т. п. представляется настолько громоздким, что в большинстве случаев ограничиваются расчетом только теоретических ошибок прибора, накидывая известный процент на ошибки механизмов прибора.

К теоретическим ошибкам (т. е. ошибкам, не зависящим от качества выполнения прибора) относятся:

1) разрешающая сила глаза (см. физиологические погрешности),

2) ошибки входных данных,

3) систематические ошибки, имеющие своим источником отступление от точного математического решения задачи с целью выигрыша в упрощении конструкции прибора.



2. Физиологические погрешности (ошибки глаза как оптического прибора)

Почти у всех измерительных оптических приборов наводка и отсчет производятся с помощью глаза. Глаз в силу своего строения обладает ограниченной точностью, пределы которой зависят от условий наблюдения. Весьма важно иметь ясное представление о величине этих погрешностей для предварительного расчета точности работы того или иного прибора. При наших рассуждениях мы будем иметь в виду только нормальный, или, вернее, средний (аметропический) глаз.

Разрешающая сила глаза. Разрешающей силой глаза называется наименьшее угловое расстояние между двумя точками, еще различимыми раздельно. Пределы разрешающей силы глаза обусловлены структурой *сетчатой оболочки* глаза, состоящей из отдельных чувствительных элементов — окончаний зрительного нерва — *палочек* и *колбочек*. Если изображение одного предмета уместается в пределах одного элемента сетчатки, глаз воспринимает предмет в виде некоторой точки, не различая его формы.

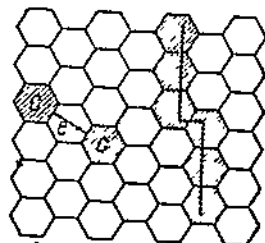


Рис. 13.

Две светящиеся точки глаз различит раздельно, если изображения их на сетчатой оболочке (рис. 13) будут находиться на разных элементах сетчатки (*с*), разделенных по крайней мере одним нераздраженным элементом (*е*). Гельмгольц установил, что среднее предельное угловое расстояние между двумя точками, еще различимыми раздельно глазом, равно 1 угловой минуте, или 0,000291 в радианах. Указанный предел разрешающей силы глаза весьма условен и сильно подвержен колебаниям для различных наблюдателей, условий освещения и окраски наблюдаемых предметов.

По опытам Гельмгольца, встречаются наблюдатели со средним пределом разрешающей силы от 50" до 90". Известны случаи, когда наблюдатель различал на ярком фоне темную линию длиной в несколько угловых минут и угловой шириной в 2". Светлая линия на темном фоне была видна при угловой ширине не свыше 3,5".

Таких же высоких значений может достигать, при соответствующих условиях, способность глаза различать несовпадение двух линий одной ширины. Средняя ошибка опытных наблюдателей может при этом не превышать 3". В дальномерах „коинциденс“, основанных на совмещении двух сдвинутых вдоль прямой линии (линии раздела) частей одного изображения, ошибка совмещения не превышает 12". В отдельных случаях точность совмещения еще выше. Столь высокая чувствительность глаза для такого рода наблюдений объясняется следующим образом.

На рис. 13 схематически дана картина сетчатой оболочки глаза. Вертикальная ломаная линия представляет изображение двух сдвинутых половинок штриха. Из рисунка видно, что верхнее изображение раздражает один ряд элементов, нижнее, немного смещенное в сторону, — другой ряд. Это обстоятельство и позволяет глазу гораздо острее воспринимать смещение в сторону, особенно если принять во внимание, что наш глаз не бывает неподвижным. Здесь, конечно, имеется в виду наблюдение при прямом зрении, когда изображение попадает на центральную часть желтого пятна, самую чувствительную часть сетчатки

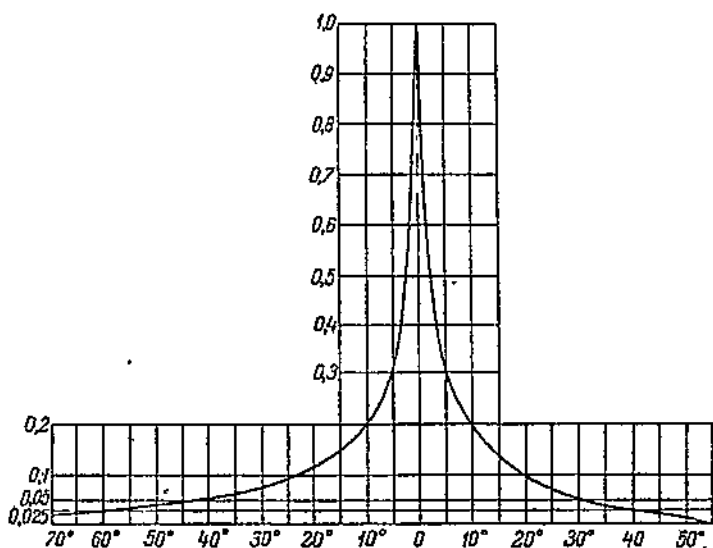


Рис. 14.

При передвижении к боковым частям сетчатки острота зрения чрезвычайно сильно падает. Если наибольшую остроту зрения в центре принять за 1 (рис. 14), то при смещении на 5° от направления на центральное пятно острота зрения падает до 0,3, на расстоянии 10° она падает до 0,2 и т. д. Такое падение разрешающей силы глаза соответствует наибольшему скоплению нервных волокон в центральном углублении (желтом пятне) и разрежению их вне желтого пятна.

Влияние на остроту зрения условий освещенности. Глаз в состоянии приспосабливаться в широких пределах к очень сильным разностям в освещенности. Это осуществляется, во-первых, *адаптацией*, т. е. изменением диаметра зрачка.

Во-вторых, в колбочках и палочках находится светочувствительное вещество — *зрительный пурпур*, — количество которого зависит от количества света, поступающего в глаз. Усиление или ослабление света вызывает соответственное изменение количества зрительного пурпура, но для установления этого соответствия необходимо известное время. При очень резких

изменениях условий освещенности это время может быть весьма велико (порядка 1 часа). Поэтому при точных измерениях необходимо поддерживать, если это возможно, постоянной наиболее благоприятную яркость света для данного случая.

Наиболее благоприятной освещенностью Г. Шульц¹ считает интервал между 50 и 250 люксами. Если освещенность меньше или больше, то различия в яркости света, необходимые для распознавания отметок, становятся настолько значительными, что, например, при иккале, нанесенной на металл, распознавание делений оказывается весьма затруднительным.

Мы знаем, что палочки более чувствительны к свету, чем колбочки, но нечувствительны к цветам. Окрашенность мы воспринимаем только колбочками.

Распределены палочки и колбочки на сетчатой оболочке неравномерно: в углублении желтого пятна расположены исключительно одни колбочки, при удалении от этого углубления между колбочками начинают попадаться все в большем количестве палочки, и, наконец, на одну колбочку приходится свыше 100 палочек. Однако, в то время как в центральном углублении желтого пятна каждая колбочка связана с одним нервным волокном, для остальных палочек и колбочек отдельное волокно приходится на целую группу их.

При слабой освещенности, например, в сумерки, а особенно ночью, колбочки почти не работают, и в процессе зрения участвуют одни только палочки. Наоборот, интенсивное дневное освещение тормозит (ослепляет) деятельность палочек, и зрение осуществляется главным образом при помощи колбочек. Максимум чувствительности палочек приходится на длину световых волн порядка 0,51 μ , а у колбочек — на 0,55 μ . Это сказывается между прочим в том, что синеватые цвета начинают казаться при слабой освещенности более светлыми по сравнению с желтыми или красными, в то время как на сильном свете они были равны по яркости. По мере выключения аппарата колбочек уменьшается наша способность различать цвета, падает острота зрения.

Остановимся несколько на вопросе, какого порядка освещенность мы имеем на предметах в различное время суток. Отраженный свет, измеренный в свечах с 1 см² поверхности предмета в перпендикулярном к поверхности направлении, определяет яркость предмета (в стильбах).

Практически установлено, что предметы с коэффициентом отражения около 10% (почва, растительность) могут иметь в ночных условиях яркость порядка 0,0000005 стильба, т. е. св./см², и при средней дневной освещенности в 50 000 люксов яркость около 0,2 стильба.

На рис. 15 изображено в условном масштабе изменение остроты зрения в зависимости от общей яркости фона. Отлогая часть кривой соответствует яркостям, превышающим 0,002

¹ Г. Шульц, Физиологические погрешности (приложение к книге Бердт, - Технические линейные измерения, Машметиздат, Л. — М. 1935).

стильба, т. е. дневному освещению, когда уже преобладает колбочковый аппарат.

Контрастную чувствительность принято характеризовать отношением наименьшего еще различимого изменения (ΔB) яркости к величине всей яркости B , т. е. $\frac{\Delta B}{B}$.

Изменение контрастной чувствительности представлено графически на рис. 16. По оси абсцисс отложены яркости B , а по оси ординат — величины $\frac{B}{\Delta B}$.

Контрастная чувствительность оказывается различной для различных уровней наблюдаемых яркостей. При больших яркостях достаточно незначительного увеличения яркости, чтобы глаз это заметил. При малых яркостях для этого необходимо значительное относительное изменение яркости. При очень

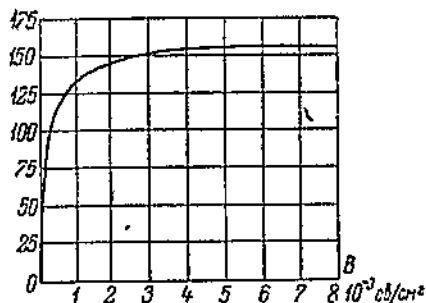


Рис. 15.

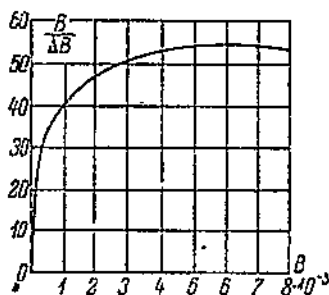


Рис. 16.

больших яркостях — порядка 1 стильба и выше (небо, неподалеку от солнца) — начинает испытывать ослепление и колбочковый аппарат, и контрастная чувствительность вновь понижается.

Чувствительность к цветам характеризуется следующим образом: для зеленого цвета она возрастает от центра к периферии, для красного цвета — наоборот.

Было установлено, что при наблюдении объектов, занимающих небольшое угловое протяжение (меньше 1° для дневного зрения и не больше 10° для сумеречного), минимальная яркость, еще ощущаемая глазом, и площадь объекта связаны друг с другом так, что произведение из площади на яркость остается постоянным. Для более широких пятен справедлива другая закономерность. Постоянным оказывается произведение яркости на квадратный корень из площади.

Кроме этого на видение ночью оказывает влияние так называемый „собственный свет“ ретины, вызванный ее самораздражением. Его легко наблюдать при плотно закрытых глазах в виде слегка волнующейся световой завесы неопределенных очертаний. „Собственный свет“ ретины застилает своего рода дымкой наблюдаемую картину и ухудшает таким образом ее контрастность.

При точных измерениях большей частью приходится, во-первых, установить тонкую нить по середине интервала, ограниченного двумя штрихами, т. е. произвести деление интервала пополам путем глазомерной оценки. Абсолютная погрешность при оценке середины зависит от ширины S подлежащего делению интервала. На расстоянии нормального зрения глаза (250 мм) величина погрешности K , согласно наблюдениям ряда исследователей, составляет:

S (мм)	1	2	3	4
K (мм)	0,035	0,050	0,064	0,074

Погрешность получается такого же порядка, как и для предела разрешающей способности глаза, и возрастает приблизительно пропорционально квадратному корню из величины интервала.

Следует отметить, что влияние вертикального протяжения оценивается глазом иначе, чем горизонтального. Это объясняется расположением сетчатой оболочки на желтом пятне (рис. 13). Для оценки пределов погрешности можно, однако, пренебречь данным обстоятельством. Кроме переменной погрешности, здесь появляется еще и постоянная, имеющая для правого и левого глаза различный алгебраический знак. Кажущаяся середина интервала получается при наблюдении правым глазом, сдвинутой против действительной середины направо, при наблюдении левым глазом — налево. Это явление объясняется также расположением чувствительных элементов на сетчатке.

Исследования вопроса о величине погрешности при оценке десятых и двадцатых долей интервала дали для средней погрешности оценки следующее значение:

$$m = \pm \frac{(3,43 \pm 0,10) \sqrt{S}}{100} \quad (4)$$

Вид кривой, характеризующей погрешность оценки интервала в зависимости от его величины и расположения (называемой также „децимальным уравнением“), показан на рис. 17.

Если прибор в процессе наблюдения находится в условиях тряски (танковые и авиационные приборы, морские дальномеры и т. п.), то разрешающая сила и точность наводки, наблюдения и отсчета сильно понижаются, что следует учитывать при расчетах точности приборов.

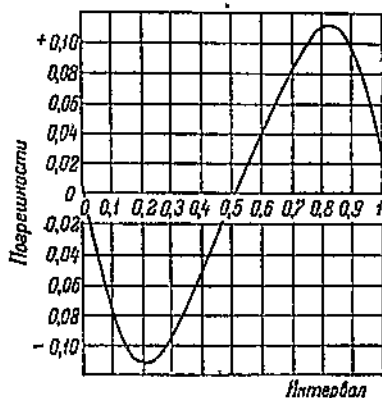


Рис. 17.

3. Ошибки механизмов прибора

Ошибки механизмов прибора имеют своим основанием отступления от номинальных (расчетных) размеров (допуски), упругие и температурные деформации деталей, износ, а также несовершенство некоторых способов передачи движения (например, проскальзывание в фрикционных передаточных механизмах). Подробные сведения о размерах этих ошибок применительно к отдельным узлам и механизмам даны во второй части книги.

Вообще говоря, чем сложнее (кинематически) прибор, тем относительно выше влияние ошибок механизмов прибора. Кроме того если в приборе практически уничтожено влияние темпера-

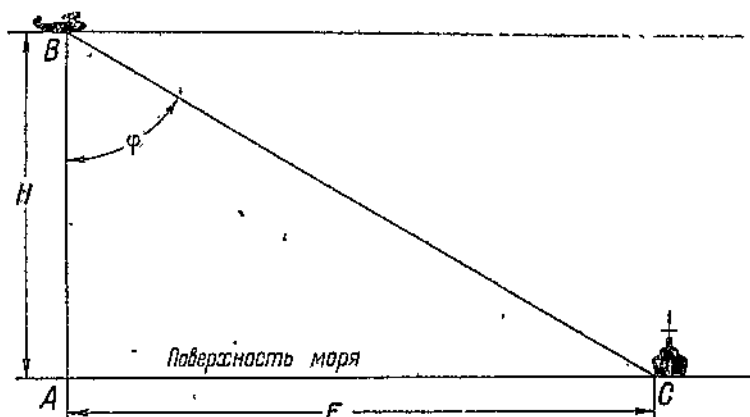


Рис. 18.

турных колебаний, то из двух приборов с совершенно одинаковой схемой тот будет точнее, размеры которого, а отсюда и вес больше.

Для иллюстрации всего изложенного ниже приведен характерный пример расчета ошибок и допусков.

Пример. С гидросамолета, летающего над морем, необходимо измерить горизонтальную дальность до цели — корабля, находящегося в открытом море. Напомним, что горизонтальной дальностью (рис. 18) называется расстояние по горизонту от проекции самолета до цели. На самолете установлен авиационный визир ФЛ 110, дающий возможность визировать вперед (от вертикали) на 75° . Увеличение визира — $1,2^\times$.

Зная высоту H полета самолета над уровнем моря и измеряя угол визирования на цель φ (от вертикали), мы из треугольника ABC находим горизонтальную дальность E .

Для упрощения вычислений пренебрегаем кривизной земли. Тогда:

$$E = H \operatorname{tg} \varphi.$$

Найдем вероятную ошибку определения E при $H = 5000$ м и $\varphi = 60^\circ$. Логарифмически дифференцируя данную формулу, получим:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta H}{H} + \frac{2\Delta\varphi}{\sin 2\varphi}.$$

Вместо ΔH и $\Delta\varphi$ мы должны подставить вероятные погрешности этих величин и, пользуясь методом средних квадратов, получим следующее выражение:

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta\varphi}{\sin 2\varphi}\right)^2}. \quad (5)$$

Рассмотрим ошибки ΔH и $\Delta\varphi$. ΔH есть ошибка ввода высоты полета, т. е. ошибка показаний альтиметра (высотомера). Примем относительную величину вероятной ошибки альтиметра $\frac{\Delta H}{H} = 0,01$ (1%).

Ошибка $\Delta\varphi$ складывается из двух ошибок: 1) неточности наводки $\Delta\varphi_1$ и 2) ошибки вертикали (в данном случае показаний уровня), от которой производится отсчет угла φ ; назовем эту ошибку $\Delta\varphi_2$. Таким образом $\Delta\varphi$ складывается из двух независимых друг от друга ошибок $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$, взаимодействие которых является случайным и подчиняющимся закону Гаусса. Поэтому:

$$\Delta\varphi = \sqrt{(\Delta\varphi_1)^2 + (\Delta\varphi_2)^2}. \quad (6)$$

Вероятную ошибку наводки $\Delta\varphi_1$ в условиях вибраций самолета при увеличении $1,2^x$ можно принять порядка $1,5-3'$ ($0,0004-0,0008$ рад.).

Вероятную ошибку вертикали (фокусного уровня) $\Delta\varphi_2$ можно полагать порядка $5-6'$ ($0,0015-0,0017$).

Подставив данные численные величины в выведенные формулы, получим величину вероятной ошибки измерения горизонтальной дальности E с самолета.

4. Допуски в оптико-механическом производстве

Правильный выбор допусков для сопряжений деталей в оптико-механических приборах, вполне отвечающий как техническим требованиям, предъявляемым к прибору (с точки зрения его точности и устойчивости в эксплуатации), так и требованиям производственной экономики, является, пожалуй, более сложным, чем в других областях точного машиностроения. Большая сложность этого вопроса обуславливается преимущественно высокими требованиями к точности оптико-механических приборов, требованиями, в частности, весьма усложняющимися условиями эксплуатации значительного числа приборов при широком диапазоне температурных колебаний, влияние которых особенно увеличивается при значительных линейных протяжениях или диаметрах сопрягаемых деталей и при сопряжении деталей из материалов с различными коэффициентами линейного расширения, чего за-

частую нельзя избежать,¹ а также при условиях жестокой тряски (вибраций). Принятая в СССР система допусков, как показывает опыт, является неудовлетворительной для оптико-механического производства, особенно при больших диаметрах сопряжений.

Особо стоит вопрос о допусках на оптические детали и сопряжения оптических деталей (из стекла) с металлическими деталями. Этот вопрос разобран подробно в гл. I и II части второй.

Исключительно важны для оптико-механического приборостроения требования точности изготовления зубчатых передач в тех случаях, когда эти передачи служат для отсчетных перемещений. Однако, допуски на элементы зубчатых колес до сих пор не разработаны в виде стройной системы. Имеющиеся попытки в этом отношении у нас и за границей в лучшем случае охватывают колеса с модулем 1,25 и выше. На зубчатые колеса с модулем меньшим единицы допуски не разработаны вовсе.²

Погрешности зубчатых передач и обоснования выбора допусков, а также данные достигнутых точностей изготовления приведены в гл. X части второй.

Перечень посадок, применяемых в оптико-механическом производстве, дан в табл. 1.

Величина допусков в очень сильной степени влияет на стоимость изделий, поэтому следует назначать максимально большие допуски, при которых еще возможно получение желательного соединения без ущерба для его качества. Необходимым условием выбора посадок служит детальное изучение работы всего механизма и влияния на эту работу соединения каждой пары сопряженных деталей, поэтому нельзя назначать допуски для детали, взятой независимо от всего механизма. При разработке конструкции необходимо представлять себе нужные допуски и технологический процесс для их выполнения, и если окажется, что этот процесс очень сложен или трудно осуществим в массовом масштабе, то целесообразно пересмотреть конструктивное выполнение прибора и его деталей с целью обеспечения взаимозаменяемости при допусках низших классов точности. Иногда оказывается невозможным обеспечить полную взаимозаменяемость ввиду получающихся нецелесообразно малых допусков, а также ввиду больших допусков на оптические данные линз (например, фокусные расстояния); тогда вводят промежуточные детали — „компенсаторы“, размеры которых меняют при сборке.

В табл. 2 приведены рекомендуемые Отделом норм и стандартов ВООМП (б. ОНС КИБа) посадки для сопряжения деталей в оптико-механических приборах.

Примеры выбора посадок показаны на рис. 10 и 325.

¹ Более подробно учет влияния температурных колебаний на изменение зазора или натяга сопряжения рассмотрен в гл. VI части второй.

² Разработка допусков на колеса с малыми модулями ведется на заводах ГОМЗ и Электроприбор в Ленинграде.

Таблица 1

Перечень посадок, применяемых в оптико-механическом производстве

Система	Класс точности	П о с а д к а		Обозначение
		Характер сопряжения	Наименование	
С и с т е м а о т в е с т и я	A ₁	1-й	Неподвижная	Г ₁ Т ₁ Н ₁ П ₁
			Подвижная	C ₁
	A ₂	2-й	Неподвижная	Г _р Пр Па Г _л Т _г Н _г П
			Подвижная	С Д Х Л Ш
	A ₃	3-й	Неподвижная	1-я прессовая 2-я прессовая 3-я прессовая Пр 1 ₃ Пр 2 ₃ Пр 3 ₃
			Подвижная	С ₃ Х ₃ Ш ₃
	A ₄	4-й	Неподвижная	Пр ₄
			Подвижная	C ₄ = A ₄ ; C ₄ = B ₄ Х ₄ Л ₄ Ш ₄
	A ₅	5-й	Подвижная	C ₅ = A ₅ ; C ₅ = B ₅ Х ₅
	A ₇	7-й	—	B ₇
	A ₈	8-й	—	B ₈
	A ₉	9-й	—	B ₉

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ПРИБОРОВ

По получении технического задания на проектирование нового прибора конструктору приходится решать следующие задачи. Если прибор должен явиться чем-либо совершенно новым, не имеющим precedентов и в то же время достаточно сложным как по оптической схеме, так и по механическому оформлению, то конструктор должен, наметив оптическую схему прибора, принципиально удовлетворяющую техническим требованиям, параллельно и в связи с ней наметить также принципиальную кинематическую схему механизмов прибора.

В сложных конструкциях зачастую получаются большие трудности в увязке оптической и механической частей прибора.

Здесь следует иметь в виду, что при разработке такой принципиальной схемы прибора конструктор уже обычно бывает сильно стеснен в вопросах габарита, веса, точности, удобства обращения с прибором и тому подобных требованиях, предъявляемых к оптико-механическим приборам.

Зачастую задача нахождения принципиальной схемы прибора, удовлетворяющей поставленным условиям, бывает настолько сложной, что лишь после продолжительных изысканий, связанных с постановкой различных экспериментальных исследований (лабораторных и др.), удастся найти решение, более или менее удовлетворяющее всем условиям технического задания.

Значительно проще задача решается, если прибор должен представлять собой модернизацию (улучшенную переработку) существующих приборов.

Во всех случаях, если проектируемый прибор предназначен для работы совместно с каким-либо другим объектом, конструктор должен быть обеспечен всеми необходимыми материалами и чертежами того объекта, совместно с которым должен работать проектируемый им прибор. Еще лучше, если конструктор может непосредственно подробно ознакомиться с указанным объектом.

При проектировании конструктор должен также учитывать все сделанное до него в данной области. Он должен быть всегда в курсе всех достижений современной технической мысли — как нашей, так и иностранной, — дабы не тратить труда на то, чтобы изобретать уже изобретенное. Вообще конструктор должен стремиться к возможно более широкому применению в своем приборе отдельных узлов и механизмов, вполне оправдавших себя в других приборах. Это отнюдь не значит, однако, что следует заниматься слепым копированием.

В разработке конструкций конструктор должен стремиться применять нормальные детали. Знание технологии изготовления всех без исключения деталей проектируемого прибора, как и знание технологии сборки и выверки прибора абсолютно

необходимы конструктору. Без этих знаний конструкция, кажущаяся в чертежах вполне удовлетворительной, может оказаться на деле, в процессе производства, либо вовсе негодной, либо экономически невыгодной вследствие большой сложности и дороговизны изготовления. Кроме того следует иметь в виду, что точность прибора, нечувствительность к температурным влияниям и т. п. зависят не только от правильной конструкции, но и от правильного технологического процесса изготовления и сборки. Конструктор должен обязательно участвовать в изготовлении прибора, наблюдая за изготовлением деталей и руководя сборкой, выверкой и испытаниями прибора.

Каждая конструкция в процессе проектирования проходит через следующие стадии.

1. *Подготовительные работы*: подбор и ознакомление с материалами; наметка необходимых экспериментальных работ; определение возможности использования (частичного или полного) существующих конструкций.

2. *Проектирование*. Проектирование, как мы указывали выше, включает в себя разработку принципиальной схемы прибора, расчет всех элементов прибора, в том числе и его оптической системы, эскизный и конструктивный чертежи.

3. *Разработка детальных чертежей*.

4. *Контрольная сборка*.

5. *Составление описания прибора и технических условий на его изготовление*.

6. *Проверка чертежной инспекцией*.

7. *Изготовление опытного образца прибора под наблюдением конструктора*.

8. *Испытание опытного образца*.

9. *Доработка конструкции* (если потребуется в результате испытания) и внесение всех необходимых исправлений в чертежи, выявившихся в процессе производства, для запуска в массовое или серийное производство.

Эскизный проект должен иметь столько проекций и разрезов, сколько необходимо для ясного и полного представления о конструкции и всех ее деталях. На нем должны быть проставлены основные размеры. Масштаб эскизного проекта должен быть выбран по возможности 1 : 1; это дает более наглядное представление как о размерах всего прибора, так и о размерах его деталей. Масштаб должен очень строго выдерживаться во всех деталях чертежа. Особенно это относится к тем размерам, которые вполне определены расчетом оптической системы, зубчатых передач, всевозможных отсчитанных перемещений в приборе и т. д.

Эскизный конструктивный проект обычно снабжается кратким описанием, в котором, наряду с расчетами прибора и описанием конструкции, должны находиться примерный расчет ошибок прибора и схема оптики прибора со всеми данными.

Следует отметить, что в практике конструкторских бюро оптический расчет проходит две стадии.

1. *Предварительный* или, как его называют, *габаритный расчет* определяет основные данные оптической системы, как то: увеличение, поле зрения, диаметр и удаление выходного зрачка, углы визирования, габаритные размеры призм и общий габарит всей оптической системы. Получив такой габаритный расчет от оптико-вычислительного бюро, конструктор приступает к разработке *чернового, эскизного проекта*. Если данные оптической системы оказываются вполне подходящими, что выявляется в процессе конструирования, то оптико-вычислительному бюро дается заказ на *окончательный расчет* данной оптической системы.

Окончательный расчет оптической системы включает в себе размеры радиусов, толщину линз, расстояния между ними, выбор сортов стекла и т. п. При окончательном расчете производится также коррекция системы. Этот расчет должен быть снабжен графиками остаточных аберраций и допусками на размеры, точность и качество поверхностей, пузыри и т. п.

Допуски на оптическое стекло (категории по константам, однородности, пузырям и т. п.) должны быть также указаны в расчете. Может случиться и так, что в процессе проектирования выясняется, что данная оптическая система оказывается неудовлетворительной. Тогда приходится отыскивать новое решение. Снова производится габаритный расчет, и т. д.

2. Получив окончательный расчет, конструктор уточняет проект, после чего последний поступает на разработку *детальных (рабочих) чертежей*. Детальным (рабочим) называется такой чертеж, который, кроме графического изображения детали, имеет все необходимые размеры и данные для ее изготовления. Детальный чертеж должен содержать исчерпывающее „техническое описание“ детали, исключающее необходимость каких-либо дополнительных сведений или справок.

Таким образом зачастую совершенно недостаточно одного только графического изображения в надлежащем числе проекций со всеми размерами. На каждом чертеже деталей необходимо указывать: обработку поверхностей, допуски, материал, вес, отделку поверхности. Кроме того в различных случаях на детальном чертеже могут быть различные пояснительные надписи, например: термическая обработка, пригонка, способ изготовления, размеры заготовки и т. п.

Разрезов и проекций на детальном чертеже должно быть столько, сколько необходимо для полного представления о данной детали. Масштаб, в котором вычерчивается данная деталь, должен быть взят таким, чтобы при проставлении всех размерных линий, размеров, обработки и т. п. конфигурация детали оставалась ясно видимой. Вообще говоря, следует не стесняться масштабом при вычерчивании детальных чертежей. При постановке размеров на детальном чертеже всегда нужно считаться с порядком обработки. При таком методе, когда чертежник ставит себя в положение рабочего, сразу обнаруживается, какие размеры более существенны, какие можно опустить. Размеры

будут группироваться в известной последовательности, по мере надобности будут находимы без труда и не потребуют от рабочего дополнительных пересчетов.

Правила рационального нанесения на чертеж размеров могут быть сведены в следующие пять пунктов:

1) по возможности выносить размеры за контур детали, оставляя внутри контура те из них, которые не вредят наглядности или не могут быть вынесены вовсе;

2) не повторять размеров в другой проекции и не проставлять лишних;

3) назначать размеры от центровых линий или обработанных поверхностей; не следует давать размеры цепочкой;

4) размерные линии должны возможно меньше пересекаться между собой и с контурами детали;

5) цифры размеров должны быть исполнены весьма тщательно и отчетливо и проставлены так, чтобы основания цифр были книзу или в правую сторону чертежа, т. е. чтобы чертеж можно было читать, глядя на него прямо или справа.

Контрольно-сборочные чертежи. После того как изготовлены все детальные чертежи определенного узла или механизма, можно приступить к выполнению сборочного контрольного чертежа. Эта работа должна быть возложена на достаточно опытного и весьма добросовестного конструктора. Контрольно-сборочный чертеж имеет прежде всего то значение, что при строго добросовестном исполнении его обязательно должны обнаружиться почти всегда имеющиеся в детальных чертежах несоответствия (разница в размерах или их совершенное отсутствие, невозможность сборки и т. п.) в такой же степени, как они должны были бы сказаться при сборке механизма.

Работа по изготовлению сборочного чертежа заключается в последовательном и точном составлении общего вида как отдельных узлов, так и всего прибора в необходимом числе проекций, пользуясь детальными чертежами. При этом размеры должны точно считываться и добросовестно переноситься на контрольно-сборочный чертеж. Ни в коем случае нельзя руководствоваться масштабом вычерченной детали и переносить его, например, скалыванием на сборочный чертеж. Все размеры на сборочном чертеже должны откладываться по масштабной линейке. Все выявившиеся при сборке ошибки в детальных чертежах отмечаются на них. После окончания сборочных чертежей детали с помеченными на них ошибками передаются для исправления деталировщикам. Разбивка сборочных чертежей по узлам должна соответствовать самому процессу сборки узлов прибора, т. е. каждый узел, который может собираться совершенно самостоятельно, должен иметь сборочный чертеж. Особенно тщательно такая разбивка должна производиться для чертежей уже проверенных конструкций, идущих в массовое или серийное производство. Пример такого узлового сборочного чертежа показан на рис 325.

Номера деталей ставятся в кружочках, которые располагаются по прямым линиям. Линии указания, идущие от номеров к деталям, должны быть параллельны между собой и идти под углом к осевым линиям. При этом можно делать в конце указательной линии перелом, если при параллельном к остальным линиям направлении она не встречает на своем пути нужных деталей. На общем сборочном чертеже номера деталей, имеющиеся в узловых чертежах, могут не указываться, но указывается номер всего узла; при этом номер узла не заключается в кружок, а подчеркивается.

Исполненные таким образом сборочные чертежи прибора и детальные чертежи поступают на проверку конструктору, проектировавшему прибор, а затем к начальнику конструкторского бюро.

Инспекция чертежей. В процессе изготовления чертежей неизбежны ошибки. В самом деле, проектирование и все связанные с ним расчеты производятся одним лицом, которое изготавливает эскизный чертеж с неполным количеством размеров. Детализовка же поручается другим лицам, которые, хотя и изучают за проектированную конструкцию в целом или по частям, все же не имеют возможности вникнуть в нее настолько, чтобы вполне уяснить себе взаимную связь отдельных узлов и механизмов. Наконец, следует считаться с возможностью чисто механических ошибок: неправильно проставленных размеров и т. п. Поэтому в крупных конструкторских бюро обычно имеется группа инспекции чертежей.

Работа инспектора чертежей заключается в следующем: необходимо поставить себя в положение того лица, которому придется читать и пользоваться чертежом, и удостовериться в полной ясности чертежа, т. е.: 1) проверить, правильно ли начерчена каждая деталь, достаточно ли проекций или, наоборот, нет ли лишних; 2) убедиться, что все размеры проставлены в соответствии с технологией исполнения детали; 3) проверить правильность выбора и простановки допусков; 4) проверить, достаточно ли полно использованы нормальные детали: болты, винты, штифты, заклепки и т. п.

Инспектором чертежей должен быть достаточно опытный и добросовестный конструктор с производственным стажем (желательно технолог).

Следует сказать, что при чисто экспериментальных конструкциях могут быть сделаны отступления от разработанной выше системы. В этом случае проектирование и изготовление опытного чертежа производятся по отдельным узлам, причем конструктор, непосредственно наблюдающий в цехе за изготовлением и сборкой данного узла, в случае необходимости тут же на ходу изменяет конструкцию, если то, что было им запроектировано ранее, оказывается неудовлетворительным, пока не добивается нужных результатов. В таких случаях прохождение всех чертежей через перечисленные инстанции явилось бы весьма нерентабельным и кроме того вызывало бы большие задержки

во времени. Только после того, как опытная конструкция окончательно собрана и проверена, с нее должны быть сняты чертежи, которые, пройдя соответствующую проверку, могут быть запущены в производство.

Описание прибора должно содержать:

- 1) технические требования (задание);
- 2) теоретическую часть — теоретическое обоснование конструкции, подкрепленное всеми необходимыми расчетами;
- 3) оптические данные прибора, снабженные графиками остаточных аберраций;
- 4) подробное описание конструкции;
- 5) расчет шкал, сеток, кулачков и тому подобных деталей прибора;
- 6) расчет теоретических ошибок прибора (в тех случаях, когда это необходимо);
- 7) инструкцию обращения с прибором;
- 8) технические условия на изготовление опытного образца прибора.

Глава IV

ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

1. Стекло

Применяемое в оптико-механическом приборостроении стекло делится на три группы: 1) оптическое стекло, применяемое для изготовления оптических деталей; 2) цветное стекло, применяемое для изготовления светофильтров; 3) техническое стекло, идущее на изготовление прочих стеклянных деталей, например: ампул уровней, пластин освещения, матовых стекол и пр.

1. Оптическое стекло. При расчете деталей оптических систем стекло рассматривается как вполне физически однородная среда. Однако, вследствие целого ряда причин изготовление подобного стекла практически почти невозможно. Поэтому оптическим стеклом принято называть стекло, оптическая однородность которого не выходит за пределы определенного допуска, обеспечивающего достаточно хорошее качество оптических деталей в отношении их оптических свойств.

В зависимости от номинальных оптических констант оптическое стекло делится на сорта, причем каждому сорту соответствует вполне определенный химический состав (см. табл. 10).

Сорт стекла характеризуется следующими основными оптическими константами: показателем преломления n_D , средней дисперсией $n_F - n_C$, коэффициентом дисперсии $\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ и частной дисперсией $n_G - n_F$. Знаки C, D, F и G соответствуют длинам световых волн (λ), при которых измерены соответствующие показатели преломления (n), а именно: $\lambda_C = 656,3 \text{ мμ}$;

$\lambda_D = 589,3 \text{ мμ}$; $\lambda_F = 486,1 \text{ мμ}$; $\lambda_G = 435,9 \text{ мμ}$. Показатель преломления n_D принято выражать единицей с четырьмя десятичными знаками после запятой, коэффициент дисперсии ν — числом с одним десятичным знаком после запятой, среднюю и частную дисперсии — с пятью знаками (см. табл. 10).

Величина показателя преломления стекла определенного химического состава (сорта) может колебаться в зависимости от условий его термической обработки. Коэффициент дисперсии при этом также изменяется, так как величина средней дисперсии, входящая в знаменатель выражения $\frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$, остается постоянной, не зависящей от условий отжига. Отклонение величин n_D и ν от номинального значения допускается в пределах: для $n_D \pm 20 \cdot 10^{-4}$ и для $\nu \pm 1,0$. При отклонениях, выходящих за указанные предельные допуски, стекло следует рассматривать как новый сорт.

Однако, многие оптические системы требуют более жестких допусков на оптические константы. Поэтому оптическое стекло в пределах одного сорта подразделяют на *категории* с более суженными допусками.

Для стекла, применяемого в визуальных оптических системах, установлено 5 категорий (см. табл. 3).

Для стекла, применяемого в фотографических системах, установлено 3 категории (см. табл. 4).

Принадлежность стекла, идущего для изготовления тех или иных оптических деталей, к соответствующей категории по константам необходимо указывать в технических условиях на изготовление прибора.

Таблица 3

Категории оптического стекла для визуальных оптических систем

Категории по константам	Допустимые отклонения для:	
	n_D	$n_F -$
I	$\pm 0,0005$	$\pm 0,00005$
II	$\pm 0,0007$	$\pm 0,0000$
III	$\pm 0,0010$	$\pm 0,0001$
IV	$\pm 0,0010$	$\pm 0,0002$
V	$\pm 0,0020$	$\pm 0,0002$

Таблица 4

Категории оптического стекла для фотографических систем

Категории по константам	Допустимые отклонения для:	
	n_D	$n_G - n_F$
I ф	$\pm 0,0005$	$\pm 0,00006$
II ф	$\pm 0,0006$	$\pm 0,00007$
III ф	$\pm 0,0010$	$\pm 0,00013$

Примечание. Колебания по оптическим константам в пределах одной плавки не должны превышать 50% допуска по соответствующей категории.

Различные сорта оптического стекла вследствие различия химического состава обладают неодинаковой степенью сопротивляемости воздействию воды и водяного пара. При воздействии воды на поверхности стекла любого химического состава происходит гидролиз входящих в него силикатов. При этом образующиеся гидраты оснований, как растворимые, могут удаляться с поверхности стекла, нерастворимый же гидрат кремнезема образует защитную пленку, предохраняющую стекло от дальнейшего разрушения. Свойства этой пленки весьма различны и зависят как от состава стекла, так и от условий ее образования. При быстро образующейся прочной пленке также быстро прекращается дальнейшее действие воды на стекло, благодаря чему качество полированных поверхностей оптической детали не нарушится. При некоторых составах стекла, богатых щелочами, вследствие вторичных реакций гидролизу подвергается значительно больший слой стекла. Это обстоятельство может привести к порче полированной поверхности, что внешне проявляется появлением пятен, потускнением ее и шелушением.

Количественная характеристика степени гидролитической стойкости оптического стекла определяется способом Милиуса. Гидролитическая стойкость выражается количеством миллиграммов иодозина, связываемого щелочью, освобожденной при гидролизе 1 см² поверхности стекла. Для каждого образца стекла производится две пробы: минутная — А₁ (с погружением в воду на 1 мин.) и проба на щелочное выветривание — А₂ (выдерживание образца в течение 7 суток над водой при температуре 18°).

Таблица 5
Гидролитические классы оптического стекла

Гидролитические классы	Количество иодозина мг/см ²	
	свыше	до
I	—	5
II	5	10
III	10	20
IV	20	40
V	40	—

По величине щелочности на выветривание оптическое стекло разбивается на 5 гидролитических классов (см. табл. 5).

Сорта стекла I и II гидролитических классов рекомендуется, поскольку это позволяет расчет, применять для изготовления на-

ружных оптических деталей системы (первые линзы объективов, защитные стекла и пр.), так как последние в наибольшей степени подвергаются воздействию водяного пара атмосферы. Сорта стекла III и IV гидролитических классов обладают достаточной стойкостью для изготовления деталей, находящихся внутри прибора. Кроме того стекло IV гидролитического класса хорошо поддается воздействию фтористоводородной кислоты. Поэтому эти сорта обычно применяются для изготовления деталей, на поверхности которых с помощью травления желательны нанести углубленные штрихи, цифры и пр. Сорта стекла V гидролитического класса рекомендуется применять только для та-

ких оптических деталей, полированные поверхности которых не соприкасаются непосредственно с атмосферой.

Пороки оптического стекла. К неизбежным порокам оптического стекла относятся: 1) двойное лучепреломление, 2) светопоглощение, 3) окрашенность, 4) свиля и 5) посторонние включения — пузыри и камни. Перечисленные дефекты характеризуют не сорт стекла, а лишь отдельные заготовки. Допустимая величина того или иного дефекта заготовки, из которой изготавливаются оптические детали, всецело зависит от назначения последних. Поэтому, независимо от сортов, стекло разбивается по каждому из указанных пороков на категории. Принадлежность оптической детали к той или иной категории по светопоглощению, окрашенности, свилям и посторонним включениям в каждом отдельном случае необходимо оговаривать в технических условиях на изготовление прибора.

По величине коэффициента поглощения белого света оптическое стекло делится на 4 категории (см. табл. 6).

По окрашенности (насыщенности цвета) — на 7 категорий¹ (см. табл. 7).

Таблица 6

Категории оптического стекла по величине коэффициента поглощения белого света

Категории	Коэффициент поглощения на 1 см толщины куска	
	свыше	до
I	—	0,007
II	0,008	0,010
III	0,011	0,015
IV	0,016	0,020

Таблица 7

Категории оптического стекла по окрашенности

Категории	Насыщенность цвета сатроны/см		Категории	Насыщенность цвета сатроны/см	
	свыше	до		свыше	до
I	—	0,20	V	0,80	1,00
II	0,20	0,40	VI	1,00	1,40
III	0,40	0,60	VII	1,40	2,00
IV	0,60	0,80			

По оптической неоднородности — на 4 категории (см. табл. 8).

Ввиду отсутствия методики измерения оптической неоднородности временно относят: к I категории — стекло, полученное из горшков без последующей термической обработки; ко II категории — стекло, отоженное в каленицах в течение приблизительно 20 суток. Эти две категории определяются как „стекло тонкого отжига“. К III и IV категориям относят стекло, отоженное обычным порядком в электропечах.

¹ Методику измерения и расчета коэффициента поглощения и насыщенности цвета оптического стекла см. Труды ГОИ, т. VIII, вып. 82.

Таблица 8

Категории оптического стекла по оптической неоднородности

Категории	Изменение на 1 см		Величина двойного лучепреломления	
	свыше	до	свыше	до
I	—	$1 \cdot 10^{-6}$	—	$4 \cdot 10^{-7}$
II	$1 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$12 \cdot 10^{-7}$
III	$3 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-7}$	$20 \cdot 10^{-7}$
IV	$10 \cdot 10^{-6}$	$30 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-7}$	$40 \cdot 10^{-7}$

По *свилям* оптическое стекло делится на 3 категории.¹

I категория—стекло без свилей. Стекло, в котором при просмотре в двух взаимноперпендикулярных направлениях, указанных заказчиком на чертежах, свиля не обнаруживаются. Сорта стекла этой категории рекомендуется применять для изготовления призм.

II категория—стекло со свилями, ориентированными в одном направлении. Стекло, в котором при просмотре в одном заданном направлении свиля не обнаруживаются. Сорта стекла этой категории вполне пригодны для изготовления линз при условии расположения свиля в плоскости, перпендикулярной оптической оси линзы.

III категория—стекло с одиночными свилями, видимыми невооруженным глазом и отстающими одна от другой не менее чем на 10 мм. Стекло с видимыми свилями допускается применять только для изготовления оптических деталей неответственного назначения.

По посторонним включениям, в зависимости от максимального диаметра пузыря или камня, стекло делится на 7 категорий (см. табл. 9).

Таблица 9

Категории оптического стекла по посторонним включениям

Категории	Максимальный диаметр включения мм	Применение
I (беспузырь.)	—	Для оптических деталей, расположенных в фокальных плоскостях
II	0,1	То же
III V	0,2 0,3	Для линз объективов и окуляров
V VI	0,5 0,7	Для промежуточных оптических деталей
VII	1,0	Только для неответственных деталей

По II—VII категориям для баритовых стекол и тяжелых флинтос допускается не более 7 пузырей на 1 см³, для прочих сортов—не более 4 пузырей на 1 см³.

¹ Свилюю называется такая оптическая неоднородность стекла, которая при просматривании заготовки методом теневой проекции дает на экране нитевидную более или менее расплывчатую тень.

Сортамент оптического стекла. Оптическое стекло выпускается в виде заготовок следующих форм: 1) линз, 2) призм, 3) цилиндров, 4) прямоугольных плиток. Размеры заготовок заказываются заводами холодной обработки стекла.

2. Цветное стекло. Окрашенность стекла объясняется неравномерностью поглощения лучей спектра. Стекло, пропускающее красные лучи, имеет красный цвет, стекло, пропускающее желтые лучи, — желтый и т. д.; таким образом цвет стекла определяется спектром поглощения белого света. Для окраски стекла применяются различные неорганические красители, вводимые в шихту при его варке.

Цветное стекло, так же как и оптическое, подразделяется на сорта. Каждый сорт характеризуется цветом, т. е. спектром поглощения белого света. На рис. 19 приведены спектры поглощения некоторых сортов цветного стекла.¹ На диаграммах по оси абсцисс отложены длины световых волн, а по оси ординат — величины поглощения света

¹ 1 — темнокрасное стекло, толщина 1,1 мм; 2 — светложелтое урановое стекло, толщина 16 мм; 3 — желто-зеленое хромовое стекло, толщина 10 мм; 4 — зелено-желтое хромовое стекло, толщина 5 мм; 5 — зелено-желтое хромовое стекло, толщина 2,5 мм; 6 — желто-зеленое хромовое стекло, толщина 4 мм; 7 — желто-зеленое хромовое стекло, толщина 2,5 мм; 8 — зеленое хромово-медное стекло, толщина 5 мм; 9 — темнозеленое стекло, толщина 5 мм; 10 — темнозеленое стекло, толщина 2,5 мм; 11 — синее медное стекло, толщина 5 мм; 12 — синее медное стекло, толщина 12,5 мм; 13 — синефиолетовое стекло, толщина 5 мм; 14 — темнофиолетовое никелевое стекло, толщина 6 мм; 15 — темнофиолетовое стекло, толщина 5 мм.

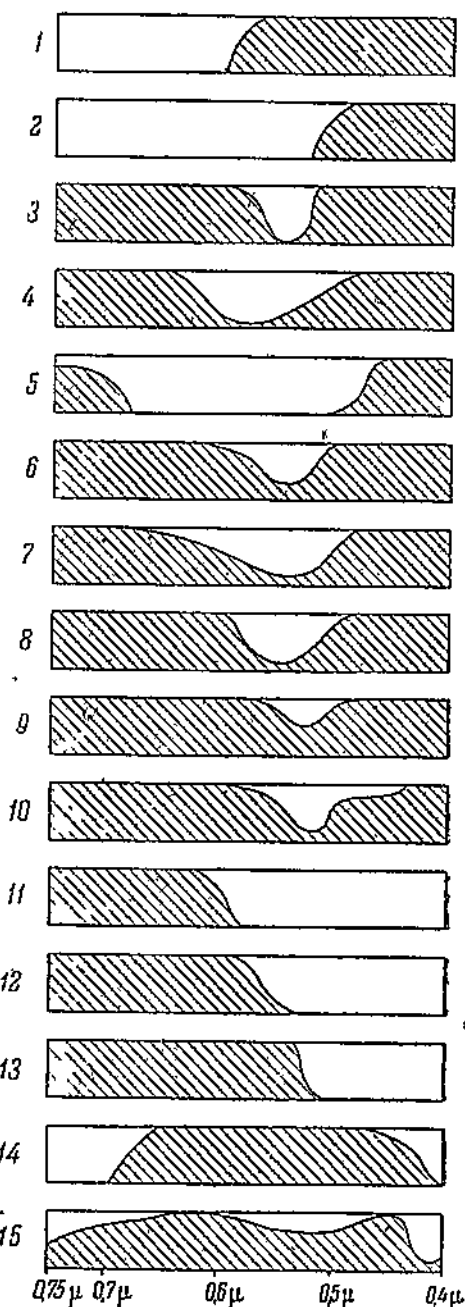


Рис. 19.

Обозначение		Наименование	Оптические свойства				Категории по:			
Линзос	Шотт		n_D	$n_F - n_C$	γ	$n_D - n_F$	Константа	Пузыристость	Светопропускание	Окрашенность
—	—	—	1,5783	0,00141	41,0	0,00842	I, II	II—IV	I, II	I, II
—	F	Флинт	1,6257	0,01756	35,6	0,01072	II	I—IV	I, II	II, III
1	—	—	1,5140	0,00806	63,6	0,00566	II—IV	I—IV	I, II	I, II
5	BLF ₁	Баритовый легкий флинт	1,5795	0,01076	53,8	0,00622	II	I, II	II, III	II, III
6	BaK ₁	Баритовый кроп	1,5726	0,00996	57,5	0,00568	II	II—IV	II, III	II, III
7	Kg	Кроп	1,5147	0,00849	60,6	0,00481	II	III, IV	II	II
8	F ₃	Флинт	1,6129	0,01660	37,0	0,01008	II	I—IV	I, II	II, III
9	F ₄	Флинт	1,6169	0,01691	36,6	0,01029	II	I—IV	I, II	II, III
10	F ₅	Флинт	1,6199	0,01706	36,3	0,01038	II	I—IV	I, II	II, III
11	SF ₂	Тяжелый флинт	1,6475	0,01912	33,9	0,01178	II	I—IV	I, II	II, III
12	K ₃	Силикатный кроп	1,5181	0,00879	59,0	0,00499	I—IV	I, II	I, II	I, II
14	BK ₇	Боросиликатный кроп	1,5163	0,00806	64,0	0,00450	II—IV	I—IV	I, II	I, II
15	BaSF ₁	Тяжелый баритовый флинт	1,6259	0,01601	39,1	0,00967	II	I—IV	I, II	I, II
16	LF ₂	Легкий флинт	1,5783	0,01387	41,7	0,00829	I, II	II—IV	I, II	I, II
17	BaK ₁	Баритовый кроп	1,5399	0,00905	59,6	0,00514	II	II—IV	II, III	II, III
18	SF ₄	Тяжелый флинт	1,7550	0,02443	29,5	0,01730	III, IV	IV, V	III, V	VI, VII
19	SK	Тяжелый баритовый кроп	1,5891	0,00962	61,2	0,00543	I, II	VI	II, III	II, III
20	BK ₁	Боросиликатный кроп	1,5100	0,00805	63,4	0,00450	II, III	I—III	I, II	I, II
23	SF ₁	Тяжелый флинт	1,7172	0,02431	29,5	0,01518	II—IV	IV, V	III	V, IV
24	SK ₁	Тяжелый баритовый кроп	1,6126	0,01046	58,6	0,00593	I, II	VI	II, III	II, III
28	LLF ₁	Легкий флинт	1,5480	0,01195	45,9	0,00706	II	II—IV	I, II	I, II
29	SK ₉	Тяжелый баритовый кроп	1,6140	0,01114	55,1	0,00640	I, II	VI	II, III	II, III
35	SF ₅	Тяжелый флинт	1,6725	0,02087	32,2	0,01289	II	I—IV	I, II	II, III
43	—	—	1,5467	0,00871	62,8	0,00487	II	I—IV	II, III	II, III
49	KF ₁	Кроп-флинт	1,5262	0,01032	51,0	0,00598	I, II	—	I, II	I, II
13	BaK ₁	Баритовый кроп	1,5688	0,01015	56,0	0,00582	III, IV	I—III	I, II	I, II
21	—	—	1,5302	0,00877	60,5	0,00495	II	II—IV	II	II

в процентах (заштрихованная часть). Величина поглощения зависит также и от толщины пластинки цветного стекла.

К цветному стеклу, применяемому в оптико-механическом приборостроении, предъявляются следующие основные требования: 1) однородность окраски и 2) постоянство спектра поглощения для различных плавок одного сорта. Цветное стекло применяется главным образом для изготовления светофильтров.

3. Техническое стекло. Из различных сортов технического стекла наибольшее применение имеет зеркальное стекло, идущее на изготовление неотвественных деталей: защитных стекол, сеток, зеркал, очковых линз и пр. Стекловаренными заводами это стекло выпускается в листах различной толщины.

Химический состав %											Химическая стойкость			Температура отжига °C	Удельный вес
SiO ₂	B ₂ O ₃	BaO	PbO	K ₂ O	Na ₂ O	As ₂ O ₃	ZnO	Sb ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	Гидролитичес. кл.	A _v	A _p		
53,00	—	—	36,00	8,00	2,75	0,25	—	—	—	—	—	—	—	460	3,16
45,85	—	—	47,85	6,15	—	0,15	—	—	—	—	—	—	—	580	3,68
69,75	10,70	—	—	6,75	10,35	0,35	2,10	—	—	—	2	9	5	550	2,50
45,60	5,85	91,00	4,10	6,40	1,30	0,30	15,15	0,30	—	—	3	15	7	—	3,24
50,20	3,30	30,25	—	6,15	—	0,10	9,50	0,50	—	—	2	7	8	610	3,20
71,00	—	—	—	18,60	—	0,30	—	—	10,10	—	—	—	—	—	2,48
47,65	—	—	45,70	6,40	—	0,25	—	—	—	—	1	4	6	480	3,58
47,00	—	—	46,40	6,35	—	0,25	—	—	—	—	2	9	8	480	3,60
46,50	—	—	40,00	6,30	—	0,20	—	—	—	—	1	3,5	7	480	3,62
42,40	—	—	51,70	5,70	—	0,20	—	—	—	—	1	4	7	465	3,86
66,45	1,10	—	—	13,70	7,85	0,20	3,80	—	5,40	1,50	4	31	17	530	2,55
68,85	11,00	2,80	—	6,50	10,40	0,35	—	—	—	—	2	6	8	550	2,53
41,85	—	11,05	33,40	8,25	—	0,20	5,25	—	—	—	—	—	—	540	3,68
52,95	1,45	—	35,75	9,60	—	0,25	—	—	—	—	2/3	10	9	480	3,20
59,40	3,45	20,00	—	9,95	2,90	0,20	3,45	0,65	—	—	2	8	10	550	2,85
31,60	—	—	65,35	2,85	—	0,20	—	—	—	—	1	4	5	420	4,79
36,30	15,95	41,45	—	—	—	1,45	—	—	—	4,85	—	—	—	610	3,32
71,00	8,60	—	—	9,70	8,30	0,40	2,00	—	—	—	2	7	10	580	2,49
33,85	—	—	61,85	4,55	—	0,15	—	—	—	—	2	6	9	390	4,40
32,70	13,20	46,40	—	—	—	1,60	2,90	—	—	3,20	4	31	—	610	3,58
61,00	—	—	26,30	8,00	4,50	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	2,94
38,00	3,75	42,90	—	—	—	1,10	9,95	—	—	4,30	3	13	22	565	3,58
39,10	—	—	55,40	5,30	—	0,20	—	—	—	—	1/2	—	—	470	4,08
53,85	12,75	19,20	—	7,95	2,40	0,20	3,65	—	—	—	—	—	—	—	2,87
67,50	—	—	12,30	—	15,40	0,20	4,60	—	—	—	—	—	—	—	2,72
49,55	4,80	21,55	2,60	7,55	1,25	0,20	12,50	—	—	—	2	8	13	550	3,14
63,15	3,15	14,70	—	10,45	3,10	0,20	5,25	—	—	—	1	3	6	—	2,75

2. Сплавы для литья

Сплавы для литья, применяемые в оптико-механическом производстве, охарактеризованы в табл. 11

3. Основные металлы и сплавы для холодной обработки

Характеристики этих сплавов даны в табл. 12.

4. Сплавы для литья под давлением

Сплавы для литья под давлением, применяемые в оптико-механическом приборостроении, охарактеризованы в табл. 13 и 14.

Таблица 11
Механические и литейные характеристики сплавов для литья

№ по пор.	Название	Обозначение	Химический состав %	Удельный вес	Средняя плотность кг/м³	Относительная вязкость %	Твердость по Бринеллю	Усадка %	Температура плавления °С	Примечание
Медно-цинковые сплавы										
1	Мушкетер	ЛС59	Cu = 59 P = 1 Zn — ост.	8,5	40	30	—	2	900	Для горячей штамповки и отливки под давлением
Оловянистые бронзы										
2	Бронза твердая	БТ№9	Cu = 88 Sn = 10 Zn = 2	8,6	21—23	9—12	80—90	1,6	900	Для ответственных отливок
3	Бронза средней твердости	БСТ№5	Cu = 85 Sn = 6 Zn = 5—6 Pb = 3	8,7	15—18	8—10	60—75	1,6	—	—
Кремнистые бронзы										
4	—	1	Si = 1,5—1,8 Zn = 19—21 Cu — ост.	8,6	20—25	15—20	70—90	—	—	Для отливок средней ответственности
5	—	2	Si = 2—3 Zn = 19—21	8,6	30—40	2—4	120—160	—	—	Для ответственных отливок
Алюминиевые бронзы										
6	—	—	Al = 5—10 Cu — ост.	7,5—8,3	35—80	—	100—240	1,4—2,2	1100	Устойчив к атмосферному влиянию и влиянию морской воды. Обладает хорошими антифрикционными свойствами. Коэффициент трения со сталью без смазки — 0,18—0,2. Хорошо противостоит истиранию

Американский 7 сплав (сплав № 12)	A	Al = 92 Cu = 8 Fe Pb } ≤ 2 Zn Si	2,88	13,5—18	1—3	30	2—1,5	530	Имеет прекрасные литейные качества, дает гладкое и ровное по поверхности литье, особенно при заливке в металлические формы (кошки) и литье под давлением. Для тонкостенных отливок несколько хрупко. Наименьшая толщина стенок отливок — $2\frac{1}{8}$ —3 мм
8	—	Al = 96 Cu = 4	2,7	12—14	5—6	40—45	—	—	Более мягкий и менее хрупкий, чем сплав № 12. Может применяться для тонкостенных изделий
9	Тройной алюминевый сплав („картерный“)	Al = 91—92 Cu = 2,5—6 Zn = 3—8 Si + Zn ≤ 9	2,7	12—13,5	3—5	—	—	—	Применяется в тех случаях, когда требуется хорошая обрабатываемость на станках и не требуются повышенные механические качества. Применяется для отливок корпусов биноклей
10	Силумин	Al = 86,8—87,2 Si = 12,8—13,2 Zn = 0,5 Mg = 0,25	2,6	18—23	5—10	60—70	1—1,14	770	Отличается жидкотекучестью, хорошими литейными свойствами, малой усадкой. Особенно рекомендуется для литья под давлением. Поддается отжигу и закалке. Стоек в отношении впитывания воды, насыщенного пара кислот и т. п. Требуется особая осторожность при резании. Стойкостью против коррозии условия резания улучшаются
11	Лаугаль	Al = 94 Cu = 4 Si = 2	2,7	12—28	10—11	70—100	—	—	Хорошо обрабатывается режущими инструментами. Обладает высокими механическими и литейными качествами. Усадка несколько больше, чем силумина, но меньше, чем у остальных алюминевых сплавов. Широко применяется для отливок под давлением
12	Электрон	Al = 3—10 Zn = 0—3 Mn = 0,2—0,5 Mg — ост.	1,8	10—40	2—10	—	—	—	Наиболее легкий из сплавов. Горит. Химически мало стоек (против кислот и воды). Химическая обработка сплавов хрому улучшает сопротивление коррозии. Хорошо обрабатывается режущими инструментами. В прокатанном виде (листы, трубы) гнется только в нагретом состоянии
Ч у г у н ы									
13	Чугун серый	C = 3,4—3,6 Si = 2,0—2,2 Mn = 0,8 P $\approx 0,03$ S $\approx 0,12$	7	14	—	160—180	1,5	1100	Для отливок, к которым не предъявляются высокие механические требования
14	Чугун ковкий	C = 2,7 Si = 0,75—1,25 Mn = 0,4 P = 0,1 S = 0,1	7,7	32—40	5—7	100—145	1,5	1250	Для сложных и тонкостенных отливок, не подвергающихся, однако, высоким нагрузкам. Хорошо принимает поверхность отделки

Таблица 12

Механические и литейные характеристики основных металлов и сплавов для холодной обработки

№ то пор.	Название	Обозначение	Химический состав %	Сопротивление разрыву кг/мм ²	Относительное удлинение %	Твердость по Бринеллю	Удельный вес	Назначение	Примечание
1	Муфта для прутков и труб . .	ЛС59	Cu = 57—61 Zn = 38—42 Pb = 1—2 Fe = 0,5 P = 0,01 As = 0,01 Sb = 0,005 Bi = 0,005	35	30	—	8,6	Для оправ линз, втулок, труб оптических приборов и т. п.	Отожженный
2	Муфта для листов	ЛС59	Cu = 61 Pb = 0,4	—	—	—	8,6	—	Отожженный
3	Латунь Л62 . .	Л62	Cu = 63—59 Zn = 41—37 Pb = 0,4 Fe = 0,1 P, As, Bi — следы	—	—	—	8,6	Для штампованных деталей, вырубки, планок и т. п.	—

4	Латунь Л68 . .	Л68	Сu = 70—67 Zn = 33—30 P = 0,005 Fe = 0,1 P, As, Bi—следы	—	—	—	8,5	—	—
5	Латунь морская	ЛМ70 ЛМ62	—	—	—	—	—	Для деталей, подверженных действию атмосферной и морской влаги	—
6	Алюминий листовый	А	—	—	—	—	2,7	Для штамповки, вырубки, гнутых деталей и т. п.	—
7	Алюминий прутковый	АП	—	—	—	—	2,7	Для точеных деталей	—
8	Кольчугаломиний	КА	Сu = 3,8—5 Mn = 0,4—0,85 Mo = 0,5 Fe = 1 Al—ост.	18—25	14—19	50—60	2,8	Для деталей из листового материала при требованиях легкости и в то же время достаточной прочности. Не штампуется, изгибается только при достаточно большом радиусе изгиба по отношению к толщине	—
9	Дюралюминий листовой	—	—	—	—	—	2,8	—	—
10	Нейзильбер . .	Н	Сu = 70 Ni = 15 Zn = 15	—	—	—	8,5	—	—

№ по пор.	Название	Обозначение	Химический состав %	Средняя разрывная прочность кг/см ²	Относительное удлинение %	Твердость по Бринеллю	Удельный вес	Назначение	Примечание
11	Сталь листовая для штамповочных работ	Жесткая	C = 0,1	—	—	156	7,8	Вырубки	—
12		Вязкая	C = 0,1	Вязкость по Эриксену 0,5—0,12 Толщина листа 8,3—10,6	100	7,8	Загибка и неглубокие вытяжки	—	—
13		Особо вязкая	C = 0,1	9—11	94	7,8	Глубокие вытяжки	—	—
14	Сталь № 2	СТ-2	C = 0,13—0,25 Mn = 0,30—0,60 Si = 0,1—0,3 P ≤ 0,065 S ≤ 0,04	34—42	30	120	7,8	Мягкая сталь для деталей, изготовляемых на револьверных станках и автоматах, от которых не требуется высоких механических свойств и сопротивления износу, и для деталей, изготовляемых вытягиванием, штамповкой, загибкой и пр.	—
15	Сталь № 3	СТ-3	C = 0,25—0,35 Mn = 0,4—0,7 Si = 0,15—0,35 P ≤ 0,07 S ≤ 0,05	42—50	24	140	7,8	Обычная сталь средней твердости, обладающая хорошей упругостью и некоторой твердостью. Применяется для деталей, к которым не предъявляются особых требований в отношении износа и механических качеств, обрабатываемых на револьверных станках	—

Б А Н Н

16	К о н с т р у к ц и я	Сталь № 4 .	СТ-4	$C = 0,34-0,45$ $Mn = 0,4-0,7$ $Si = 0,10-0,45$ $P \leq 0,07$ $S \leq 0,06$	50—60	22	180	7,8	Обладает по сравнению с СТ-2 и СТ-3 большим сопротивлением износу и большей твердостью. Применяется для подвергающихся трению или значительным напряжениям деталей, изготовляемых ковкой, обработкой на револьверных станках или вырубкой из листового материала	—	а также изотворенная поковкой, вырубкой, вытягиванием и пр.
17	С т а л ь	Сталь № 6 .	СТ-6	$C = 0,45-0,60$ $Mn = 0,4-0,7$ $Si = 0,15-0,45$ $P \leq 0,065$ $S \leq 0,04$	60—70	17	250	7,8	Упругая и твердая сталь, дающая возможность получить особо чистую и гладкую поверхность; хорошо сопротивляется износу. Применяется для червяков, валиков, подшипников, тонкостенных труб и пр.	Моторных: 3-й, 5-й и 6-й Завод Большевиков—Ижевский Ижевский завод—Мартовская № 6, № 6 1/2, № 7 Златоустовский завод—Мартеновская № 5	
18	Сталь инструментальная	Сталь У 8 .	СТ-8	$C = 0,7-0,9$ $Mn = 0,2-0,4$ $Si = 0,15-0,30$ $P \leq 0,025-0,035$ $S \leq 0,025-0,030$	80—100	—	—	—	Для инструментов, подвергающихся ударам и требующих вязкости при наличии достаточной твердости. Для направляющих и колес шарикоподшипников	Кировский завод—Добрыня № 8 Завод Большевиков—№ 8	

№ по пор.	Название	Обозначение	Химический состав, %	Средняя плотность, кг/см³	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю	Удельный вес	Назначение	Примечание
19	Сталь У 10	СТ-10	C = 0,9—1,1 Mn = 0,2—0,4 Si = 0,15—0,20 P ≤ 0,025—0,030 S = 0,025—0,035	80—100	—	—	—	Для инструментов, требующих достаточной твердости и не подвергающихся ударам, для фрез, разверток, плашек, метчиков, калибров и пр.	Кировский завод—Добрыля № 12
20	Сталь У 12	СТ-12	C = 1,1—1,3 Mn = 0,2—0,35 Si = 0,15—0,30 P ≤ 0,025—0,035 S ≤ 0,025—0,035	100—120	—	—	—	Для инструментов, требующих большой твердости, но не подвергающихся ударам, фрез, разверток и т. п.	—
21	Энерж. 1	Эж. 1	C = 0,08—0,13 Si ≤ 0,5 Mn ≤ 0,6 Cr = 11—14	40 100	25 10	— —	— —	В термически обработанном виде применяется для деталей, требующих значительной твердости	Холоднокатаные и горячекатаные деформируются в заводских условиях
22	Энерж. 2	Эж. 2	C = 0,14—0,22 Si ≤ 0,5 Mn ≤ 0,6	50 125 85	23 9 13	— — —	— — —	В термически обработанном виде для изделий	—

№	Марка	Химический состав, %	Эж. 3	C = 23—0,83 Si ≤ 0,5 Mn ≤ 0,6 Cr = 11—14	55 150 96	21 8 10	— — —	— — —	Термические свойства те же, что и Эж. 1	То же, но для изделий, требующих повышенной твердости. Приемы для вершков, бритвы и т. п.	свойства те же, что и Эж. 1	линей, не требующих высокой твердости. Хирургические инструменты, машинные детали	Отливается в холодном состоянии. Электроустойчив.
23	Энерж. 3	Ил.	Ил.	C = 0,4 Ni = 36 Fe = ост.	—	—	—	—	Обладает ничтожным коэффициентом линейного расширения. Очень плохо обрабатывается режущим инструментом				
24	Инвар	Ил.	Ил.	C = 0,4 Ni = 36 Fe = ост.	—	—	—	—	Обладает ничтожным коэффициентом линейного расширения. Очень плохо обрабатывается режущим инструментом				

Сталь — качественная конструкционная

№ по пор.	Марка	Х и м и ч е с к и й с о с т а в %							Механические свойства					
		C	Mn	Si	S	P	S+P	Ni	Cr	Сопротив- ление раз- рыву кг/мм ²	Относительное удли- нение %			Твердость по Бринеллю
											δ ₂₀	δ ₅	δ ₁₀	
26	10	0,05—0,15	0,35—0,65	0,30	0,045	0,045	0,080	0,30	0,20	32—42	25	10	143	
27	20	0,15—0,25	0,35—0,65	0,17—0,37	0,045	0,045	0,080	0,30	0,20	40—50	20	24	163	
28	30	0,15—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,045	0,080	0,30	0,20	48—60	16	19	179	
29	40	0,35—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,045	0,080	0,30	0,20	57—70	14	17	217	
30	50	0,45—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37	0,045	0,045	0,080	0,30	0,20	63—80	11	13	241	

Таблица

Химический состав, метод заливки, пределы ве

Сплавы	Химический состав %						Удельный вес	Преимущество применяе- мый метод заливки
Легкоплав- ные:	Sn	Pb	Sb	Cu	—	—	10—10,5 7,3—9,0	На порш- невых и компрес- сорных машинах
Свинцовые Оловяни- стые	0—15	ост.	5—18	—	—	—		
	ост.	0—56	15—16	—	—	—		
Цинковые	Zn	Sn	Al	Cu	Mg	Ni	7,07—7,20 6,73—6,77	
	ост.	6—25	0—0,5	3—4	—	0—0,02		
	"	—	3,5—5	0—3	0—0,1	0—0,02		
Алюминие- вые	Al	Cu	Si	Ni	Mn	—	2,9—3,0 2,67—2,75	На ком- прессорных машинах
	ост.	4—8	0—3	0—3,7	—	—		
	"	0—4	3—13	—	0—2	—		
Магние- вые	Mg	Al	Mn	—	—	—	1,83	
	89,7	10	0,3	—	—	—		
Медные	Cu	Zn	Pb	Si	—	—	8,5 8	На маши- нах, рабо- тающих по принципу прессования
	ост.	40	0—2	—	—	—		
	82	ост.	—	4—5	—	—		

Темпера- тура за- ливки °C	Минимальные допуски для отливок				
	Размеры				
	Внутри одной половинки формы			Параллель- но поверх- ности разъе- ма мм	Перпенди- кулярно по- верхности разъема мм
	Заданные размеры %	Не меньше мм	Ограничен- ные подвиж- ными частя- ми формы (не меньше) мм		
260—300	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	0,05—0,1
280—330	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$ (в искл. случ. $\pm 0,005$)	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	0,02—0,05
430—490	$\pm 0,01^4$	$\pm 0,03^4$	$\pm 0,02^4$	$\pm 0,02^4$	0,05—0,1 ⁴
400—480	$\pm 0,15^4$				
650—750	В зависимости от размеров и кон- фигурации отли- вок $\pm 0,15—0,25$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	0,05—0,1
620—700					
650—700	-0,1	—	—	—	—
850—920	В зависимости от размеров и кон- фигурации отли- вок $\pm 0,25—0,35$	$\pm 0,07$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	0,05—0,2
~960					

Сплавы	Минимальные допуски для отливок				
	Отверстия				Мини- мальная конус- ность в % от длины
	Минимальный диаметр		Наибольшая глубина		
	Эконом. допуст. мм	Технич. возможи. мм	Несквозные отверстия	Сквозные отверстия	
Легкопла- вные: Свинцовые Оловяни- стые	1	0,75 0,5	3 диаметра	При отверстиях больше 1,5 мм диаметром—10 ди- аметров; мень- ше 5 мм—7 диа- метров	0,1—0,2
Цинковые	1,5	1	3 диаметра	6 диаметров	0,2—0,5
Алюминие- вые	2,5	1,5	При отверстиях больше 3 мм ди- аметром—3 диа- метра; меньше 3 мм—2 диаметра	При отверстиях больше 3 мм ди- аметром—4 диа- метра; меньше 3 мм—3 диаметра	0,5—1
Магние- вые	2	1,5	—	—	0,3—0,4
Медные	5	2,5	При отверстиях больше 5 мм ди- аметром—3 диа- метра; меньше 5 мм—1,5 диа- метра	При отверстиях больше 5 мм ди- аметром—4 диа- метра, меньше 5 мм—2 диаметра	0,5—1,5

Литая резьба			Пределы веса и размеров отливок		
Минималь- ный шаг мм	Минимальный диаметр мм		Допуск на вес детали мм	Максималь- ный размер отливки мм	Минимальная тол- щина стенок мм
	Внешний	Внутренний			
0,9 0,8	5	5	1 г—5 кг 0,5 г—1 кг	300×400	0,75 0,5
1	8	10	1 г—5 кг	400×600	В зависимости от величины и конфи- гурации отливок 1,2—3
1,25	12	—	5 г—2,5 кг		В зависимости от величины и конфи- гурации отливок 1,5—3
			5 г—1,2 кг	300×430	В зависимости от величины и конфи- гурации отливок 1—3
1,5	—	—	5 г—2 кг	400×600	В зависимости от величины и конфи- гурации отливок 2—3

Таблица 14

Размеры и допуски для отливок (по данным завода ГОМЗ)

Сплавы	Толщина стенок (наиме. выш.) мм	Минимальный размер закругления мм	Минимальная копуность в % от высоты		Отверстие			Резьба мм	
			Наружн.	Внутр.	Минимальный диаметр мм	Глубина		Внутр.	Наружн.
Оловянистые Свинцовые	0,75—2,5	0,5	0,1	0,2	0,5	× 10	× 10	10	4
Цинковые	1,5—2,5	0,5	0,2	0,4	0,75	× 6	× 6	6	6
Алюминиевые	2—4	1	1	1	3	× 3	—	—	12

5. Искусственные прессовочные материалы (пластмассы)

Искусственные пластмассы можно разбить на четыре основные группы:

- 1) фенолальдегидные,
- 2) целлюлозные,
- 3) белковые,
- 4) асфальтопечковые.

1. Фенолальдегидные пластмассы *Бакелит*. Бакелит получается конденсацией фенола с формалином в присутствии щелочного катализатора. Впервые он получен Бэклендом (L. H. Baekeland) в 1907 г., по имени которого и получил свое название. Бакелит представляет собой искусственный (синтетический) смолообразный продукт.

Процесс конденсации бакелита имеет три фазы. В фазе А (действие фенола на формалин при нормальной температуре) бакелит смолообразен, плавится при 50—60°, растворяется в спирте, ацетоне, глицерине и феноле. Если бакелит А нагревать до температуры свыше 100°, то он переходит в фазу В. В фазе В бакелит становится твердым, неплавким и химически стойким к растворителям, в которых он только набухает. При дальнейшем нагревании до 180° получается конечный продукт С. Бакелит С устойчив против большинства реактивов, обладает электроизолирующими свойствами, противостоит температуре (180—300°).

Чистый бакелит своей прозрачностью и интенсивно-желтым переходящим в красный цветом напоминает янтарь. Невысокие механические свойства и, главное, хрупкость не позволяют применять бакелит в чистом виде. Поэтому его соединяют с различными материалами, придающими ему те или иные механические свойства. Все известные материалы на основе бакелитов являются композицией из бакелитовой смолы (связующее), различных материалов, повышающих механические свойства, и красителей.

Содержание бакелита в композиции колеблется от 25 до 60%. В качестве наполнителя применяются: древесная мука, мел,

хлопчатобумажное и льняное волокно, ткань, бумага, асбест, рыба чешуя и пр. Содержание минерального наполнителя никогда не поднимается выше 10%. Присутствие последнего нежелательно в тех случаях, когда изделие подвергается дополнительной обработке режущим инструментом. Необходимо отметить, что все материалы, содержащие бакелит, вызывают усиленный износ режущего инструмента.

На заводе ГОМЗ для изготовления корпуса фотоаппарата применяется *волокнит* (наполнитель — линтера — очесы хлопка); для менее ответственных деталей — *монолит* (наполнитель — древесная мука). Завод Геофизика применяет *карболит*. Указанные материалы обладают плотной и равномерной структурой, прочностью и превосходным внешним видом.

В качестве материала для изготовления бесшумных шестерен наилучшие результаты дает *текстолит*. На заводе ГОМЗ из текстолита изготавливаются бесшумные шестерни для звуковой кинопередвижки К-25. Текстолит представляет собой ткань, пропитанную бакелитовой смолой и отпрессованную в виде досок различной толщины. В продаже имеются доски двух размеров: 1000×1500 мм и 750×1000 мм. Текстолит можно получать и в виде болванок. Текстолит очень хорошо пилится, сверлится, фрезеруется и точится. В последнее время из текстолита начали изготавливать трубы различных диаметров.

Подобен текстолиту *пертинакс* (гетинакс). Он отличается от текстолита тем, что ткань заменена бумагой специальных сортов. Гетинакс вследствие его высоких электроизолирующих свойств применяется для панелей, изоляционных прокладок, шайб, гаек, рычагов и т. п.

Перечисленными материалами далеко не исчерпывается группа фенолальдегидных прессовочных материалов. Отмечены только наиболее распространенные и технически освоенные из них.

2. **Целлюлозные пластмассы.** К числу их относится, в первую очередь, всем известный *целлюлоид*. Целлюлоид превосходно штампруется, точится, сверлится и нарезается. Известно применение его (в окрашенном виде) для лепестков ирисовых диафрагм. Главным недостатком целлюлоида являются его воспламеняемость и незначительная теплостойкость. Уже при 50—60° целлюлоид легко деформируется.

В последнее время получили широкое распространение прессовочные композиции на основе эфира целлюлозы, так называемые *тролиты* и *этролы*. Они очень пластичны, менее горючи, чем целлюлоид, и допускают повторные запрессовки в случае брака. Вследствие этого их свойства уничтожаются отходы, что значительно удешевляет изготовление деталей. Благодаря хорошей текучести возможно изготовление деталей из тролитов методом литья под давлением, а этот способ, как известно, наиболее продуктивен.

В оптико-механической промышленности применение целлюлозных прессовочных материалов вполне целесообразно для изготовления различных рукояток, наглазников, маховичков, оправ

№ по порядку	Наименование свойств	Единица измерения	Фенолальдегидные резиты (чистая смола типа бакелит)	Фенолальдегидные резиты и древесная мука (прессованный бакелит)	Фенолальдегидные резиты и полотно текстолит
1	Удельный вес	г/см ³	1,20—1,29	1,33—1,40	1,32—1,40
2	Теплостойкость по Мартенсу	°C	Выдерживает без разложения (без нагрузки) 200—250	125—150	100—125
3	Коэффициент линейного теплового расширения α в пределах 20—70°	$\alpha \cdot 10^{-6}$	50—110	25—45	20—30
4	Твердость статическая по Бринеллю	кг/мм ²	30—45	{ 30—38 22—25	33—38
5	Временное сопротивление на изгиб	кг/см ²	—	500—1000 650—700	1000—1700
6	Прочность на разрыв	кг/см ²	350—750	400—625	900—1750
7	Прочность на ударный изгиб	кг/см ²	0,5—2,5	{ 4—9,6 4—5	35—85
8	Поверхностное электрическое сопротивление (50% относительной влажности)	Ω/см ²	10 ¹¹ —3,6 · 10 ¹²	10 ¹¹ —10 ¹³	10 ¹⁰ —10 ¹³
9	Объемное электрическое сопротивление (50% влажности)	Ω/см ³	10 ¹⁰ —10 ¹²	10 ¹⁰ —10 ¹³	10 ¹⁰ —10 ¹³
10	Электрическая прочность	kV/мм	10—70 в зависимости от толщины пленки и других факторов	9—40	27—45
11	Действие органических растворителей: а) бензин б) бензол в) спирт г) прочие	—	Не действуют	Изменений не происходит	Изменений не происходит

Троллиты на основе нитроцеллюлозы	Троллиты на основе других эфиров целлюлозы	Эбонит	Карболит		
			Ф	К	Ж
1,5—2,2	1,5—2,2	1,12—1,4	1,18	1,12	1,13
45—50	45—60	40—50	70	120	160
12—16	—	60—80	93	75	120
16—22	—	—	24	31	25
480—550	450—550 минимум	822—1018 (при косом изгибе)	637	445	401
—	250—300	250—450	184	144	120
4,85—5,3	15—30	30	—	—	—
$3,8 \cdot 10^{12}$	$6,1 \cdot 10^{12}$ (ацетил)	$10^{12}—10^{15}$	$5,8 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{13}$	$4,6 \cdot 10^{13}$
$1,5 \cdot 10^{12}$	$4,8 \cdot 10^{10}—5 \cdot 10^{12}$ (ацетил)	$0,8 \cdot 10^{11}$	$5,4 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 100^{11}$	$5,5 \cdot 10^{13}$
11—45	45 (ацетил)	10—38	10	11	12
В бензоле, ацетоне, метиле, спирте, этиловом спирте, кетоне, бензине и т. д. теряют свою прочность и сильно разрушают поверхность	То же	Алькоголь—слабо; бензол размягчает при обыкновенной температуре; сероуглерод растворяет серу и каучук; нефть вызывает набухание; скипидар растворяет при кипячении	Частичные изменения поверхности	—	—

№ по пор.	Наименование свойств	Единица измерения	Фенолальдегидные резиты (чистая смола типа бакелит)	Фенолальдегидные резиты и древесная мука (прессованный бакелит)	Фенолальдегидные резиты и полотно текстолит
12	Действие кислот	—	HNO_3 — распадается, скорость зависит от уд. веса и температуры кислоты. Специальные сорта стойки к концентрированным серной и соляной кислотам на холоду	Все кислоты слабо действуют, разрушая наполнитель. Скорость зависит от температуры, количества наполнителя и концентрации кислоты. Сильнее действуют HNO_3 и концентрированная H_2SO_4	То же, что для чистой смолы типа бакелит
13	Действие щелочей: КОН, NaOH	—	Некоторые сорта щелочестойки до 10% NaOH на холоду; при нагреве щелочь разрушает поверхность	—	Поверхность разрушается от действия щелочей уже при концентрации свыше 5%
14	Количество поглощаемой воды на холоду в течение суток	%	0,05—0,30	0,1—1,5	0,8—1,5
15	Влияние времени	—	Улучшаются механические и электрические свойства		
16	Металлические вставки	—	Изменений не происходит		

для очков и т. п. Для ответственных деталей эту группу материалов рекомендовать нельзя. На заводе ГОМЗ для неответственных деталей с наивысшей температурой эксплуатации $+50^\circ$ применяется этрол с наполнителем: мел, древесная мука, очесы хлопка.

3. Белковые пластмассы. Продукт, известный под названием *залалит*, представляет собой животный или растительный белок,

Троллиты на основе нитроцеллюлозы	Троллиты на основе других эфиров целлюлозы	Эбонит	Карболит		
			Ф	К	Ж
се кислоты, в особенности HNO_3 , H_2SO_4 , сильно действуют, разрушая поверхность. H_2SO_4 до 30% действует слабо	Сильно действуют ацетон, уксусная кислота, смесь бензола и спирта, слабее — чистый спирт, бензин	Не поддается действию концентрированных соляной, плавиковой и уксусной кислот, а также серной кислоты с уд. весом до 1,50 и азотной — с уд. весом 1,12	Практически стоек к H_2SO_4 (25% KOH). Азотная кислота и окислы азота разрушают		
Слабые щелочи изменяют поверхность, крепкие — быстро разрушают при нагревании, также на холоду.	Щелочи сильно действуют	Щелочи не действуют	Щелочи разрушают		
—	0,8	0,02	0,30	0,25	0,18
—	—	Становится хрупким, ухудшаются диэлектрические свойства	—	—	—
Повидимому, изменений не происходит		При соприкосновении железа и меди с эбонитом происходит быстрое ухудшение свойств, а металлы подвергаются коррозии; защита — олово, бумага, каучук и т. д.	—	—	—

обработанный формалином. Галалит тверже целлюлоида и не воспламеним, но более хрупок и весьма гигроскопичен. Широко известны галантерейные изделия из галалита.

Остальных материалов группы белковых мы не приводим из-за недостатка места.

В табл. 15 приведены физические, механические и химические свойства различных пластмасс.

Глава I

ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

Оптическими деталями называются детали из стекла или других материалов, действие которых основано на общих законах отражения и преломления света. Совокупность оптических деталей, расположенных в строго определенном порядке, образует *оптическую систему* прибора.

Оптические детали характерны тем, что к ним предъявляются весьма высокие требования в отношении точности выполнения линейных и угловых размеров, а также в отношении точности и чистоты обработки преломляющих и отражающих поверхностей.

Большое значение имеет также качество материала, из которого изготавливаются эти детали. В частности, плохой отжиг оптического стекла и непостоянство оптических констант различных номеров плавок одного и того же сорта часто приводят к браку оптических деталей.

По назначению и конструкции оптические детали делятся на следующие основные группы: 1) линзы, 2) призмы, 3) клинья, 4) зеркала, 5) сетки, 6) защитные стекла, 7) светофильтры.

1. Линзы

Общая характеристика. Линзами называются оптические детали, ограниченные двумя преломляющими поверхностями, из которых по крайней мере одна является поверхностью тела вращения.

При современном состоянии техники шлифовки поверхностей только сфера и плоскость могут быть выполнены с достаточной степенью точности, поэтому в оптических приборах почти исключительно применяются линзы со сферическими поверхностями. Шлифовка других возможных типов преломляющих поверхностей, например, параболических или цилиндрических, при массовом производстве практически весьма трудно выполнима и не обеспечивает требуемой степени точности. Этим, в частности, объясняется ограниченное применение параболических поверхностей, несмотря на то, что, как показывают теоретические

расчеты, такие поверхности дали бы возможность значительно повысить качество некоторых типов оптических систем.

В оптическом отношении линзы характеризуются апертурой и фокусным расстоянием, величина которого определяется радиусами кривизны преломляющих поверхностей, коэффициентом преломления стекла и толщиной линзы.

По оптическим свойствам и конструкции линзы делятся на следующие типы:

1) *положительные* линзы (рис. 20):

- а* — двояковыпуклые,
- б* — плосковыпуклые,
- в* — мениски положительные;

2) *отрицательные* линзы (рис. 21):

- а* — двояковогнутые,
- б* — плосковогнутые.
- в* — мениски отрицательные.

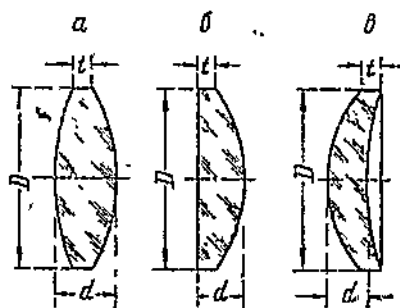


Рис. 20.

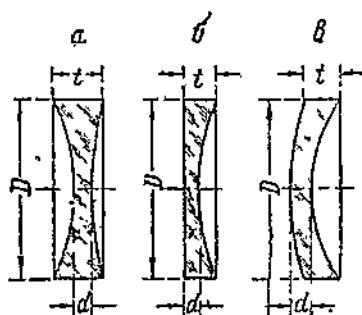


Рис. 21.

По форме положительные линзы характеризуются тем, что толщина их по оси d больше, чем толщина по краю t ; у отрицательных линз толщина по оси меньше толщины по краю.

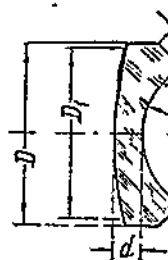


Рис. 22.

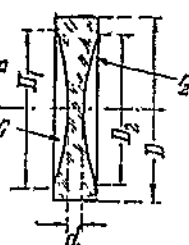


Рис. 23.

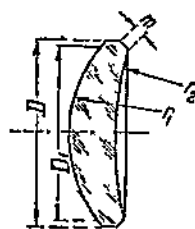


Рис. 24.

Конструктивные элементы линз. Конструктивные элементы линзы (рис. 22—24) делятся на две группы. Первая группа — элементы, определяемые при расчете оптической системы; к ней относятся: сорт стекла, радиусы кривизны преломляющих по-

Таблица 16

Соотношение между световым и полным диаметрами линзы

Наибольший световой диаметр линзы мм		Полный диаметр линзы D	
свыше	до	При креплении за давлением	При креплении зажимным кольцом
—	6	$D_1 + 0,6$ мм	Не применяется
6	10	$D_1 + 0,8$ "	$D_1 + 1,0$ мм
10	18	$D_1 + 1,0$ "	$D_1 + 1,5$ "
18	30	$D_1 + 1,5$ "	$D_1 + 2,0$ "
30	50	$D_1 + 2,0$ "	$D_1 + 2,5$ "
50	80	$D_1 + 2,5$ "	$D_1 + 3,0$ "
80	—	$D_1 + 3,0$ "	$D_1 + 3,5$ "

Примечание. Полученный из таблицы диаметр D рекомендуется округлять до ближайшего нормального диаметра по ГОСТ или соответствующим нормам.

Ведены в табл. 16. Эта таблица составлена с учетом достаточной надежности крепления линз в оправках. Однако, следует отметить, что в некоторых случаях приходится отступать от указанных в ней соотношений. В качестве примера можно взять фронтальную линзу микрообъектива (рис. 25). В микрообъективах большого увеличения толщина этой линзы обычно равна радиусу кривизны выпуклой поверхности, а ее световой диаметр только на 0,2—0,15 мм меньше наибольшего полного диаметра ($D_{\max} = 2r$), поэтому соединение такой линзы с оправой довольно затруднительно. В некоторых оптических системах встречаются положительные линзы, у которых разность между диаметром до острого края и световым диаметром сравнительно невелика. Таким образом если учесть наименьшую необходимую для центрировки ширину t ободка линзы, то разность между полным и световым диаметрами оказывается меньше, чем рекомендуется в таблице. При расчете систем часто этому не уделяют достаточно внимания, при сборке же соединение таких линз с оправками получается недостаточно надежным, и кроме того эти линзы легко выкалываются по краю.

Механическая прочность линз. При расчете оптических систем следует избегать применения слишком тонких линз. Такие линзы в процессе полировки прогибаются под давлением полировальника, что делает невозможным получение точных преломляющих поверхностей.

Исходя из достаточной механической прочности, можно рекомендовать следующие соотношения толщин линз по краю t и по оси d в зависимости от диаметра D :

верхностей r_1 и r_2 , толщина по оси d и световые диаметры преломляющих поверхностей D_1 и D_2 . Вторая группа — элементы, зависящие от конструкции механической части прибора и способа крепления; к этой группе относятся: полный диаметр линзы D , а также тип и размеры фасок t_1 .

Соотношения между полным и световым диаметрами линзы при-



Рис. 25.

1) для положительных линз повышенной точности — $3d + 7t \geq D$; для положительных линз средней точности — $6d + 14t \geq D$, причем в обоих случаях толщина по краю t должна быть не меньше $0,05 D$;

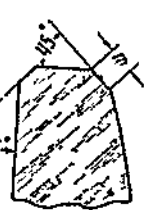
2) для отрицательных линз повышенной точности — $8d + 2t \geq D$, причем толщина по оси должна быть не меньше $0,05D$; для отрицательных линз средней точности — $16d + 4t \geq D$ при $d \geq 0,03D$.

Фаски. Фаски на линзах снимаются для следующих целей:

- 1) для предохранения от выколов при сборке,
- 2) для задавливания (завальцовки) в оправках и
- 3) для удаления излишних частей стекла и ограничения светового диаметра.

Фаски для предохранения от выколов необходимо снимать на острых краях всех линз, за исключением выпуклых поверхностей склейки, где они необязательны. Сувеличением диаметра линзы следует увеличивать и ширину фаски. Рекомендуемые размеры фасок в зависимости от диаметра приведены в табл. 17. На вогнутых поверхностях склейки ширину фаски рекомендо-

Таблица 17
Фаски для предохранения от выколов

Полный диаметр линзы мм		Ширина фаски мм	Расположение фасок
свыше	до		
—	6	0,2	
6	10	0,3	
10	18	0,4	
18	30	0,5	
30	50	0,7	
50	80	1,0	
80	—	1,2	

Примечание. Допускается также снимать фаски перпендикулярно биссектрисе угла между касательной к сферической поверхности и ободком линзы.

Рекомендуемые размеры фасок в зависимости от диаметра приведены в табл. 17. На вогнутых поверхностях склейки ширину фаски рекомендо-

Таблица 18
Фаски для крепления линз задавливанием

Полный диаметр линзы мм		Ширина фаски мм	Расположение фасок
свыше	до		
—	6	$0,3 \pm 0,1$	
6	10	$0,4 \pm 0,2$	
10	18	$0,5 \pm 0,2$	
18	30	$0,7 \pm 0,3$	
30	50	$0,9 \pm 0,3$	
50	—	$1,2 \pm 0,4$	

дует брать равной $0,2$ мм независимо от диаметра линзы.

Размеры фасок для крепления линз задавливанием приведены в табл. 18. Эти фаски всегда снимаются под углом 45° к ободку линзы и примерно вдвое больше фасок для предохранения от выколов.

Фаски для удаления излишних частей стекла и ограничения светового диаметра с-

маются на вогнутых поверхностях линз в тех случаях, когда световые диаметры D_1 и D_2 не равны между собой, например, у линз широкоугольных фотографических объективов. Типы таких фасок приведены на рис. 22—24.

На рис. 22 показана двойная фаска, снятая под углом 90° и 45° , причем первая фаска ограничивает световой диаметр D_2 на второй поверхности линзы. На рис. 23 и 24 показаны обычные фаски, снятые под углом 45° и 90° .

Склеенные линзы. Кроме обычных линз в оптических системах очень часто применяются линзы, склеенные из двух или нескольких отдельных частей; так, например, подавляющее большинство объективов телескопических систем склеивается из двух линз: положительной (крон) и отрицательной (флинт) (рис. 26 а); карманные лупы увеличения $10\times$ — $20\times$ склеиваются из трех линз различных сортов стекла (рис. 26 б) и т. д. Радиусы кривизны склеиваемых поверхностей должны быть обязательно равны между собой.

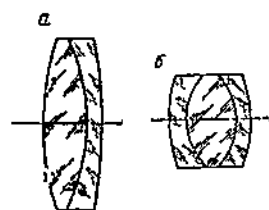


Рис. 26.

Склейка линз и вообще оптических деталей производится канадским бальзамом, коэффициент преломления которого близок к коэффициенту преломления стекла. Некоторые иностранные источники рекомендуют для склейки смесь даммаровой смолы (10 частей) и парафинового масла (3 части).¹

Исходные данные для расчета допусков на линзы. Качество изображения, даваемого оптической системой, характеризуется величиной остаточных aberrаций, допущенных при расчете: чем меньше остаточные aberrации, тем выше качество изображения.² Однако, ни одна оптическая система не может быть рассчитана так, чтобы все aberrации были сведены к нулю. Задача расчета (коррекции) системы состоит в том, чтобы свести их к определенному минимуму. Допустимые величины остаточных aberrаций зависят от типа и назначения оптической системы.

Погрешности выполнения поверхности и толщин линз, недостаточно точная центровка и оптическая неоднородность стекла в большей или меньшей степени снижают качество изображения. Таким образом величина фактических aberrаций собранной оптической системы определяется следующими основными моментами: теоретическими остаточными aberrациями, точностью выполнения оптических деталей, главным образом линз, качеством сборки системы и, наконец, качеством оптического стекла.

¹ См. Оптико-механическая промышленность. № 1, 1936, стр. 15.

² Aberrациями называются недостатки оптической системы, вследствие которых изображение плоского предмета получается нерезким и искаженным. Оптические системы обладают следующими главнейшими aberrациями: 1) сферической aberrацией — нерезкость изображения центральных точек предмета; 2) хроматической aberrацией — окрашенность точек изображения; 3) астигматизмом и комой наклонных пучков — нерезкость изображения крайних точек предмета; 4) дисторсией — искажение линейных размеров изображения предмета.

При расчете допусков на все перечисленные элементы необходимо исходить из предельных допустимых для данной системы aberrаций, причем предполагается, что величина предельных aberrаций собранной системы может быть несколько больше ее теоретических остаточных aberrаций. Расчет допусков производится одновременно с расчетом оптической системы.¹ Необходимо отметить, что вследствие большого количества факторов, влияющих на качество изображения, т. е. на величину фактических aberrаций системы, расчет допусков отличается большой сложностью, требует много времени и обходится довольно дорого. При расчете допусков на радиусы и толщины линз ряда оптических систем было установлено, что одинаковые по типу системы требуют примерно одних и тех же допусков. Этим обстоятельством пользуются при назначении допусков на линзы вновь рассчитываемых систем. Допуски на линзы новых систем в ряде случаев могут быть назначены по аналогии с допусками для однотипных систем, рассчитанных ранее.

В отношении точности выполнения линз оптические системы можно разделить на три основные группы: 1) телескопические системы, 2) фотографические и проекционные системы и 3) микрооптика. К последней группе могут быть отнесены в ряде случаев оптические системы различных лабораторно-измерительных приборов.

Теоретически в пределах каждой из групп величины допусков зависят также и от оптических данных системы. Так, например, для телескопических систем допуски на радиусы и толщины линз должны быть тем жестче, чем больше увеличение системы; величина допусков на линзы фотообъективов находится в обратной зависимости от светосилы и поля зрения; для микрообъективов величина допусков зависит от их увеличения и апертуры.

Допуски на толщины линз указывают в миллиметрах. Абсолютную величину допусков на радиусы кривизны преломляющих поверхностей определяют в процентах от радиуса; относительный допуск на радиусы выражается числом интерференционных колец на подгонку под пробное стекло, которое также имеет определенный допуск на точность выполнения радиуса.

Следует отметить, что радиус кривизны преломляющей поверхности линзы можно подогнать к радиусу кривизны пробного стекла со значительно большей точностью, чем радиус пробного стекла к номиналу. Практически радиусы пробных стекол выполняются с погрешностью от 0,1 до 0,2% от заданного номинала, погрешность же подгонки радиуса кривизны линзы к радиусу пробного стекла колеблется в пределах от 0,02 до 0,1% от радиуса. Абсолютный допуск на радиус кривизны линзы складывается из допуска на радиус кривизны пробного стекла и допуска на подгонку линзы под пробное стекло.

¹ Методика расчета допусков здесь не рассматривается, так как этот вопрос тесно связан с теорией расчета оптических систем (а также с технологией изготовления оптических деталей).

Метод сравнения радиуса кривизны линзы с радиусом кривизны эталона — пробного стекла — основан на явлении интерференции света в тонком клине. Если радиус кривизны линзы несколько отличается от радиуса пробного стекла, то толщина воздушного слоя в различных точках, неодинаково удаленных от середины линзы, будет различной, вследствие чего появятся интерференционные кольца (кольца Ньютона). В условиях освещения монохроматическим светом, т. е. светом одной определенной длины волны λ , интерференционная картина представляет собой ряд концентрических светлых и темных колец,

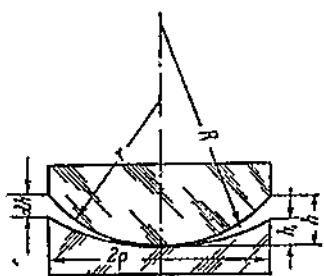


Рис. 27.

ширина которых по мере увеличения радиуса уменьшается (рис. 27). Каждое последующее порядковое темное кольцо соответствует изменению толщины воздушного клина на величину, равную половине длины световой волны $\lambda/2$. Из этого следует, что толщина воздушного клина в любой его точке может быть выражена числом длин волн данного монохроматического света, а именно:

$$dh = p \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где dh — толщина клина; p — порядковый номер кольца, считая от середины; λ — длина световой волны.

Связь между разностью радиусов кривизны пробного стекла и линзы и числом интерференционных колец, приходящихся на весь диаметр линзы (2ρ), определяется разностью стрел прогиба, выраженной числом длин световых волн.

Из чертежа (рис. 27) имеем:

$$(R - h)^2 + \rho^2 = R^2, \quad (2)$$

или:

$$h = R - R \sqrt{1 - \frac{\rho^2}{R^2}}, \quad (3)$$

где R — радиус пробного стекла; h — стрела прогиба при хорде — 2ρ .

Пользуясь формулой разложения в ряд, можно с достаточным приближением написать:

$$h = R - R \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho^2}{R^2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho^2}{R^2}. \quad (4)$$

Аналогично для линзы имеем:

$$h_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho^2}{r^2}. \quad (5)$$

Вычитая (4) из (5) и принимая во внимание формулу (1), получаем:

$$h_1 - h = p \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2} p^2 \cdot \frac{R-r}{Rr}. \quad (6)$$

Полагая $R - r = dr$ и $Rr \approx r^2$, окончательно находим:

$$p = \frac{r^2}{\lambda r^2} dr, \quad (7)$$

где p — число интерференционных колец, приходящихся на линзу диаметром $2r$, при допуске на радиус кривизны dr . По этой формуле производится пересчет допуска на радиус в миллиметрах в число интерференционных колец.

В заводских условиях проверку подгонки линзы под пробное стекло производят в условиях немонахроматического белого освещения, благодаря чему интерференционная картина получается значительно сложнее.¹ Каждой длине световой волны спектра соответствуют свои интерференционные кольца, имеющие различные диаметры при одинаковом порядковом номере. Результирующая интерференционная картина представляет собой ряд концентрических радужных колец, отделенных одно от другого темными промежутками. При пересчете допуска на радиус линзы в число колец на подгонку под пробное стекло в формуле (7) длину волны λ берут равной 0,0005 мм (0,5 μ), что примерно соответствует длине волны зеленой части спектра.

С помощью пробных стекол по интерференционной картине легко обнаружить и местные дефекты преломляющих поверхностей линзы. Наличие местных дефектов, т. е. отступление поверхности от сферы, резко искажает форму колец. Допуски на местные дефекты выражают числом полос, т. е. величиной отклонения кольца от правильной формы, деленной на ширину кольца. На рис. 28 схематически показана интерференционная картина, наблюдаемая при наложении пробного стекла на линзу, имеющую местные дефекты, в данном случае цилиндричность.

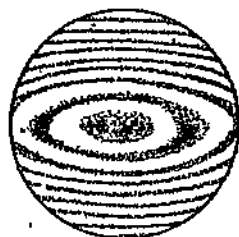


Рис. 28.

В табл. 19 приведены примерные допуски на радиусы и толщины линз типовых оптических систем, а также допуски на радиусы пробных стекол.

Приведенные допуски в большинстве случаев обеспечивают достаточно хорошее качество изображения и в то же время могут быть выдержаны на производстве.

2. Призмы полного внутреннего отражения

Общая характеристика. Призмами полного внутреннего отражения в оптике принято называть любые многогранники с отражающими и преломляющими полированными гранями.

¹ Цветные фотографии таких интерференционных картин см. Белоусов, Теория и практика пробных стекол, изд. ВООМП, 1934.

Таблица 19

Допуски на радиусы и толщины линз типовых оптических систем и допуски на радиусы пробных стекол

Тип оптической системы	Допуски на радиусы			Допуски на толщины мм
	Допуски на пробные стекла в ‰ радиуса	Допуски на подгонку под пробное стекло в кольцах	Общий допуск на радиус линзы ‰	
1. Телескопические системы:				
а) Простые	0,2	4	0,3—0,4	$\pm 0,3$
б) Сложные	0,1	3	0,15—0,3	$\pm 0,2$
2. Фото- и проекционные системы	0,1	2—3	0,12—0,2	от $\pm 0,1$ до $\pm 0,05$
3. Микросистемы:				
а) Объективы	0,2—0,3	1—2	0,22—0,3	$\pm 0,01, \pm 0,005$
б) Окуляры	0,2—0,3	3—4	0,25—0,4	$\pm 0,1$

Отражение света призмами основано чаще всего на явлении полного внутреннего отражения. В тех случаях, когда полное внутреннее отражение невозможно, отражающие грани призмы подвергаются серебрению. В оптико-механическом приборостроении призмы смогли получить широкое применение только с появлением сортов оптического стекла с небольшим коэффициентом поглощения света (не более 1% на 1 см толщины) и высокой оптической однородностью.

Назначение призм в оптических приборах весьма разнообразно. Они применяются главным образом для следующих целей:

1) для изменения направления оптической оси системы в перископических и других коленчатых приборах;

2) для оборачивания изображения (например, призмная оборачивающая система полевого бинокля);

3) для изменения направления линии визирования прибора (качающиеся объективные призмы в различных прицельных приборах). Кроме перечисленных основных случаев, призмы применяются и для других целей, например: для компенсации вращения изображения в панорамах, для разделения светового пучка на два направления, для разделения поля зрения в монокулярных дальнометрах и т. д.

Несмотря на то, что указанные задачи в большинстве случаев могут быть разрешены с помощью системы зеркал, применение призм во многих случаях значительно удобнее. По сравнению с зеркалами призмы обладают следующими техническими преимуществами:

1) углы между отражающими гранями призмы неизменны, в то время как система зеркал легко поддается разъюстировке и требует тщательной выверки при сборке прибора;

2) призму легче и удобнее установить в приборе, чем несколько зеркал;

3) у призмы при полном внутреннем отражении потеря света равна нулю, в то время как при отражении от посеребренной поверхности зеркала от 6 до 10% света теряется;

4) отражающие несеребрянные грани призмы с течением времени не портятся, в то время как устойчивость серебрянного слоя зеркал сравнительно невелика;

5) зеркала нельзя устанавливать в непараллельном ходе лучей оптической системы, например, между объективом и окуляром;

6) некоторые призмы невозможно заменить зеркалами, например, призму Дове (рис. 32а).

Основные свойства призм. Правильно сконструированная призма должна удовлетворять следующему основному условию:

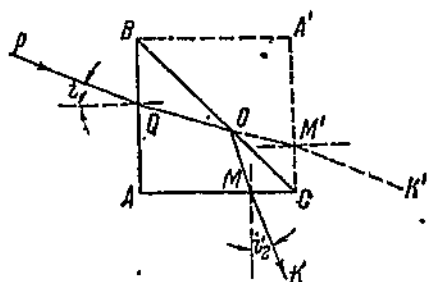


Рис. 29.

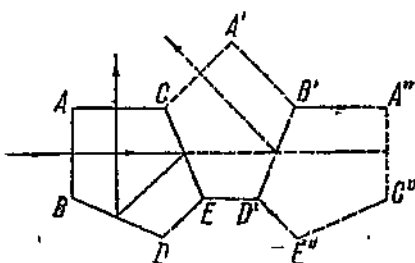


Рис. 30.

угол падения луча на входную грань призмы должен быть равен углу преломления луча на выходной грани, т. е. $i_1 = i_2'$ (рис. 29). Другими словами, это значит, что призма по своему действию на пучок лучей должна быть равноценна некоторой плоскопараллельной пластинке, получающейся в результате развертки призмы.

Метод развертки состоит в последовательном построении зеркальных изображений призмы относительно ее отражающих граней. На рис. 29 показана развертка прямоугольной призмы ABC ; контур BCA' представляет собой изображение призмы ABC в зеркале BC и луч $OM'K'$ — зеркальное изображение действительного луча OMK . Из чертежа очевидно, что такая призма разворачивается в плоскопараллельную пластинку при условии равенства углов ABC и BCA ; только в этом случае грань AB будет параллельна грани $A'C$.

На рис. 30 дана развертка призмы с двумя отражающими гранями (пентапризмы), построенная таким же образом.

Методом развертки удобно пользоваться для проверки правильности выбора рабочих углов призм. Если призма сконструирована неправильно, то в развертке получается не плоскопараллельная пластинка, а клин с некоторым преломляющим углом. Как известно, клин, неодинаково отклоняя лучи различных цветов, вызывает окрашивание изображения.

При конструировании призм необходимо также принимать во внимание углы падения лучей на отражающие грани. В тех случаях, когда угол падения луча на отражающую грань меньше угла полного внутреннего отражения, эта грань должна подвергаться серебрению. Угол полного внутреннего отражения α определяется по формуле:

$$\sin \alpha = \frac{1}{n},$$

где n — коэффициент преломления стекла. Для различных сортов оптического стекла этот угол различен. Так, например, для сорта № 14, коэффициент преломления которого $n = 1,5163$, угол полного внутреннего отражения $\alpha = 41^\circ 15' 42''$; для сорта № 13 ($n = 1,5688$) $\alpha = 39^\circ 36' 02''$.¹

От сорта стекла зависит угол поля зрения призмы: чем больше коэффициент преломления стекла, тем больше угол поля зрения. В тех случаях, когда желательно получить возможно большее поле зрения, рекомендуется применять сорт № 13. Сорта стекла с еще более высокими коэффициентами преломления, например, тяжелые флинты, вследствие большого светопоглощения и окрашенности для изготовления призм совершенно непригодны.

Призмы с нечетным числом отражающих граней дают симметричное зеркальное изображение предмета, призмы с четным числом отражающих граней дают или прямое изображение или изображение, повернутое вокруг оптической оси на 180° .² Призмы, поворачивающие изображение предмета на 180° , могут применяться в приборах как оборачивающие системы.

Очень часто одну из отражающих граней призмы заменяют двумя гранями, расположенными под углом 90° , т. е. на отражающей грани делают как бы надстройку в виде крыши. Такие призмы принято называть *призмами с крышей* или дахкантом (дахпризмой). При замене отражающей грани крышей угол отклонения луча призмой не изменяется, так как все основные углы призмы остаются неизменными. Изменяется только характер изображения: так, например, если призма без крыши давала зеркальное изображение, то призма того же типа с крышей дает изображение, повернутое вокруг оптической оси на 180° .

По характеру отклонения луча призмы делятся на: 1) призмы с ходом осевого луча в одной плоскости, 2) призмы с пространственным ходом осевого луча.

Классификация. Большое количество разнообразнейших конструкций призм, равноценных по оптическим свойствам, вынуждает классифицировать их по чисто формальным признакам — по сложности и числу отражающих граней.

¹ Для изготовления призм исключительно применяются сорта стекла № 14 и 13.

² Призмы с ходом луча в одной плоскости дают прямое изображение предмета, призмы с пространственным ходом луча — изображение, повернутое вокруг оптической оси на 180° .

По сложности призмы делятся на две группы:

- 1) *простые призмы*, изготавливаемые из одного куска стекла;
- 2) *сложные призмы*, состоящие из отдельных частей, соединенных между собой либо склеиванием канадским бальзамом, либо общей механической оправой (сложные призмы с малыми воздушными промежутками между отдельными частями); следует отметить, что некоторые призмы делают склеенными исключительно по соображениям удобства изготовления.

Простые призмы без крыши подразделяются на группы по числу отражающих граней: тип *A* — призмы с одной отражающей гранью, тип *B* — с двумя и т. д. Призмы с крышей рассматриваются как видоизменение основного типа.

Ввиду отсутствия каких-либо названий для большинства призм и, наоборот, наличия нескольких названий для одной и той же призмы, ниже даны их условные обозначения. Система обозначений построена таким образом, что любая призма новой конструкции в зависимости от числа отражающих граней и угла отклонения осевого луча может быть легко обозначена вполне определенным сочетанием букв и цифр.¹

Обзор типов призм. 1. Простые призмы. Тип A — призмы с одной отражающей гранью. Все разнообразные конструкции призм этого типа (рис. 31) характеризуются следующими основными признаками:

- 1) призмы дают симметричное зеркальное изображение предмета;
- 2) при нормальном падении луча на входную грань угол его отклонения равен углу при вершине призмы, т. е. $\gamma = \alpha$;
- 3) при повороте призмы вокруг оси, параллельной ребру *A*, на угол φ изображение смещается на угол 2φ (рис. 37);
- 4) углы между отражающей и преломляющими гранями призмы равны между собой, т. е. $\beta_1 = \beta_2$.

Те же призмы с крышей дают изображение, повернутое вокруг оптической оси на 180° . Такие призмы в оптических приборах применяются в качестве оборачивающих систем.

Число возможных конструкций призм с одной отражающей гранью теоретически бесконечно велико. Необходимо только, чтобы во всех случаях углы β_1 и β_2 были равны между собой (рис. 31), величина же этих углов может изменяться в пределах от 0° до 90° . При $\beta = 0^\circ$ призма обращается в плоское зеркало, при $\beta = 90^\circ$ — в плоскопараллельную пластинку.

Ниже приведены встречающиеся на практике конструкции призм типа *A*, причем для наиболее употребительных из них даны соотношения размеров в зависимости от диаметра светового пучка, проходящего через призму.

¹ Попытка введения подобных обозначений призм сделана впервые Конструкторско-исследовательским бюро ВООМПа. Первая буква обозначения определяет число отражающих граней призмы; вторая — группу близких по конструкции призм, отличающихся только углами; индекс *k* указывает, что одна из граней призмы заменена крышей; цифровая часть обозначения определяет угол отклонения осевого луча.

а) Призма Дове — $AP=0^\circ$ (рис. 32а). Эта призма характерна тем, что ее оптическая ось параллельна отражающей грани. Угол отклонения оси призмой равен нулю. При вращении призмы вокруг оси QQ' изображение поворачивается в ту же сторону с двойной угловой скоростью. Благодаря этому свойству призма Дове применяется в различных панорамах, прицелах и наблюдательных перископических приборах для компенсации вращения изображения при повороте головной призмы (как пример применения см. описание конструкции панорамы, стр. 12). Вследствие того что лучи падают на входную грань под углом 45° , призму Дове можно ставить только в параллельном ходе лучей оптической системы, т. е. перед объективом или между линзами обращающей системы. При установке призмы в сходящихся пучках качество изображения резко снижается из-за возникающего астиг-

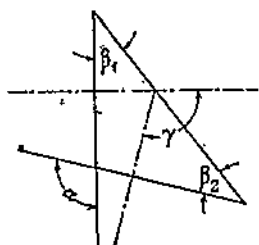


Рис. 31.

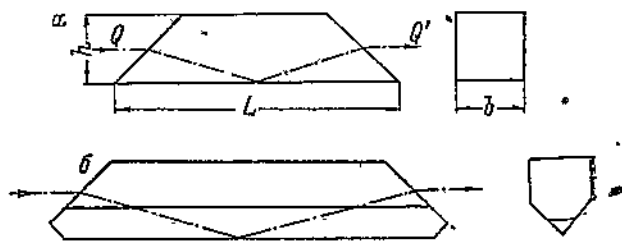


Рис. 32.

матизма. Даже при установке в параллельном ходе лучей изображение системы будет удовлетворительным только в том случае, если рабочие грани призмы выполнены с весьма высокой точностью.

Соотношение размеров: $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$; $b = h = D$, где D — наибольший диаметр светового пучка. Длина призмы определяется по формуле:

$$L = D \cdot \frac{2n^2 - 1 + \sqrt{2n^2 - 1}}{n^2 - 1}.$$

Отсюда видно, что длина призмы зависит от коэффициента преломления стекла; в частности, при $n = 1,5163$ (сорт № 14) $L = 4,230 D$, при $n = 1,5688$ (сорт № 13) $L = 4,064 D$.

Длина хода луча:

$$l = D \cdot \frac{n(\sqrt{2n^2 - 1} + 1)}{n^2 - 1},$$

при $n = 1,5163$ $l = 3,381 D$, при $n = 1,5688$ $l = 3,238 D$.

На рис. 32б изображена призма $A_n P=0^\circ$, получающаяся при замене отражающей грани призмы Дове крышкой. Она дает перевернутое изображение предмета, не изменяя направления оптической оси. Может применяться в оптических приборах как обращающая система. Однако, вследствие тех же недостатков, что и у призмы Дове, применение ее довольно ограничено.

б) Призма $AP-45^\circ$ (установившегося названия не имеет) показана на рис. 33а. Отклоняет оптическую ось на угол 45° . Применяется в приборах с ломаной оптической осью.

На рис. 33б изображена та же призма с крышкой (обозначение $A_{\kappa}P-45^\circ$). Применяется в различных визирах с ломаной оптической осью как оборачивающая система.

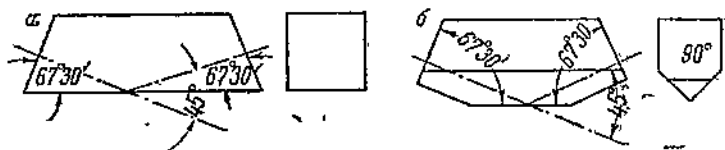


Рис. 33.

в) Призма $AP-60^\circ$ (рис. 34а). Отклоняет оптическую ось на угол 60° . Применяется в приборах со сложной призмённой системой, например, в некоторых авиационных прицелах.

Соответствующая ей призма $A_{\kappa}P-60^\circ$ показана на рис. 34б. Применяется как оборачивающая система (в тех случаях, когда одновременно требуется отклонить ось прибора на угол 60°).

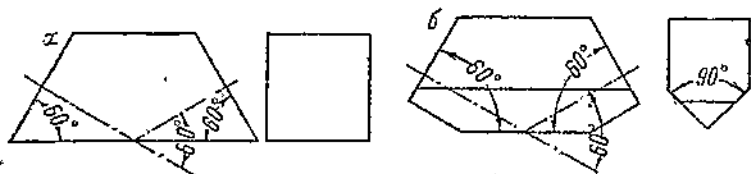


Рис. 34.

г) Призма $AP-80^\circ$ (рис. 35а). Отклоняет оптическую ось на 80° . Применяется в приборах со сложной призмённой системой, а также как часть некоторых сложных призм.

На рис. 35б приведена призма $A_{\kappa}P-80^\circ$. В визирах с ломаной осью может применяться как оборачивающая система.

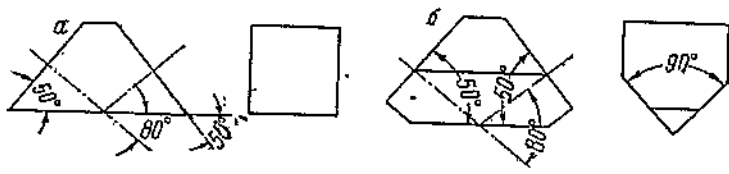


Рис. 35.

д) Прямоугольная призма $AP-90^\circ$ (рис. 36а). Прямоугольная призма наиболее часто встречается в оптических приборах. При нормальном падении луча на входную грань отклоняет его на угол 90° . Кроме того во многих прицельных и наблюдательных приборах часто применяется для изменения

направления линии визирования как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Изменение направления линии визирования в вертикальной плоскости осуществляется путем поворота призмы вокруг оси, параллельной ребру прямого угла. По повороту призмы на угол φ соответствует изменение направления линии визирования на угол 2φ (рис. 37). Изменение направления

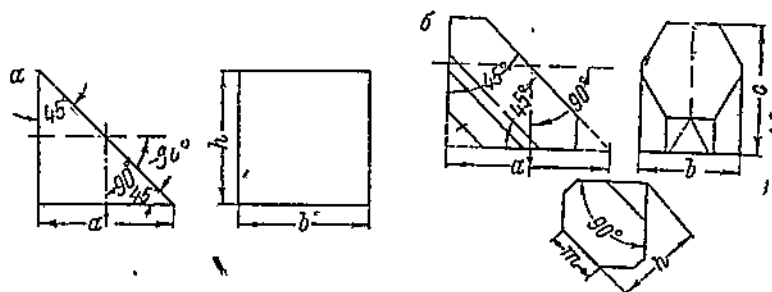


Рис. 36.

линии визирования в горизонтальной плоскости происходит при повороте призмы вокруг вертикальной оси.

Качающиеся прямоугольные призмы устанавливаются только в параллельном ходе лучей системы, обычно перед объективом. В тех случаях, когда призма от среднего положения должна поворачиваться на некоторый угол в направлении, показанном

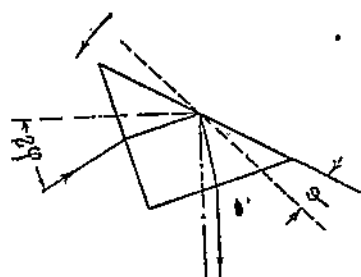


Рис. 37.

на рис. 37 стрелкой, ее отражающая грань должна быть обязательно посеребрена. Для неподвижных прямоугольных призм при небольшом поле зрения системы серебрение не нужно (углы падения лучей на отражающую грань больше угла полного внутреннего отражения).

Размеры нормальных неподвижных призм: $a = b = h = D$. Длина хода луча $l = D$. Размеры качающихся призм определяются в зависимости от предельных углов поворота и положения оси вращения.

На рис. 36б показана дахпризма (A_1P-90°), получающаяся при замене отражающей грани прямоугольной призмы крышкой. Дает изображение, повернутое вокруг оптической оси на 180° . Часто применяется как окулярная призма в приборах с оборачивающей системой, состоящей из нескольких призм. Может служить и самостоятельной оборачивающей системой в зенитных наблюдательных трубах.

Соотношение размеров нормальной дахпризмы: $a = 1,732 D$; $b = D$; $c = 1,366 D$; $m = 0,504 D$ и $h = 0,966 D$. Длина хода луча $l = 1,732 D$.

е) Призма $AP-105^\circ$ (рис. 38а). Отклоняет оптическую ось на угол 105° . Отражающая грань призмы должна быть посеребрена, так как угол между этой гранью и оптической осью меньше угла полного внутреннего отражения.

Призма A_P-105° приведена на рис. 38б. Следует отметить, что грани крыши этой призмы в серебрении не нуждаются; вообще серебрить грани крыши любых призм приходится лишь в очень редких случаях.

Тип Б—призмы с двумя отражающими гранями. Призмы типа Б, за исключением группы „пентапризм“, можно рассматривать как результат склейки преломляющими гранями двух любых призм типа А.¹ Таким образом в общем случае призма типа Б имеет четыре рабочие грани—две отражающие и две преломляющие. Однако, в частных случаях, когда рабочая грань одной из составляющих призм (частей) является продолжением дру-

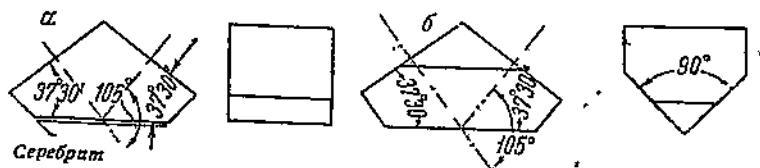


Рис. 38.

гой, призма типа Б может иметь только три рабочие грани. Такие призмы значительно проще по конструкции и дешевле в изготовлении, а потому наиболее часто применяются на практике.

В зависимости от относительного расположения составляющих частей призмы типа Б можно разделить на следующие основные группы:

1) группа БН: главные сечения составляющих частей расположены в одной плоскости, отражающие грани имеют общее ребро;²

2) группа БУ: главные сечения составляющих частей расположены в одной плоскости, отражающие грани не имеют общего ребра;

3) группа БС: главные сечения составляющих частей расположены в двух взаимноперпендикулярных плоскостях (призмы с пространственным ходом луча).

Особняком стоит четвертая группа (БП)—„пентапризмы“, которые нельзя рассматривать как сочетание двух призм типа А.

Из бесконечно большого количества теоретически возможных конструкций призм типа Б на практике применяются только следующие призмы.

¹ На самом деле эти призмы, конечно, изготавливаются из одного куска стекла.

² Главным сечением призмы с ходом луча в одной плоскости называется сечение, перпендикулярное рабочим граням.

а) Группа *БН*. Из этой группы практическое применение имеет только одна прямоугольная призма *БН*— 180° (рис. 39а). Отклоняет оптическую ось на угол 180° независимо от угла падения на входную грань. Применяется главным образом в призмных биноклях. Две такие призмы образуют оборачивающую систему Порро первого рода. Соотношение размеров: $a = 2D$; $b = D$. Ход луча $l = 2D$.

Для уменьшения размеров и веса призмы излишние части стекла, как это показано на рис. 39б, удаляют. В таком виде

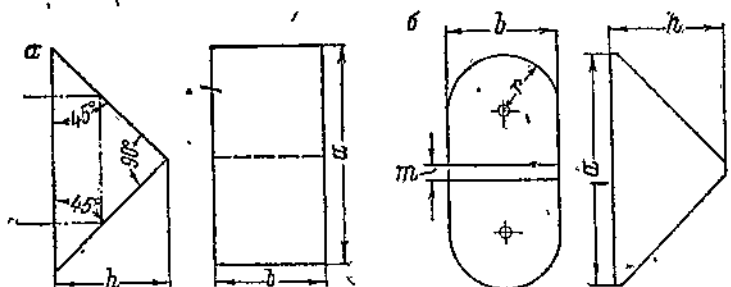


Рис. 39.

эти призмы применяются в биноклях. Примерное соотношение размеров призмы бинокля следующее: $a = 2D + 3 \text{ мм}$, где D — диаметр светового пучка, проходящего через призму; $b = D + 1,5 \text{ мм}$; $h = D + 1,5 \text{ мм}$; $r = \frac{b}{2}$; $m = 1,5 \text{ мм}$.

б) Группа *БУ*. Призма ромб *БУ*— 0° (рис. 40). Так же, как и прямоугольная призма *БН*— 180° , ромбическая призма

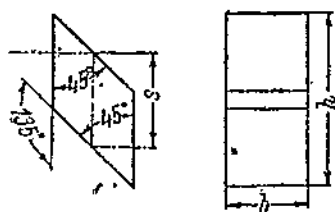


Рис. 40.

является сочетанием двух призм *АР*— 90° , но с другим взаимным расположением. Смещает оптическую ось на некоторую величину s , не изменяя ее направления. Величина смещения оси зависит от расстояния между отражающими гранями и от угла падения на входную грань. Дает прямое изображение предмета. Соотношение размеров: $h = D + s$, где s — заданное смещение осевого луча; $b = D$.

Применяется в дальномерах как окулярная призма, в отсчетных устройствах перископов подводных лодок, в системах внутренней выверки стереодальнометров и пр.

Призма *БУ*— 40° (рис. 41а) является сочетанием призм *АР*— 100° и *АР*— 140° (эти призмы отдельно не рассматривались), причем преломляющая грань призмы *АР*— 140° совпадает с отражающей гранью призмы *АР*— 100° . Отклоняет осевой луч на угол 40° . Дает прямое изображение предмета. Отражающую грань необходимо серебрить.

На рис. 41б показана призма $B_{\pi}У-40^\circ$, дающая зеркальное изображение предмета при том же угле отклонения осевого луча. Обе эти призмы применяются в различных приборах с ломаной оптической осью.

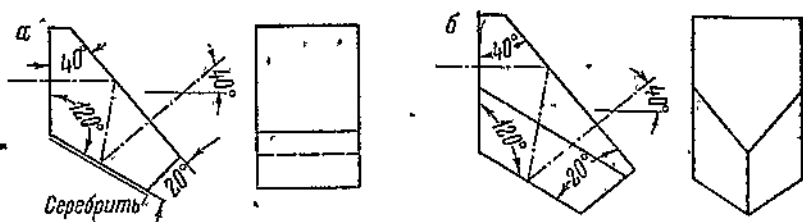


Рис. 41.

Призма $БУ-45^\circ$ (полупентапризма) изображена на рис. 42а. По оптическим свойствам отличается от предыдущей призмы только углом отклонения осевого луча: она отклоняет его на 45° . Довольно часто применяется в самых различных при-

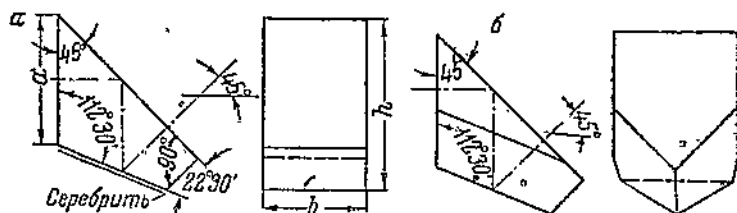


Рис. 42.

борах, например, в прицелах, в биноккулярных насадках микроскопов и т. д. В некоторых случаях применяется как часть сложных призм. Соотношение размеров: $a=D$; $b=D$; $h=1,414 D$.

Призма $B_{\pi}У-45^\circ$ изображена на рис. 42б. Дает зеркальное изображение.

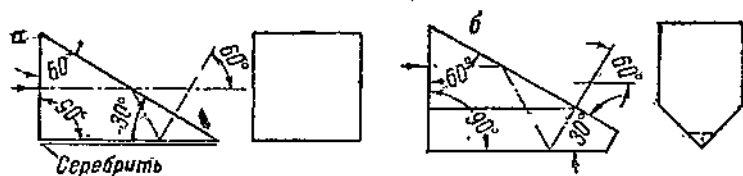


Рис. 43.

Призмы $БУ-60^\circ$ (рис. 43а) и $B_{\pi}У-60^\circ$ (рис. 43б) отклоняют осевой луч на 60° , в остальном же совершенно аналогичны двум предыдущим призмам.

Призмы $БУ-40^\circ$, $БУ-45^\circ$ и $БУ-60^\circ$ имеют вполне определенное соотношение углов, а именно: рабочие углы, прилежа-

щие к выходной грани, относятся как 1 : 2. Только при этом условии эти призмы разворачиваются в плоскопараллельную пластинку. Кроме того из приведенных примеров очевидно, что угол отклонения осевого луча равен углу между входной и выходной гранями. Пользуясь этими двумя правилами, нетрудно построить призму такого же типа с любым углом отклонения осевого луча от 40° до 80° .

в) Группа БС. Как уже указывалось, призмы этого типа (рис. 44) отклоняют оптическую ось в двух взаимноперпендикулярных плоскостях. Дают изображение предмета, повернутое вокруг

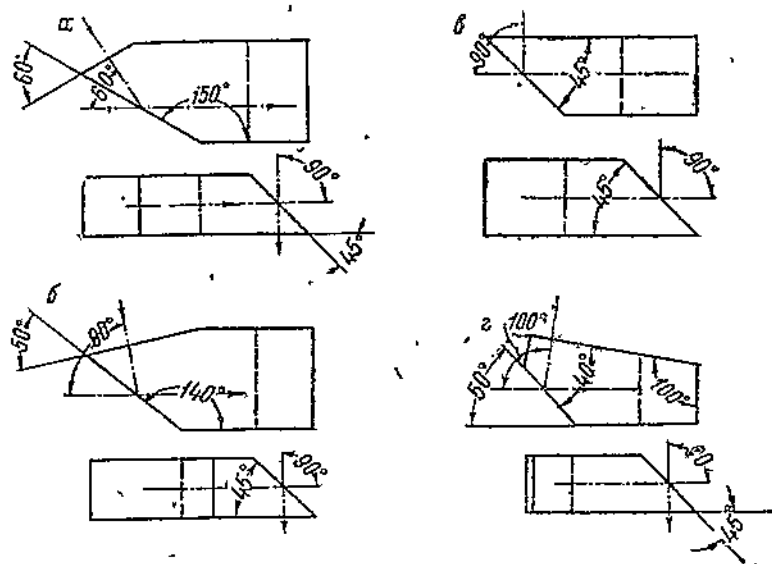


Рис. 44.

оптической оси на 180° . Применяются исключительно в призмных системах (центральные мостики стереоскопических дальномеров), за исключением призмы БС— $90^\circ-90^\circ$, которая применяется для иных целей.

г) Группа БП (пентапризмы). Из различных теоретически возможных конструкций призм этого типа здесь приведены следующие.

Призма БП— 80° (рис. 45а). Отклоняет оптическую ось на 80° независимо от угла падения на входную грань. Дает прямое изображение предмета. Отражающие грани серебрятся.

На рис. 45б показана призма БП— 80° , дающая зеркальное изображение предмета при том же угле отклонения оптической оси.

Призма БП— 90° (пентапризма) (рис. 46а). Отклоняет оптическую ось на угол 90° . Вследствие независимости угла отклонения луча от угла падения на входную грань применяется

в дальномерах как концевой отражатель. Отражающие грани серебрятся. Соотношение размеров: $a=b=c=D$; $h=1,435D$.

Призма $B_{\pi} \Pi-90^\circ$ изображена на рис. 46б. Дает зеркальное изображение при угле отклонения оптической оси на 90° .

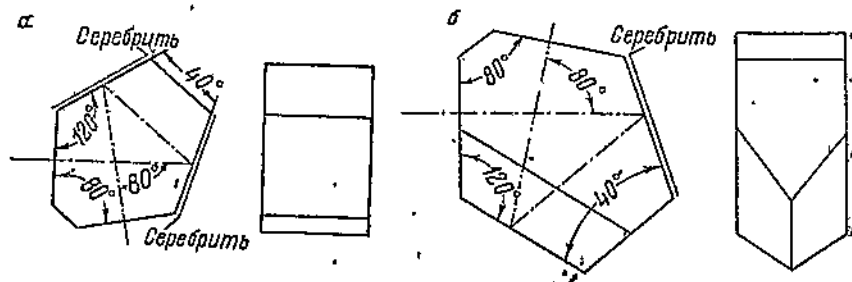


Рис. 45.

Тип В—призмы с тремя отражающими гранями. Призмы типа В дают зеркальное изображение предмета. Те же призмы с крышей дают изображение, повернутое вокруг оптической оси на 180° .

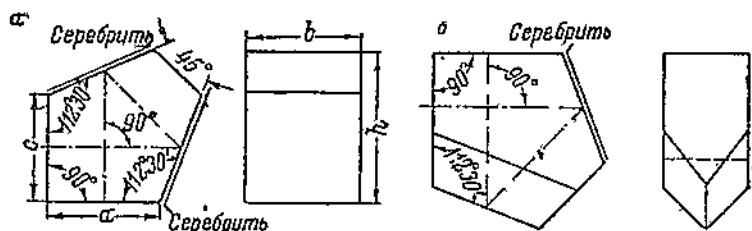


Рис. 46.

а) Призма $B_{\pi} \Pi-0^\circ$ (названия не имеет) (рис. 47а). Оптическую ось не отклоняет. Применяется в тех случаях, когда требуется получить большое смещение оси.

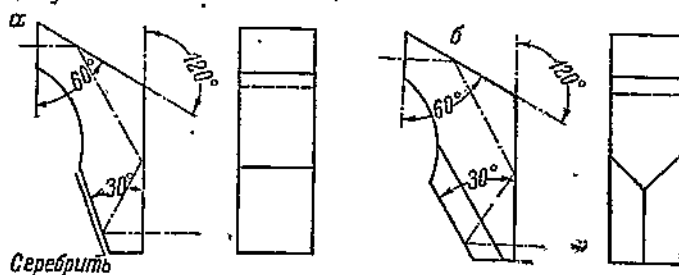


Рис. 47.

Призма Лемана ($B_{\pi} \Pi-0^\circ$) (рис. 47б). Оптическую ось не отклоняет. Применяется как оборачивающая система. Для удобства изготовления часто склеивается из двух частей.

б) Призма $B_{\text{III}}-45^\circ$ (рис. 48а). Отклоняет оптическую ось на 45° . Применяется главным образом как часть сложных призм. Нижняя грань серебрится.

Призма Шмидта ($B_{\text{III}}-45^\circ$) (рис. 48б). Применяется как оборачивающая система в приборах с ломаной оптической осью.

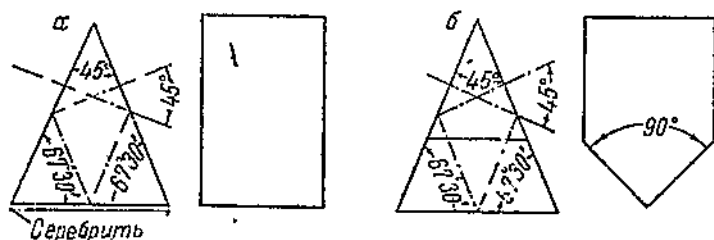


Рис. 48.

Обе эти призмы характеризуются большим ходом луча, а потому часто применяются в тех случаях, когда желательно получить наименьшие размеры прибора вдоль оптической оси.

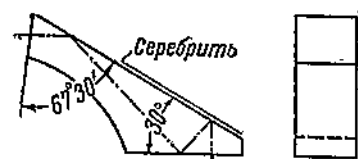


Рис. 49.

в) Призма $BC-90^\circ$. Отклоняет оптическую ось на угол 90° (рис. 49). Эта же призма с крышкой из одного куска стекла не изготавливается.

г) Призма $BH-180^\circ$ (рис. 50а). Отклоняет оптическую ось на угол 180° . Применяется во вспомогательных оптических системах некоторых сложных приборов. Отражающие грани серебрятся.

Призма $B_{\text{KH}}-180^\circ$ изображена на рис. 50б.

д) Оборачивающая призма $B_{\text{KO}}-90^\circ$ (рис. 51). Отклоняет оптическую ось на 90° , т. е. по действию аналогична прямоугольной дахпризме и отличается от последней только значительно большей длиной хода луча. Может с успехом заменить дахпризму в тех случаях, когда желательно сократить расстояние между объективом и окуляром прибора.

2. Сложные призмы. Из группы этих призм приводим следующие наиболее характерные и часто применяемые конструкции.

а) Призма-куб. Состоит из двух прямоугольных призм, склеенных вместе отражающими, предварительно посеребренными гранями.

Каждая из склеенных половин дает зеркальное изображение предмета, причем оба изображения накладываются друг на друга.

На рис. 52 призма-куб расположена над объективом. Если поверхность склейки совпадает с оптической осью объектива,

то обе половины призмы пропускают одинаковое количество света. При повороте призмы вправо левая половина постепенно выключается, и при некотором определенном угле поворота лучи будут попадать в объектив только через правую половину. При обратном вращении действие обеих половин будет обратным. Это свойство призмы-куб дает возможность обозревать последовательно все пространство над объективом в пределах

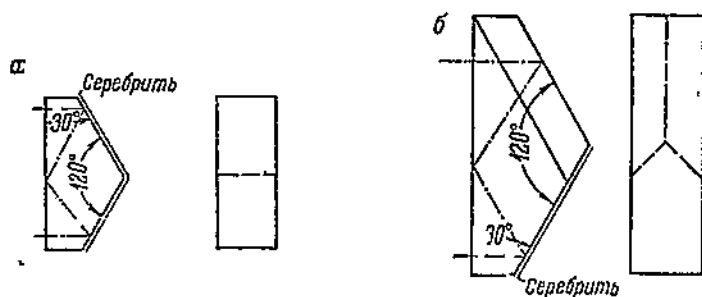


Рис. 50.

угла до 210° — 220° без перерыва при переходе через зенит. При повороте призмы на угол φ направление линии визирования изменяется на угол 2φ . Призма-куб применяется в зенитных прицелах и перископах, а также в некоторых панорамных прицелах.

Весьма существенным недостатком этой призмы является трудность ее изготовления. Ошибки углов и склейки порядка

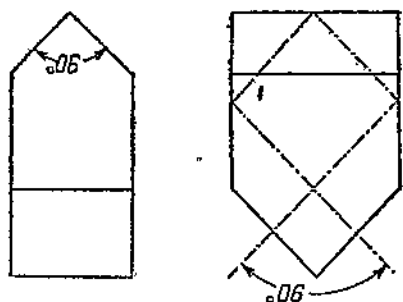


Рис. 51.

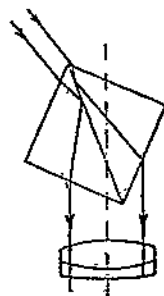


Рис. 52.

нескольких секунд вызывают уже заметное двоение изображения. Призма-куб может ставиться только в параллельном ходе лучей.

В некоторых случаях призма-куб применяется для разделения светового пучка на два взаимноперпендикулярные направления. Гипотенузная грань одной из половин призмы до склейки серебрится, причем серебряный слой наносится полосами. Таким образом часть лучей, падая на слой серебра, отражается под углом 90° , другая же часть проходит через призму как через

плоскопараллельную пластинку. За последнее время для этой же цели чаще применяется частичное (неполное) серебрение, получаемое методом катодного распыления.

б) Призма Порро (второго рода) (рис. 53). Состоит из трех склеенных между собой прямоугольных призм (две — $AP—90^\circ$ и одна — $BH—180^\circ$). Применяется как оборачивающая система. Направления оптической оси не изменяет, но смещает ее на величину, равную диаметру светового пучка.

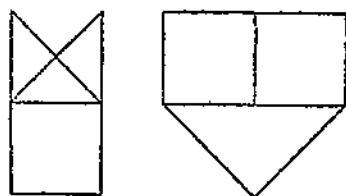


Рис. 53.

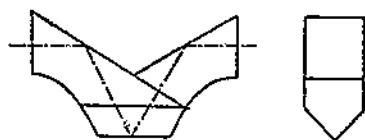


Рис. 54.

в) Призма Аббе (рис. 54). Оптическую ось не отклоняет и не смещает ее. Склеивается из двух частей. Поворачивает изображение на 180° . Применяется как оборачивающая система.

г) Призма дальномера для разделения поля зрения. На рис. 55 показана призма центрального мостика одного из монокулярных дальномеров. Грань склейки малой призмы имеет посеребренный участок в

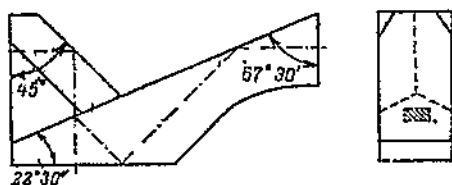


Рис. 55.

виде прямоугольника. Отражаясь от этого посеребренного участка, в поле зрения попадают лучи, идущие в призму справа; остальная часть поля зрения заполняется лучами, идущими слева. Грань склейки таких призм должна находиться

в плоскости изображения системы, только в этом случае в поле зрения будет резко видима линия раздела обоих изображений.

д) Призма с наклеенным клином, компенсирующим клиновидность развертки основной части a (рис. 56). Эта призма дает зеркальное изображение и смещает осевой луч на некоторую величину s , не изменяя его направления.

е) Башмачная призма (рис. 57). В отличие от приведенных выше типов призм эта призма характерна тем, что между ее отдельными частями имеется воздушный промежуток. Башмачная призма состоит из основной отражающей призмы с крышей и компенсирующего клина. Дает зеркальное изображение предмета, одновременно отклоняя осевой луч на угол 90° . Применяется как окулярная призма в стереотрубах. Необходимость воздушного промежутка очевидна из чертежа: если бы его не было, то лучи, падающие на грань AB в месте

соприкосновения призмы с клином, не отражались бы в направлении крыши, а проходили вертикально вниз на нерабочую грань. Толщина воздушной прослойки—0,1—0,2 мм. Между призмой и клином помещается станиолевая прокладка с круглым отверстием для прохождения пучка лучей соответствующего диаметра.

ж) Призма Пехана (рис. 58). Состоит из двух частей, разделенных воздушным промежутком. По оптическому действию

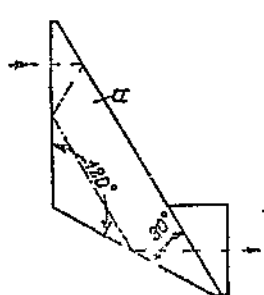


Рис. 56.

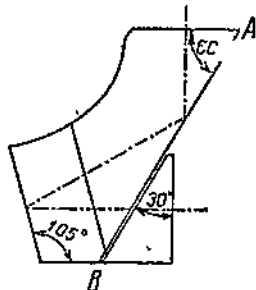


Рис. 57.

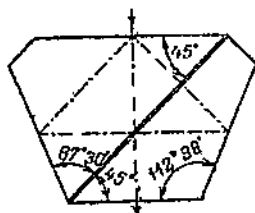


Рис. 58.

ничем не отличается от призмы Дове, т. е. дает зеркальное изображение предмета, осевой луч не отклоняет и при вращении вокруг оси поворачивает изображение в ту же сторону с удвоенной скоростью. По сравнению с призмой Дове обладает тем преимуществом, что ее можно помещать в непараллельном ходе лучей системы. Имеет большую длину хода луча ($l = 4,62 D$)

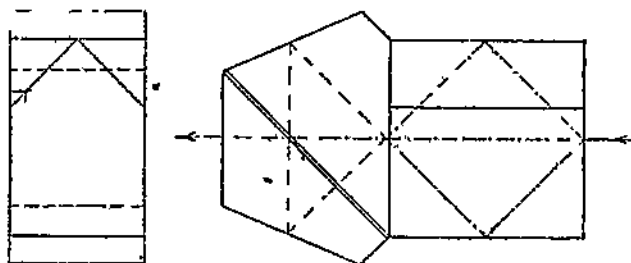


Рис. 59.

что позволяет сильно сократить и длину прибора. Основной недостаток ее—трудность изготовления и сборки; кроме того она дает блики, видимые в поле зрения. Если одну из боковых отражающих граней заменить крышкой, то такая призма может быть использована как оборачивающая система (в этом случае при вращении призмы изображение остается неподвижным).

з) Призма Солодилова¹ (рис. 59). Состоит из призмы Пехана и приклеенного к ней прямоугольного параллелепипеда с крышкой. Интересна тем, что при малых размерах обладает

¹ Предложена инженером ВООМПа К. Е. Солодиловым.

очень большой длиной хода луча. Дает изображение предмета, повернутое вокруг оси на 180° , т. е. является оборачивающей системой. Применяется в тех случаях, когда желательно получить наименьшую длину прибора.

Из приведенных примеров сложных призм видно, насколько они разнообразны по конструкции и насколько большие возможности имеются в отношении появления новых типов таких призм в будущем.

Конструктивное оформление призм. Расчет дает только основные линейные и угловые размеры, определяющие длину хода луча в призме, но недостаточные для ее изготовления. При проектировании механической части прибора конструктивное оформление призмы сводится главным образом к указанию размеров фасок для предохранения от выколов, фасок для удаления излишних частей стекла, а также размеров пазов или канавок, которые часто фрезеруются на нерабочих гранях призмы для более удобного и надежного закрепления ее в оправе.

Фаски, удаляющие излишние части стекла, снимаются для уменьшения веса и размеров призмы, причем наибольшие размеры фасок ограничиваются световым габаритом призмы. Форма таких фасок весьма разнообразна и зависит главным образом от конструкции призмы и способа крепления; примеры ее приведены на рис. 36 б и 39 б. Следует отметить, что в некоторых случаях для более надежного закрепления в оправе или для удешевления изготовления на призмах сознательно оставляют излишние в оптическом отношении части стекла.

Фаски для предохранения от выколов снимаются: 1) на всех ребрах двугранных углов призм до 90° , за исключением ребра крышки, и 2) на трехгранных углах призм. Ширину фасок на ребрах призм рекомендуется брать по табл. 20.

Таблица 20
Ширина фасок на ребрах призм

Длина ребра мм	Ширина фаски мм
до 18	до 0,4
свыше 18 " 30	" 0,5
" 30 " 50	" 0,7
" 50 "	" 1,0

Примечание. Снимаются перпендикулярно биссектрисе угла между гранями.

Все трехгранные углы призм должны быть максимально притуплены, причем наибольший размер притупляющей фаски ограничивается площадью грани, необходимой для прохождения расчетного пучка лучей, и конструкцией крепления. Наименьший размер фасок рекомендуется брать по табл. 21.

Фаски притупления углов, помимо предохранения призмы от выколов, обеспечивают большую точность шлифовки граней, так как на углах последних обычно получают завады плоскости.

Дopusки. Ошибки изготовления призм, т. е. погрешности выполнения углов и отступление граней от плоскости, в большей или меньшей степени сказываются на качестве изображе-

ния оптической системы прибора, а в некоторых случаях и на его точности. Допуски на углы и пирамидальность могут быть рассчитаны сравнительно простым способом. Допуски на отступление граней от плоскости (допуски на сферичность граней) определяются так же, как и допуски на радиусы кривизны линз. Очень часто допуски на точность выполнения граней призмы дают, исходя из практического опыта и технических возможностей производства. Величину допусков выражают числом интерференционных полос на подгонку под плоское пробное стекло.

Если углы между рабочими гранями призмы имеют какие-то ошибки выполнения, то осевой луч, падающий на входную грань нормально, по выходе из призмы отклонится от номинального направления на некоторый угол, который почти всегда можно компенсировать некоторым дополнительным поворотом призмы при сборке системы. Однако, необходимость таких дополнительных поворотов затрудняет и усложняет конструкцию, сборку и выверку прибора.

Ошибки углов между рабочими гранями призмы вызывают кроме того хроматическое окрашивание изображения, так как такая призма в развертке дает не плоскопараллельную пластинку, а клин с некоторым преломляющим углом α , причем это ухудшение качества изображения уже ничем не может быть компенсировано. Погрешность выполнения угла крыши призмы вызывает также ничем не компенсируемое двоение изображения предмета, причем двоение может стать заметным даже при весьма малых отклонениях угла крыши от 90° (порядка нескольких секунд). И, наконец, ошибки углов качающихся призм измерительных или отчетных приборов, помимо ухудшения качества изображения, вносят погрешности в отсчет, снижая тем самым точность прибора.

При расчете допусков на углы неподвижных призм можно исходить из предельного допустимого хроматического окрашивания изображения, если отклонение осевого луча от номинального направления может быть компенсировано при сборке системы. Видимое окрашивание изображения в визуальных приборах определяется углом хроматического рассеяния, даваемого призмой по выходе лучей из окуляра. Средняя разрешающая способность глаза равна $0,5-1,0'$, таким образом, если угол между лучами, исходящими из одной точки предмета, по выходе из окуляра для крайних цветов спектра не превышает этой величины, то изображение не будет казаться окрашенным. Исходя из этого положения, можно определить предельный угол

Таблица 21

Ширина фасок на трехгранных углах призм

Р змер наименьшего ребра мм	Ширина фаски мм
до 18	$1,0 \pm 0,2$
свыше 18 " 30	$1,5 \pm 0,4$
" 30 " 50	$2,0 \pm 0,6$
" 50	$2,5 \pm 0,8$

клина развертки призмы. Как известно, при малом преломляющем угле клина угол отклонения луча равен:

$$\delta = \alpha(n-1), \quad (8)$$

где α — преломляющий угол клина, n — коэффициент преломления стекла. Дифференцируя формулу (8) по n , получим:

$$d\delta = \alpha dn, \quad (9)$$

где величину dn можно рассматривать как частную дисперсию:

$$n_F - n_C = \frac{n-1}{v}. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), полагая $d\delta = 1'$, получим:

$$1' = \alpha \cdot \frac{n-1}{v},$$

откуда:

$$\alpha = 1' \cdot \frac{v}{n-1}. \quad (11)$$

Если призма установлена перед объективом телескопической системы с видимым увеличением $\Gamma^\times$, то, для того чтобы после окуляра угол хроматического рассеяния не превышал $1'$, угол клина развертки необходимо разделить на увеличение. Кроме того, учитывая, что всякая система, даже теоретически, не свободна от хроматической аберрации и что в системе обычно имеется несколько призм, при расчете клина развертки по формуле (11) угол допустимого хроматического рассеяния после окуляра не следует брать более $0,2'$. Отсюда:

$$\alpha = 0,2' \cdot \frac{v}{\Gamma(n-1)}. \quad (12)$$

Определив допустимый угол клина развертки призмы и зная, из ошибок каких углов складывается клиновидность призмы, нетрудно найти допуски и на самые углы.

Пример. Рассчитать допуски на углы прямоугольной призмы ($AP=90^\circ$), стоящей перед объективом телескопической системы увеличения $6^\times$. Стекло призмы — сорт № 14 ($n=1,5163$, $v=64,0$).

Допуск на клиновидность развертки:

$$\alpha = 0,2' \cdot \frac{64}{6(1,5163-1)} = 4'.$$

Для данной призмы угол клина развертки представляет собой разность острых углов (45°), таким образом разность острых углов может быть равна $4'$. Отсюда очевидно, что при симметричных двусторонних допусках на углы допуск на каждый из углов в 45° равняется $\pm 2'$.

В тех случаях, когда призма установлена между объективом и окуляром системы, в формулу (12) вместо увеличения Γ необходимо подставлять величину $x/f_{\text{ок.}}'$, где x — расстояние от

входной грани призмы до фокальной плоскости окуляра (по ходу осевого луча) и $f_{\text{ок.}}$ — фокусное расстояние окуляра системы.

Необходимо отметить, что допуски больше $\pm 5'$ давать не следует, даже если это допустимо из условия хроматического рассеяния. Объясняется это тем, что при слишком больших допусках затрудняются сборка и юстировка системы, в то время как для оптического цеха выполнение углов призм с точностью $\pm 5'$ особых трудностей не представляет.

Ошибка угла крыши призмы прежде всего сказывается на двоении изображения, поэтому при расчете допуска необходимо исходить не из условия допустимого хроматического окрашивания, а из условия предельного допустимого двоения, выраженного в угловой мере. На рис. 60 показано последовательное отражение параллельного пучка лучей (a и a_1) от граней крыши, угол которого имеет некоторую ошибку — $d\alpha$. Из чертежа видно, что параллельный пучок лучей aa_1 от удаленной точки после отражения от граней крыши делится на два пучка a' и a'_1 , непараллельных между собой, каждый из которых дает свое изображение точки. Нетрудно показать, что при малых углах связь между углом δ и ошибкой угла крыши — $d\alpha$ выражается формулой:

$$\delta = 4n d\alpha \cos \beta, \quad (13)$$

где β — угол между осевым лучом и плоскостью, перпендикулярной ребру крыши (на рис. 60 $\beta = 0$, следовательно, $\cos \beta = 1$).

При расчете допусков на угол крыши призмы нужно исходить из того, чтобы угол δ после окуляра не превышал $20''$, откуда:

$$d\alpha = 20'' \cdot \frac{1}{4n \cos \beta}. \quad (14)$$

Если призма установлена перед объективом системы, видимое увеличение которой Γ , то допуск на угол крыши рассчитывается по формуле:

$$d\alpha = 20'' \cdot \frac{1}{4\Gamma n \cos \beta}. \quad (15)$$

Если призма установлена в системе между окуляром и объективом, то вместо увеличения Γ нужно подставлять отношение $x/f_{\text{ок.}}$, где x — расстояние от входной грани призмы до фокальной плоскости объектива (по ходу осевого луча), $f_{\text{ок.}}$ — фокусное расстояние окуляра. Тогда формула принимает вид:

$$d\alpha = 20'' \cdot \frac{f_{\text{ок.}}}{4xn \cos \beta}. \quad (16)$$

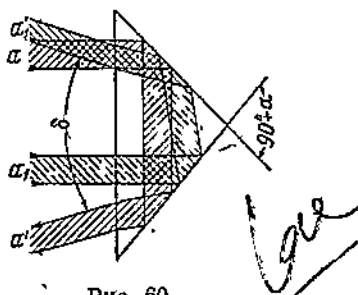


Рис. 60.

Пример. Рассчитать допуск на угол крыши окулярной призмы A_2P-90° панорамы. $x=50$ мм; $f_{\text{ок.}}'=25$ мм; стекло — сорт № 13 ($n=1,5688$).

По формуле (16) находим:

$$da = 20'' \cdot \frac{25}{4 \cdot 50 \cdot 1,5688 \cdot \cos 45^\circ} \approx 3''.$$

Из приведенного характерного примера видно, что угол крыши призмы должен выполняться с весьма высокой степенью точности. Для уменьшения двоения дахпризму желательно помещать возможно ближе к фокальной плоскости системы. Из тех же соображений совершенно не рекомендуется устанавливать призму перед объективом системы.

Расчет допусков на углы качающихся призм, применяемых в различных отсчетных (сложные прицелы, корректировщики стрельбы и пр.) приборах, довольно сложен, а потому за недостатком места здесь не приводится. Следует лишь отметить, что допуск на углы прямоугольных¹ качающихся призм зависит от точности прибора и от предельного угла качания призмы: чем выше точность прибора и чем больше предельный угол качания, тем допуски требуются жестче. При точности прибора в 1 арт. тысячную и при угле качания призмы до 30° допуски на углы в 45° примерно равняются 0,5—2'.

Для качающихся призм-кубов допуски на углы из-за возможного двоения изображения значительно жестче (2—5").

Двоение изображения в призмах-кубах возникает и при недостаточно точной склейке обеих половин.

*Допуски на пирамидальность.*² Пирамидальностью трехгранных призм (призмы типа A , призма $BN-180^\circ$) называется угол между отражающей гранью и противоположным ребром. Призма, имеющая пирамидальность, в развертке также дает не плоскопараллельную пластинку, а клин, главное сечение которого перпендикулярно плоскости развертки. Поэтому при наличии пирамидальности осевой луч по выходе из призмы отклоняется от номинального направления, а изображение получается окрашенным. Отклонение осевого луча от номинального направления может быть компенсировано юстировкой призмы в приборе (за исключением призм Дове), окрашенность же изображения ничем не компенсируется.

Как показывают теоретические расчеты, допуски на пирамидальность из условия предельного угла хроматического рассеяния после окуляра получаются значительно шире технических возможностей производства. Отсюда следует, что при назначении допуска на пирамидальность следует исходить либо из предельного допустимого отклонения осевого луча от номинального направления либо из технических возможностей производства.

¹ Обычно в отсчетных приборах в качестве качающихся призм применяются прямоугольные призмы ($AP-90^\circ$).

² Проф. Ч у р и л о в с к и й, Инварианта пирамидальности, Оптико-механическая промышленность, № 11, 1932.

Для наиболее часто встречающихся призм можно рекомендовать следующие допуски на пирамидальность:

Прямоугольная неподвижная призма	до 10'
Прямоугольная качающаяся призма	2—3'
Призма Дове	до 4'
Призма бинокля (БН—180°)	5—7'

Допуски на отступление граней призмы от плоскости. Как уже указывалось, отступление граней призмы от плоскости влияет на качество изображения. Призма, грани которой имеют некоторую сферичность, в развертке дает линзу с большим фокусным расстоянием, благодаря чему в системе появляются аберрации, не предусмотренные расчетом, чем и объясняется снижение качества изображения. Наиболее сильно сказываются ошибки выполнения отражающих граней и граней крышки, в меньшей степени — ошибка преломляющих граней.

Ниже приведены примерные допуски на точность выполнения граней призмы, практически обеспечивающие достаточно хорошее качество системы. Допуски даны в полосах на подгонку под плоское пробное стекло.

На отражающие грани	1—2 полосы
„ грани крышки	0,2—0,4 „
„ преломляющие грани	2—4 „

Следует отметить, что грани призмы Дове и призмы-куба требуют более высокой точности выполнения: допуск на отражающую грань — до 0,5 полосы и на преломляющую — до 1 полосы.

3. Клинья (преломляющие призмы)

По назначению и конструкции клинья делятся на две основные группы: 1) дальномерные клинья, назначение которых сводится к отклонению оптической оси на некоторый параллактический угол, по которому определяется дистанция, и 2) спектральные клинья (призмы), разлагающие свет источника излучения на составные цвета спектра.

1. Дальномерные клинья. В дальномере клинья являются одной из самых основных деталей, с помощью которых определяется дистанция. От точности выполнения клина зависит и точность дальномера, поэтому к клиньям предъявляются весьма высокие требования в отношении точности шлифовки преломляющих поверхностей и в особенности в отношении точности выполнения преломляющего угла. В дальномере применяются как *неахроматизованные* клинья, так и *ахроматизованные*, склеенные из двух стекол с различными дисперсиями (рис. 61).

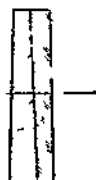


Рис. 61.

Преломляющий угол клина определяется основными конструктивными данными прибора, причем величина его сравнительно невелика.¹ Допуск на угол неахроматизованного клина

¹ Ввиду появления хроматизма.

зависит от теоретической точности дальномера; обычно он не должен превышать 2—4". Допуски на отдельные стекла ахроматизованного клина значительно шире, так как ошибки выполнения каждого из составляющих клиньев могут быть компенсированы при склейке (путем поворота одного клина относительно другого). При повороте составляющих клиньев друг относительно друга общий преломляющий угол клина будет изменяться и при некотором определенном положении станет равным заданному номинальному углу.

2. Спектральные клинья (призмы). Спектральные призмы применяются в приборах, предназначенных для изучения спектров (спектроскопы, спектрометры, спектрографы и пр.).



Рис. 62.

На рис. 62 изображена простейшая спектральная призма с углами 60°. Ее недостатком является то обстоятельство, что прибор будет иметь ломаную ось, и кроме того она дает сравнительно узкий спектр. Для из-

готовления этой призмы обычно применяется флинт, имеющий по сравнению с кроновыми стеклами большую частную дисперсию.

Большое распространение получили *спектральные призмы прямого зрения* (рис. 63). Они характерны тем, что дают спектр,



Рис. 63.

не изменяя направления желтого луча; лучи с большим показателем преломления отклоняются в одну сторону, а с меньшим—в другую. Обычно эти призмы состоят из трех или пяти склеенных между собой клиньев. Призмы прямого зрения делают более удобной внешнюю форму приборов и упрощают их конструкцию.

Существует еще ряд конструкций спектральных призм, принципиально ничем не отличающихся от приведенных выше типов и характеризующихся только величиной дисперсии.

4. Зеркала

1. Плоские зеркала. Плоские зеркала весьма высокой точности применяются в различных светосигнальных приборах, например, в гелиографах. Кроме того точные зеркала приходится применять в тех случаях, когда заменяющая их призма получается слишком тяжелой, например, в концевых отражателях длиннобазных дальномеров. В небольших же дальномерах для этой цели используется пентапризма. Зеркала также применяются для совмещения двух световых пучков, идущих в различных

направлениях, в один. Для этой цели служат зеркала с неполным серебрением; такие зеркала частично пропускают лучи и частично отражают их, аналогично призме-кубу с неполным серебрением. Плоские зеркала сравнительно невысокой точности применяются в различных осветительных устройствах, например: в осветительных системах микроскопов, в проекционных приборах, проектирующих на экран непрозрачные рисунки (эпидиаскопы), в некоторых типах видоискателей фотокамер, в рисовальных приспособлениях микроскопов и пр.

Формы зеркал довольно разнообразны. Толщина их зависит от размера и, главным образом, от требуемой точности выполнения поверхностей и допустимой клиновидности. Чем зеркало точнее, тем толщина его, при прочих равных условиях, должна быть больше. Так, например, зеркала концевых отражателей дальномеров, допуск на клиновидность которых $4''$ и на подгонку под пробное стекло $0,2-0,3$ полосы, при размерах сторон $60-80$ мм должны иметь толщину $10-12$ мм. Толстые зеркала можно более надежно закрепить в оправе, кроме того при сборке они не деформируются.

Типы серебрения. В тех случаях, когда зеркало должно полностью отражать падающие на него лучи, применяется сплошное серебрение. Серебрению чаще всего подвергается задняя сторона зеркала. Для защиты непрочного слоя серебра от повреждений его обычно омедняют и затем покрывают краской или лаком.

В некоторых случаях применяются также стеклянные зеркала с наружным серебрением. Они сравнительно недолговечны, но зато обладают тем преимуществом, что отражение происходит только от наружной посеребренной поверхности. При серебрении же задней поверхности зеркала частичное отражение лучей происходит также и от непосеребренной грани, благодаря чему при больших углах падения лучей на зеркало, кроме основного изображения, появляется второе слабое изображение, смещенное относительно основного.¹ Кроме того при изготовлении зеркал с наружным серебрением нет необходимости добиваться строгой плоскопараллельности стеклянной заготовки. Зеркала с наружным покрытием делают также и металлическими. Для придания металлическому зеркалу достаточной отражательной способности полированная поверхность металла (сталь, бронза) хромируется.

Зеркала, назначение которых частично отражать и частично пропускать лучи, подвергаются неполному серебрению. Для этой цели применяются два типа серебрения: 1) серебрение поверхности стеклянной пластинки полосами и 2) полупрозрачное серебрение (в этом случае серебряный слой делают настолько гонким, что между частицами серебра остается свободная поверхность стекла, пропускающая лучи).

¹ При наличии клиновидности или при помещении зеркала в непараллельном коде лучей.

Зеркала с неполным серебрением могут выполняться с любым заданным коэффициентом отражения, который обычно выражают в процентах. Для защиты серебряного слоя от повреждения такие зеркала необходимо заклеивать покровным стеклом.

Для изготовления точных зеркал, входящих в основную оптическую систему прибора, применяется стекло сорта № 14, для простых отражательных — зеркальное стекло.

За последнее время для покрытия зеркал отражательным слоем начинают применять алюминий и некоторые другие металлы. Отражательная способность алюминия в видимой части спектра несколько ниже серебра, но зато он более устойчив и поэтому не требует защитного покрытия; серебро же от действия находившейся в атмосфере двуокиси серы с течением времени темнеет. Кроме того алюминированные зеркала дают более высокий коэффициент отражения в фиолетовой и ультрафиолетовой частях спектра, что весьма важно для фотографии и астрофизических исследований.

2. Сферические зеркала. Сферические зеркала представляют собой менисковые, концентрические или отрицательные линзы (мениски), выпуклая сторона которых посеребрена. Они применяются главным образом в осветительных системах оптических приборов и прожекторах. В астрономических телескопах (рефлекторах) они применяются как объективы.

Радиусы кривизны и толщина сферических зеркал определяются в результате расчета всей осветительной системы в целом. При креплении зеркал в оправе диаметр их в зависимости от светового диаметра следует брать по табл. 16, размеры фасок — по табл. 17. Это относится к зеркалам малых диаметров. Для зеркал астрономических телескопов и прожекторов, достигающих 1 м в поперечнике, требуются, конечно, совершенно иные специальные соотношения.

В прожекторах и некоторых других приборах применяются также зеркала с параболическими поверхностями.

5. Сетки

В оптических приборах сетками называются стеклянные плоскопараллельные пластинки с нанесенными на них перекрестиями, шкалами или иными знаками. Сетки всегда устанавливаются в одной из плоскостей изображения оптической системы прибора (в телескопических приборах — в фокальной плоскости объектива или оборачивающей системы). Сетки предназначены для наводки прибора на цель или для выполнения измерений по ним, а потому применение для них стекла, вообще говоря, не обязательно. Так, например, в некоторых случаях вместо стеклянных сеток со штриховым перекрестием применяются перекрестия из металлических нитей.

Типы сеток. По назначению сетки можно подразделить на следующие основные группы:

1) визирные сетки, служащие для наводки прибора на цель;

2) измерительные сетки, предназначенные для измерений непосредственно по нанесенной на них шкале;

3) сетки смешанного типа.

Сетки последнего типа могут одновременно служить как для наводки прибора на цель, так и для непосредственных измерений.

1. *Визирные сетки.* Наиболее распространенные визирные сетки имеют перекрестие, состоящее из двух взаимноперпендикулярных штрихов. Прямая, соединяющая оптический центр объектива и точку пересечения штрихов визирной сетки, определяет положение визирной оси прибора. Выбор того или иного типа зависит главным образом от назначения прибора.

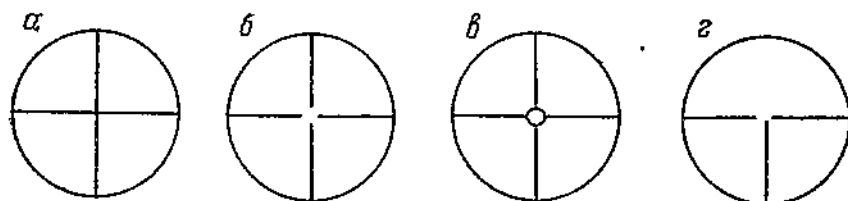


Рис. 64.

На рис. 64 приведены визирные сетки различных прицелов для стрельбы по неподвижным целям. Сетка с concentric circles and crosshairs, изображенная на рис. 65, применяется в прицелах для стрельбы по быстро движущимся целям, главным образом в прицелах зенитной артиллерии и в авиаприцелах.

Сетки с одним штрихом (рис. 66) применяются для отсчета по шкалам в отсчетных микроскопах.

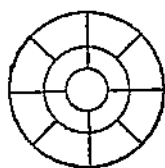


Рис. 65.

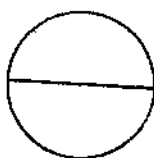


Рис. 66.

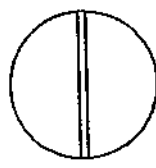


Рис. 67.

Сетки с двойным штрихом (рис. 67) применяются в тех случаях, когда требуется весьма точная наводка прибора, например, в теодолитах, в отсчетных микроскопах, в окулярных микрометрах и пр. Наводка по этим сеткам производится так, чтобы цель (веха—для теодолита, деление шкалы—для окулярного микрометра и пр.) находилась точно на середине между штрихами сетки. Следует отметить, что с помощью двойного штриха можно получить значительно большую точность наводки, чем с помощью ординарного. Ошибка при наводке по ординарному штриху равна примерно половине его толщины, ошибка же наводки по двойному штриху при правильно выбранном расстоянии между его линиями не превышает $\frac{1}{5}$ толщины одного штриха.

Штрихи перекрестий визирных сеток прицельных и геодезических приборов должны быть четкими, но в то же время не должны закрывать собой достаточно крупных предметов на местности. Слишком большая ширина штрихов мешает наблюдениям и затрудняет точную наводку прибора на цель или ориентир. Величина пространства, закрываемого штрихом, определяется углом, тангенс которого равен отношению ширины штриха к фокусному расстоянию системы.

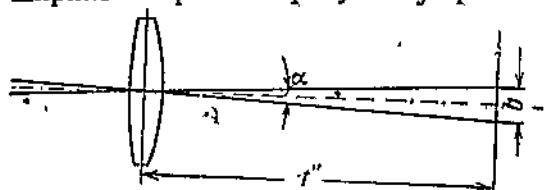


Рис. 68.

Из рис. 68 имеем следующее справедливое при малых углах α соотношение:

$$b = f_{\text{ок.}}' \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (17)$$

где b — ширина штриха перекрестия, $f_{\text{ок.}}'$ — фокусное расстояние

объектива системы, α — угловая величина пространства, закрываемая штрихом.

Из формулы (17) видно, что при заданном угле α ширина штриха перекрестия находится в прямой зависимости от фокусного расстояния системы.

С другой стороны, ширина штриха, видимая наблюдателю, равна его ширине, умноженной на увеличение окуляра. Связь между действительной и видимой шириной штриха выражается формулой:

$$b' = b \cdot \frac{250}{f_{\text{ок.}}'}, \quad (18)$$

где b' — видимая линейная ширина штриха, $f_{\text{ок.}}'$ — фокусное расстояние окуляра, $250/f_{\text{ок.}}'$ — увеличение окуляра.

При выборе ширины штрихов визирной сетки следует исходить из следующих соображений: 1) угловая ширина пространства на местности, закрываемая штрихом, не должна превышать $0,5'$; 2) видимая ширина штриха в угловой мере должна быть не меньше $1'$ (средняя разрешающая способность глаза), или в линейной мере не меньше $0,075 \text{ мм}$.¹

Если эти условия будут выполнены, то, с одной стороны, штрихи сетки не будут мешать наблюдениям и, с другой — будут достаточно хорошо видны в поле зрения прибора.

По формуле (17) из первого условия следует, что:

$$b = f_{\text{ок.}}' \operatorname{tg} 0,5' = 0,00014 f_{\text{ок.}}'. \quad (19)$$

По формуле (18) из второго условия:

$$b \cdot \frac{250}{f_{\text{ок.}}'} \geq 0,075 \text{ мм}. \quad (20)$$

¹ Связь между угловой (b_r') и линейной (b') видимой шириной штриха выражается формулой: $b_r' = b'/250$, где b_r' — в радианах, b' — в миллиметрах.

Таким образом, определив ширину штриха по формуле (19), необходимо кроме того проверить, удовлетворяет ли найденное значение формуле (20).

Большинство прицельных и визирных приборов снабжается объективами с фокусными расстояниями от 30 до 500 мм и окулярами с фокусными расстояниями от 15 до 50 мм, т. е. с увеличением от $16\times$ до $5\times$, поэтому при выборе ширины визирных сеток в зависимости от фокусных расстояний объектива и окуляра оптической системы можно также пользоваться табл. 22.

Таблица составлена при $\alpha_{\max} = 0,5'$. Кроме того при составлении ее учтены интересы производства. Наиболее затруднительным является нанесение штрихов шириной от 0,006 до 0,03 мм. Увеличение же ширины свыше 0,03 мм для производства уже безразлично. Поэтому для объективов с фокусными длинами от 200 до 300 мм ширину штрихов более 0,03 мм следует применять только в тех случаях, когда этого требуют технические условия.

Визирные сетки, выполненные в форме перекрестия с разрывом в центре (рис. 64б), применяются главным образом для прицелов прямой наводки и удобны тем, что штрихи не закрывают собой точку цели. Сетки этого типа обеспечивают большую по сравнению с сетками со сплошным перекрестием точность наводки. Величина разрыва штрихов обычно связывается с делениями угломера прицела. Чаще всего применяются перекрестия с разрывом в центре, соответствующим 3—4 тысячным дистанции.¹ Расчет линейной величины a разрыва штрихов на сетке производится по формуле:

$$a = 0,001 n f_{\text{ок.}}',$$

где $f_{\text{ок.}}'$ — фокусное расстояние объектива прицела, n — угловая величина разрыва в тысячных дистанции. Ширина же самих штрихов рассчитывается так же, как ширина штрихов сеток со сплошным перекрестием.

Для винтовочных и ружейных прицелов наиболее удобна сетка, приведенная на рис. 69. Практически установлены сле-

Таблица 22

Ширина штрихов визирных сеток в зависимости от фокусной длины объектива

Фокусная длина объектива мм	Ширина штриха мм
от 30 до 50	$0,006 \pm 0,002$
свыше 50 до 70	$0,010 \pm 0,003$
" 70 " 100	$0,015 \pm 0,003$
" 100 " 150	$0,020 \pm 0,004$
" 150 " 300	$0,030 - 0,050 \pm 0,01$
" 300	$0,040 - 0,060 \pm 0,01$

Примечание. Ширину штрихов 0,006 мм применять при $f_{\text{ок.}}' \leq 20$ мм. Ширину штрихов 0,010 мм применять при $f_{\text{ок.}}' \leq 30$ мм.

¹ Одна артиллерийская тысячная дистанции соответствует в угловой мере $3,6'$.

дующие наиболее рациональные соотношения отдельных элементов сетки: толщина штрихов—2 тысячные дистанции; величина разрыва горизонтального штриха—7 тысячных дистанции; угол заострения вертикального штриха— 60° . В некоторых случаях сетки этого типа благодаря сравнительно большой ширине штрихов изготавливаются из материальных нитей. Материалом для них служит никелиновая проволока соответствующего диаметра. Для сетки, изображенной на рис. 65, ширину прямолинейных и круговых штрихов следует брать такой, чтобы их видимая ширина не превышала 0,08—0,1 мм.

При расчете сеток с двойным штрихом, применяемых в отсчетных микроскопах, необходимо учитывать не только увеличение объектива микроскопа, но и ширину штрихов шкалы, по которой производится отсчет. На рис. 70 показана средняя часть поля зрения отсчетного микроскопа; здесь: t —ширина двойных штрихов; s' —ширина штрихов шкалы, умноженная на увеличение объектива микроскопа; E —расстояние между осями

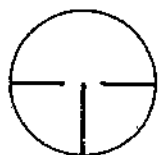


Рис. 69.

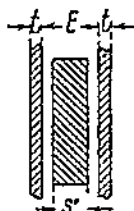


Рис. 70.



Рис. 71.

штрихов. Сетки этого типа наиболее удобны для наводки на штрих шкалы при следующих соотношениях размеров: толщина штриха— $t=s'/3$, но не менее 0,006 мм и не более 0,015 мм; расстояние между штрихами— $E=1,6 s'$ при отсчете по шкалам на стекле или $E=2,5 s'$ при металлических шкалах. Однако, в обоих случаях расстояние между штрихами не должно превышать величины $s'+0,15$ мм. При отсчете по металлической шкале расстояние между штрихами сетки берется несколько большим, потому что штрихи последних обычно выполняются с меньшей тщательностью, чем штрихи на стекле.

2. *Измерительные сетки.* Еще большим разнообразием отличаются измерительные сетки. По назначению они могут быть подразделены на две основные группы: 1) сетки для абсолютных измерений и 2) сетки для относительных измерений.

Сетки для абсолютных измерений обычно представляют собой стеклянные пластинки с нанесенной на них линейной шкалой. Форма выполнения шкалы и ее размеры в зависимости от назначения могут быть весьма различны. На рис. 71 изображен простейший и наиболее распространенный тип измерительной сетки, применяемой в микроскопах. Она устанавливается в фокальной плоскости измерительного окуляра микроскопа, т. е. шкала сетки совпадает с плоскостью изображения, даваемого объективом. Таким образом с помощью измерительной

сетки измеряется не истинная величина объекта, а величина его изображения. Для того чтобы найти истинную величину объекта, необходимо предварительно определить масштаб его изображения.

Что касается толщины и длины штрихов шкал измерительных сеток, то наиболее рациональные соотношения этих размеров в зависимости от расстояния между штрихами пока еще не установлены. В качестве рекомендуемых можно привести следующие размеры: длина десятых делений—1,5—2 мм; длина пятых делений—1,2—1,5 мм; длина единичных делений—0,8—1 мм; толщина штрихов—0,01 мм. Высота цифр—0,2—0,4 мм.

Однако, сетки со шкалой в некоторых случаях недостаточно удобны вследствие плохой видимости на фоне темных объектов.

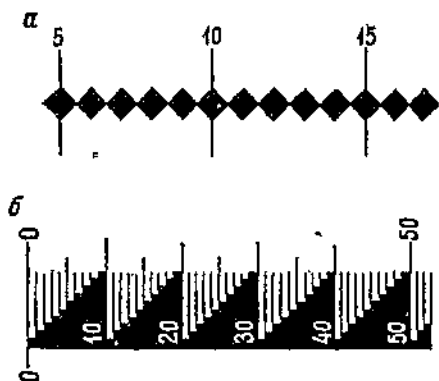


Рис. 72.

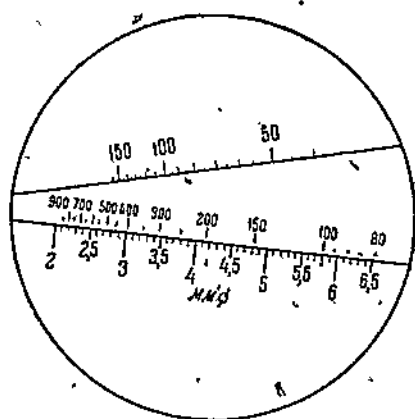


Рис. 73.

В этом отношении значительно лучше контрастные сетки, изображенные на рис. 72. На рис. 72а штрихи заменены квадратами. Фирма Цейсс изготавливает эти сетки двух цветов: красные — для измерения неокрашенных объектов и черные — для окрашенных. Цена деления данных сеток—0,2, 0,1 и 0,05 мм.

На рис. 72б показана ступенчатая контрастная сетка фирмы Лейтц. Сетка этого типа удобна тем, что с ее помощью можно производить как грубые, так и тонкие измерения, так как черные треугольники объединяют группы мелких делений — по 10 в каждом треугольнике. Кроме того на сетках Лейтца цифры проставлены двух цветов: черные — на белом фоне и белые — на черном фоне, поэтому в зависимости от окраски объекта либо черные либо белые цифры будут достаточно хорошо видны в поле зрения окуляра. Контрастные сетки, обладая лучшей видимостью, в значительно меньшей степени утомляют глаз наблюдателя.

На рис. 73 приведен более сложный тип сетки, применяемой в лупах для испытания твердости металлов по способу Бринелля.

Измерительные сетки самых разнообразных типов применяются также и в приборах военного назначения. В качестве примеров ниже приведено несколько типов подобных сеток. На рис. 74 показана измерительная сетка стереотрубы, которая дает возможность определять расстояние разрывов от цели. На чертеже указаны примерные размеры штрихов в зависимости от расстояния между штрихами. На рис. 75 изображена угломерная прицельная сетка трубы Герца.

Весьма сложные сетки с криволинейными штрихами применяются в высотомерных приспособлениях дальномеров, в авиациелах, в перископах подводных лодок и пр.

Измерительные сетки военных приборов весьма разнообразны по форме выполнения. Толщину штрихов и размеры цифр в них следует брать тем меньше, чем гуще они расположены на сетке. Кроме того, как указывалось выше, необходимо

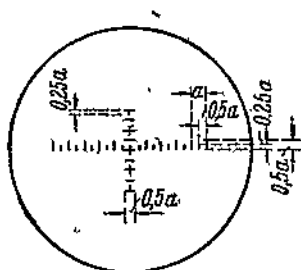


Рис. 74.

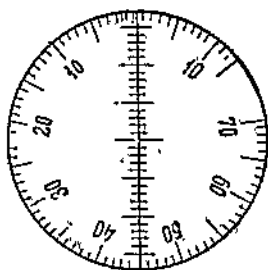


Рис. 75.

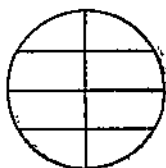


Рис. 76.

учитывать видимое увеличение сетки, т. е. увеличение окуляра или отсчетного микроскопа, фокусную длину объектива, а также специфические особенности прибора.

Примером измерительной сетки, применяемой одновременно и для наводки прибора, может служить сетка угломерного геодезического прибора — теодолита (рис. 76). Вертикальный штрих (в прецизионных теодолитах обычно делается двойным) служит для наводки на триангуляционный знак или вежу; горизонтальные штрихи служат для определения расстояния по геодезической рейке. Для удобства измерения расстояний от инструмента до пункта, в котором установлена рейка, отношение фокусного расстояния объектива $f_{об.}$ к расстоянию h между крайними горизонтальными штрихами берут равным 100, т. е. $f_{об.}/h = 100$.

Сетки подобного же типа применяются и в других геодезических приборах.

Сетки для относительных измерений встречаются исключительно в лабораторных контрольно-измерительных приборах, например: в различных инструментальных микроскопах, в микроскопах для проверки заточки резцов и сверл, в приборах для проверки профилей зубьев и пр. На сетках этого типа наносится номинальный контур контролируемых элементов объекта, напри-

мер: профили резьб, профили зубьев зубчатых колес и т. п. Совмещая в поле зрения прибора теоретический профиль, нанесенный на сетке, с фактическим профилем детали, наблюдатель может судить о точности ее выполнения.

В некоторых случаях на сетках одновременно наносятся номинальный и два дополнительных контура, определяющие предельные допустимые отклонения профиля детали от номи-

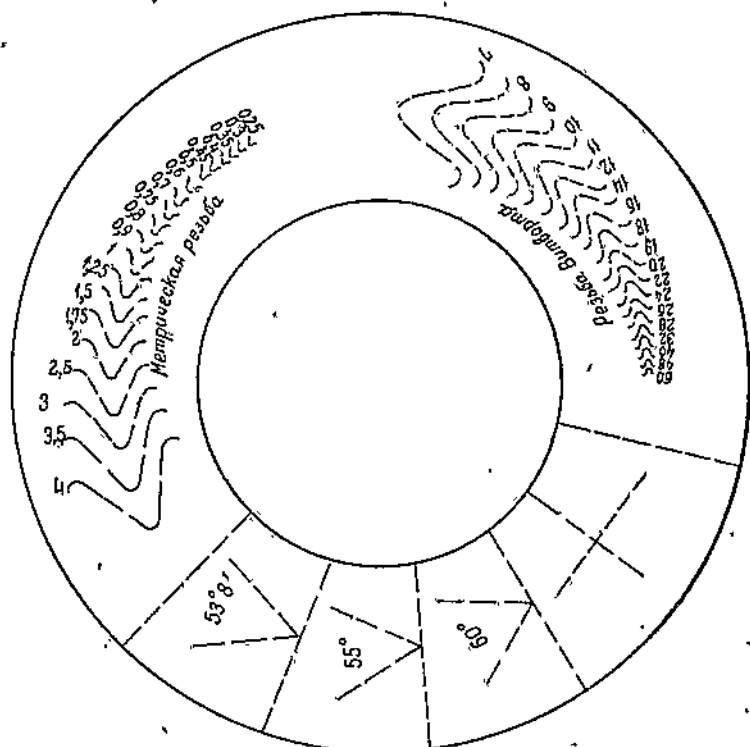


Рис. 77.

нала. Сетки подобного типа являются своего рода предельными калибрами.

В тех случаях, когда на одной сетке желательно иметь возможно большее число различных профилей, пользуются так называемыми *револьверными* сетками. На рис. 77 показана револьверная сетка инструментального микроскопа фирмы Цейсс с нанесенными на ней профилями метрической резьбы и резьбы Витворта различных шагов. В поле зрения прибора видима только некоторая часть револьверной сетки; поворачивая сетку, наблюдатель может ввести в поле зрения ту ее часть, на которой находится нужный ему профиль. Как видно из рис. 77, револьверные сетки выполняются в форме диска с отверстием в центре. Пунктиром показано поле зрения прибора. Ось вращения сетки параллельна оси микроскопа и лежит вне его тубуса.

Способы изготовления сеток. Вопросы изготовления сеток изложены здесь лишь в самых общих чертах. В зависимости от типа и назначения сеток штрихи, цифры и прочие знаки могут быть нанесены на них следующими способами: 1) гравировкой, 2) гравировкой с последующим травлением, 3) фотографированием и 4) фототравлением.

При *гравировке* штрихи на сетке наносятся алмазным резцом на делительной машине. Этим способом можно получать очень тонкие штрихи, поэтому он пригоден для нарезки дифракционных решеток и точных объектмикрометров.

Для окулярных сеток гравировка алмазом мало пригодна, так как штрих получается настолько тонким, что при обычных увеличениях окуляров ($5\times$ — $10\times$) он не будет достаточно хорошо видим. Кроме того при гравировке штрих получается глянцевым, а потому даже при больших увеличениях видимость его удовлетворительна только в узких пучках света.

Второй способ, т. е. *гравировка с последующим травлением*, состоит в следующем. Одну из полированных поверхностей заготовки сетки промывают бензином и покрывают защитным слоем толщиной 25—30 μ , состоящим в основном из пчелиного воска. Для лучшего прилипания защитного слоя поверхность заготовки предварительно протирают скипидаром. На делительной машине по защитному слою гравируют на стекле необходимые штрихи. Затем сетку протравливают, погружая её на 3—4 сек. в протравливающую жидкость (при температуре 20°). После травления поверхность штриха становится матовой, а самый штрих несколько расширяется. Матовый штрих рассеивает падающие на него лучи света, а потому он достаточно хорошо видим в поле зрения прибора.

Для сеток, изготавливаемых этим способом, необходимо брать оптическое стекло, хорошо поддающееся травлению. Чаще всего для этой цели пользуются баритовым кроном (сорт № 17 по каталогу завода ЛЕНЗОС) или силикатным кроном (сорт № 12), который содержит меньшее количество пузырей, но хуже поддается травлению. Для каждого из указанных сортов стекла существует свой рецепт протравливающей жидкости, дающий наилучшие результаты. Так, например, для баритового крона наилучший эффект дает смесь, содержащая 100 см^3 плавиковой кислоты на 130 см^3 серной кислоты.

Очень часто для улучшения видимости штрихов, кроме травления, штрихи заполняются краской. Обычно для этой цели применяются черная эмалевая краска или крокус. Благодаря шероховатой поверхности углубления штриха краска в нем держится очень прочно и не выкрашивается даже при промывании сетки.¹

¹ На заводе ЗОМЗ штрихи сетки заполняют пережженной окисью меди в смеси с жидким стеклом. Этот состав держится чрезвычайно прочно, что позволяет травить штрихи на любом сорте стекла.

Однако, способ нанесения рисунка сетки путем гравирования обладает рядом существенных недостатков:

1) на делительной машине удобно нарезать только прямолинейные или круговые штрихи; нанесение цифр уже сопряжено с некоторыми трудностями, и, наконец, нанесение криволинейных штрихов и различных сложных знаков чрезвычайно затруднительно;¹

2) каждая сетка гравировается на делительной машине отдельно, т. е. каждый раз возможны различные индивидуальные ошибки изготовления, требующие индивидуальной же проверки;

3) перечисленные выше сорта оптического стекла отличаются невысокими механическими свойствами, поэтому травленные сетки можно легко поцарапать при сборке;

4) стекло, пригодное для травления, требует продолжительной полировки для получения поверхностей, абсолютно лишенных царапин и матовых точек;

5) стоимость изготовления высока.

Всех этих недостатков лишены сетки, изготовленные *фотографическим путем*. Для них можно применять твердые сорта стекла, более удобные для сборки и быстрее поддающиеся полировке. Обычно для этой цели применяют боросиликатный кроун (сорт № 14). Фотографическим путем можно изготавливать сетки любых типов. Способ изготовления в общих чертах состоит в следующем: рисунок сетки в увеличенном масштабе вычерчивается с большой точностью на ватмане, с которого производится съемка негатива сетки в нужном масштабе; затем с негатива контактным путем печатается рисунок сетки на заготовку, предварительно покрытую слоем светочувствительной эмульсии. При контактном печатании отпадает необходимость проверки каждой сетки в отдельности, достаточно проверить лишь негатив. Это обстоятельство дает возможность наладить массовое производство совершенно одинаковых сеток, что почти невозможно при гравировке на делительной машине. Фотографическим путем можно изготавливать сетки как с черными штрихами на прозрачном фоне, так и с прозрачными штрихами на черном фоне. Этим же способом — путем дополнительной обработки красителями — можно изготавливать цветные сетки.

К светочувствительной эмульсии, применяемой для фотографирования сеток, предъявляются весьма высокие требования: она должна отличаться, во-первых, очень хорошей прозрачностью (после проявления и фиксации) и, во-вторых, мелкозернистой структурой. Чем структура светочувствительного слоя мельче, тем выше его разрешающая способность, т. е. тем более тонкую сетку можно на нем получить. В некоторых случаях для повышения прозрачности и для увеличения прочности рисунка сетки после фотографирования отжигают при температуре 250°. Коллоидная часть светочувствительного слоя выгорает, и остатки

¹ Может быть получено только на специальных копировально-гравировальных приспособлениях (пантографах).

ее затем смываются, а зафиксированное серебро, образующее рисунок, прочно соединяется с поверхностью стекла. Неотожженные фотографированные сетки для предохранения коллоидной пленки от механических повреждений и воздействия атмосферы должны обязательно заклеиваться покровным стеклом. Покровное стекло наклеивается канадским бальзамом на сетку со стороны коллоидной пленки.

За последнее время начали получать распространение сетки, изготавливаемые способом *фототравления*. При фототравлении путем фотографирования и дополнительной химической и термической обработки рисунок не только фиксируется на стекле, но и протравливает его, т. е. поверхностный слой стекла частично разрушается. Получившиеся на поверхности стекла углубления

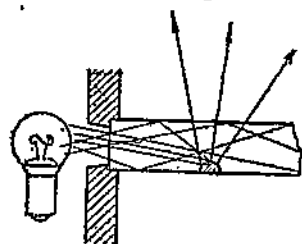


Рис. 78.

заполняются продуктами распада веществ, применяемых при химической обработке сетки. Рисунок сеток, нанесенный способом фототравления, отличается большой прочностью. Кроме того этот способ применим и для изготовления сеток ночного освещения.

Сетки ночного освещения. Многие оптические приборы, в особенности приборы военного назначения, используются для наблюдений не только в условиях дневного освещения, но и в условиях ночного освещения. Днем на светлом поле

зрения штрихи обычной сетки видны ясно. Ночью же, когда в прибор поступает лишь слабый поток лучей от искусственных источников света, по которым наблюдатель производит отсчеты, штрихи сетки совершенно сливаются с темным фоном поля зрения. Для того чтобы прибором можно было пользоваться как ночью, так и днем, необходимо сделать штрихи сетки видимыми независимо от освещенности поля зрения. Штрихи такой сетки должны быть темными на светлом фоне днем и светящимися, как волошки электрической лампочки при неполном накале, на темном фоне ночью.

Решение этой задачи основано на законе полного внутреннего отражения. Если отполировать ободок сетки с гравированными и протравленными штрихами и направить в нее поток лучей от искусственного источника света, то, как показано на рис. 78, лучи, падающие на плоские грани сетки под углами, большими угла полного внутреннего отражения, не смогут выйти за пределы сетки; лучи же, попадающие на матовую поверхность штриха, будут ею рассеиваться во все стороны, главным образом в сторону, противоположную плоскости сетки, на которой нанесены штрихи. Большая часть этих лучей попадет в глаз наблюдателя, благодаря чему штрихи сетки в ночных условиях будут казаться светящимися.

Однако, протравленная сетка не гарантирует равномерного рассеяния света по всей длине штриха. Может случиться так, что одна часть штриха будет хорошо рассеивать свет, другая

же часть—плохо, вследствие чего штрихи сетки будут видны с перерывами. Равномерное рассеивание света практически осуществляется путем заполнения штрихов краской с хорошими рассеивающими свойствами. Обычно для этой цели применяют эмалевые белила в смеси с некоторыми связывающими веществами.¹ Таким образом полированные по ободу сетки с протравленными и заполненными штрихами полностью решают вопрос ночного освещения и в то же время хорошо видимы в условиях дневных наблюдений. Сетки этого типа освещаются электрическими лампочками через специальные осветительные окна.

Для более равномерного освещения штрихов сеток с перекрестиями или крестообразно расположенными шкалами осветительное окно оправы следует располагать на диагонали перекрестия.

В некоторых случаях для увеличения яркости штрихов большая часть полированного обода сетки серебрится. Для сеток ночного освещения пригодны также сетки, рисунок которых нанесен способом фототравления. Однако, этот способ пока еще не дает хороших результатов в отношении равномерной освещенности штрихов, поэтому его следует применять лишь в тех случаях, когда рисунок настолько сложен, что нанести его путем гравировки невозможно.

Очень часто при проектировании приборов с сетками ночного освещения не уделяется должного внимания правильной установке последних в приборе. Как уже было указано, штрихи сетки рассеивают свет главным образом в сторону, противоположную поверхности, на которой они нанесены. Поэтому, для того чтобы видимость их была наилучшей, штрихи должны быть обращены в сторону объектива. Сетки же, не предназначенные для ночного освещения, удобнее устанавливать штрихами в сторону окуляра. Это особенно важно для короткофокусных окуляров с диоптрийной подвижкой.

Толщина сеток. Толщину сеток следует выбирать, исходя из желательной механической прочности и требований производства. Слишком тонкие сетки легко можно разбить при сборке; кроме того при полировке и закреплении в оправе они прогибаются, что приводит к скверному качеству плоскостей.

В табл. 23 приведены наиболее рациональные толщины сеток в зависимости от диаметра.

Таблица 23

Толщина сеток в зависимости от диаметра

Диаметр сетки мм		Толщина мм
свыше	до	
—	10	1
10	18	2
18	30	2,5
30	50	3
50	80	4

¹ Приводим один из рецептов состава для заполнения штрихов сеток:

Эмалевые белила 5 част. Сикатив 2 част.
Магнезия 2 „ Грушевая эссенция 0,1

Толщину покровных стекол для заклейки фотографированных сеток следует брать примерно вдвое меньше, чем толщина сеток при тех же диаметрах.

Допуски. При изготовлении сеток неточность выполнения плоскостей не оказывает заметного влияния на качество оптической системы, поэтому допуски на качество плоскостей можно брать достаточно грубыми—до 15—18 полос. Зато чистота обработки поверхностей сетки должна быть особенно высокой, так как малейшая царапина или точка на поверхности сетки будут видимы в поле зрения прибора, что совершенно недопустимо. По тем же соображениям в заготовках сеток совершенно недопустимы пузыри и камни. Клиновидность сеток может допускаться в пределах до 10—15'.

Для изготовления сеток следует применять стекло не ниже II категорий по посторонним включениям (см. стр. 38).

В некоторых случаях сетки изготавливаются не в виде плоскопараллельных пластин, а в виде плосковыпуклых линз (коллективов). Обычно такие сетки устанавливаются в промежуточных фокальных плоскостях системы, т. е. в фокальных плоскостях оборачивающих систем.

6. Защитные стекла

Защитные стекла предназначаются для предохранения оптической системы прибора от атмосферной влаги, загрязнения и механических повреждений. Они обычно применяются в тех случаях, когда в приборе имеется качающаяся головная (объективная) призма или когда первая по ходу лучей оптическая деталь сделана из стекла, неустойчивого к атмосферным влияниям.

Защитные стекла, устанавливаемые в ходе лучей системы, всегда изготавливаются из оптического стекла (сорт № 14) и требуют тщательного выполнения рабочих поверхностей. Форма их довольно разнообразна и зависит от конструкции прибора. На рис. 79 показаны наиболее часто встречающиеся типы защитных стекол. Круглые стекла применяются в приборах, не имеющих качающихся призм. Стекла удлиненной формы устанавливаются перед качающимися призмами; ширина их зависит от диаметра светового пучка, а длина—от угла качания призмы. Для повышения герметичности соединения с корпусом прибора удлиненные защитные стекла имеют скос по ободу под углом 60°.

Защитные стекла должны обладать достаточной механической прочностью; в частности для круглых стекол отношение толщины к диаметру следует брать не меньше, чем 1:7. Примерно такого же соотношения рекомендуется придерживаться и для удлиненных стекол.

Защитные стекла сеток ночного освещения (рис. 80) устанавливаются вне хода лучей системы, поэтому они всегда изготавливаются из простого зеркального стекла. Точность выполнения поверхностей для них также не нужна.

В некоторых случаях круглые защитные стекла, устанавливаемые в ходе лучей оптической системы, делают клиновидными.

Путем поворота такого стекла можно в известных пределах производить юстировку прибора. Клиновидные защитные стекла чаще всего применяются в дальномерах.

В некоторых зенитных наблюдательных приборах применяются защитные стекла, выполняемые в виде сферических колпаков.

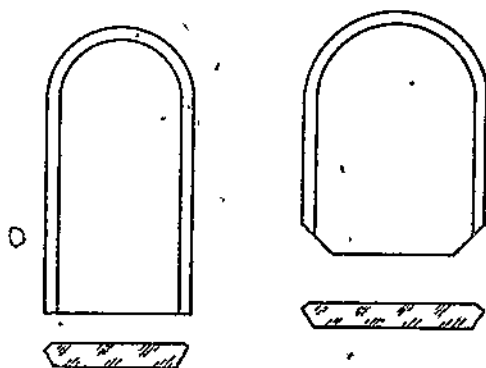


Рис. 79.

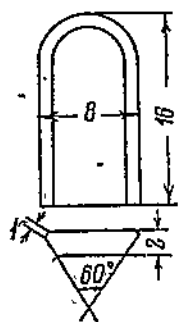


Рис. 80.

7. Светофильтры.

Светофильтры представляют собой плоскопараллельные пластинки, изготовленные из цветного стекла или из двух склеенных друг с другом стекол, между которыми находится окрашенный слой желатина.

Светофильтры применяются в приборах для визуальных наблюдений и в фотоаппаратуре как любительской, так и аэросъемочной. Ими пользуются не постоянно, а только при определенных условиях, поэтому они крепятся в специальных оправках, которые в случае необходимости надеваются на объектив или окуляр. Если же светофильтры находятся внутри прибора, как, например, в дальномерах, то всегда должно иметься приспособление, с помощью которого их можно выключать из хода лучей оптической системы или заменять другими.

В визуальных приборах светофильтрами пользуются для улучшения видимости при неблагоприятных для наблюдений условиях. Так, например, зимой при ярком солнечном освещении пользуются дымчатыми или синими светофильтрами; летом при сильной дымке значительно улучшают видимость желтые светофильтры; красные светофильтры применяются в морских перископах. В фотоаппаратах светофильтры служат для повышения контрастности снимков, что особенно важно для аэросъемки. В фотографии чаще всего пользуются оранжевыми и желтыми светофильтрами. Иногда в визуальных приборах применяют темнозеленые, очень густые светофильтры для быстрого выключения оптической системы.

Светофильтры характеризуются прежде всего цветом и затем кратностью, т. е. густотой окраски. При фотографировании крат-

ность характеризует экспозицию; так, например, при съемке с двукратным светофильтром выдержка по сравнению со съемкой без светофильтра должна быть увеличена вдвое.

Плоскости светофильтров для фотоаппаратуры должны выполняться с высокой степенью точности — до 1—2 полос. Плохое качество поверхностей вызывает вуалирование снимков. Толщину их в зависимости от диаметра рекомендуется брать в пределах от 1 до 3—4 мм.

Глава II

СОЕДИНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С МЕХАНИЧЕСКИМИ

Выбор конструкции крепления оптической детали зависит прежде всего от формы последней. Кроме того конструкция крепления до известной степени зависит от назначения прибора, условий его эксплуатации и назначения оптической детали.

По способам крепления оптические детали делятся на две большие группы:

1) *круглые* оптические детали или, как их часто называют, „круглая оптика“; к этой группе относятся: линзы, светофильтры, сетки и круглые защитные стекла;

2) *некруглые* оптические детали („некруглая оптика“); к этой группе относятся: призмы и защитные стекла.

1. Крепление круглой оптики

Для соединения круглой оптики с механической оправой применяют следующие способы:

- 1) крепление задавливанием,
- 2) крепление зажимным кольцом,
- 3) крепление электролитическим методом.

Последний способ особенно широкого применения не имеет; им пользуются исключительно для крепления фронтальных линз микрообъективов.

1. **Крепление задавливанием.** При этом способе соединения края металлической оправы загибаются так, чтобы они плотно охватывали линзу по всей окружности (рис. 81 а). Загибка края оправы производится на токарном станке с помощью специальных инструментов. Так как стенки оправы обычно довольно толсты, то для обеспечения задавливания край оправы снаружи протачивается (несколько на конус) до нужной толщины. Толщина загибаемого края (у основания) в зависимости от диаметра оптической детали берется в пределах

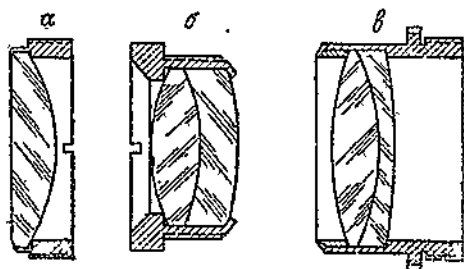


Рис. 81.

от 0,25 до 0,4 мм.

Одновременно с процессом задавливания производится центрировка линзы относительно геометрической оси оправы, причем она обеспечивается зазором посадки на сопряженные диаметры. Центрировка линзы относительно оправы контролируется по отражению („зайчику“) на поверхностях линзы: при совпадении оптической оси линзы с осью оправы зайчик при вращении оправы не должен „бить“.

Вследствие упругости тонкого края оправы, закрепляющего оптическую деталь, давление на стекло сравнительно невелико, поэтому при правильном задавливании оптические детали даже при небольших толщинах не деформируются и не получают внутренних натяжений. При задавливании загибаемый край оправы должен ложиться только на фаску, а не на полированную поверхность линзы.

Крепление задавливанием рекомендуется применять для оптических деталей диаметром не выше 60 мм. При больших диаметрах этот способ не гарантирует достаточно удовлетворительного соединения.

Для придания соединению абсолютной водонепроницаемости перед установкой в оправе ободок линзы смазывается специальной замазкой. Замазку рекомендуется применять только при креплении наружных линз полевых приборов.

Допуски на сопряженные диаметры необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы между линзой и оправой всегда был гарантированный зазор, за счет которого и производится центрировка, т. е. смещение линзы в плоскости, перпендикулярной оси оправы. По нормам ВООМПа рекомендуются следующие допуски: на внутренний диаметр оправы под линзу — по A_3 (3-й класс точности); на диаметр линзы — по X_3 (ходовая посадка 3-го класса точности).

При задавливании склеенных линз центрировка обеспечивается линзой, имеющей большую толщину по краю, а остальные должны помещаться в оправе с большим зазором. В этом случае для центрирующей линзы допуск на диаметр также следует брать по X_3 , для остальных линз — допуск по L_4 (легкоходовая посадка 4-го класса точности). На рис. 81 б изображен пример задавливания склеенной линзы в оправе; в этом случае допуск на отрицательную линзу — по X_3 , на положительную — по L_4 . При задавливании оптических деталей, не требующих центрировки, например, защитных стекол и светофильтров, допуски на сопряженные диаметры следует брать менее жесткими, а именно: на внутренний диаметр оправ — A_4 (4-класс точности), на диаметр оптических деталей — X_4 (ходовая посадка 4-го класса точности). Допуски во всех случаях берутся по системе отверстий.

В некоторых случаях для удаления линзы от среза оправы между линзой и загибаемым краем помещают промежуточное кольцо с фаской (рис. 81 в). При такой конструкции центрировка линзы в процессе задавливания невозможна, поэтому допуски на сопряженные диаметры необходимо брать те же, что и при креплении зажимными кольцами (см. ниже, стр. 109).

Основное преимущество крепления задавливанием—простота: для закрепления линзы в оправе не требуется никаких дополнительных деталей. Недостаток—непригодность для крепления линз больших диаметров и невозможность разборки соединения без повреждения оправы, что затрудняет ремонт приборов.

Типы оправ для крепления круглой оптики задавливанием. На рис. 82 и 83 изображены различные типы оправ, укрепляемые в корпусе или трубе прибора на резьбе. На рис. 83 показаны оправы, центровка которых в корпусе прибора обеспечивается наружным центрирующим пояском, так как одна резьба не гарантирует достаточной точности при сборке. Оправы, изображенные на рис. 82, центрируются только по упорному бортику.

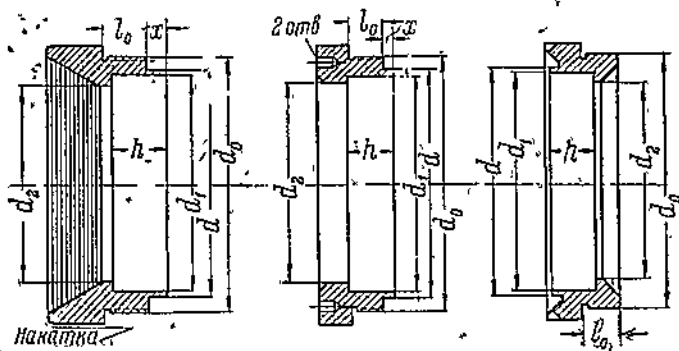


Рис. 82.

Примерное соотношение размеров оправ:

$d_1 = D$, где D — диаметр линзы;

$d_2 = D_1$, где D_1 — световой диаметр линзы;

d — от $d_1 + 0,5$ мм до $d_1 + 0,8$ мм (в зависимости от диаметра линзы);

$x \approx 1,5 t$, где t — ширина фаски для крепления задавливанием (см. табл. 20);

h — толщина линзы по краю;

d_0 — диаметр наружной резьбы — зависит от диаметра корпуса; рекомендуется брать не больше $d_1 + 8$ мм;

s — шаг резьбы — $0,5 - 0,75$ мм;

D_3 рекомендуется брать в пределах от $(d_0 - 2s)$ до $(d_0 - 4s)$, где s — шаг резьбы при d_0 ;

l_0 — от $6s$ до $12s$;

$l \approx 2l_0$;

D_2 обычно берется равным наружному диаметру трубы, куда ввинчивается оправа.

На рис. 84 показана оправа с уменьшенным световым диаметром. Оправа такого типа применяется в тех случаях, когда диаметр линзы значительно меньше трубы, где линза должна быть помещена.

Все оправы, укрепляемые в корпусе на резьбе, должны иметь шлицы или специальные отверстия для завинчивания их в корпус. В приборах, подвергающихся тряске, оправы после установки на место стопорят винтами.

На рис. 101 показаны конструкции оправ, применяемые для крепления линз микрообъективов. В насыпных системах оправы этого типа не имеют резьбы для крепления. При сборке они ставятся в стаканчик микрообъектива одна на другую и затем закрепляются общим зажимным кольцом или запрессовываются.

Для устранения возможности отражений лучей от стенок оправ их внутренние поверхности необходимо чернить. Для этой же цели в некоторых случаях на свободных, внутренних частях оправ наносят концентрические риски. Шаг рисок обычно — 0,5 мм, глубина их — 0,25 мм.

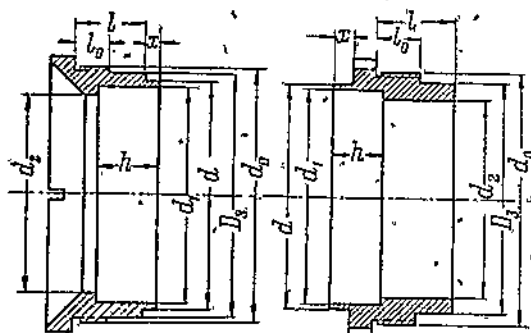


Рис. 83.

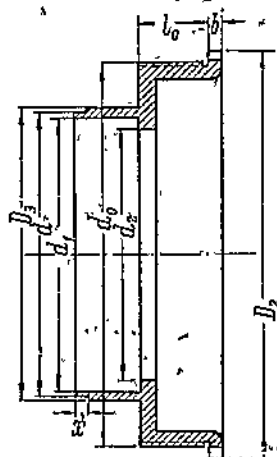


Рис. 84.

Оправы обыкновенно изготавливаются из латуни ЛС59; она хорошо обрабатывается резанием и устойчива в отношении коррозии. В некоторых случаях применяется также сталь.

2. Крепление зажимными кольцами. При этом способе соединения оптическая деталь укрепляется в оправе кольцом, имеющим внутреннюю или наружную резьбу. Возможное смещение линзы в оправе определяется зазором между ними, который вследствие этого должен быть минимальным.

Для приборов, требующих высокой точности центрировки оптической системы, рекомендуются следующие допуски, обеспечивающие при сборке достаточно малый зазор между линзой и оправой: на внутренний диаметр оправы под линзу — по А (2-й класс точности), на диаметр линзы — по С₃ (скользящая посадка 3-го класса точности).

При креплении склеенных линз допуск на линзу, имеющую меньшую толщину по краю, рекомендуется брать по Л₂ (легкоходовая посадка 4-го класса точности), допуск же на линзу,

¹ Например, фотообъективы.

имеющую большую толщину, остается таким же, как и для одной линзы, т. е. по C_3 ; по ней склеенная пара центрируется в оправе.

При креплении оптических деталей, не требующих точной центрировки, следует брать менее жесткие допуски, именно: на внутренний диаметр оправы под линзу — по A_1 (4-й класс точности), на диаметр оптической детали — по C_4 (скользящая посадка 4-го класса точности).

В тех случаях, когда требуется весьма высокая центровка оптической системы прибора, иногда применяют оправы, в которых линзу можно центрировать при сборке. Для этой цели по цилиндрической части обычной оправы просверливают 3—4 отверстия. Центровка линзы производится следующим образом: линза вставляется в оправу и слабо закрепляется зажимным кольцом; затем специальным приспособлением она точно центрируется через отверстия в оправе, и кольцо затягивается окончательно; для предохранения линзы от смещений при сотрясении прибора после снятия центрирующего приспособления отверстия в оправе заливается специальной замазкой. Такая конструкция крепления позволяет исключить погрешность центрировки самой линзы, а также влияние зазора между оправой и линзой. В этом случае зазор между линзой и оправой

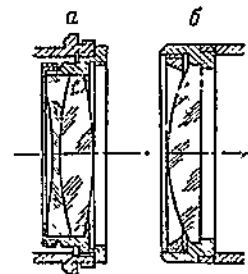


Рис. 85.

может быть сравнительно большим, а потому допуски на сопряжение диаметра линзы и оправы следует брать по X_3 и A_3 .

Крепление зажимным кольцом необходимо применять для оптических деталей диаметром свыше 60 мм. Для деталей диаметром от 10 до 60 мм этот способ крепления применяется в тех случаях, когда задавливание по каким-либо соображениям не пригодно, и, наконец, для диаметров менее 10 мм зажимных колец вообще применять не следует.

На рис. 85 показаны примеры крепления линз зажимными кольцами. При выборе конструкции крепления следует предпочитать зажимные кольца с наружной резьбой, так как они значительно проще в изготовлении. Крепление кольцами с внутренней резьбой (рис. 85а) следует применять лишь в тех случаях, когда габарит оправы вдоль оси прибора должен быть минимальным, например, когда требуется закрепить в оправе две линзы, расстояние между которыми невелико.

Однако, непосредственное крепление зажимным кольцом вследствие возможных перекосов резьбы не обеспечивает равномерного распределения давления кольца на линзу. Неравномерность давления кольца часто вызывает деформацию сферических поверхностей линзы и внутренние натяжения в ней, в особенности при креплении тонких линз больших диаметров. Кроме того в условиях низких температур при таком способе крепления в линзах возникают еще дополнительные натяжения,

обусловленные большой разницей коэффициентов расширения металла и стекла (при понижении температуры давление зажимного кольца на линзу увеличивается).

На рис. 86 показана конструкция крепления, до некоторой степени предохраняющая линзы от деформаций и внутренних натяжений. Для этой цели между зажимным кольцом и линзой помещается пружинное кольцо, которое вследствие упругости в осевом направлении более равномерно распределяет давление на линзу и смягчает его при низких температурах. Пружинные кольца рекомендуется применять при креплении тонких линз диаметром свыше 40 мм.

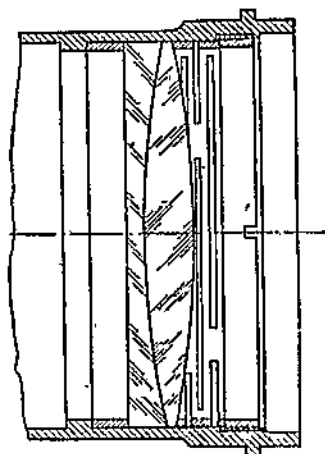


Рис. 86.

На том же рисунке показано также промежуточное кольцо между упором оправы и линзой. Такие кольца устанавливаются в оправках для юстировки системы при сборке, так как, подрезая их, можно изменять расстояние между линзами системы. Юстировочные кольца следует ставить при креплении длиннофокусных линз, например, линз оборачивающих систем перископов, так как абсо-

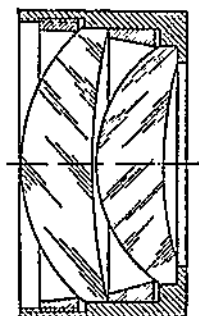


Рис. 87.

лютная погрешность фокуса у них может достигать 5—6 мм, а следовательно, для совмещения фокальных плоскостей соседних линз юстировка в осевом направлении неизбежна.

Если в приборе необходимо закрепить ряд линз одинакового диаметра, расположенных на близком расстоянии одна от другой, например, линз некоторых типов окуляров, то следует пользоваться конструкцией крепления, показанной на рис. 97 и 98. При такой конструкции все линзы помещаются в одной оправе и закрепляются одним общим зажимным кольцом. Заданные расстояния между линзами выдерживаются с помощью гладких промежуточных колец.

На рис. 87 показана конструкция такого же типа (конденсор осветительной системы). Так как в этом случае линзы имеют различные диаметры, оправка сделана ступенчатой, а промежуточное кольцо расточено на конус.

Типы оправ. На рис. 88 и 89 изображены различные типы оправ для крепления оптических деталей зажимными кольцами с наружной резьбой. Оправы, показанные на рис. 88, укрепляются в корпусе прибора на резьбе. Такое соединение оправы с корпусом наиболее удобно при сборке, а потому им всегда следует пользоваться, если нет каких-либо особых соображений для выбора другого типа соединения.

На рис. 89 показаны типы оправ, которые укрепляются в приборе винтами. При таком соединении при сборке в небольших пределах возможна юстировка оправы вместе с линзой относительно других оптических деталей системы.

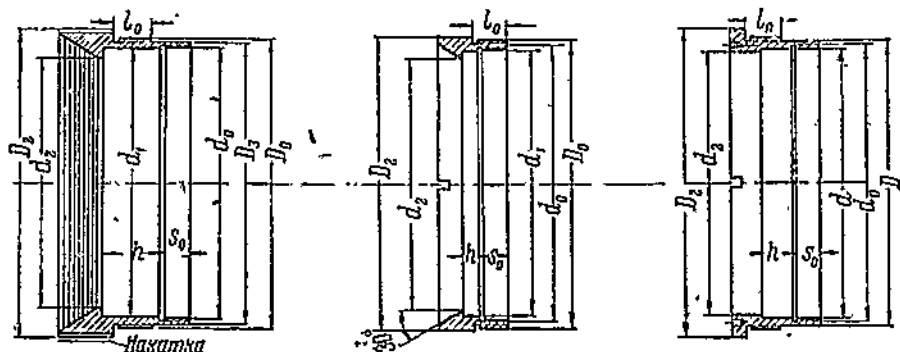


Рис. 88.

Типовые соотношения размеров оправ:

$d_1 = D$, где D — диаметр линзы;

$d_3 = D_1$, где D_1 — световой диаметр линзы;

$d_0 \geq d_1 + 2s$, где s — шаг резьбы;

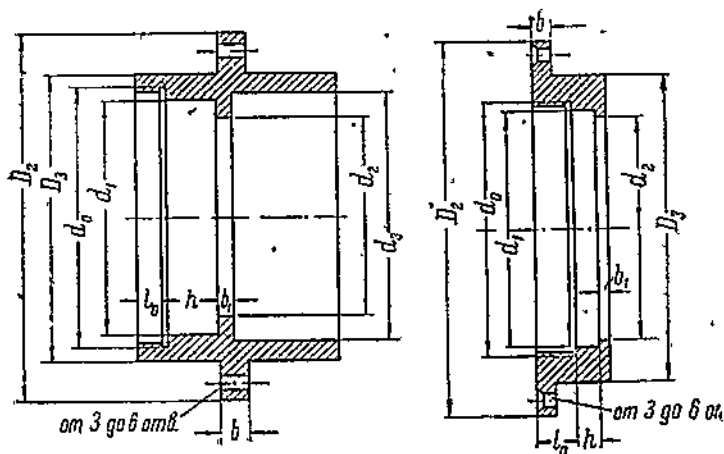


Рис. 89.

D_0 — определяется конструкцией прибора;

D_2 — от $d_0 + 2$ мм до $d_0 + 10$ мм;

l_0 — от $6s$ до $16s$, где s — шаг резьбы при D_0 ;

s_0 — от $6s$ до $10s$, где s — шаг резьбы при d_0 ;

h зависит от толщины линзы по краю; при применении пружинных колец размер h необходимо увеличивать на высоту последних.

Шаг резьбы обычно—0,5 мм или 0,75 мм. Применение мелких шагов даже на больших диаметрах объясняется тем, что стенки оправ желательно делать возможно более тонкими.

Оправы, укрепляемые в приборе на резьбе, должны иметь шлицы (под отвертку) или наружную накатку.

На рис. 90 приведены типы оправ для крепления линз зажимными кольцами с внутренней резьбой. Диаметр d_0 резьбы для навинчивания зажимного кольца следует брать равным $d_1 + 4s$, где s — шаг резьбы. Остальные размеры определяются конструкцией прибора.

Типы колец. Типы зажимных колец приведены на рис. 91. Диаметр резьбы зажимных колец с наружной резьбой обычно берут на 1—2 мм больше диаметра линзы. Внутренний диаметр равняется световому диаметру линзы. Высота колец — от 3 до 6 мм (не менее 4 ниток резьбы).

Кольца с внутренней расточкой на конус применяются главным образом в тех случаях, когда необходимо исключить возможность срезывания светового габарита пучка лучей, когда они устанавливаются в расходящемся ходе лучей системы.

Диаметр резьбы зажимных колец с внутренней резьбой должен быть больше диаметра линзы на 2,5—4 мм. Наружный диа-

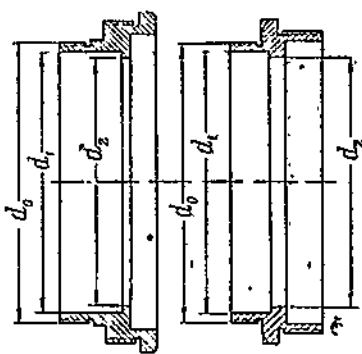


Рис. 90.

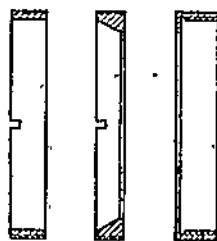


Рис. 91.

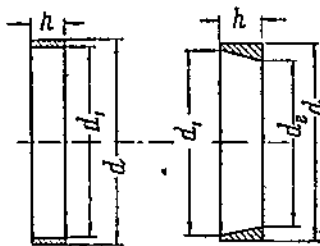


Рис. 92.

метр их — на 1,5—3 мм больше диаметра резьбы. Толщина упора — 0,5—1,5 мм.

Типы промежуточных колец приведены на рис. 92. Их наружный диаметр d должен равняться полному диаметру линз, а внутренний d_1 — световому. Если световые диаметры линз, между которыми устанавливается промежуточное кольцо, не равны, то следует применять кольца с внутренней расточкой на конус. Высота промежуточных колец h равна алгебраической сумме стрелок прогиба сферических поверхностей линз плюс расстояние между линзами по оси.

Пружинные кольца различной жесткости показаны на рис. 93. Их наружный диаметр равняется диаметру линз; толщина стенки — 1—2 мм. Размеры: $n = 0,8$ —1,0 мм; $m = 1$ —1,5 мм; $h = 5,4$ —9 мм.

Зажимные промежуточные и пружинные кольца обычно изготавливаются из латуни (ЛС 59). В некоторых специальных случаях применяется также сталь (при обязательном покрытии антикоррозийным слоем). Кольца всех типов обязательно должны подвергаться чернению.

3. Крепление электролитическим методом.¹ Электролитический метод применяется исключительно для крепления фронтальных линз микрообъективов большого увеличения, так как обычные способы крепления, в частности задавливание, вследствие конструктивных особенностей таких линз не обеспечивают до-

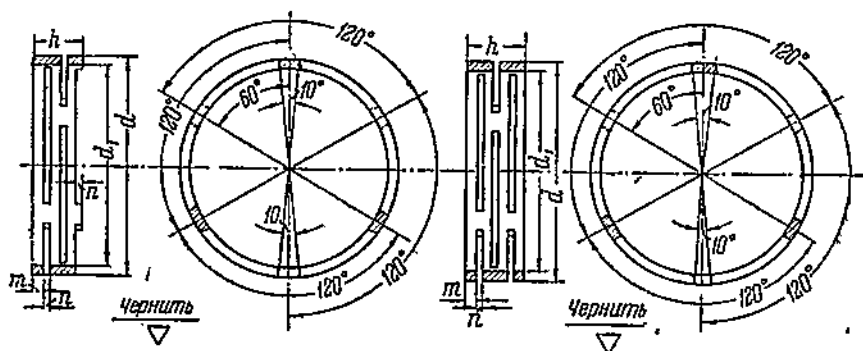


Рис. 93.

статочной надежности соединения. Этот способ крепления в общих чертах состоит в следующем: оправка с установленной в ней линзой погружается в электролитическую ванну; под действием пропускаемого тока на металле оправы осаждается медь, плотно охватывающая линзу. Для того чтобы металл осаждался только вокруг закрепляемой линзы, оправку предварительно покрывают защитным парафиновым слоем, оставляя свободным от него лишь гнездо линзы. Диаметр гнезда под линзу делается на 0,03—0,04 мм больше диаметра линзы; глубина его — 0,1—0,2 мм. Для получения надежного соединения линзы с оправкой вполне достаточен слой осажденной меди толщиной 0,1—0,2 мм.

Электролитический метод крепления фронтальных линз по сравнению с креплениями задавливанием или приклеиванием обладает следующими преимуществами: 1) обеспечивает высокую механическую прочность соединения (при слое металла 0,2 мм линза выдерживает нагрузку до 2,5 кг); 2) не вызывает заметных натяжений в линзе, вредно влияющих на качество изображения; 3) при надлежащем режиме электролиза

¹ Электролитический метод крепления предложен Государственным оптическим институтом в Ленинграде; им же разработан технологический процесс.

обеспечивает полную герметичность соединения, что особенно важно для иммерсионных объективов; 4) не требует высокой квалификации работников.

Центрировка линзы относительно оправы производится за счет дополнительной обточке оправы после закрепления линзы, т. е. оправа центрируется по линзе.

Оптико-механические узлы. Ниже приведены наиболее типичные конструкции различных оптико-механических узлов с круглой оптикой и конструкции креплений с регулировкой при сборке.

1. *Крепление объективов телескопических систем в эксцентриковой оправе.* В биноклярных приборах, например, в биноклях и стереотрубах, такая конструкция крепления объективов дает возможность устранять непараллельность оптических осей обеих труб прибора, т. е. компенсировать ошибки изготовления отдельных деталей и погрешности сборки. В некоторых прицельных приборах эксцентриковые оправы объективов служат для совмещения оптической оси системы с геометрической осью трубы прицела.

На рис. 94 приведены два типа эксцентриковых креплений. Как видно из чертежей, конструкция крепления состоит из эксцентриковой оправы, в которой задавливанием или зажимным кольцом укрепляется объектив, и эксцентриковой втулки, надеваемой на оправу. Поворачивая оправу относительно эксцентриковой втулки и втулку относительно корпуса, можно смещать оптический центр объектива в плоскости, перпендикулярной оси трубы, и тем самым изменять положение оптической оси системы. После юстировки эксцентриковая оправа жестко закрепляется в корпусе прибора зажимным кольцом. Величина эксцентриситета оправы и втулки обычно берется равной 0,5 мм.

2. *Крепление двухлинзового расклеенного объектива телескопической системы с переменным расстоянием между линзами.* Как уже указывалось, линзы в отношении фокусных длин изготавливаются с точностью $\pm 2\%$, поэтому в тех случаях, когда фокусная длина объектива должна точно соответствовать расчету, всегда применяются двухлинзовые объективы с воздушным промежутком. Изменяя расстояние между линзами, можно компен-

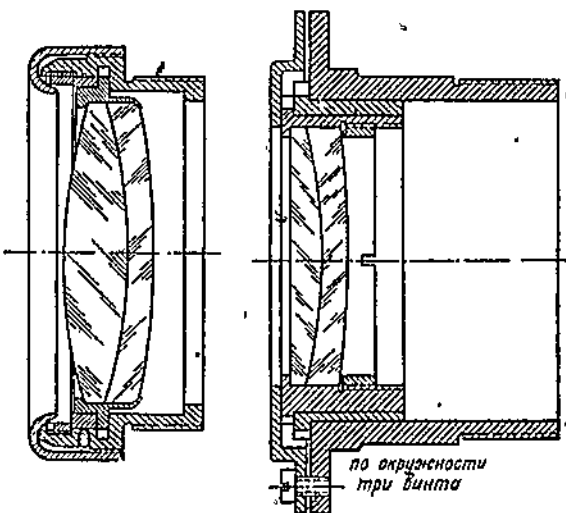


Рис. 94.

сировать ошибки фокусных длин каждой из линз и получать заданную по расчету фокусную длину объектива. Пример крепления двухлинзового объектива с переменным расстоянием между линзами дан на рис. 95. Каждая линза закрепляется в отдельной оправе; между оправами имеется распорное кольцо, навинченное

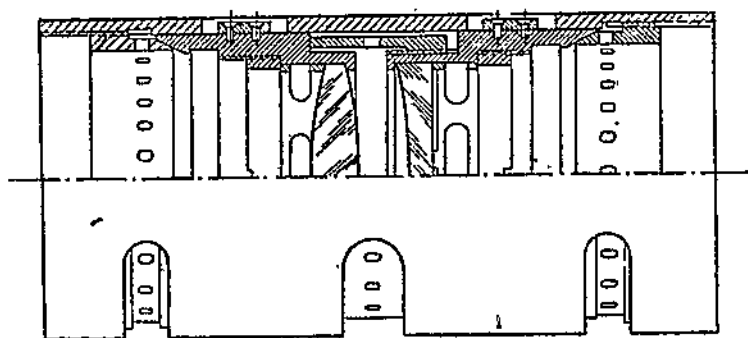


Рис. 95.

на одну из них. Поворачивая распорное кольцо в ту или другую сторону, можно уменьшать или увеличивать расстояние между линзами. Обе оправы укрепляются в корпусе объектива зажимными кольцами с наружной резьбой. Для предохранения

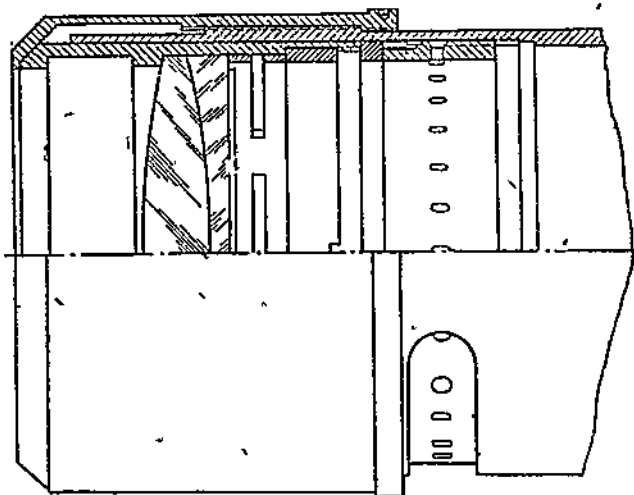


Рис. 96.

оправ линз от проворачивания при юстировке объектива на них крепятся шпонки, входящие в соответствующие прорезы корпуса. Затяжка распорного и зажимных колец производится через прорезы в корпусе; для этой же цели на кольцах имеются отверстия. Приведенная конструкция позволяет в известных пределах

смещать объектив в осевом направлении для совмещения фокальной плоскости с сеткой.

3. Крепление объектива телескопической системы с регулировкой вдоль оптической оси. Такая конструкция изображена на

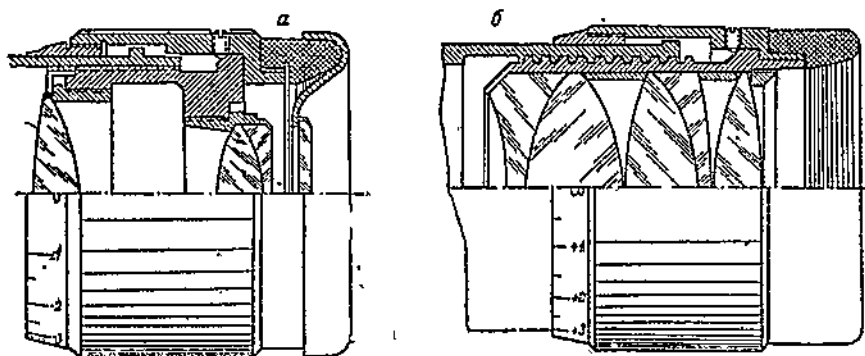


Рис. 97.

рис. 96. Оправа объектива закрепляется в корпусе между наружным и внутренним зажимными кольцами. Принцип юстировки ясен из чертежа.

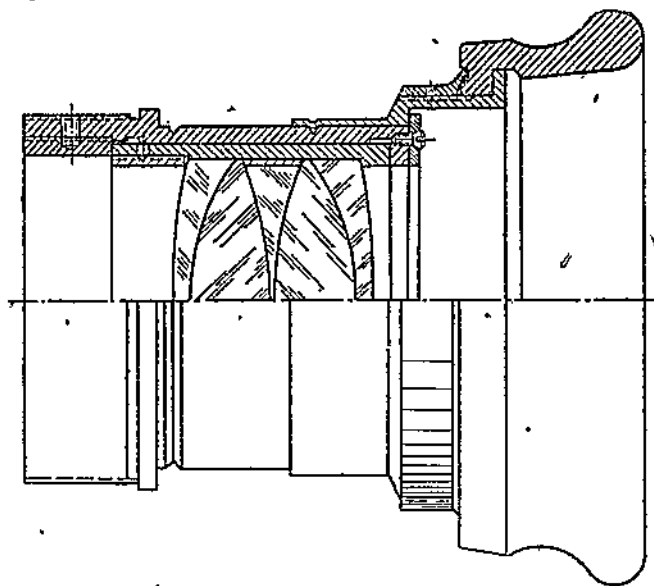


Рис. 98.

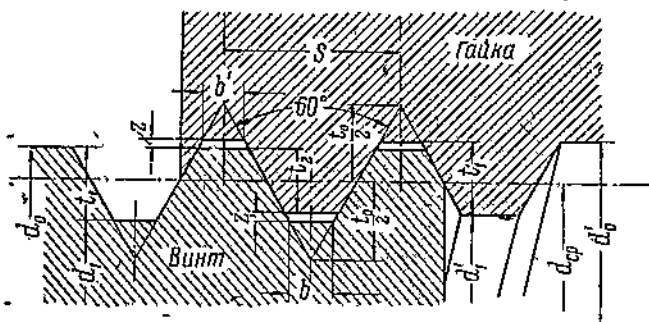
4. Конструкции окуляров телескопических систем с диоптрийной подвижкой. Различные конструкции окуляров изображены на рис. 97¹ и 98. Для установки зрительной трубы на ясное

¹ а — окуляр Кельнера (со сменным светофильтром); б — окуляр Эрфле.

видение для аметропического глаза, т. е. глаза, обладающего близорукостью или дальнозоркостью, фокальная плоскость окуляра должна быть смещена в ту или другую сторону относительно фокальной плоскости объектива. Величина смещения x , соответствующая рефракции глаза N диоптрий, выражается формулой:

$$x = \frac{N f_{\text{ок.}}^2}{1000}. \quad (1)$$

Окуляры обычно рассчитываются на смещение, соответствующее 5—6 диоптриям. Перемещения окуляра относительно фокальной плоскости объектива осуществляются путем свободного винтового соединения корпуса с оправой линз окуляра. Для получения плавного и легкого хода оправы окуляра в кор-



$$\begin{aligned} t_0 &= 0,866s; \quad t_2 = 0,3s; \quad d_{\text{ср.}} = d_0 - t_2; \quad d_1 = d_0 - 2t_1; \\ t_1 &= t_1' = 0,3s + z; \quad z = 0,1; \quad d_0' = d_0 + 2z; \\ d_1 &= d_0 - 2t_2; \quad b = b'. \end{aligned}$$

Рис. 99.

пусе применяется специальная мелкая трапецидальная многоходовая резьба, так называемая *окулярная резьба*.¹

Профиль и соотношение размеров элементов окулярной резьбы приведены на рис. 99.

В табл. 24 даны размеры основных элементов резьбы в зависимости от нормальных шагов.

Основные детали окуляров: 1) оправа линз, имеющая наружную окулярную резьбу; 2) соединительная муфта, жестко связанная стопорным винтом с оправой; 3) наглазник; 4) диоптрийная шкала, укрепленная на резьбе в соединительной муфте.

На шкале нанесены деления и цифры, обычно через 1 диоптрию, а на корпусе окуляра нанесен индекс (в виде прямого штриха). При совмещении нуля шкалы с индексом установка окуляра соответствует нормальному зрению. Для наблюдателя с ненормальным зрением окуляр должен быть установлен на соответствующее ему деление шкалы. Фокусировкой окуляра также пользуются при рассматривании близких предметов.

¹ Данные по нормам ВООМПа.

Таблица 24

Размеры основных элементов окулярной резьбы

Шаг резьбы	s	1	1,5	2
Глубина резьбы	t_1	0,30	0,55	0,70
Рабочая высота витка	t_2	0,30	0,45	0,60
Зазор	z	0,10	0,10	0,10
Ширина впадины	b	0,212	0,375	0,038

Определение числа заходов окулярной резьбы и расчет диоптрийной шкалы. Для ускорения установки и возможности нанесения диоптрийной шкалы угол поворота окуляра при перемещении относительно сетки от одного крайнего положения в другое не должен превышать 360° . Обычно предельный угол поворота β окуляра берут в пределах от 320° до 270° .

Выбрав желательный предельный угол поворота окуляра, число заходов n резьбы находят по формуле:

$$n = \frac{360 N f_{\text{ок.}}^2}{1000 s^2}, \quad (2)$$

где N —число делений диоптрийной шкалы; $f_{\text{ок.}}$ —фокусное расстояние окуляра; β —предельный угол поворота окуляра (желательный); s —шаг резьбы (выбирается по табл. 25 в зависимости от диаметра резьбы d_0).

Рекомендуемые шаги и числа заходов в зависимости от нормального диаметра резьбы d_0 приведены в табл. 25.

Таблица 25

Шаги s и числа заходов n окулярной резьбы в зависимости от диаметра резьбы d_0

d_0	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40	44	46	50
s	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2	2	2
n	2 4 6	2 4 6	2 4 6	2 4 6	2 4 6	4 6 8	4 6 8	4 6 8	4 6 8	4 6 8	4 6 8	6 8 10	6 8 10	6 8 10	8 10 15	8 10 15	8 10 15

Найденное по формуле (2) значение n округляют до ближайшего числа заходов, имеющегося в таблице для данного диаметра резьбы, и, решая формулу (2) относительно β , находят угол поворота окуляра при округленном значении n .

5. Конструкции оправ фотообъективов. На рис. 100 приведены типичные конструкции оправ фотообъективов. На рис. 100а линзы в оправках закреплены зажимными кольцами, а на рис. 100б — задавливанием. В фотообъективах часто применяются ступенчатые оправки для крепления двух линз различных диаметров. Фотообъективы, особенно светосильные и широкоугольные, требуют весьма высокой точности сборки в отношении центрировки линз и точности междулинзовых промежутков. Это обстоятельство следует учитывать при конструировании

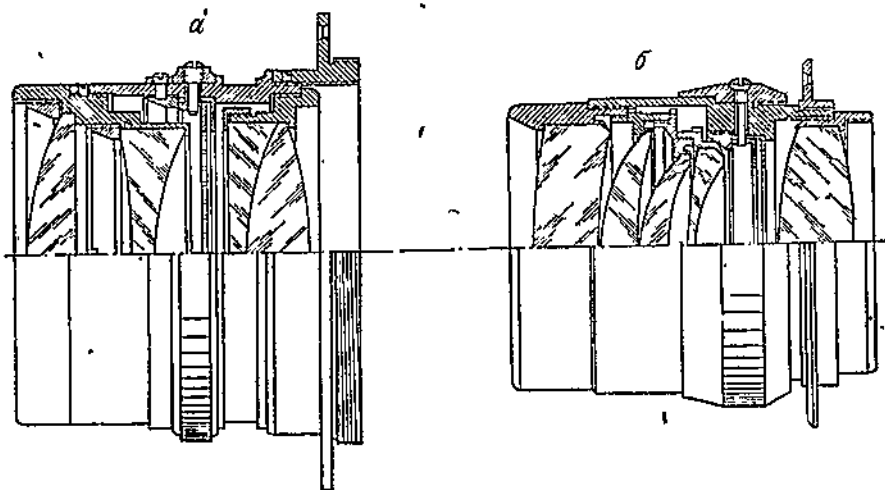


Рис. 100:

оправ: механическая часть объектива должна обеспечивать возможно большую точность сборки.

Так называемые *нормальные* оправы фотообъективов снабжаются ирисовой диафрагмой и фланцем с отверстиями под винты (5—6) или с резьбой. Фланец служит для соединения объектива с фотокамерой. Размеры нормальных оправ окончательно еще не установились. Основные размеры цейссовских нормальных оправ приведены в табл. 26 (размеры в миллиметрах).

Материал оправ — латунь, алюминий и его сплавы. Толщина стенок оправ — от 0,8 до 1,5 мм и только при очень больших диаметрах — до 2 мм.

6. Микрообъективы. В настоящее время применяются две системы крепления оправ микрообъективов: 1) свинчивающиеся системы (рис. 101б) и 2) насыпные системы (рис. 101а). Первая система характеризуется тем, что каждая из оправ линз

Таблица 26

Основные размеры цейссовских нормальных оправ

№ оправ	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Наружный диаметр оправы	19,3	27	32	36,8	41,8	46,9	50,9	56,9	56,9	63,5	69
Длина корпуса оправы	16	16	16	23	23	35	40	35	52	50	60
Диаметр наибольшего отверстия диафрагмы	10	14	20	23	28	30	33	40	40	44	50

навинчивается последовательно одна на другую. Во второй системе крепления оправки вкладываются в стаканчик (корпус)

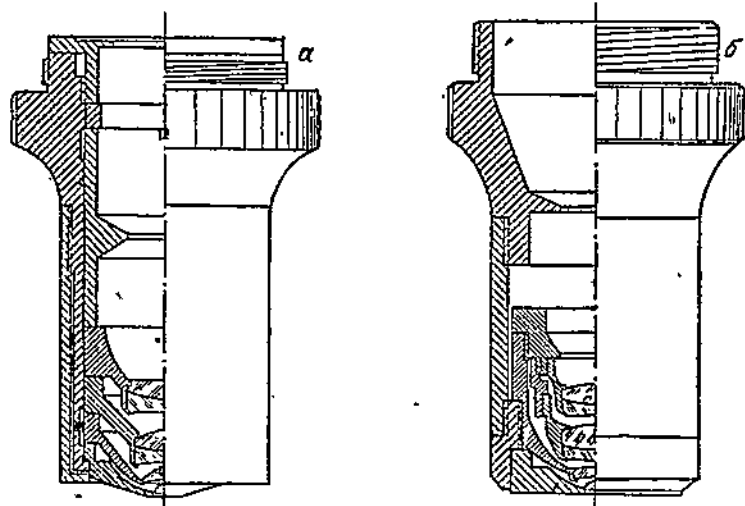


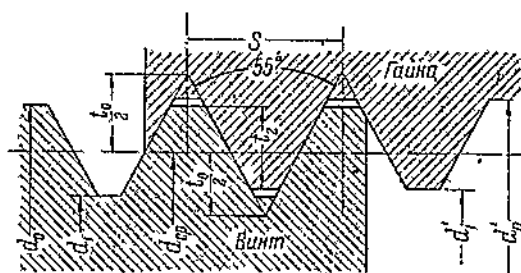
Рис. 101.

объектива и закрепляются общим зажимным кольцом, навинчивающимся сверху.

Для возможности юстировки объектива при насыпной системе крепления оправу второй линзы делают подвижной: она может смещаться в плоскости, перпендикулярной оптической оси. Для этой цели в стаканчике протачивается кольцевая канавка и высверливаются 4 отверстия. Юстировка производится следующим образом: предварительно собранный объектив устанавливают в микроскоп с проверенным окуляром и с помощью специального приспособления оправу второй линзы через отверстия в стаканчике устанавливают в такое положение, при котором разрешающая способность системы получается наи-

большой. Для оценки разрешающей способности объектива на столике микроскопа помещается специальная мира (сетка). После юстировки зажимное кольцо объектива затягивается наглухо, а боковые отверстия заливаются специальной замазкой. По сравнению со свинчивающейся системой крепления насыпная система более проста в изготовлении и сборке.

Все микрообъективы для завинчивания в тубус снабжаются стандартной, так называемой *объективной резьбой*. Диаметр резьбы — 20 мм, шаг — 36 ниток на 1". Эта резьба представляет собой несколько искаженную резьбу Витворта; ее профиль и размеры элементов показаны на рис. 102.



$$d = d_0' = 20,32; d_0 = 20,22; d_1 = 19,37; d_1' = 19,475; \\ d_{cp} = 19,869; s = 0,705; t_2 = 0,372; t_0 = 0,677; n = 36 \\ \text{ниток на 1''}.$$

Рис. 102.

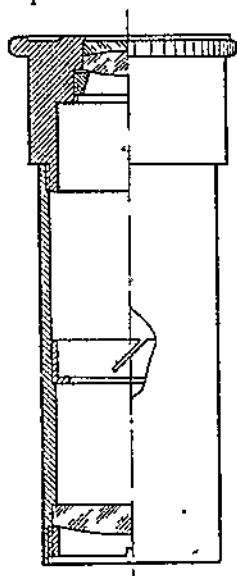


Рис. 103.

Линзы крепятся в оправы обычно задавливанием или гальваническим способом. Последний способ применяется только для фронтальных и менисковых линз при очень малых диаметрах (до 2—5 мм).

На рис. 101 приведены нормальные оправы объективов. Кроме того применяются так называемые укороченные оправы; принципиально они ничем не отличаются от нормальных, различие только в высоте стаканчика.

7. *Окуляры микроскопов.* На рис. 103 изображен окуляр Гюйгенса в нормальной оправе. Конструкция их весьма проста и не требует особых пояснений. В микроскопе они укрепляются путем вдвигания в тубус, а потому наружной резьбы не имеют. Наружный диаметр трубки окуляров — стандартный (23,2 мм).

2. Крепление некруглой оптики

1. *Крепление призм.* Для соединения призм с оправой или корпусом прибора применяются весьма разнообразные способы крепления. Выбор того или иного способа зависит от типа призмы, ее назначения в оптической системе (качающиеся и неподвижные призмы), конструкции и условий эксплуатации прибора, а также от местонахождения призмы в приборе. Любая кон-

струкция крепления должна прежде всего обеспечивать надежность соединения призмы с оправой, так как даже небольшой сдвиг призмы относительно первоначального положения вызывает сильное расстройство оптической системы, выводящее прибор из строя. Для удобства сборки и выверки во многих случаях желательно, чтобы конструкция оправы обеспечивала возможность юстировки призмы в приборе. Юстировка призмы при выверке прибора может производиться или за счет некоторых смещений призмы относительно оправы или за счет смещений оправы вместе с призмой относительно корпуса прибора.

Основные наиболее характерные и распространенные способы, крепления призм можно классифицировать следующим образом:

- 1) крепление шпонкой;
- 2) крепление накладкой;
- 3) крепление планками и угольниками;
- 4) крепление установочными винтами;
- 5) крепление пружиной;
- 6) специальные крепления дахпризм;
- 7) крепление приклеиванием.

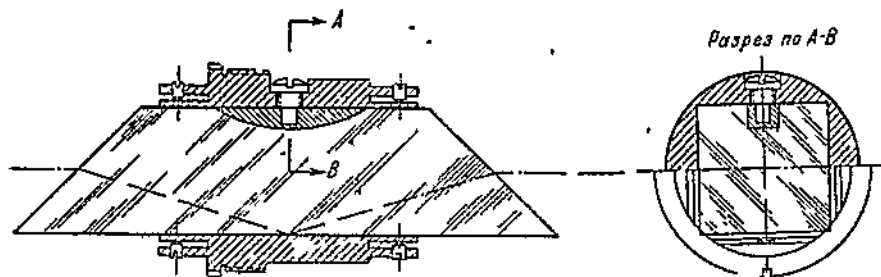


Рис. 104.

а) Крепление шпонкой. Крепление шпонкой почти исключительно употребляется для призм Дове, применяемых в панорамных приборах для компенсации вращения изображения.

Конструкция крепления шпонкой (рис. 104) состоит в следующем. На нерабочей грани призмы фрезеруется паз, куда помещается шпонка, имеющая отверстие. Призма вместе со шпонкой вставляется в оправу с квадратным отверстием и закрепляется в ней винтом с цилиндрическим концом, входящим в отверстие шпонки. Юстировка призмы в оправе производится установочными винтами, находящимися в торцевых сегментах оправы; кроме того для возможности юстировки размеры отверстия оправы делаются на 0,5—1 мм больше размеров сечения призмы. Призма для предохранения от повреждений при сборке обертывается бумагой. При креплении небольших призм со световым диаметром 15—18 мм шлицы в торцевых сегментах не фрезеруются, и юстировка производится непосредственно сгибанием сегментов.

Основные размеры оправ (рис. 105) в зависимости от светового диаметра призмы a следующие: общая высота оправы — $H=2a$; наименьший диаметр — $D=1,5a$; высота сегментов — 6—12 мм; их общий диаметр $d=1,35a$; ширина шлицов — 1—1,5 мм. Глубину t паза под шпонку необходимо брать такой, чтобы не срезывался световой габарит призмы; обычно $t=\frac{1}{4}a$. Ширина паза — $\frac{1}{4}a$.

Шпонка должна свободно входить в паз призмы. Оправа крепится в приборе или на резьбе или зажимным кольцом.

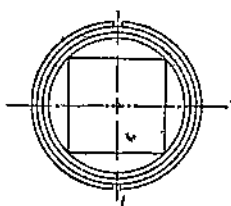
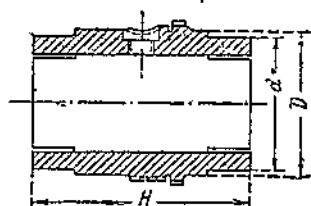


Рис. 105.

Крепление шпонкой вполне применимо и для некоторых других типов призм с одной отражающей гранью, например, для призм $AP - 45^\circ$, $AP - 60^\circ$ и т. д.

б) Крепление накладкой. Этот способ весьма универсален в

той отношении, что посредством его можно крепить любые простые и сложные призмы, ограниченные параллельными нерабочими гранями. На рис. 106 показано крепление прямоугольной призмы. Для устранения возможности сползания призмы на плате по контуру призмы привинчены три установочные планки. С целью предохранения призмы от сильного сжатия при затягивании гаек на колонках между накладкой и призмой следует помещать эластичные прокладки, например, пробковые или целлюлозные. Колонки укрепляются на плате на резьбе. Юстировка призмы производится за счет зазора в отверстиях установочных планок и винтами.

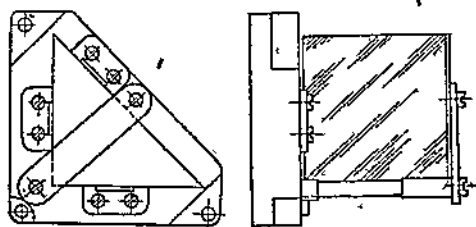


Рис. 106.

На рис. 107 показано аналогичное крепление пентапризмы. Число установочных планок здесь уменьшено до двух за счет усложнения их формы. Призма юстируется на кронштейне на сферическом подпятнике a .

На рис. 108 показано крепление сложной призмы (призмы Солодилова). Плата вместе с призмой укрепляется в корпусе винтами. С помощью накладок можно крепить призмы и непосредственно на стенке корпуса прибора, однако, в этом случае сборка и юстировка несколько затрудняются. Толщина установочных планок — 1—1,5 мм; толщина накладок — 1,5—2 мм. Диаметр колонок — 3—4 мм. Размеры платы определяются конструкцией прибора.

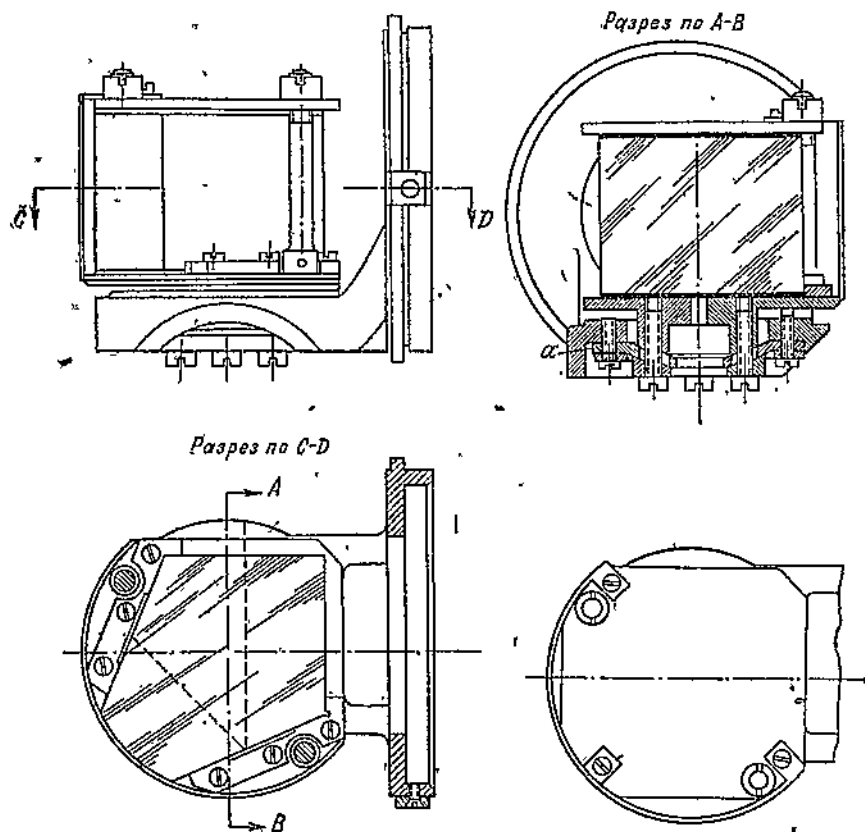


Рис. 107.

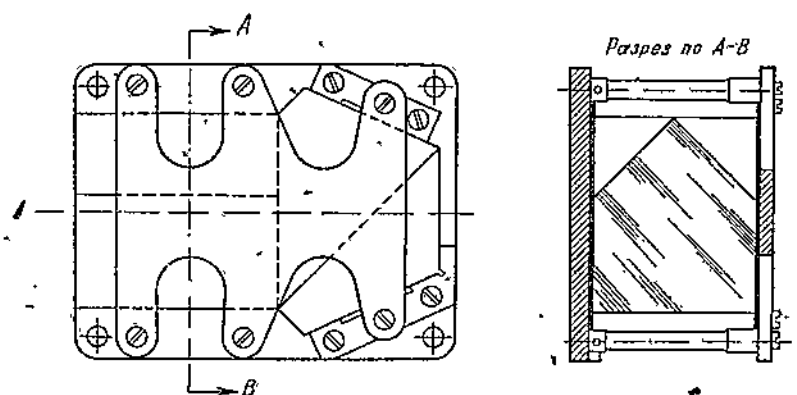


Рис. 108.

в) Крепление планками и угольниками. Этот тип соединения чаще всего применяется в тех случаях, когда желательно закрепить призму в специальной оправе. На рис. 109 приведены примеры крепления прямоугольных призм планками и угольниками и различные конструкции качающихся оправ. Качающиеся оправы обычно имеют довольно сложную конфигурацию, а потому они часто выполняются из отливок. Поворот оправы в корпусе

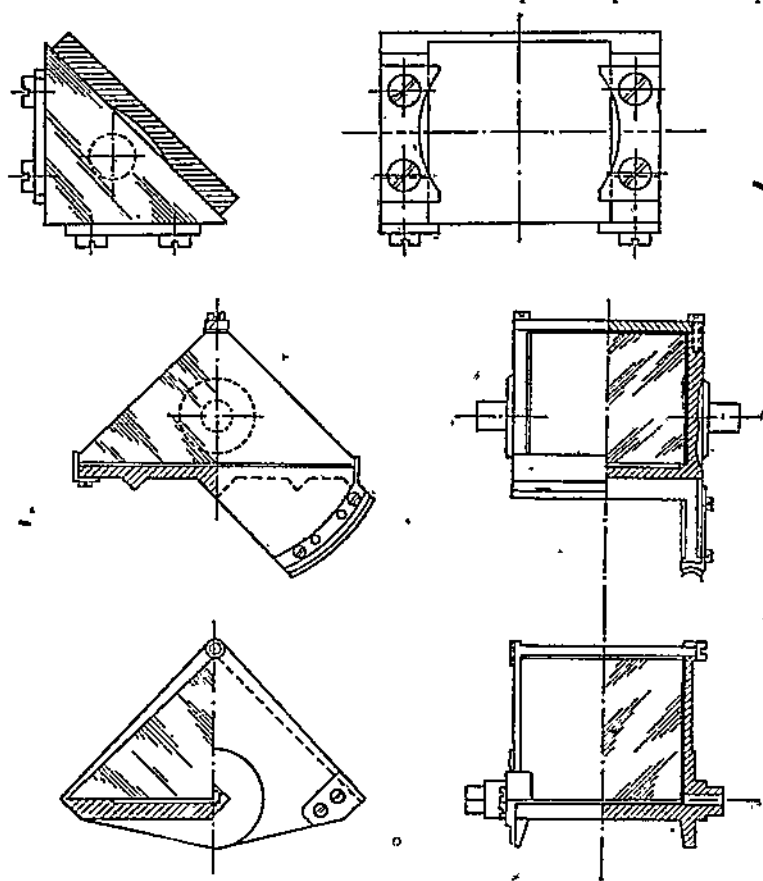


Рис. 109.

прибора осуществляется либо зубчатой передачей либо передачей гибкой связью и т. п., поэтому на ней должны быть предусмотрены места соединения с зубчаткой, роликом или рычагом.

На рис. 110 приведены примеры крепления призм в неподвижных оправках.

Крепление угольниками применяется также и при установке призм на плате. Такие конструкции (рис. 111: а — прямоугольная призма, б — пентапризма) отличаются простотой деталей крепления, однако, обеспечивают недостаточную надежность сое-

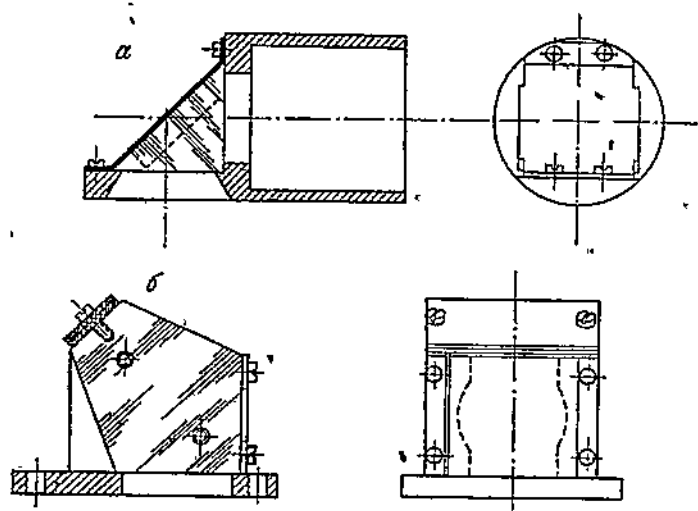


Рис. 110.

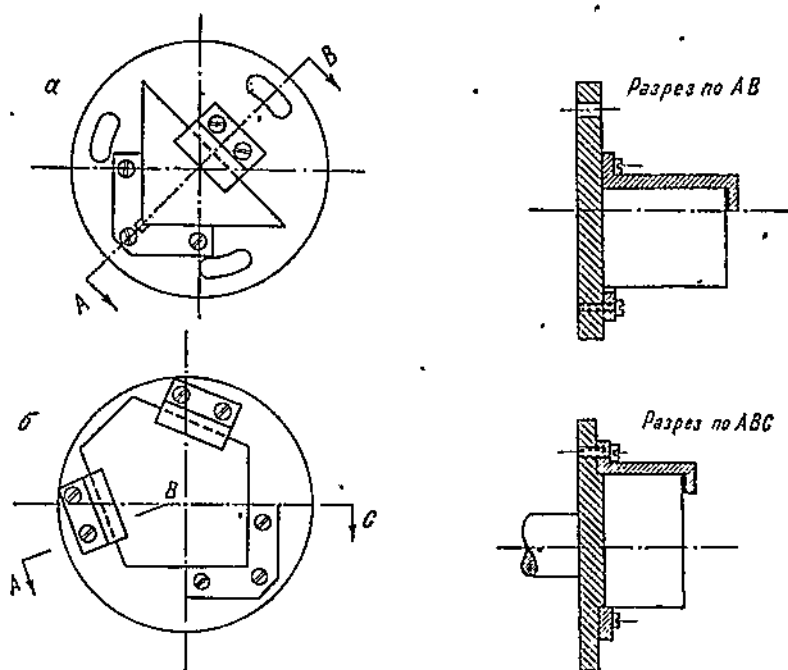


Рис. 111.

динения только при высоте призм не свыше 20—25 мм. На призмах для большей надежности соединения рекомендуется помещать эластичные прокладки толщиной 0,5—1 мм.

На рис. 112 показан пример крепления угольниками призмы со специальной фрезеровкой. Данный способ соединения удобен тем, что при больших габаритах призм детали крепления сравнительно малы и просты по конструкции. Правда, это достигается за счет усложнения призм, так как для них требуется специальная фрезеровка канавок.

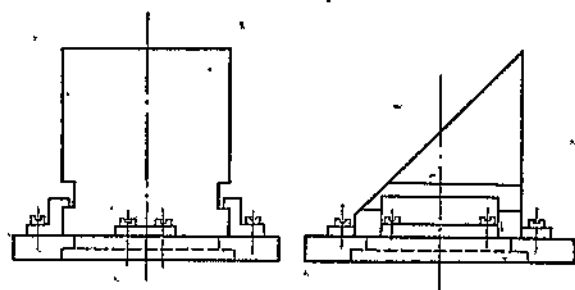


Рис. 112.

Конструкция планок должна обеспечивать возможность вырубki их из листа. Толщина планок 0,5—1,5 мм вполне гарантирует надежность

крепления. Конструкция угольников также должна обеспечивать возможность штамповки. Толщина материала для их изготовления — 1—2 мм; материал — сталь (СТ3) или латунь (Л62).

2.2) Крепление установочными винтами. Применение соединения установочными винтами в некоторых случаях значительно упрощает конструкцию крепления. На рис. 113 приведен пример крепления прямоугольной призмы в качающейся оправе. Шапфы укреплены в оправе на резьбе.

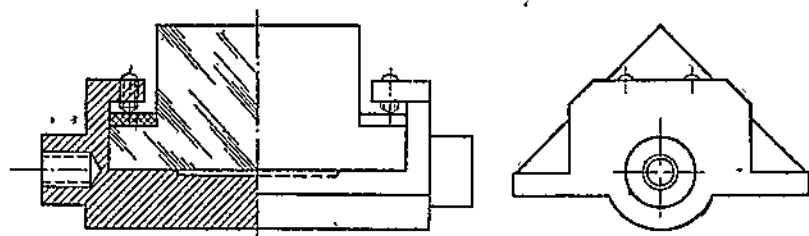


Рис. 113.

На рис. 114 показана конструкция крепления пентапризмы в качающейся рамке. Установочные винты поставлены в рамке. Для предохранения от повреждений при сборке между призмой и винтами помещена металлическая прокладка.

На рис. 115 изображено крепление призмы в штампованной оправе. Для предохранения призмы от повреждений при затяжке установочных винтов необходимо применять металлические прокладки (латунные или алюминиевые) с шейковкой под винты.

д) Крепление пружиной. Крепление пружиной рекомендуется применять как для прямоугольных, так и для прочих призм, если это удобно по конструктивным соображениям. Этот способ обеспечивает надежное соединение оправы с призмой. Благо-

даря упругости соединения при температурных колебаниях в призме не возникают дополнительные внутренние натяжения.

На рис. 116 показана конструкция крепления призмы бинокля. Призма устанавливается в гнезде мостика корпуса и сверху

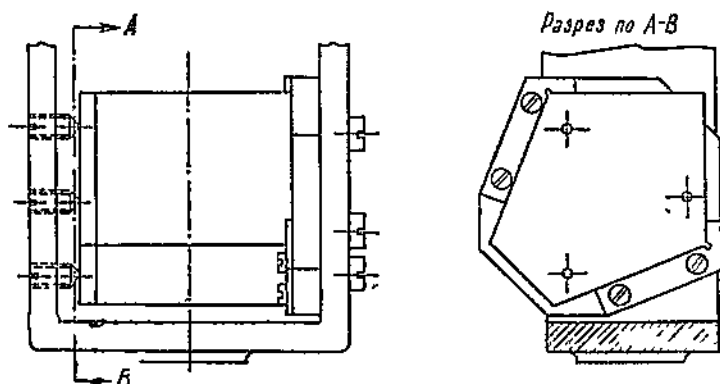


рис. 114.

закрепляется прямой пружиной; концы пружины опираются на соответствующие приливы внутри трубки. Для предохранения от соскакивания на концах пружины делаются просечки.

На рис. 117 показана одна из конструкций крепления головной прямоугольной призмы.

На рис. 118 показано крепление прямоугольной призмы,

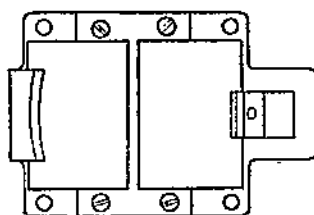


Рис. 115.

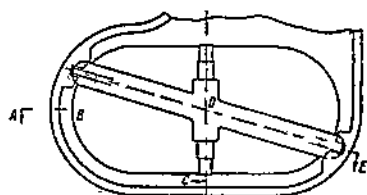
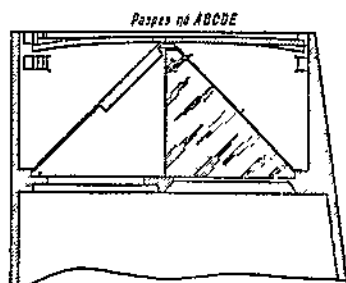


Рис. 116.

применяемое в стереотрубах Цейсса, основанное на заклинивании пружиной двух планок, закрепляющих призму в головке стереотрубы. Для удобства крепления, уменьшения веса и герметичности соединения с головкой призме придается довольно

сложная форма: на входной грани фрезеруется круговая фаска, углы призмы закругляются, а на боковых нерабочих гранях делаются выступы для упора крепежных планок.

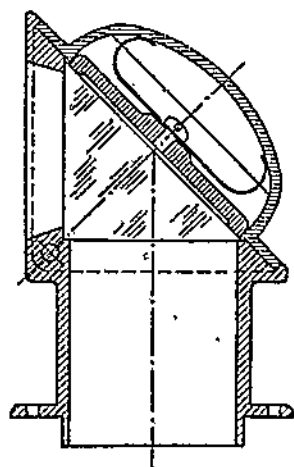


Рис. 117.

На рис. 119 изображено крепление качающейся призмы в барабане. Призма устанавливается на вкладышах—сегментах, привинченных к стенкам барабана. Пружина соединяется с накладкой штифтами, входящими в соответствующий паз накладки. Конструкция пружины показана отдельно на рис. 120. Крепление в барабане можно рекомендовать для призм со световым диаметром не выше 25 мм, так как при больших размерах конструкция получается слишком громоздкой.

На рис. 121 показана очень удобная конструкция крепления качающейся призмы. С помощью винта, на который опирается пружина, можно регулировать давление на призму.

Расчет пружин. Для крепления призм чаще всего применяются листовые пружины, нагруженные по середине и свободно лежащие на двух опорах. Расчет таких пружин производится по формулам:

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{b l^2 R_b}{l}, \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{4} \cdot \frac{l^3 P}{b h^3 E}, \quad (4)$$

или:

$$f = \frac{1}{6} \cdot \frac{l^2 R_b}{h E}, \quad (5)$$

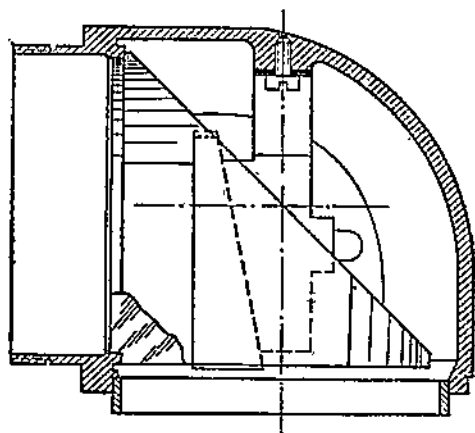
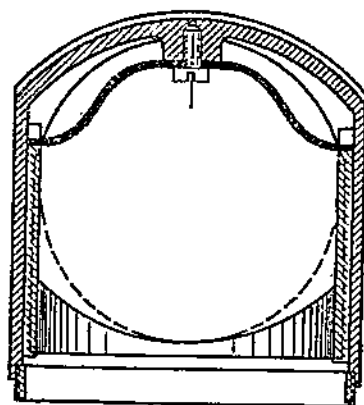


Рис. 118.

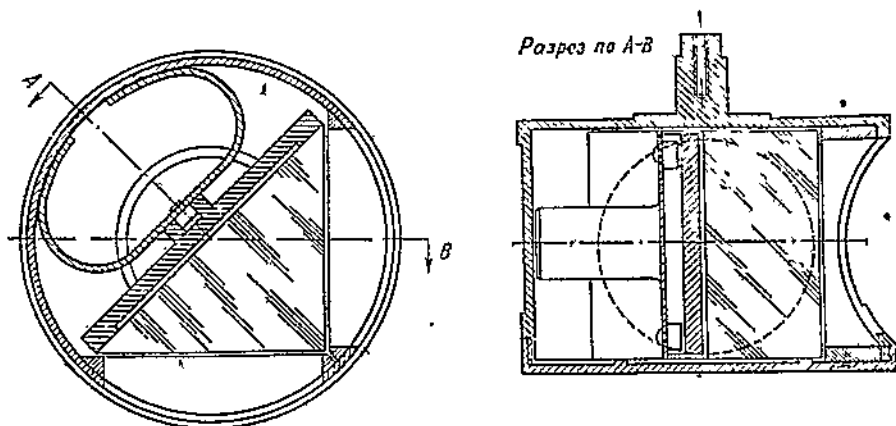


Рис. 119.

где f — прогиб пружины в мм при нагрузке P кг;
 l — расстояние между опорами пружины в мм (для гнутых пружин l — выпрямленная длина в мм);
 b — ширина пружины в мм;
 h — толщина пружины в мм;
 R_b — предельное допустимое напряжение материала на изгиб в кг/мм²;

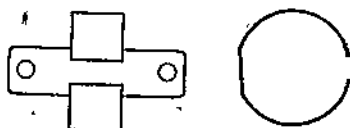


Рис. 120.

E — модуль упругости в кг/мм².

Для пружинной стали $E = 20\,000$ кг/мм², R_b — не выше 40 кг/мм².

В полевых приборах, подвергающихся тряске или толчкам, достаточная надежность крепления призм собственного веса не выше 200—300 г обеспечивается давлением пружины в 3—4 кг; для лабораторных и стационарных приборов нагрузка на призму может быть уменьшена до 1,5—2 кг.

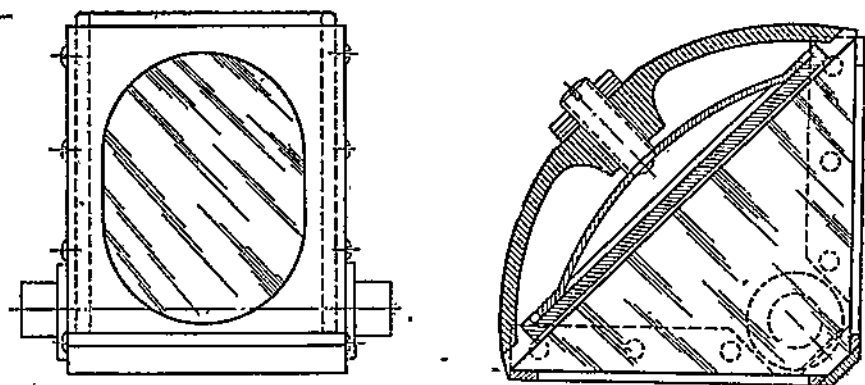


Рис. 121.

Обычно длина пружины l и желательный прогиб ее в собранном состоянии определяются конструктивными соображениями, поэтому по формулам (4) и (5) находят только h и b . Пружины соединяются с накладками винтами или заклепками; диаметр отверстий в пружине должен быть не больше $0,3 b$.

е) *Специальные крепления дахпризм.* Выбор типа крепления дахпризмы определяется главным образом конструкцией корпуса. На рис. 122 приведен пример крепления дахпризмы в специальном призмодержателе. Подобные конструкции рекомендуется применять при креплении в трубах с не срезанным коленом. Призма юстируется установочными кольцами, затяжка призмы производится двумя установочными винтами (снизу) через глухую шайбу.

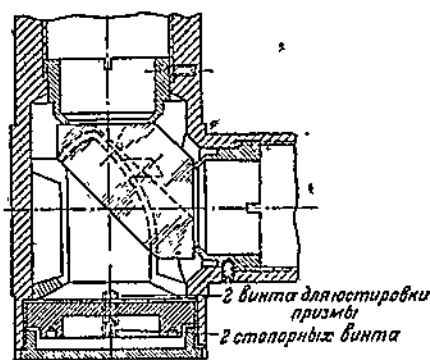


Рис. 122.

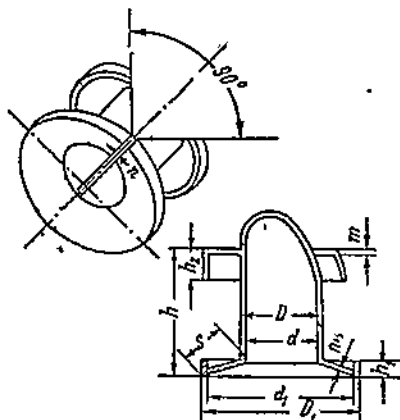


Рис. 123.

В приборах, подвергающихся сильной тряске, установочные винты законтриваются дополнительными короткими винтами, которые входят в те же отверстия.

На рис. 123 призмодержатель показан отдельно. Для придания призмодержателям некоторой пружинности на них фрезеруется глубокий прорез шириной $1,5-2$ мм.

Размеры призмодержателей в зависимости от светового диаметра d призмы приведены в табл. 27.

Таблица 27

Размеры призмодержателей в зависимости от светового диаметра d

d мм	D	D_1	h	h_1 мм	h_2 мм	s мм	m мм	n мм
до 18	$d+2$	$1,8 d$	$1,6 d$	$\frac{1}{4}$	6	4	1,5	1,5
свыше 18 до 30	$d+3$	$2,2 d$	$1,8 d$	5	8	15	2	2
" 30 " 40	$d+4$	$2,4 d$	$1,8 d$	6	10	20	2	2

Примечание. Внутренний диаметр призмодержателя брать в пределах от a до $a-6$ мм.

На рис. 124 и 125 приведены примеры крепления дахпризмы кольцевой пружиной в трубе со срезанным коленом. Затяжка призмы в конструкции, показанной на рис. 124, производится установочными кольцами. При способе крепления по рис. 125 призма приклеивается к направляющей шпонке и легко юстируется в приборе установочными винтами с цилиндрическим концом.

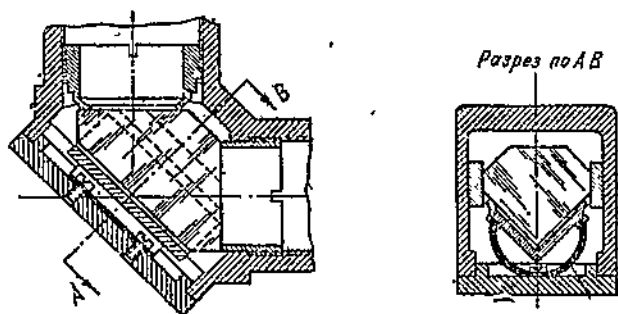


Рис. 124.

На рис. 126 приведен пример крепления дахпризмы в оправе. Юстировка призмы в приборе производится установочными винтами, находящимися в верхней крышке оправы.

Для предохранения граней крышки от повреждений между призмой и пружиной в некоторых случаях помещается промежуточная деталь — угольник, на который опираются концы пружины.

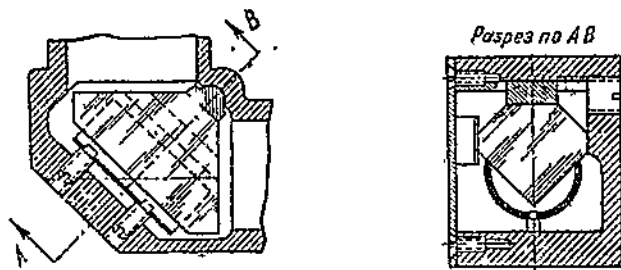


Рис. 125.

Угольники рекомендуется применять в тех случаях, когда требуется жесткая затяжка призмы, т. е. в приборах, подвергающихся тряске. Если дахпризма крепится непосредственно пружиной, то края последней должны быть закруглены.

ж) Крепление приклеиванием. Крепление путем приклеивания к оправе можно рекомендовать для призм небольших размеров. При достаточно высоких качествах склеивающей массы этот способ крепления обеспечивает вполне надежное соединение призмы с оправой. Следует также отметить, что в случае склейки конструкция соединения значительно упрощается, так как отпадает необходимость применения специальных крепежных деталей.

На рис. 127 показана прямоугольная призма, приклеенная отражающей гранью к оправе *a* [1—призма; 2—державка; 3—шаровая шайба; 4—гайки (2шт.); 5—юстировочные винты (3 шт.); 6—винт]. В этом случае отражающая грань призмы должна быть предварительно посеребрена.

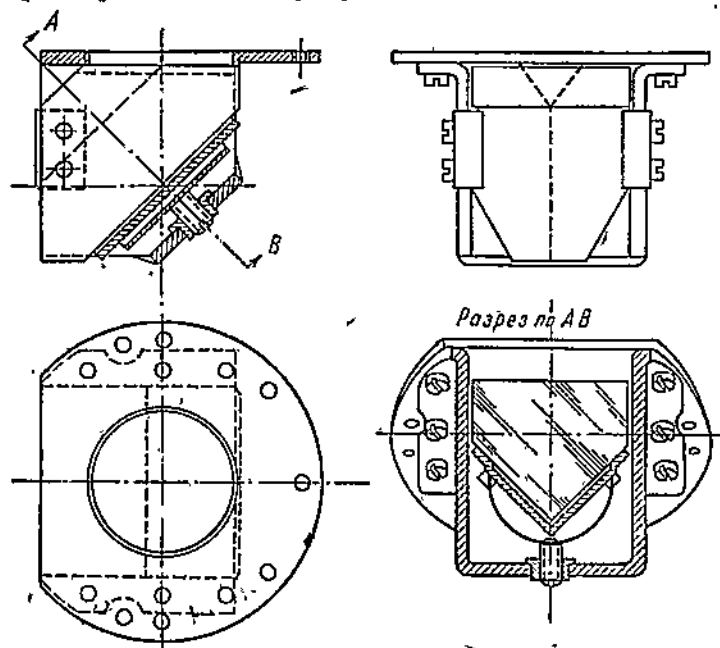


Рис. 126.

В приборах, подвергающихся сильной тряске а также в дальномерах для устранения возможности смещения призмы в оправе иногда применяется заливка цементной массой. Для этой цели на нерабочих гранях призмы и в оправе фрезе-

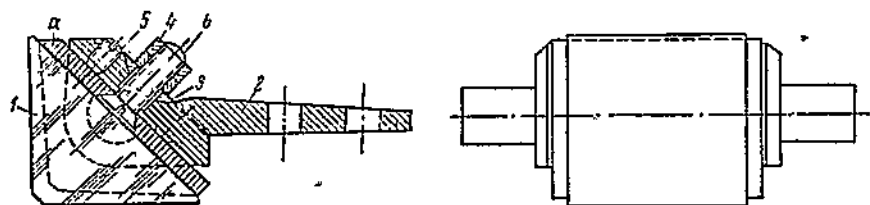


Рис. 127.

руются пазы, куда и заливается цементный раствор. Заливка призмы в оправе производится после юстировки.

2. Крепление некруглых защитных стекол. Защитные стекла оптических систем и сеток ночного освещения крепятся непосредственно в корпусе прибора, для чего в последнем фрезе-

руется паз, куда, как задвижка, вдвигается стекло. После установки оно закрепляется планкой, боковые грани которой также скошены под углом 60° .

На рис. 128 показано крепление защитного стекла сетки ночного освещения.

При фрезеровании острый угол паза получается закругленным (радиус закругления — примерно $0,5\text{ мм}$), поэтому, для того чтобы стекло можно было вставить в корпус, на ребре угла в 60° необходимо снимать фаску шириной не меньше $0,8\text{ мм}$ (нормально биссектрисе угла). Для придания соединению герметичности защитные стекла всегда ставятся на замазке, для чего между стеклом и корпусом должен быть некоторый гарантированный зазор ($0,1\text{—}0,2\text{ мм}$).

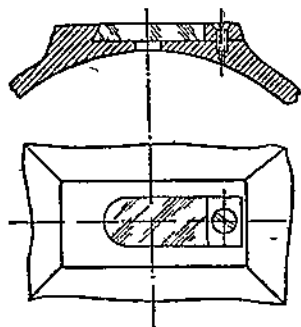


Рис. 128.

Глава III

НАГЛАЗНИКИ, НАЛОБНИКИ, ДИАФРАГМЫ И БЛЕНДЫ

1. Наглазники

В оптических приборах наглазником называется специальная деталь окуляра, облегчающая совмещение зрачка выхода оптической системы со зрачком глаза наблюдателя. Одновременно наглазник служит для защиты глаза от посторонних лучей, а также для защиты от дождя и ветра, сильно мешающих наблюдению в полевой обстановке.

В приборах, подвергающихся толчкам при отдаче, например, в прицелах, непосредственно укрепленных на пулеметах или пушках, наглазник должен кроме того предохранять глаз наблюдателя от ударов.

Наглазники делятся на две основные группы: 1) жесткие и 2) мягкие.

1. Жесткие наглазники. Жесткие наглазники применяются в различных лабораторных и астрономических приборах, в театральных и полевых биноклях, в геодезических инструментах и т. д., т. е. в приборах, не испытывающих толчков.

Материалом для наглазников этого типа обычно служат эбонит или пластмассы. Эбонитовые наглазники целесообразно применять для приборов, выпускаемых мелкими сериями, а также для опытных образцов. Пластмассы следует применять для наглазников, изготавливаемых крупными партиями.

Жесткие наглазники укрепляются на окулярной трубке на резьбе. Шаг резьбы на эбоните или пластмассе следует брать не меньше $0,75\text{ мм}$.

В наглазниках из пластмасс иногда запрессовываются металлические (обычно латунные) кольца с внутренней резьбой, благо-

даря чему исключается необходимость выполнения резьбы непосредственно на пластмассе (рис. 129).

Различные конструкции жестких наглазников приведены на рис. 130.

В табл. 28 даны их размеры (по нормам ВООМПа).

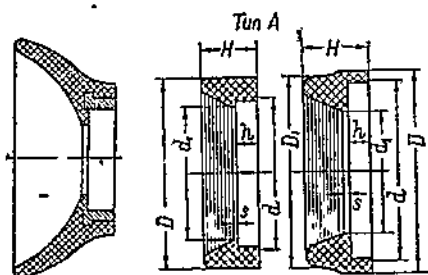


Рис. 129.

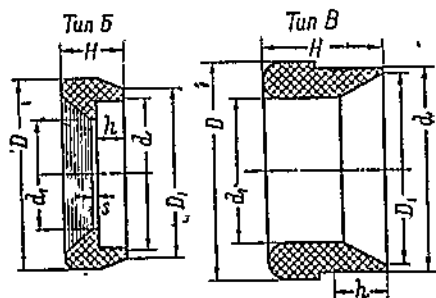


Рис. 130.

Таблица 28

Размеры жестких наглазников

Тип	d	d_1	D	D_1	H	h	s	r
А	М 27 × 0,75	24	34	—	9	3,5	0,5	1,5
	М 30 × 0,75	24	34	—	10	4	0,5	1,5
	М 32 × 0,75	22	34	36	12	4	1,0	1,5
Б	М 16 × 0,75	12	25	18	8	4	0,5	2,0
	М 18 × 0,75	14	26	20	8	4	0,5	2,0
	М 24 × 0,75	18	32	27	10	5	1,0	2,0
	М 27 × 0,75	20	34	30	11	5	1,0	2,0
В	М 36 × 0,75	27	38	—	16 21 26	9	—	2,75

Если прибор предназначен для наблюдений без противогаза, то зрачок выхода оптической системы должен совпадать с плоскостью наружного среза наглазника; в тех же случаях, когда прибор предназначен для наблюдений в противогазе, его необходимо выносить за плоскость среза на 5—6 мм.

2. Мягкие наглазники. Мягкие наглазники предназначены исключительно для приборов, подвергающихся вибрации или толчкам. Кроме того мягкие наглазники часто применяются в морских биноклях, дальномерах, в различных авиационных приборах и пр., так как по сравнению с жесткими они значительно лучше защищают глаз наблюдателя от ветра и дождя.

Мягкие наглазники изготавливаются из обыкновенной или губчатой резины и укрепляются на трубке окуляра специальным зажимным кольцом.

На рис. 131 показан наиболее мягкий наглазник, часто применяемый в приборах, подвергающихся сильной тряске. В различных наблюдательных приборах применяются наглазники, приведенные на рис. 132. Менее эластичный наглазник (рис. 133), обычно изготавливаемый из губчатой резины, применяется в тех случаях, когда необходимо точно фиксировать положение зрачка глаза относительно зрачка выхода оптической системы. На

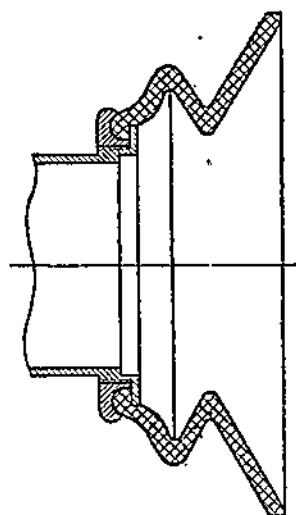


Рис. 131.

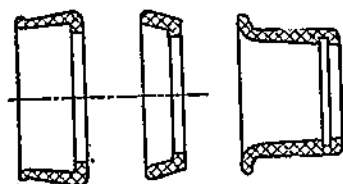


Рис. 132.

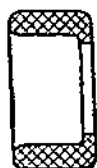


Рис. 133.



Рис. 134.

рис. 134 изображен несимметричный наглазник; наилучшим образом защищающий глаз наблюдателя от воздействия ветра и дождя; он применяется в стереодальномерах, и различных морских приборах.

2. Налобники

В стереодальномерах, кроме наглазников, применяется особая деталь — налобник, представляющая собой щиток из губчатой резины, оклеенный снаружи кожей. Налобник помещается на трубе дальномера над окулярами, благодаря чему создаются наиболее удобные условия для работы дальномерщика. В особенности налобник необходим в тех случаях, когда дальномер одновременно является и высотомером, т. е. когда его труба вращается вокруг своей оси.

Укрепляется налобник планками и винтами. Нормальный налобник показан на рис. 135. Там же указаны его основные размеры.

3. Диафрагмы

В широком смысле слова под термином диафрагма понимается всякое ограничение пучка лучей, проходящего через оптическую систему прибора; так, например, диафрагмой может служить световой диаметр оправы или линзы. В более узком смысле слова диафрагмами называются детали или устройства, специально предназначенные для ограничения пучка лучей, проходящего через оптическую систему.

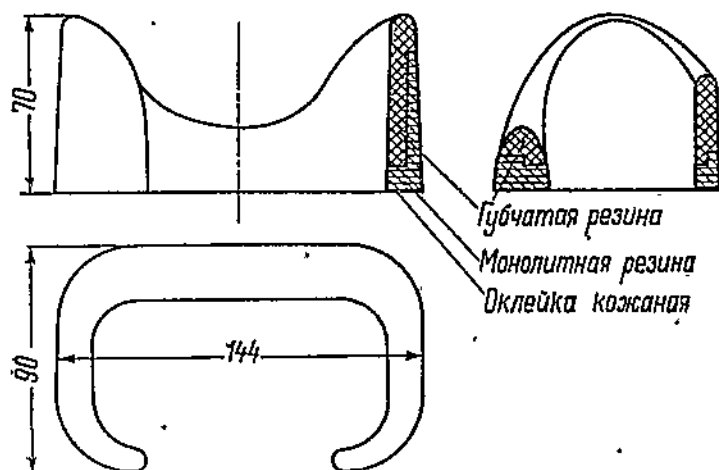


Рис. 135.

По форме отверстия диафрагмы делятся на: 1) диафрагмы с *круглым отверстием* и 2) диафрагмы с *некруглым отверстием*. Из последней группы чаще всего применяются щелевые диафрагмы.

1. **Диафрагмы с круглым отверстием.** Простейший тип такой диафрагмы показан на рис. 136. На ее цилиндрической части прорезаются три наклонные шлица, что придает ей упругость в радиальном направлении. Такие диафрагмы держатся в трубке или корпусе прибора исключительно на трении и не требуют каких-либо дополнительных крепежных деталей. Пример установки диафрагмы в трубке окуляра приведен на рис. 103.

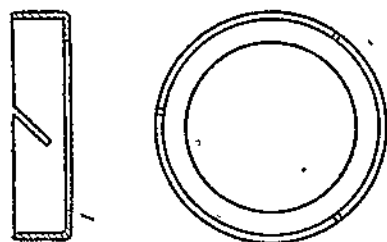


Рис. 136.

Однако, во многих случаях, главным образом в фотографии и микроскопии, необходимо в известных пределах изменять диаметр светового пучка, проходящего через оптическую систему. Для этой цели применяются диафрагмы с переменным световым диаметром.

Простейшим типом такой диафрагмы является *револьверная диафрагма*, представляющая собой диск с 5—6 отверстиями различных диаметров. Повернув диск, можно вводить в оптическую систему отверстие нужной величины. Вследствие ряда недостатков (большой габарит, плохая центровка отверстий) револьверные диафрагмы в настоящее время почти не применяются, их можно встретить только в наиболее простых и дешевых приборах, например, в школьных микроскопах.

Некоторые иностранные фирмы в недорогих микроскопах применяют так называемые *цилиндрические диафрагмы* (рис. 137), состоящие из цилиндрической турбки и верхней вставной насадки, имеющей отверстие (собственно диафрагма). Цейсс снабжает цилиндрическую диафрагму тремя сменными насадками с отверстиями 1, 3 и 6 мм. По сравнению с револьверными цилиндрические диафрагмы обеспечивают лучшую центровку отверстия в гильзе осветительной системы микроскопа. Основным их недостаток — наличие сменных частей.

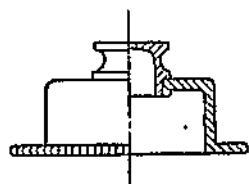


Рис. 137.

Несколько сложнее, но зато значительно удобнее *ирисовые диафрагмы*. По сравнению с револьверными диафрагмами они обладают следующими преимуществами: 1) обеспечивается возможность непрерывного изменения светового диаметра; 2) значительно меньшие размеры; 3) центровка светового отверстия относительно оси оптической системы при изменении диаметра остается неизменной.

Ирисовая диафрагма (рис. 138) состоит из ряда тонких серпообразных пластинок (лепестков) со штифтами на концах. Один из штифтов каждого лепестка входит в соответствующее отверстие общей неподвижной кольцевой оправы, другой — в соответствующий радиальный шлиц подвижного кольца (коронки). При повороте коронки все лепестки одновременно поворачиваются в оправе, плавно изменяя диаметр отверстия диафрагмы.¹ Для возможности осуществления вращения коронка снабжается рычажком; в диафрагмах фотообъективов для этой цели применяется наружное ведущее кольцо, соединенное с коронкой винтом.

Расчет ирисовой диафрагмы. Исходными данными для расчета являются диаметры наибольшего и наименьшего световых отверстий диафрагмы ($2r_n$ и $2r_m$), а также предельная наибольшая толщина ее по оси; так, например, толщина диафрагмы фотообъектива ограничивается расстоянием между линзами, где диафрагма должна быть помещена, причем это расстояние обычно очень мало.

Расчет диафрагмы сводится к определению: внутреннего и наружного радиусов кривизны лепестка r_m и r_n , его тол-

¹ Строго говоря, отверстие ирисовой диафрагмы представляет собой не круг, а правильный многоугольник, образованный рядом дуг равного радиуса. Отверстие становится круглым только при полном раскрытии диафрагмы.

щины t , радиуса окружности расположения штифтов r , углового расстояния между штифтами лепестка γ и минимального числа лепестков. Кроме того для многих диафрагм необходимо рассчитывать шкалу углов поворота коронки (ведущего кольца).

Внутренние радиусы лепестков ограничивают световое отверстие диафрагмы при любом ее раскрытии, т. е. и при наибольшем раскрытии ($2r_n$), отсюда следует, что:

$$r_m = r_n, \quad (1)$$

т. е. внутренний радиус лепестка равняется радиусу наибольшего светового отверстия диафрагмы.

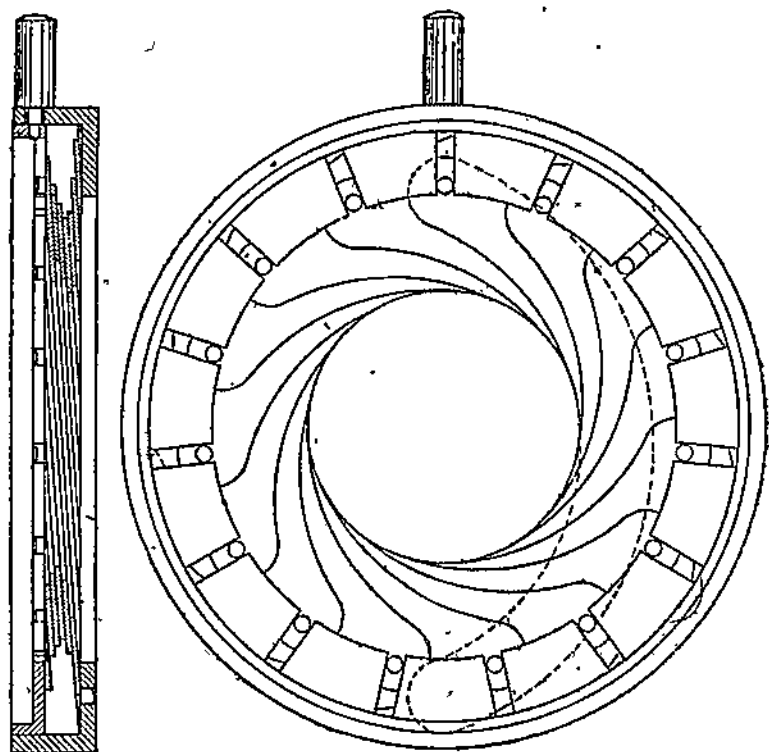


Рис. 138.

Из рис. 139а очевидно, что расстояние между штифтами лепестка $O_1O_2 \geq r + r_m$, где r — радиус окружности, на которой расположены штифты (если указанное условие не будет выполнено, то при некотором угле поворота коронки штифт лепестка выйдет из зацепления с последней).

Радиус окружности расположения штифтов определяется из прямоугольного треугольника O_1OB :

$$r^2 = \left(\frac{r + r_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{r_m - r_m}{2}\right)^2,$$

откуда:

$$r = \frac{1}{3}[r_m + \sqrt{7r_m^2 - 3\rho_m(2r_m - \rho_m)}]. \quad (2)$$

Наружный радиус r_n лепестка, вообще говоря, произволен; наиболее простое очертание лепестка получается при:

$$r_n = 2r - r_m. \quad (3)$$

Угол γ между штифтами лепестка определяется из треугольника $O_1O_2'O'$:

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \frac{r + r_m}{2r}. \quad (4)$$

Радиус r_1 закругления концов лепестка равняется:

$$r_1 = r - r_m. \quad (5)$$

Диаметр штифтов — 1 — 1,5 мм. Штифты расклепываются в отверстиях лепестка, и расклепанная часть зачищается заподлицо.

Для устранения возможности выхода лепестка из зацепления с коронкой (вследствие погрешностей сборки диафрагмы) отверстие под ведомый штифт рекомендуется смещать на 0,5—1 мм относительно окружности радиуса r , как это показано на рис. 140а. Минимальное число лепестков определяют, исходя из наименьшего допустимого перекрытия одного лепестка другим при наибольшем закрытии диафрагмы (в таком положении перекрытие будет наименьшим).

Из рис. 139б имеем: из треугольника AOO' :

$$\cos \beta_2 = \frac{r_m - \rho_m}{2r_m}, \quad (6)$$

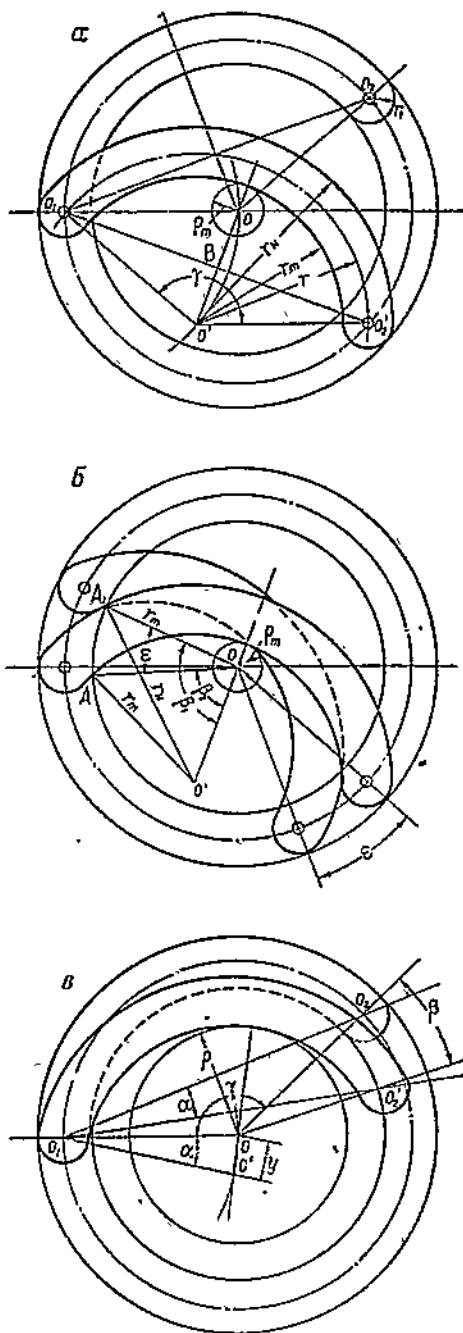


Рис. 139.

из треугольника A_1OO' :

$$\cos \beta_1 = \frac{r_m^2 + (r_m - \rho_m)^2 - r_n^2}{2r_m(r_m - \rho_m)},$$

при $r_n = 2r - r_m$:

$$\cos \beta_1 = \cos \beta_2 - \frac{2r(r - r_m)}{r_m(r_m - \rho_m)}. \quad (7)$$

Из (6) и (7) находим:

$$\varepsilon = \beta_1 - \beta_2.$$

Минимальное число лепестков определяется по формуле:

$$n = \frac{360}{\varepsilon}. \quad (8)$$

Полученное из формулы (8) значение n округляют (в сторону увеличения) до ближайшего целого числа.

Найденное по формуле (8) число лепестков обеспечивает отсутствие просветов между лепестками по краю диафрагмы при любом угле поворота коронки.

Толщина T диафрагмы (без учета толщины коронки и оправы) определяется по формуле:

$$T = t \cdot \frac{\pi \gamma}{360}, \quad (9)$$

где t — толщина лепестка (обычно толщина лепестков — 0,1—0,05 мм).

Во многих случаях требуется давать диаметру светового отверстия

рисовой диафрагмы ряд вполне определенных значений. Для этой цели на ведущем кольце, соединенном с коронкой, наносится шкала, каждое деление которой соответствует вполне определенному диаметру светового отверстия диафрагмы.

Связь между радиусом светового отверстия ρ диафрагмы и углом поворота лепестка вокруг оси O_1 определяется из треугольника O_1OO' (рис. 139 в):

$$y = 2r \sin \frac{\alpha}{2},$$

где α — угол поворота лепестка; далее:

$$\rho = r_m - y = r_m - 2r \sin \frac{\alpha}{2},$$

откуда находим:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{r_m - \rho}{2r}. \quad (10)$$

Угол поворота коронки β можно приближенно считать равным двойному углу поворота лепестков, т. е.:

$$\beta = 2\alpha. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), имеем:

$$\sin \frac{\beta}{4} = \frac{r_m - r}{2r}. \quad (12)$$

Формула (12) дает возможность рассчитывать шкалу ведущего кольца по ряду заданных световых диаметров диафрагмы. При более точных расчетах шкалы углы поворота коронки, соответствующие заданным радиусам светового диаметра диафрагмы, определяются по формуле (из треугольника OO_1A):

$$\operatorname{tg}(\gamma + \beta) = \frac{\cos\left(\frac{\gamma}{2} + \alpha\right)}{\frac{r}{a} - \sin\left(\frac{\gamma}{2} + \alpha\right)}, \quad (13)$$

где γ — угол между штифтами лепестка; α — угол поворота лепестка [определяется по формуле (10)]; a — расстояние между штифтами лепестка ($a = r + r_m$).

Для изготовления лепестков применяются ленточная сталь или латунь. Оправа и коронка обычно изготавливаются из латуни. Для устранения бликов все детали диафрагмы подвергаются чернению.

Пример. Рассчитать ирисовую диафрагму фотографического объектива. $f = 105$ мм; относительное отверстие 1:3,5; шкала диафрагмы должна соответствовать следующему ряду относительных отверстий:¹ 1:3,5; 1:4; 1:5,6; 1:8; 1:11; 1:16; 1:22.

По данному ряду находим наибольший и наименьший радиусы отверстия диафрагмы. По формуле (1) внутренний радиус лепестка: $r_m = r_n = 15$ мм.

Радиус окружности расположения лепестков определяется по формуле (2):

$$r = \frac{1}{3} [15 + \sqrt{7 \cdot 15^2 - 3 \cdot 2,4 (30 - 2,4)}] = 17,4 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр лепестка: $r_n = 2 \cdot 17,4 - 15 = 19,8$ мм [по формуле (3)].

Угол между штифтами лепестка:

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \frac{17,4 + 15}{34,8} = 0,93104,$$

откуда $\gamma = 137^\circ 12'$.

¹ Формула (13) справедлива при условии, что оба штифта лепестка расположены на общей окружности радиуса r .

² Относительным отверстием фотографического объектива называется отношение диаметра действующего отверстия (диаметра диафрагмы) к фокусному расстоянию; отн. отв. = $1 : \frac{f}{2p}$.

Наименьшее число лепестков находится по формулам (6) (7) и (8):

$$\cos \beta_2 = \frac{15-2,4}{2 \cdot 15} = 0,42 \text{ и } \beta_2 = 65^\circ 10';$$

$$\cos \beta_1 = \frac{(15-2,4)^2 - 4 \cdot 17,4 \cdot 2,4}{2 \cdot 15 (15-2,4)} = -0,02190 \text{ и } \beta_1 = 91^\circ 15';$$

$$\epsilon = 91^\circ 15' - 65^\circ 10' = 26,1^\circ;$$

$$n = \frac{360}{26,1} = 13,8,$$

откуда окончательно число лепестков: $n = 14$.
Данные расчета шкалы сведены в табл. 29.

Таблица 29

Данные расчета ирисовой диафрагмы фотообъектива

Относительное отверстие объектива	Диаметр отверстия диафрагмы $2r$	Углы поворота ведущего кольца		Погрешность шкалы при вычислении по формуле (12)	Погрешность, отнонесенная к световому диаметру диафрагмы %
		по формуле (12)	по формуле (13)		
1:3,5	30	0° 0'	0° 0'	—	—
1:4	26,2	11° 26'	12° 32'	1° 6'	+ 1,4
1:5,6	18,8	36° 35'	37° 2'	0° 27'	+ 0,8
1:8	13,2	56° 48'	55° 52'	— 0° 56'	— 2,2
1:11	9,6	69° 94'	68° 10'	— 1° 14'	— 3,7
1:16	6,6	79° 91'	78° 36'	— 0° 45'	— 3,3
1:22	4,8	84° 59'	84° 42'	— 0° 17'	— 1,8

Довольно часто в ирисовых диафрагмах применяются лепестки (рис. 140б), у которых ведомый штифт заменен отогнутой кромкой (высота кромки—0,8—1 мм). При подобной конструкции лепестка соответственно меняется и конструкция коронки: длина пазов в ней должна быть минимальной; такая коронка показана на рис. 141.

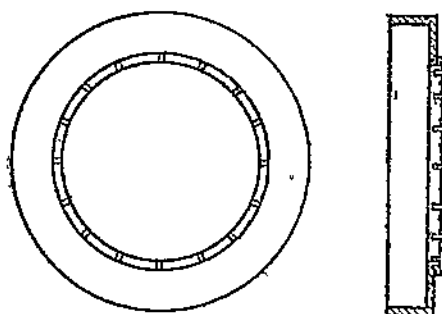


Рис. 141.

В диафрагмах этого типа, при прочих равных условиях, ширина лепестка может быть взята меньшей, чем в диафрагме с лепестками, имеющими два штифта. Это обстоятельство весьма существенно в тех случаях, когда необходимо получить наименьший наружный диаметр оправы диафрагмы; однако, уменьшение ширины лепестков может быть осуществлено лишь за счет увеличения числа.

Кроме описанных выше плоских ирисовых диафрагм, в некоторых случаях, главным образом в осветительных устройствах микроскопов, пользуются *сферическими ирисовыми диафрагмами*. В такой диафрагме лепестки выгнуты по сфере, благодаря чему плоскость ее светового отверстия располагается выше среза оправы, что позволяет совместить световое отверстие диафрагмы с верхней поверхностью предметного столика. Изготовление сферических диафрагм значительно дороже, чем плоских.

2. Щелевые диафрагмы. Щелевые диафрагмы применяются главным образом в различных лабораторных приборах (например, в спектро스코пах, спектрофотометрах, спектрометрах и пр.). Схематический чертеж одной из распространенных конструкций такой диафрагмы показан на рис. 142. Механизм, с помощью которого изменяется ширина щели, состоит из ступенчатого ходового винта *1* с двумя различными резьбами (правой

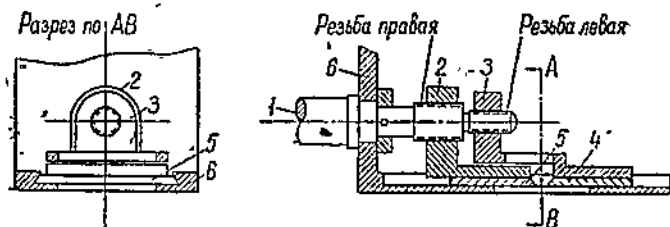


Рис. 142.

и левой) и двух навинченных на него гаек 2 и 3. Ходовые гайки соединены винтами со шторками диафрагмы 4 и 5. Шторки перемещаются в специальных направляющих 6, которые обычно выполняются в виде ласточкина хвоста. При вращении ходового винта в ту или другую сторону шторки соответственно сближаются или раздвигаются, и тем самым изменяется ширина щели. Такая конструкция диафрагмы обеспечивает постоянство положения средней линии щели при любом положении шторок. Ходовой винт снабжен маховичком и барабаном с делениями для установок ширины щели диафрагмы на нужную величину. Частный шаг и число заходов резьбы следует выбирать с таким расчетом, чтобы один оборот ходового винта соответствовал изменению ширины щели от нуля до требуемого наибольшего значения.

В тех случаях, когда при изменении ширины щели может быть допущено смещение ее средней линии, рекомендуется пользоваться более простой конструкцией диафрагмы, а именно подвижной делается только одна из шторок, другая же остается неподвижной.

4. Бленды

Блендами называются трубки, устанавливаемые перед объективами оптических систем.

В полевой обстановке бленды служат для защиты оптической системы от прямых солнечных лучей, сильно мешающих при наблюдениях против солнца. Кроме того в некоторых случаях

бленды применяются для защиты от наклонных пучков лучей, благодаря чему несколько уменьшается поле зрения прибора, но зато увеличивается резкость изображения.

Так как в большинстве случаев бленды нужны не всегда, они довольно часто делаются съемными. Для этой цели применяется либо штыковое (байонетное) соединение либо соединения с помощью защелки. Постоянные бленды укрепляются на резьбе. В некоторых случаях применяются бленды переменной длины, состоящие из нескольких разъемных частей (трубок). Диаметр бленды равняется диаметру объектива системы (или диаметру переднего защитного стекла).

Глава IV

УРОВНИ

1. Назначение и принцип действия уровней

Уровнями называются вспомогательные приборы, служащие для установки линий и плоскостей в горизонтальное или вертикальное положение, а также для измерения углов наклона плоскостей по отношению к горизонту. И в том и в другом случае принцип действия и устройства уровня один и тот же, но в первом случае от уровня требуется только чувствительность, а во втором — чувствительность и точность.

Уровни различной степени точности и чувствительности часто применяются как неотъемлемая часть самых разнообразных оптико-механических приборов, в частности они применяются почти во всех геодезических инструментах, в астрономии, в ряде лабораторно-измерительных приборов, в приборах военного назначения и пр.

Чувствительность и точность уровня задаются техническими условиями на изготовление прибора, в котором он должен быть установлен.

Действие уровня основано на том, что пузырек воздуха или другого газа, заключенный в сосуде, наполненном жидкостью, при установлении равновесия занимает наивысшее положение. Если такой сосуд (ампула) представляет собой стеклянную, закрытую с обоих концов трубку, внутренняя поверхность которой вышлифована бочкообразно таким образом, что ее меридиональное сечение AB (рис. 143а) является дугой окружности радиуса R , то для того чтобы на дуге AB найти наивысшую точку, необходимо провести к ней горизонтально расположенную касательную HH_1 (рис. 143а). Точка касания M и будет самой возвышенной над горизонтом точкой дуги AMB . При конечных размерах пузырька центр инерции его верхней поверхности совпадает с точкой M .

Условимся называть центр инерции верхней поверхности пузырька его серединой. Таким образом если ось уровня горизонтальна, то середина пузырька находится по середине ампулы, и, наоборот, при среднем положении пузырька ось уровня горизонтальна.

Положим, что ось уровня $A_1 B_1$ наклонена по отношению к горизонту на угол α (рис. 143б). Тогда очевидно, что пузырек, стремясь занять наивысшее положение, переместится вдоль ампулы, т. е. середина его переместится из точки M в точку M_1 .

По свойству углов, стороны которых взаимно перпендикулярны, находим, что $\gamma = \alpha$. Если γ и α измерены в градусах, то величина смещения пузырька MM_1 , соответствующая углу наклона α , определяется по формуле:

$$MM_1 = \frac{\pi R \alpha}{180}.$$

Для измерения углов, а также для установки прибора в горизонтальное положение

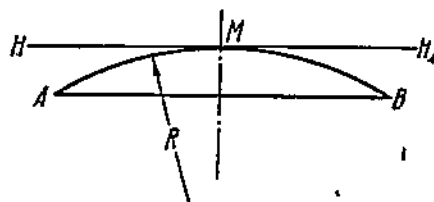


Рис. 143 а.

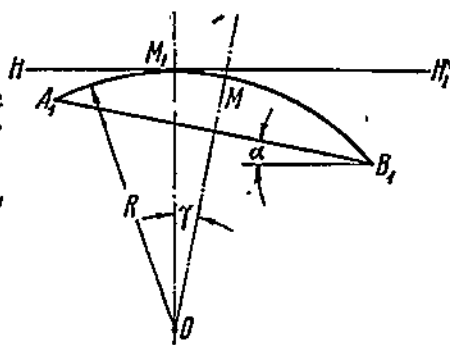


Рис. 143 б.

зонтальное положение на ампулах уровней наносится штриховая шкала, причем для всех уровней в настоящее время принято стандартное расстояние между штрихами, равное 2 мм (с допуском $\pm 0,5$ мм). Перемещение середины пузырька на одно деление шкалы соответствует изменению наклона оси уровня по отношению к горизонту на некоторый угол, называемый ценой деления или показанием уровня. Связь между радиусом кривизны внутренней поверхности ампулы R и ценой деления определяется формулой:

$$R = \frac{180 \cdot 60 \cdot t}{\pi \alpha_0},$$

где t — расстояние между штрихами (2 мм), α_0 — цена деления уровня в минутах.

Разность между ценой деления и фактическим углом наклона уровня при перемещении середины пузырька на одно деление шкалы характеризует его точность. Указанная разность не должна превышать 20% цены деления. Таким образом чем меньше цена деления, тем выше точность уровня.¹

Чувствительность уровня зависит главным образом от радиуса кривизны внутренней поверхности ампулы. Кроме того при изменении угла наклона оси уровня пузырек, хотя и стремится занять наивысшую часть ампулы, однако, начнет перемещаться лишь при таком угле наклона, при котором разность давлений на его концах преодолееет силу сцепления жидкости со стенками ампулы. Поэтому чувствительность уровня при равных ради-

¹ В наиболее точных уровнях допустимая погрешность в показаниях не должна превышать 10% цены деления.

усах кривизны зависит также от длины пузырька (прямо пропорциональна ей), свойств жидкости, состава газа пузырька, материала ампулы и качества шлифовки внутренней поверхности.

2. Конструкции уровней

Уровни состоят из стеклянной ампулы, заключенной в металлическую оправу. В зависимости от типа ампулы они делятся на *цилиндрические* и *круглые*.

1. **Цилиндрические уровни.** Ампула цилиндрического уровня представляет собой запаянную с обоих концов цилиндрическую трубку, наполненную какой-либо маловязкой жидкостью — спиртом или этиловым эфиром. Запайвание ампулы производится следующим образом: предварительно запаянную с одного конца трубку доверху наполняют разогретым спиртом или эфиром

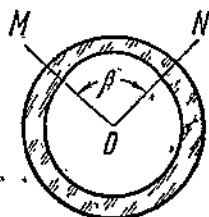


Рис. 143 в.

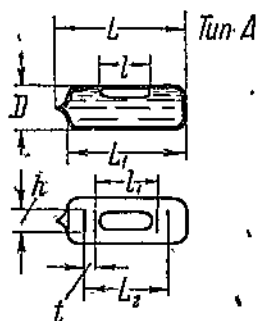
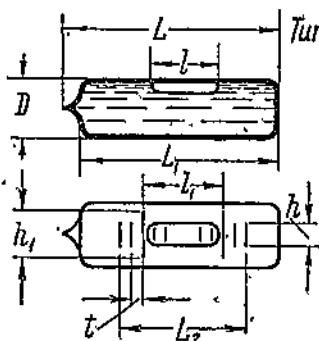


Рис. 144.



и затем запайвают ее с другого конца. По охлаждении жидкости в трубке образуется пузырек, заполненный парами спирта или эфира. Такой пузырек более подвижен, чем воздушный; кроме того при повышении температуры устраняется возможность разрыва ампулы от расширения жидкости. Длина пузырька в сильной степени зависит от температуры жидкости: с понижением температуры она возрастает. Номинальная длина пузырька определяется при температуре $+20^{\circ}$. Внутренняя поверхность ампулы шлифуется таким образом, что часть этой поверхности, заключенная между двумя меридиональными сечениями, представляет собой поверхность вращения дуги некоторого радиуса R относительно хорды, являющейся осью ампулы, остальная же часть остается цилиндрической. На рис. 143в показано поперечное сечение такой ампулы.

Уровни, у которых внутренняя поверхность ампулы целиком является поверхностью вращения дуги радиуса R , называются *реверсивными*. Они применяются сравнительно редко.

В табл. 30 приведены данные, относящиеся к двум типам нормальных ампул (рис. 144) цилиндрических уровней, применяемых в приборах, не требующих особо повышенной точности

установки по горизонту. Помещенные в таблице размеры ампул, длина пузырька и типы шкал взяты по нормам ВООМПа.

Таблица 30

Данные нормальных ампул цилиндрических уровней

Тип	D	L	L_1	R	Длина пузырька при 20°	L_2	t_1	t	h	h_1	Число штрихов	Цена деления	Точность уровня
	м м м м м м м м м м м												
А	8-0,58	23-2	20-1,3	1 150	5+1,0	10	6	2+0,5	3	—	4	6'	$\pm 1,2''$
	8-0,58	23-2	20-1,3	2 800	5+1,0	10	6	2+0,5	3	—	4	3'	$\pm 0,6''$
	8-0,58	38-2	35-1,3	2 300	5+1,0	14	10	2+0,5	4	—	4	3'	$\pm 0,6''$
Б	11-0,7	38-2	35-1,6	6 900	13+1,0	22	14	2+0,5	3	8	10	1'	$\pm 12''$
	11-0,7	38-2	35-1,6	13 800	13+1,0	22	14	2+0,5	3	8	10	30''	$\pm 6''$

В прецизионных геодезических инструментах, кроме перечисленных в табл. 30, применяются 5" и 10" цилиндрические уровни. Ампулы таких уровней значительно длиннее приведенных в таблице, и кроме того шкала на них имеет большее число делений.

Штрихи на ампулах гравированы и затем заливаются черной или красной эмалевой краской. Ширина штрихов—0,1—0,15 мм.

Сравнительно большой допуск на расстояние между штрихами (0,5 мм) дан для компенсации ошибки радиуса кривизны R внутренней поверхности ампулы, который не может быть выполнен с достаточной точностью.

2. Круглые уровни. Ампулы сферических уровней изготавливаются в двух различных конструкциях. В более ранней конструкции сосуд из стекла или металла закрывается шлифованной стеклянной крышкой (концентрической линзой). Преимущество этой конструкции заключается в том, что крышка может быть точно отшлифована. Однако, при недостаточно герметичном соединении крышки с сосудом жидкость постепенно улетучивается, и пузырек увеличивается до непригодности. Этот часто неустранимый недостаток побудил соединить крышку с сосудом путем спайки их в одно целое. Правда, в этом случае необходимо считаться с тем, что шлифованная поверхность крышки несколько деформируется по краевой зоне, однако, при тщательном выполнении этой операции точность уровня изменяется очень мало.

В тех случаях, когда круглый уровень не предназначается для измерения углов наклона, на крышке ампулы гравировается только один установочный круг. Найдено, что точность установки прибора по сферическому уровню зависит не столько от размера показания, сколько от отношения диаметров установочного круга и пузырька. Определяемый этим отношением промежуток между установочным кругом и краем пузырька при температуре $+20^\circ$ должен равняться 0,5 мм, так как в этом случае обеспечивается наиболее удобная точная установка пузырька. Однако, при

колебаниях температуры величина промежутка меняется; так, например, для круглого уровня среднего размера, применяемого в геодезических приборах (диаметр ампулы—20—25 мм), с диаметром установочного круга—7 мм и пузырька—6 мм, промежуток изменяется следующим образом:

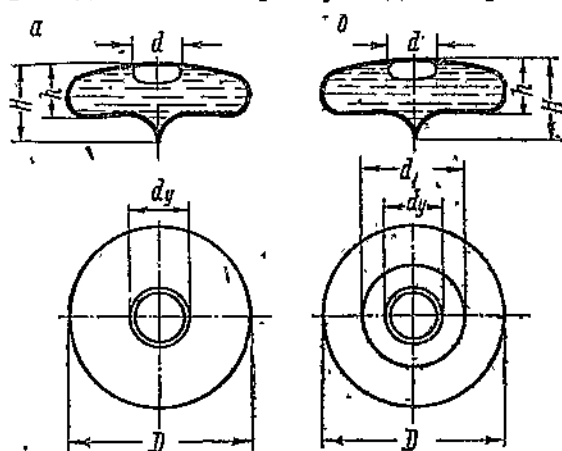


Рис. 145.

при температуре 0°—0,2 мм, при температуре 20°—0,5 мм, при температуре 40°—0,8 мм.

Влияние колебания температуры на величину пузырька в случае необходимости можно уменьшить различными средствами.¹ К. Рейнгерц рекомендует, кроме основного установочного круга,

наносить на крышке ампулы 2—3 дополнительные концентрические окружности (на расстоянии 2 мм одна от другой). Такая градуировка позволяет наиболее точно устанавливать пузырек в нормальное положение при температурных колебаниях, в особенности при понижении температуры, когда величина пузырька возрастает. Однако, в Германии чаще всего для круглых уровней применяются ампулы только с одним установочным кругом. В табл. 31 приведены размеры таких ампул (рис. 145 а), рекомендуемые К. Людеманом для геодезических приборов.² Эти же ампулы с успехом могут быть использованы в приборах военного назначения.

Таблица 31

Ампулы с одним установочным кругом круглых уровней

Диаметр D мм	Общая высота H мм	Высота без ост- рия h мм	Диаметр установочного круга d_y мм	Диаметр пузырька d мм	Радиусы кривиз- ны внутренней поверхности крышки R мм	Показание минуты
11	6,5	4,0	4,5	3,0	0,34—0,27	20—25
15	8,0	5,0	5,0	3,8	0,69—0,46	10—15
18	8,5	5,5	6,0	5,0	0,86—0,69	8—10
20	9,0	6,0	7,0	6,0	1,37—0,69	5—10
25	11,0	8,0	8,5	7,5	1,72—0,86	4—8
30	11,5	8,5	10,0	9,0	2,29—0,98	3—7
40	14,0	11,0	13,0	12,0	2,29—0,98	3—7

¹ Например, устройство дополнительной камеры в ампулах.

² К. Lüdemann, Dosenlibellen im geodätischen Messwesen, Feinmisch. und Präz., № 11, 1932.

ВООМПом нормализованы только два типа ампул круглых уровней: ампула с размером показания 6° для фотоаппаратуры и более универсальная ампула с размером показания $10'$. На крышке второй ампулы кроме установочного круга гравировается второй вспомогательный круг (рис. 145б). Размеры этих нормальных ампул даны в табл. 32.

Таблица 32

Размеры нормальных ампул круглых уровней

Диаметр D	Общая высота H	Высота h	Радиус кривизны R	Диаметр пузырька d	Диаметр установочного круга d_y	Диаметр вспомогательного круга d_1	Показание	Точность
м и л л и м е т р ы								
$11^{+0,3}_{-1,0}$	8^{-2}	$4,5^{-0,75}$	19	$2,5^{+1}$	—	—	6°	$\pm 2''$
$18^{+0,3}_{-1,0}$	8^{-2}	$6^{-0,75}$	690	5^{+1}	6	10	$10'$	$\pm 3'$

Для изготовления ампул как круглых, так и цилиндрических уровней обычно применяется бесцветное стекло с высокой химической устойчивостью. Жидкость должна быть бесцветной; цветная, флюоресцирующая или светящаяся жидкости применяются лишь для специальных целей.

В авиаприцелах для бомбометания применяются так называемые *фокусные уровни*. Они служат для того, чтобы во время прицеливания наблюдатель даже при качке самолета мог все время удерживать изображение цели на вертикали, положение которой определяется линией, проходящей через центр пузырька и оптический центр объектива прицела. Уровень этого типа устанавливается в фокальной плоскости объектива, благодаря чему его пузырек ясно видим в поле зрения.

Конструкция ампулы фокусного уровня показана на рис. 146. Она состоит из четырех спаянных между собой стеклянных деталей: сферической крышки, круглого плоскопараллельного доньшка, цилиндрического пояска и патрубка для заполнения ампулы жидкостью. Радиус внутренней поверхности крышки ампулы должен быть равен фокусному расстоянию объектива прицела. Уровень по оптическому действию заменяет в этом случае линзу-коллектив.

Вследствие ряда недостатков (отклонение пузырька от правильной формы при вибрации и качке самолета и непостоянство его диаметра при изменениях температуры; загрязнение жидко-

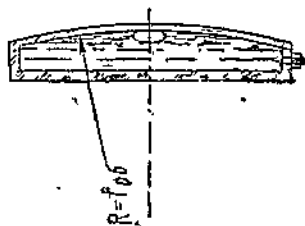


Рис. 146.

сти) за последнее время вместо фокусных уровней начали применять другие более совершенные устройства—*маятниковые* (карданные) и *гироскопические*,—обеспечивающие более удобное осуществление вертикали.

Оправы уровней. Ампулы уровней монтируются в оправе путем заливки гипсом или закрепляются кольцами с резьбой. В частности, при монтажке цилиндрических уровней сначала в оправу вводится с небольшим количеством замазки ампула, а затем уже навинчиваются боковые пробки оправы (рис. 147 а).

По конструкции оправы уровней делятся на две группы: 1) оправы *без регулировки* и 2) оправы *с регулировкой*. Для того чтобы прибор можно было устанавливать по уровню, последний монтируется на приборе таким образом, чтобы его ось была

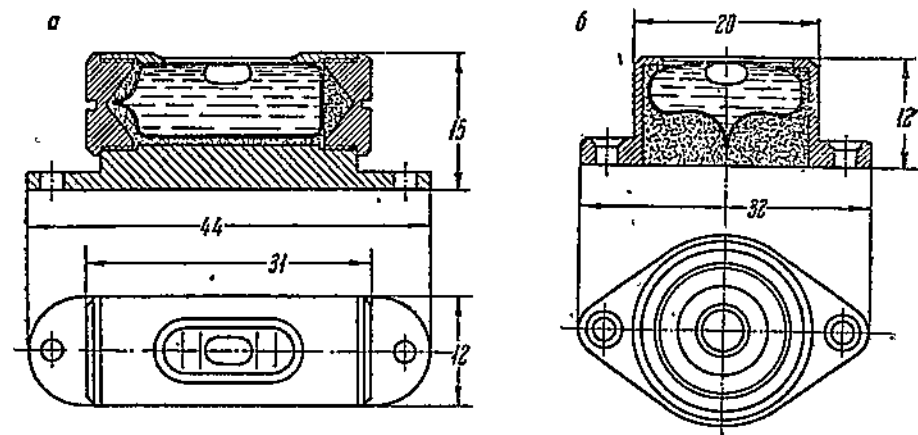


Рис. 147.

строго параллельна или перпендикулярна той линии или плоскости прибора, для которой необходима горизонтальная или вертикальная установка. Параллельность оси уровня и соответствующей линии или плоскости прибора осуществляется путем регулировки уровня при монтажке его на приборе; именно для этой цели и применяются оправы со специальными приспособлениями для регулировки. Уровни, оправы которых не имеют таких приспособлений, регулируются прокладками.

Нормальные конструкции уровней без приспособлений для регулировки показаны на рис. 147. Оправы этих уровней отличаются большой механической прочностью, поэтому их можно рекомендовать для применения в приборах военного назначения.

В круглых уровнях фотоаппаратов применяются оправы, не требующие заливки ампулы гипсом; в них ампула укрепляется зажимным кольцом. Такая конструкция уровня показана на рис. 148. Зажимными кольцами крепятся и ампулы фокусных уровней.

Оправы с приспособлениями для регулировки применяются исключительно в цилиндрических уровнях. По способу

регулировки их можно подразделить на два основных типа:
1) оправы с регулировкой в радиальных направляющих и
2) оправы с регулировкой винтами.

Две нормальные конструкции уровней с регулировкой в радиальных направляющих показаны на рис. 149. Радиус кривизны направляющих — 100 мм; высота салазок оправы — 1,8 мм; профиль направляющих выполняется по типу ласточкина хвоста с углом 60° . Уровень после регулировки укрепляется в направляющем основании стопорным винтом. Вследствие вполне достаточной механической надежности оправы и хорошей устойчивости установки такие уровни рекомендуются применять в приборах военного назначения.

В геодезических и астрономических приборах обычно применяются уровни в оправках с регулировкой винтами. Такие уровни значительно удобнее регулировать, что особенно важно в геодезических приборах, где регулировку уровней приходится

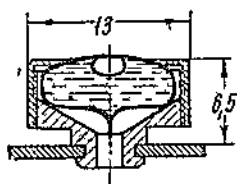


Рис. 148.

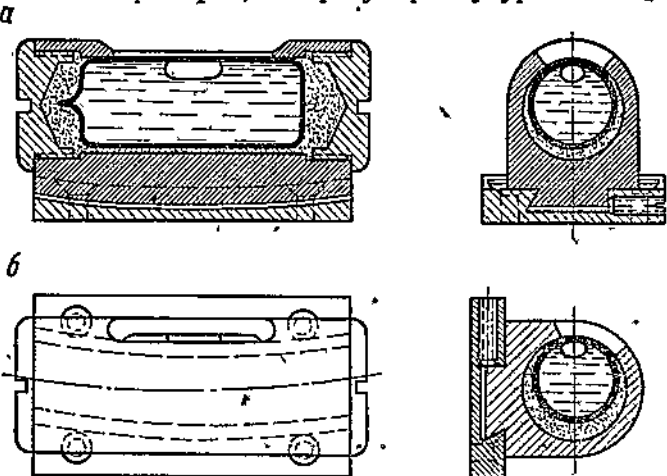


Рис. 149.

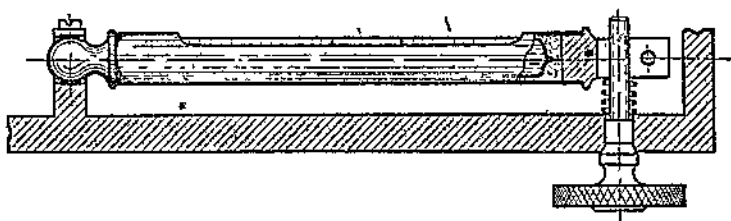


Рис. 150.

производить очень часто и кроме того требуется высокая точность их установки. Уровни с регулировкой винтами совершенно

непригодны для военных приборов. Конструкции таких уровней весьма разнообразны. Наиболее типичные из них показаны на рис. 150—152.

На рис. 150 представлен уровень нивелира, регулируемый одним винтом с поджимной пружиной; второй конец оправы уровня укреплен в шаровом подшипнике. Нарис. 151 показан уровень вертикального лимба теодолита, укрепляемый на гори-

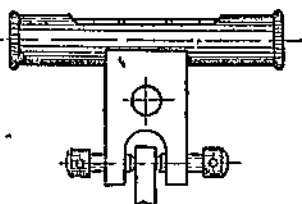


Рис. 151.



Рис. 152.

зонтальной оси; он регулируется двумя винтами. Уровень кипрегеля, также регулируемый двумя винтами, представлен на рис. 152. Концы оправы прижимаются к головкам винтов с одной стороны цилиндрической витой пружиной и с другой — сферической шайбой.

Глава V

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

1. Отливка в земляные формы

Конструктора оптико-механических приборов особенно интересует вопрос о допустимой минимальной толщине стенок для отливок из различных сплавов. Литературные данные приводят по этому вопросу следующие цифры:

Материал	Минимальная толщина стенок мм
Чугун	5
Бронза	3—4
Латунь	5
Алюминий	4
Сталь	8

Заводу ГОМЗ вполне удавались отливки с толщиной стенок: чугун (фосфористый) — 3 мм; бронза — 2,5 мм; алюминий (сплав) — 2,5 мм (реже 1,5—2 мм). Конечно, толщина стенок по этим данным должна выбираться в зависимости от конфигурации детали.

Остальные требования к отливкам — те же, что и в общем машиностроении.

2. Конструирование деталей, отливаемых под давлением в металлических формах

Литье под давлением является наиболее совершенным способом массового производства точных и сложных по конфигурации деталей.

Процесс литья под давлением заключается в том, что расплавленный металл поступает под сильным давлением в точно обработанную стальную форму, целиком заполняет ее и дает точную отливку, вполне соответствующую всем контурам формы, с чистой, почти полированной поверхностью. Кроме того отливки могут быть получены более тонкостенными, т. е. меньшего веса и с равномерной толщиной стенок. Размеры формы с поправкой на усадку соответствуют размерам готовой детали. Припуск на обработку требуется редко. Отверстия и резьба, за небольшими исключениями, отливается сразу, так что отливки после удаления заусенцев и литников в большинстве случаев не требуют никакой механической обработки и могут быть пущены прямо в сборку.

Литье под давлением нашло широкое применение в точном машиностроении. Вначале для этих отливок пользовались только легкоплавкими (оловянистыми и свинцовыми) сплавами, ограничиваясь производством лишь таких деталей, которые не подвергаются ни значительным механическим нагрузкам ни высоким температурам. Однако, выгода литья под давлением и постоянно увеличивающаяся с развитием массовых производств потребность во взаимозаменяемых деталях неизбежно побуждают применять для этой цели также более тугоплавкие сплавы, обладающие повышенной прочностью. Препятствием к их применению явилось, прежде всего, быстрое разрушение стальных форм. Это затруднение было преодолено лишь постепенно — благодаря усовершенствованию соответствующей аппаратуры и накоплению опыта в области конструирования форм и техники литья.

Применяемые в настоящее время сплавы для литья под давлением могут быть разделены на три группы (см. табл. 13):

- 1) свинцовые, оловянистые и цинковые;
- 2) алюминиевые и магниевые;
- 3) медные.

Каждый сплав назван по металлу, входящему в него в наибольшем количестве. Из их числа может быть выбран сплав для отливки детали в соответствии с ее назначением и желательными физическими и химическими свойствами. Точность и взаимозаменяемость деталей не уступают получаемым механической обработкой, а в случае оловянистых сплавов даже превосходят их. Для отливок из оловянистых сплавов отклонения от номинального размера при мелких отливках колеблются в пределах $\pm 0,01$ мм. Для отливок из цинковых сплавов наименьший допуск примерно в 3 раза больше, а для алюминиевых — в 5 раз больше, чем для отливок той же формы из оловянистых сплавов.

В табл. 13 и 14 приведены подробные характеристики отливок из перечисленных сплавов.

Вследствие высокой стоимости литейных форм применение литья под давлением является экономически выгодным лишь при производстве достаточно большого количества отливок. Чем выше стоимость изготовления данного рода изделия другим способом производства, тем меньшее количество этих изделий, из-

готовляемых литьем под давлением, окупит стоимость формы. При количестве отливок меньше 1000 литье под давлением окупится лишь в исключительных случаях. Так, например, нецелесообразно отливать под давлением плоские, мелкие и простые детали, которые можно изготовить из листового материала, особенно в тех случаях, когда нельзя избежать путем отливки последующих механических операций.

Ниже мы приводим несколько примеров отливок под давлением из практики завода ГОМЗ.¹

Пример 1 — корпус фотоаппарата (рис. 153). Деталь представляет собой коробку с частично вырезанным дном. Она имеет острые углы, конусность отсутствует, толщина — 1,5—2 мм. Материал — алюминиевый сплав. Благодаря отливке под давлением здесь сокращаются 33 механические операции, не считая разметки и фрезеровки всех плоскостей.

Пример 2 — корпус затвора (рис. 154). Механизм затвора

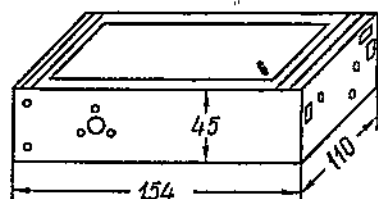


Рис. 153.

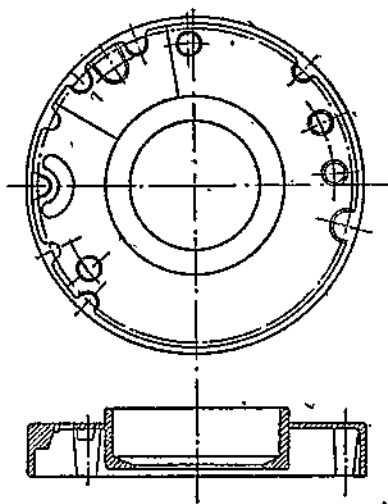


Рис. 154.

расположен во внутренней части корпуса, которая должна быть поэтому весьма тщательно изготовлена. Внутренние углы корпуса должны быть острыми; конусность в стенках недопустима; в некоторых случаях расстояние между приливом и стенкой не превышает 2 мм.

Примеров выгоды литья под давлением можно привести громадное количество. Очень хорошо это было представлено на выставке, функционировавшей на заводе ГОМЗ во время происшедшей там отраслевой конференции оптико-механической промышленности (1—5 апреля 1936 г.), где демонстрировались одинаковые по конфигурации детали, отлитые в землю и под давлением. Так, завод ГОМЗ стал отливать невысокие детали без литейных конусов. Это вызывает усиленный износ стержней и пуансонов, но является более выгодным, чем последующее снятие конусов.

¹В. М. Плაცкий, Литье под давлением, Оптико-механическая промышленность, № 11—12, 1933.

При освоении литья под давлением наблюдался ряд ошибок. Изучение их необходимо конструктору. В основном эти ошибки могут быть сведены к следующему:

- 1) применение отливки под давлением в тех случаях, когда это технически и экономически не является необходимым;
- 2) неправильный выбор машин для литья.

Приводим ряд примеров из практики завода ГОМЗ, показывающих, насколько важно критически подойти к вопросу о выборе способа литья и детально проработать его как с технической, так и с экономической точек зрения.

Пример 3 — отливка медных барашков для кинопередвижки (рис. 155). Форма была сконструирована на две детали.

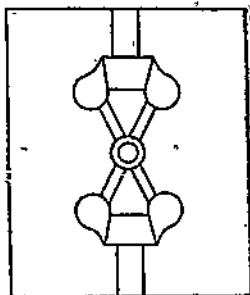


Рис. 155.

Подсчет стоимости готовой детали при отливке под давлением дает следующее.

Стоимость формы — 3000 руб. Продолжительность службы при латунном литье — 15 000 ударов годного литья; при 10% брака — 27 000 шт.

Стоимость формы на 1 годную деталь	11,0 коп.
Производственная зарплата на 1 штуку	3,2 "
Накладные расходы	12,8 "
Снятие заусенцев и грата	0,5 "
Нарезание внутренней резьбы	2,5 "
Материал (латунь)	5,0 "

Итого 35,0 коп.

При отливке той же детали в земляные формы:

Формовка на модельной плите (формовочной машиной) —	
1600 шт. в смену	0,5 коп. .
Накладные расходы	1,5 "
Материал	5,0 "
Опиловка	2,5 "
Сверловка	2,5 "
Нарезание резьбы	2,5 "

Итого 14,5 коп.

Из этого сравнения видно, что отливка данной детали под давлением является невыгодной.

Стоимость формы может быть сильно уменьшена при изготовлении ее на копировально-фрезерных автоматах типа Келлера. Принцип работы этих автоматов заключается в следующем. На машине имеются два стола, на одном из которых укрепляется модель формы, а на другом — заготовка, предназначенная для ее изготовления. Специальный шуп, следуя по модели формы, направляет при помощи рычажной системы (пантографа) головку с укрепленной на ней фрезой таким образом, что последняя точно копирует движение шупа. При

изготовлении форм на автоматах Келлера экономия в их стоимости доходит до 30%.

Пример 4 — отливка под давлением корпуса бинокля (рис. 156). Отливка получается весьма чистой, опиловка боковых поверхностей отпадает; сокращается часть механических операций. Стоимость отливки ниже, чем при литье в земляных формах.

Однако, практически перевод корпуса бинокля на литье под давлением оказывается не совсем выгодным, если учесть некоторые особенности данной детали.

1. В корпусе бинокля предусмотрен ряд внутренних приливов, лежащих у торцов (рис. 156). При отливке в земляные формы они легко выполняются песчано-масляными шишками. При отливке же под давлением в металлические формы с металлическими стержнями эти приливы приходится доводить до внутреннего мостика (как указано на рисунке пунктиром). Таким образом создаются лишние фрезерные операции по снятию этих приливов.

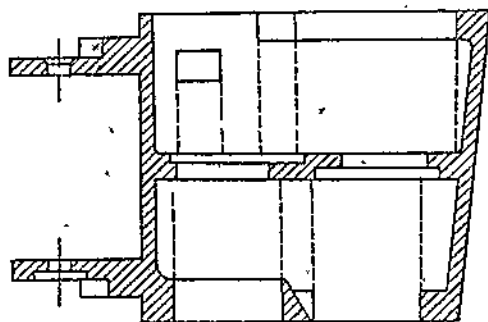


Рис. 156.

2. Механическая обработка корпуса бинокля заключается главным образом в проточке мостика, проточке торцов и фрезеровке ушков.

При отливке под давлением вся эта обработка по смыслу процесса должна отпасть. Практически, однако, этого не получается по следующим причинам. Плоскость мостика должна быть строго параллельна торцевым граням; выполняется она при отливке соединением двух стержней, что не всегда обеспечивает требуемую точность. Торцевые грани получаются с обычными при отливке заусенцами. Снимать эти заусенцы опиловкой нельзя, ибо при этом может быть нарушена параллельность граней. Таким образом последние приходится обрабатывать на станке. То же самое относится и к ушкам, так как при сборке их приходится подгонять. Следовательно, преимущества отливки под давлением не используются, ибо нельзя обойтись без дополнительной обработки.¹

3. Литье под давлением на компрессорных машинах (шприц-гусс) дает весьма гладкую и плотную отливку по поверхности, но внутри отливки почти неизбежно попадают мелкие раковины, образовавшиеся от не успевшего удалиться воздуха. Когда отливка не подвергается дальнейшей механической обработке,

¹ В настоящее время указанные затруднения благодаря рациональному изменению конструкции корпуса преодолены.

это может не иметь значения, но если приходится производить механическую обработку, раковины вскрываются. В биноклях раковины вскрываются при нарезании внутренней резьбы.

4. Для отливки корпусов биноклей применяется сплав силумин, обладающий весьма малой усадкой, что имеет особое значение при отливке полых тонкостенных деталей. При сжатии (усадке) на стальном стержне отливки из других алюминиевых сплавов с большей усадкой дают трещины. Силумин отличается высокими механическими качествами, но плохо обрабатывается на быстром ходу, требуя особых условий резания. Это свойство силумина удорожает его обработку.

Затруднения, возникающие при отливке бинокля, могут быть, конечно, преодолены при соответствующих коррективах, внесенных в конструкцию, правильном выборе способа литья и т. п.

Выводы: 1) деталь, предназначенная для отливки под давлением, должна быть сконструирована в соответствии с требованиями литья в металлические формы;

2) при выборе процесса необходимо учесть характер обработки каждой детали, имея в виду, что хотя отливка под давлением и заменяет обработку, но в случаях, требующих особой точности, и при тугих посадках без обработки обойтись нельзя;

3) детали, требующие дальнейшей механической обработки (нарезание резьбы и т. п.), необходимо отливать не на компрессорных машинах (шприцгусс), а на поршневых (прессгусс), гарантирующих плотность отливки и отсутствие раковин;

4) на основании конфигурации и свойств детали необходимо подобрать сплав и учесть условия его обработки.

Большое применение в массовом и крупносерийном производстве получила также горячая штамповка.

3. Центробежное литье

Полые детали, представляющие собой тела вращения, могут быть отлиты в земляные вращающиеся формы. Во вращающемся вокруг горизонтальной оси сосуде (форме) расплавленный металл с внешней стороны примет очертания формы с цилиндрической внутренней полостью. Литье получается плотным, лишенным усадочных и газовых раковин. Центробежное литье является весьма выгодным для изготовления небольшими партиями втулок и тому подобных деталей — тел вращения.

4. Конструирование деталей из пластических масс

В приборах, рассчитываемых на массовое или крупносерийное производство, следует стремиться к возможно более широкому применению (для деталей, не подверженных значительным механическим воздействиям) пластических масс. То же самое относится к отдельным деталям и вспомогательным устройствам, применяемым к различным приборам. Сюда относятся основания и корпуса реостатов, выключателей, штепселей и контактных

устройств, где требуются, кроме красивой внешности, еще и электроизолирующие свойства. Замена цветных металлов пластмассами, кроме улучшения внешности приборов, диктуется как дефицитом цветных металлов, так и (это самое главное) экономическими выгодами.

Значительным препятствием к внедрению деталей из пластмасс является слабое знакомство конструкторов с принципами конструирования таких деталей.

Основной метод получения изделий из пластмасс — прессование в стальных формах. Формы эти носят название *прессформ*. Прессование производится при удельном давлении от 250 до 1000 кг/см² при температуре 100—180°.

При тщательно изготовленных прессформах и точной дозировке материала полученные изделия не требуют дополнительной обработки.

К прессформам предъявляются требования высокой механической прочности, точности не ниже 2-го класса и зеркальной

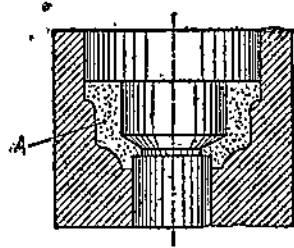


Рис. 157.

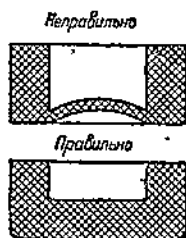


Рис. 158.

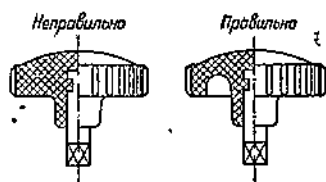


Рис. 159.

полировки рабочих поверхностей. Прессформы необходимо калибровать, цементировать или хромировать. Отсюда видно, что изготовление их является наиболее ответственной частью данного технологического процесса. Вследствие этого стоимость прессформ довольно высока и может окупиться лишь при массовом или крупносерийном производстве. При конструировании деталей из пластмасс необходимо руководствоваться главным образом соображениями возможного упрощения конструкции прессформ.

Прессование деталей из пластмасс в значительной мере аналогично литью под давлением (прессгусс). Под действием давления при высокой температуре пластические материалы заполняют свободный объем А прессформы (рис. 157), принимая окончательную форму изделия.

Основные требования к конструкции деталей из пластмасс сводятся к следующему:

1. Изделия должны иметь равномерную толщину стенок. Это обеспечивает равномерность остывания, чем избегается коробление изделия или даже разрывы в местах переходов от тонкого сечения к более толстому (рис. 158 и 159). Минимальная толщина стенок зависит от размеров, формы детали и типа

пластмассы и равна 1—2 мм. Изделия кольцевого сечения или в форме замкнутой полости могут иметь стенки более тонкие, чем плоские изделия. Прочность детали следует достигать не утолщением стенок, а применением ребер (рис. 160).

2. Необходимо закруглять углы в местах переходов. Радиус закругления должен быть по возможности не меньше толщины стенки в месте перехода (рис. 161).

3. Стенки изделия должны делаться конусными (рис. 162) для облегчения удаления изделий из прессформы. Уклон стенок

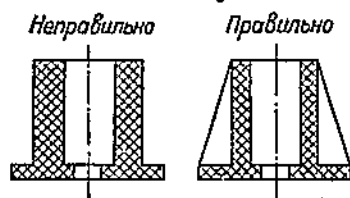


Рис. 160.

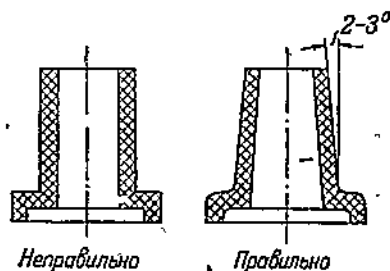


Рис. 161.

следует брать порядка 2—3°. Изделия до 10 мм глубиной можно делать без конусности, но без крайней нужды этого допускать не следует.

4. Детали, имеющие бобышки или приливы, должны быть сконструированы так, чтобы обеспечить простое удаление их из формы (рис. 162). По этой же причине нельзя делать детали с поднутрением стенок (рис. 163). Детали с поднутрением стенок можно изготовлять только в разборных прессформах. Так изго-

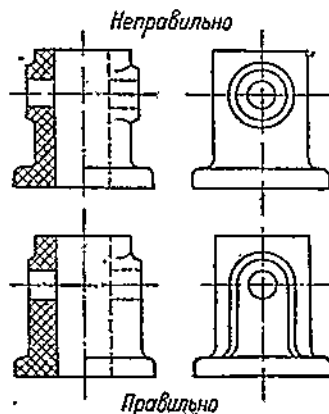


Рис. 162.

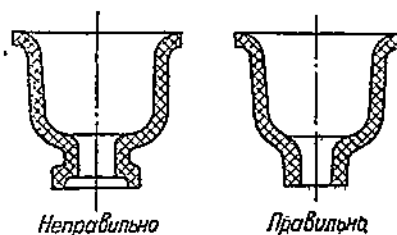


Рис. 163.

товляется, например, корпус фотоаппарата Турист (рис. 164), причем прессформа состоит из 6 частей.

5. Прессование гладких пластинок вызывает затруднения; лучше конструировать их с выемкой на одной из сторон или—

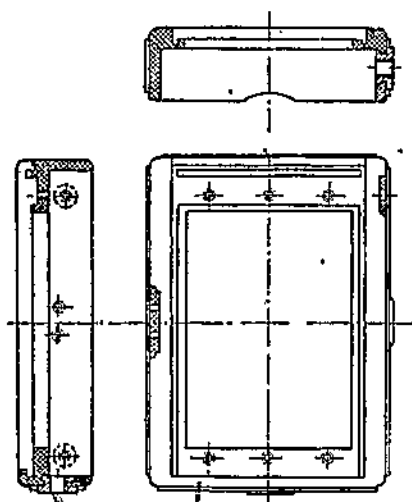


Рис. 164.



Правильно
Рис. 165.

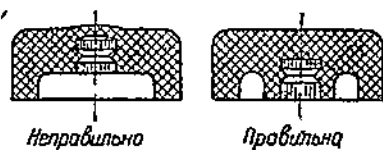


Рис. 166.

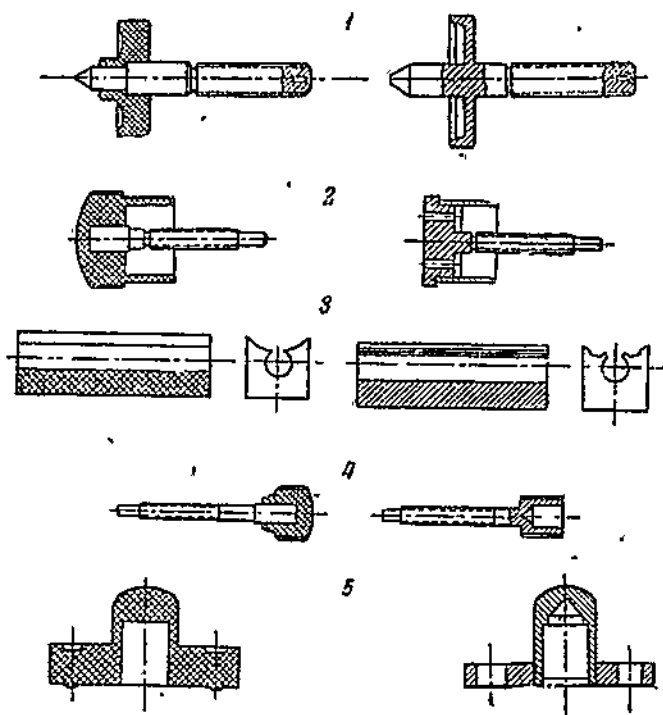


Рис. 167.

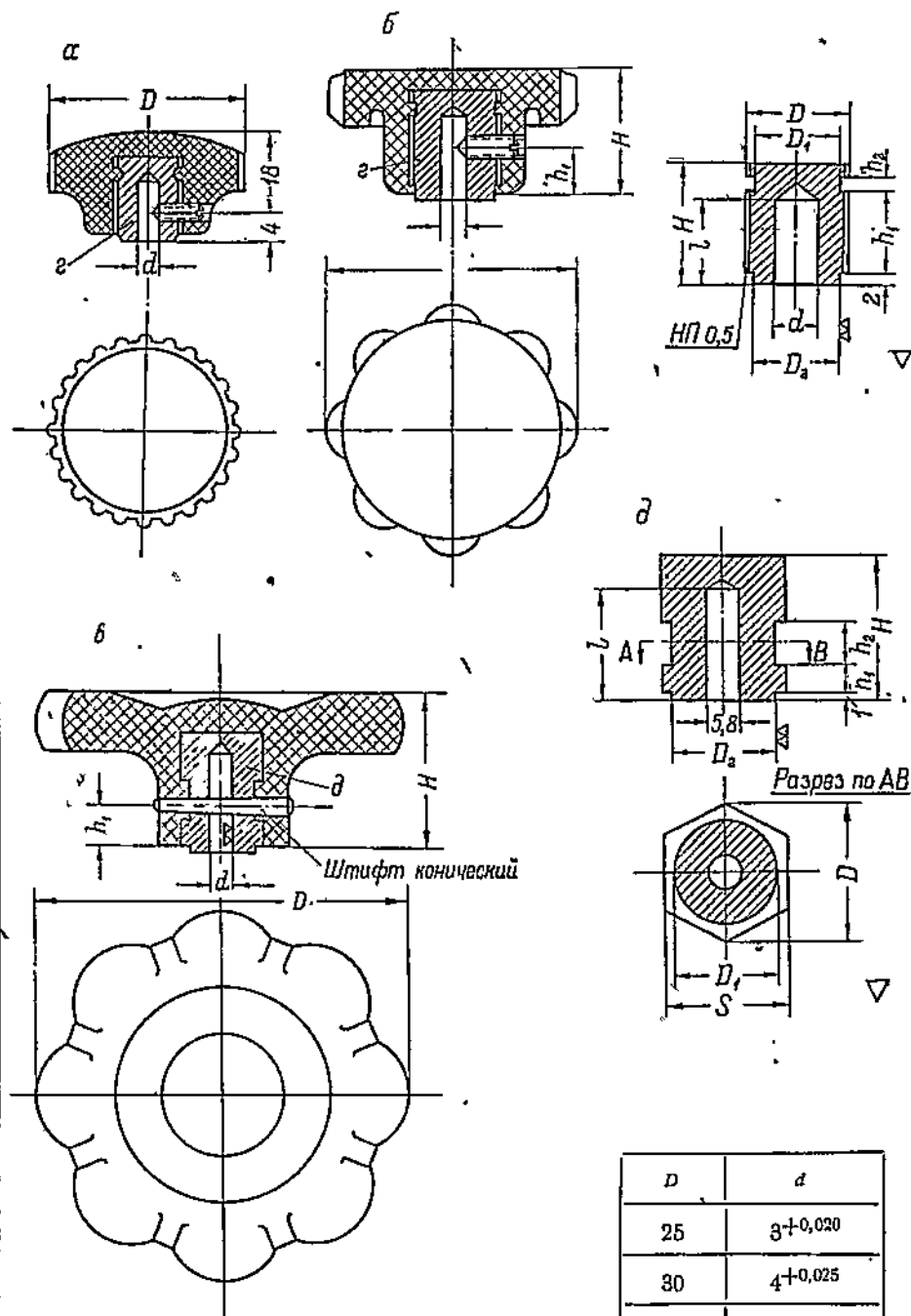


Рис. 168.

в случае значительных размеров — с ребрами для жесткости (рис. 165).

6. Накатку следует применять прямую, так как крестовая или винтовая накатка усложняют конструкцию прессформы.

7. Изготовление резьбы не представляет особенных затруднений. Шаг следует брать не меньше 1 мм.

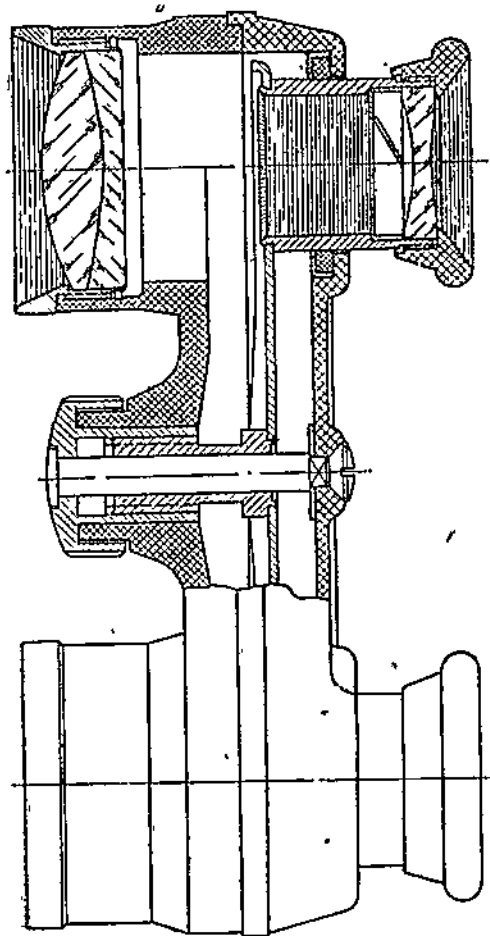


Рис. 165.

При большом числе отверстий, снабженных резьбой, предпочтительно запрессовывать металлические гайки или втулки, которые затем нарезают. Для предотвращения от проворачивания и выпадения втулки снабжают накаткой. Не рекомендуется запрессовывать втулки близко к поверхности детали во избежание вздутия над втулкой (рис. 166). Не следует запрессовывать металлические детали под углом к направлению прессования, так как в этом случае под влиянием неравномерного давления запрессовываемая деталь может сбиться. Для того чтобы этого не произошло, необходимо давать этим деталям две точки опоры.

8. Надписи и цифры делают обязательно выпуклыми.

Рис. 167¹ и 168¹ показывают ряд деталей из пластмасс из числа изготавливаемых заводами ГОМЗ и Геофизика.

На рис. 169 показан театральный бинокль с корпусом из пластмассы.

В гл. IV части первой разобраны свойства применяемых в оптико-механической промышленности пластмасс, а в табл. 15 приведены их механические и химические характеристики.

¹ 1 — установочный винт; 2 — барашек; 3 — направляющая микроскопа; 4 — головка микрометренного винта теодолита; 5 — пластинка лагера.

НАПРАВЛЯЮЩИЕ ДЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

1. Общие сведения

Направляющими называются сопряженные поверхности деталей, обеспечивающие их взаимное относительное перемещение в определенном направлении.

Направляющие можно подразделить на:

- 1) направляющие для прямолинейного движения,¹
- 2) направляющие для вращательного движения (опоры, подшипники).

Как те, так и другие направляющие могут быть с трением скольжения или с трением качения (шариковые, роликовые).

Следует различать *открытые* и *замкнутые* направляющие.

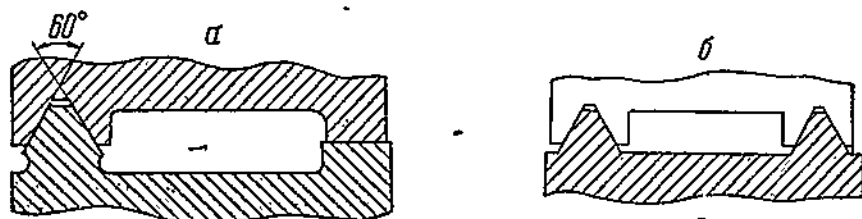


Рис. 170.

Открытые направляющие (рис. 170—172) обеспечивают движение в заданном направлении лишь при наличии внешней силы, постоянно прижимающей движущуюся деталь к направляющим поверхностям. Этой силой являются вес детали или нажатие пружины.

Открытые направляющие первого рода применяются в достаточно тяжелых стационарных установках.

Замкнутые направляющие (рис. 173—178) обеспечивают движение детали по заданному направлению независимо от направления действующих сил, так как направляющие поверхности охватывают движущуюся деталь таким образом, что она имеет свободу перемещения лишь в строго определенном направлении.

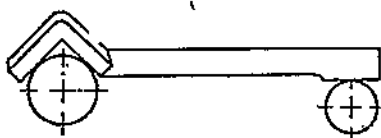


Рис. 171.

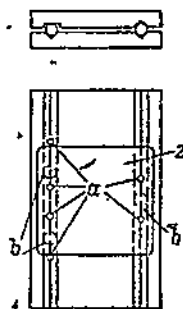


Рис. 172.

¹ Направляющие для криволинейного движения называются кулачками. Они рассмотрены в гл. IX.

Направляющие являются одной из наиболее жизненных и наиболее ответственных частей всякого механизма. В оптико-механическом приборостроении к ним предъявляются следующие основные требования: точность (прямолинейность), минимальный люфт, наименьшее трение, плавность хода.

Последние три условия не должны ухудшаться при температурных колебаниях. Это требование относится к приборам, работа с которыми производится на открытом воздухе в раз-



Рис. 173.

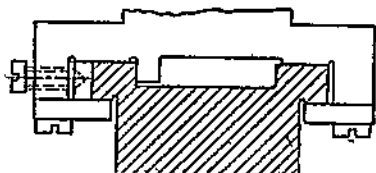


Рис. 174.

личных метеорологических условиях (военные и геодезические приборы). В таких приборах направляющие с малой скоростью движения при больших диаметрах (цилиндрические) или линейных величинах (прямолинейные) следует выполнять из материалов, имеющих одинаковые или мало различающиеся коэффициенты линейного расширения,¹ во избежание защемления при охлажде-

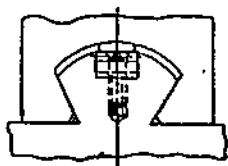


Рис. 175.

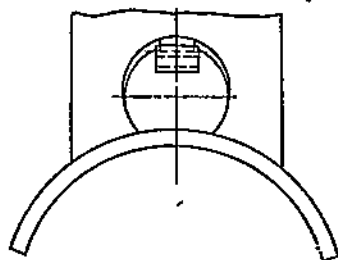


Рис. 176.

нии или нагревании или появлении значительной игры (люфта). Охлаждение влияет больше, так как изменение температуры может составить в этом случае 70° [от $+20^\circ$ (температура помещения, в котором производится сборка) до -50° (наиболее низкая температура эксплуатации приборов)]. При нагревании изменение температуры может составить только 30° ($50^\circ - 20^\circ$). Поэтому при применении материалов с разными коэффициентами расширения для сопрягаемых деталей следует охватывающую деталь делать из материала с меньшим коэффициентом линейного расширения. Целесообразно также уменьшать (однако, не в ущерб жесткости) ширину или диаметр направляющих для уменьшения абсолютной величины изменения зазора при изменении температуры.

¹ Примерами такого сочетания материалов могут быть: латунь — бронза, латунь — нейзильбер.

Проверка зазора, при выбранном классе точности и посадке сопрягаемых деталей, должна быть произведена для минимальной и максимальной температур эксплуатации по следующей формуле:

$$\Delta = D [1 \pm \alpha (t - t_0)] - D_1 [1 \pm \alpha_1 (t - t_0)], \quad (1)$$

где Δ — минимальный зазор при данной температуре t ; D — наименьший при данном допуске диаметр или линейный размер охватываемой детали; D_1 — наибольший диаметр или линейный размер (по системе отверстия меньшая величина допуска со знаком минус) охватываемой детали; α и α_1 — соответствующие коэффициенты линейного расширения материала сопрягаемых деталей. Если сопрягаемые детали сделаны из материалов, имеющих разные величины α , то при изменении температуры неизбежно изменение зазора между ними.

Пользуясь формулой (1), рассчитываем зазор, получающийся при температуре -50° в сопряжении латунь — сталь при диаметре 60 мм, для случая стального вала. Сопряжение запроектировано по 2-му классу точности, по ходовой посадке, т. е. втулка имеет допуск $^{+0,03}_{0,0}$ мм, а вал — допуск $^{-0,03}_{0,06}$ мм, таким образом минимальный зазор при температуре изготовления, принятой нами в 20° , составит: $60 - 60^{-0,03} = 0,03$ мм.

Подставив эти значения в нашу формулу, получим при температуре -50° :

$$\Delta = 60 (1 - 0,000185 \cdot 70) - 59,97 (1 - 0,000115 \cdot 70) = 0.$$

Таким образом при наиболее низкой температуре эксплуатации получается зазор, равный нулю (для крайнего случая). Такой случай может быть допущен. Но отсюда сразу же видно, что скользящая посадка не может быть допущена вовсе, так как в этом случае минимальный зазор при $t = 20^\circ$ может оказаться весьма близким нулю. Совершенно не применима скользящая посадка по 1-му классу точности.

Нечувствительными к температурным влияниям являются шариковые и роликовые подшипники.

Это позволяет собирать шарикоподшипники с минимальным зазором и даже с некоторым натягом, достигая минимального мертвого хода или его полного отсутствия.

Точность изготовления направляющих. В рпико-механических приборах требования к точности изготовления и чистоте поверхности направляющих в ответственных случаях весьма высоки.

В обычном случае изготовление направляющих поверхностей сводится к процессу копирования, и получаемая степень совершенства зависит от степени точности обработки, даваемой станком. Приводим поэтому сведения о достижимой точности изготовления на новых или малоизношенных станках.¹

¹ При правильном технологическом процессе, надлежащей жесткости деталей и т. п.

1. Цилиндрические направляющие:

а) Токарный станок:¹

Диаметр	0,01—0,02 до 50 мм
Цилиндричность	0,01 на 300 мм
Конусность	0,02 „ 300 „

б) Круглошлифовальный станок:

Диаметр	0,005 до 100 мм
Цилиндричность	0,03—0,01 мм на 500 мм
Конусность	0,005—0,01 „ „ 500 „

2. Плоскости:

а) Горизонтально-фрезерные станки $\pm 0,04$ на 1000 мм

б) Продольно-строгальные станки $\pm 0,02$ „ 1000 „

в) Поперечно-строгальные станки $\pm 0,02$ „ 300 „

г) Плоскошлифовальные станки строгального типа:

При грубой шлифовке	0,03 на 1000 мм
„ точной „	0,01 „ 1000 „

Весьма точные плоскости могут быть получены по способу Витворта при совместной обработке трех плоскостей систематически попарно, путем трения одной пластинки о другую, при наличии соответствующего шлифующего или полирующего материала между ними. Таким способом изготавливаются плоские пробные стекла и поверочные плиты. Введение третьей пластинки необходимо, так как притирка друг к другу пластинок только одной пары может легко дать выпуклую и вогнутую поверхности равных радиусов. Путем попарной последовательной обработки трех пластинок устраняется всякая тенденция в этом направлении. Пробные стекла и поверочные плиты, наряду с поверочными линейками и пр., служат в дальнейшем эталонами, по которым происходит изготовление точных плоскостей. При изготовлении плоских направляющих поверхностей на металлических деталях снятие излишков металла производится путем осторожного опилования или шабрения.

Для сравнения с эталоном (поверочной плитой) плоскую поверхность последней покрывают тонким слоем краски (ультрамарин или крокус в масле). Деталь притирают к поверочной плите. При этом выступающие участки поверхности детали захватывают краску с поверочной плиты.

Для получения плоской поверхности требуется значительная затрата труда, которая превышает 50% всего рабочего времени. Однако, иногда такая поверхность предпочтительнее, нежели полированная, так как имеется меньшая тенденция к прилипанию, чем при контакте двух полированных поверхностей.

Последний способ (шабрение) применяется при изготовлении больших плоскостей, например, направляющих станин. Точность изготовления — 0,01 мм на 1000 мм. При изготовлении плоскости на металле под пробное стекло достижима точность

¹ Фирма Болей и Лейнеп на своих прецизионных токарных станках гарантирует соответственно: 0,002, 0,002 и 0,003 мм для размеров: диаметр 10 мм, длина до 100 мм.

до 0,5 μ на 100 мм и выше. Изготовление является чрезвычайно дорогим.

Выбор посадки диктуется требованиями точности, которым должен отвечать проектируемый прибор, конструктивными особенностями, условиями эксплуатации его (в особенности температурными условиями эксплуатации), материалом, из которого прибор будет изготовлен, оборудованием завода-изготовителя и т. п. При всех прочих равных условиях точность пригонки направляющих может быть обратно пропорциональна относительной длине поверхности соприкасания (опорной поверхности, базы).

При цилиндрических направляющих для точных приборов можно рекомендовать посадку движения или ходовую 2-го класса точности. В особо ответственных случаях, когда не грозит защемление, при изменении температуры можно применять скользящую посадку 2-го или даже 1-го класса точности.

2. Направляющие для прямолинейного движения

Классификация направляющих для прямолинейного движения:

1. Направляющие с трением скольжения:

а) по цилиндрическим поверхностям:

1) без предохранения против проворачивания,

2) с предохранением против проворачивания;

б) по плоским поверхностям.

2. Направляющие с трением качения:

а) роликовые направляющие по цилиндрическим поверхностям;

б) роликовые направляющие по плоским поверхностям;

в) шариковые направляющие.

Расчет и конструкция. В правильно сконструированных направляющих имеются две направляющие плоскости (или одна поверхность), обеспечивающие движение. Остальные плоскости (поверхности) служат как поддерживающие (опорные), обеспечивающие постоянное прилегание движущейся детали к основным направляющим плоскостям (рис. 170а). В цилиндрических направляющих роль основных направляющих выполняет цилиндрическая поверхность плюс направляющая плоскость, предохраняющая от проворачивания (рис. 177 и 178).

Совершенно неправильными являются конструкции, подобные изображенной на рис. 170б. Целесообразно, в случае движения какой-либо каретки в направляющих и необходимости передачи вращения с параллельной направляющей осью, напри-

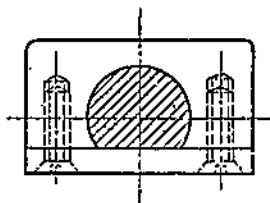


Рис. 177.

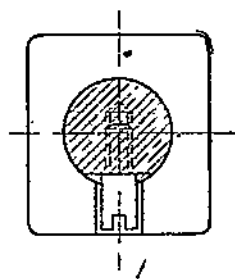


Рис. 178.

мер, на движущуюся с кареткой шестерню, сидящую на продольной шпонке на валу, один конец вала оставлять свободным во избежание защемления.

Правильная конструкция изображена на рис. 179. Здесь один конец вала, имеющего продольную шпонку, оставлен свободным для того, чтобы за счет своей упругости и игры в своем подшипнике следовать за неточностями направляющей каретки *K*. Это особенно выгодно при малом числе оборотов и тонком валике.

При конструировании направляющих следует предусматривать то, чтобы при их работе не могло возникнуть перекашивание, а отсюда и „защемление“ (заедание). Отсутствие подоб-

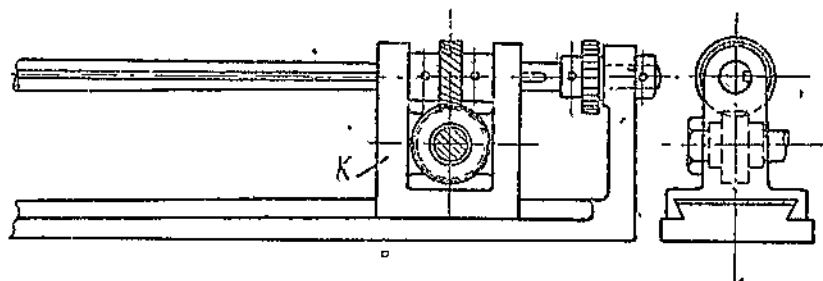


Рис. 179.

ного защемления предусматривается правильным соотношением рабочей длины направляющей L и плеча приложенной силы (рис. 180). Если сила P , приложенная к направляющей детали (или ее проекция), имеет плечо y , то нормальная реакция N определится из равенства моментов:

$$Py = NL;$$

$$N = \frac{Py}{L}.$$

Сила трения:

$$R = N\mu = \frac{\mu Py}{L},$$

где μ — коэффициент трения.¹

Из этой формулы видно, что при данном μ отношение $\frac{\mu y}{L}$ должно быть меньше 1, в противном случае неизбежно заедание. Теория и опыт показывают, что при правильном выборе материала и обработки ($\mu \leq 0,2$) прямоугольные направляющие (рис. 174) надежно работают, если отношение:

$$\frac{y}{L} < 2.$$

¹ Коэффициенты трения см. гл. VII.

Для призматических направляющих типа ласточкина хвоста, и др. (рис. 173) требуется, чтобы:

$$\frac{y}{L \sin \alpha} < 2.$$

Для цилиндрических направляющих:

$$\frac{y}{L} \cdot 1,27 < 2$$

(где 1,27 — радиус трения).

Износ у цилиндрических направляющих выше, чем у прямоугольных и призматических, и возникающий при этом люфт труднее устранить (вследствие одностороннего износа цилиндрических поверхностей). При правильной конструкции они для производства не трудны.

Направляющие типа ласточкина хвоста (рис. 173 и 175) являются весьма распространенными. Они просты и удобны в сборке и регулировке. Некоторым недостатком является трение, большее, чем в прямоугольных направляющих.

Обработка поверхности в направляющих, не требующих особо точной пригонки, — под $\nabla\nabla$. При особо точной пригонке требуются пришабривание или шлифовка направляющих.

Направляющие с трением качения. В этих направляющих для достижения большей легкости движения трение скольжения заменено (полностью или частично) трением качения. Для этого между относительно перемещающимися частями вводят либо шарики либо ролики.¹ Это возможно тогда, когда рабочая длина направляющей сравнительно велика по отношению к максимальному перемещению. Опорная длина направляющей (расстояние между точками касания крайних шариков) должна быть меньше длины меньшей из направляющих деталей на величину половины максимального перемещения $S/2$ плюс некоторый запас $2a$ (рис. 181). Однако, можно допускать и большее перемещение шариков, удерживая их от выпадения сепаратором (см. ниже).

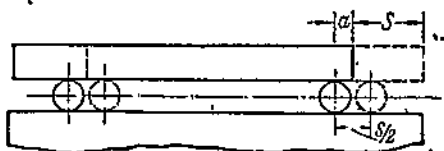


Рис. 181.

Указанные выше свойства (нечувствительность к температурным влияниям), а также значительно меньшее трение в направляющих с трением качения способствует все более широкому применению их и в оптико-механических приборах. Где только это возможно, полностью переходят на направляющие (подшипники) с трением качения. Особенно это целесообразно в приборах со сложной кинематикой. Наличие большого числа

¹ Ввиду малых нагрузок в оптико-механическом приборостроении применяются почти исключительно шариковые направляющие.

движущихся деталей в таких приборах вызывает суммарно большие силы трения, что при требованиях малого веса, а отсюда легкости и ажурности всего механизма, чрезвычайно затрудняет, а иногда и делает невозможным конструктивное разрешение последнего.

Следует, однако, иметь в виду, что габариты при применении прямолинейных направляющих с трением качения, как и шарикоподшипников, увеличиваются, как увеличивается и трудность конструктивного оформления приборов.

а) *Роликовые направляющие.* На рис. 182 показаны роликовые направляющие для перемещения клинового компенсатора в дальномере.

б) *Направляющие на шариках.* 1) Открытые направляющие применяются для кареток больших измерительных машин и приборов.

На рис. 172 приведена распространенная конструкция направляющей с V-образными канавками. Перемещение шариков ограничено штифтами а.

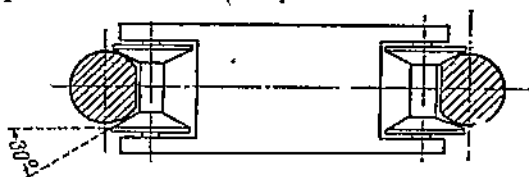


Рис. 182.

На практике основание 1 и каретка 2 обычно делаются из чугуна.¹ При этом оказывается, что на направляющих поверх-

ностях вскоре появляются колеи от шариков из закаленной стали. Если эти колеи изнашиваются неравномерно, то точность движения каретки нарушается. Этого можно отчасти избежать, образуя заранее еще заметную колею на направляющих поверхностях путем полировки их с помощью короткого стержня того же диаметра, что и шарик.

Интересная конструкция направляющих запатентована и применена Викманом в его мерительных машинах (рис. 183). Три V-образные канавки заменяются соответствующими парами стальных закаленных цилиндрических стержней А, В, С, причем каждая пара помещается в прямоугольное углубление с точно параллельными сторонами. Стержни отшлифованы, отполированы и тщательно проверены на прямолинейность. Плоская опорная поверхность на каретке состоит из полосы F из закаленной стали, прикрепленной к нижней стороне каретки. Каретка ходит на стальных шариках D и E. Нажимая своим весом на стержни, она приводит их в соприкосновение со сторонами углубления. Правильность направляющей может быть легко проверена измерениями стержней. Применение закаленной стали для направляющих стержней, шариков и плоскости F обеспечивает сохранение начальной точности движения. В случае износа направляющих стержней точность легко восстановить.

¹ В Америке и Германии применяется часто чугун с присадкой никеля и хрома.

повернув их на некоторый угол относительно их оси. Легкость движения каретки при данной конструкции такова, что, например, в мерительной машине Викмана каретка, весящая 34 кг, может быть приведена в движение из состояния покоя силой 30—60 г.

2) Замкнутые направляющие. На рис. 184 показана конструкция направляющих инструментального микроскопа фирмы Цейсс. Так как касание при данном профиле практически получается

по дугам, точки которых различно удалены от оси вращения шариков, то отсюда следует, что относительное трение скольжения будет несколько выше, чем в призматических направляющих (расчет сил трения в направляющих с трением качения

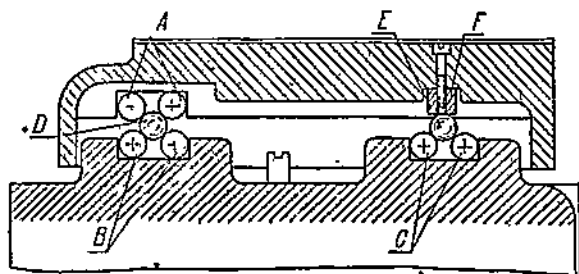


Рис. 183.

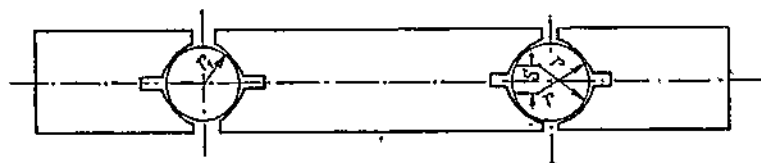


Рис. 184.

приводится ниже). Данная конструкция чрезвычайно выгодна в смысле износа, но является весьма трудной для производства. Ее следует применять в точных измерительных приборах, где

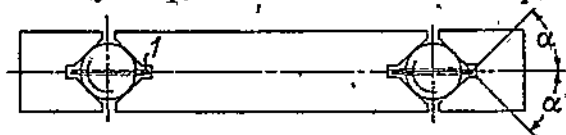


Рис. 185.

сохранение начальной точности движения играет существеннейшую роль. Призматические направляющие (рис. 185) являются наиболее удобными с производственной стороны и широко применяются в оптико-механических приборах. Как уже указывалось выше, их недостатком является сравнительно быстрый износ. В точных измерительных приборах можно предупреждать этот износ путем предварительной заполировки канавок на них цилиндрическим стержнем (притиром) (см. выше).

Сепараторы *1* служат для предупреждения набегания шариков друг на друга и для ограничения их передвижения. Сепаратор изображен на рис. 186.

При больших перемещениях для сохранения опорной длины (базы), не увеличивая длины направляющих, фирма Цейсс допускает, чтобы при крайнем положении каретки крайние шарики выходили из опорной части. От выпадения их удерживает сепаратор.

На рис. 187 дана новейшая конструкция направляющих фирмы Цейсс (K —каретка; H —опорные шарики; M —кольца

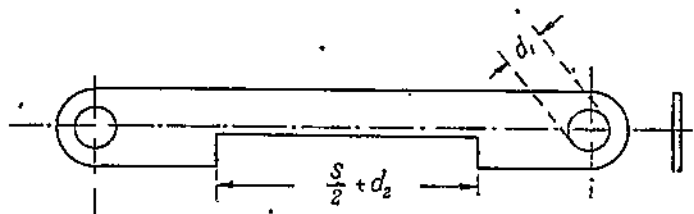


Рис. 186.

радиально-упорных шарикоподшипников; m —дополнительные шарики; C —станина). Несмотря на некоторую их громоздкость, эти направляющие имеют два существеннейшие преимущества перед приведенными выше: 1) опорные шарики H не перекатываются в направлении движения каретки, что дает возможность уменьшить рабочую длину направляющей при той же величине

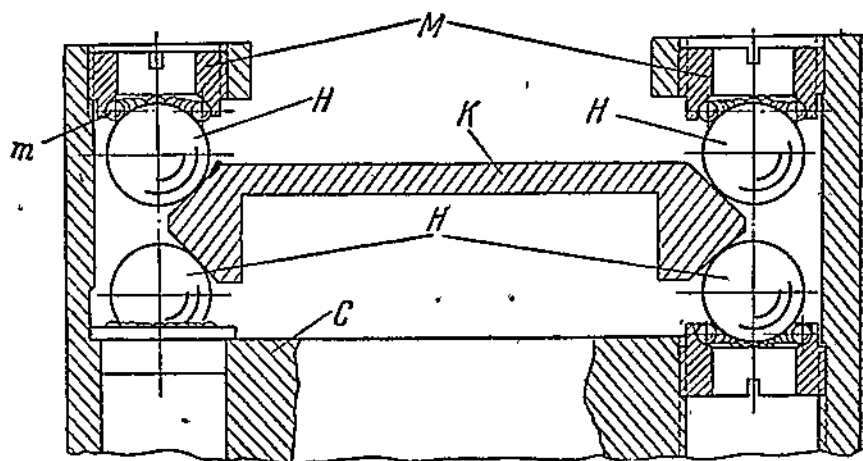


Рис. 187.

перемещения, как и у призматических; 2) изготовление и особенно сборка этих направляющих значительно легче, чем призматических.

Расчет силы трения в призматических направляющих (типа рис. 172 и 185). Вследствие того что касание двух упругих сжимаемых тел происходит не в точке, а на некоторой площадке, которую мы назовем „площадкой соприкасания“, при

качении возникает не только „чистое“ трение качения, но и трение скольжения, величина которого в данных конструкциях является весьма значительной и до сих пор не учитывалась.¹

Задача нахождения закона распределения давления по общей поверхности касания двух сжимаемых упругих тел была решена Г. Герцем. По Герцу следует, что в случае сжатия шара диаметра d с плоскостью давление распределится на поверхности, ограниченной кругом, радиус a которого выразится формулой:

$$a = 0,88 \sqrt[3]{\frac{P(E_1 + E_2)d}{2E_1E_2}},$$

где E_1 и E_2 — соответствующие модули упругости сжимаемых тел, а P — сжимающая сила.

Если материал шара и плоскости одинаков, то данная формула приобретает вид:

$$a = 0,88 \sqrt[3]{\frac{Pd}{E}}.$$

При качении шара по направляющей происходит его относительное вращение вокруг перемещающегося центра площадки соприкасания, являющегося мгновенным центром вращения. Определим момент трения скольжения (вращения) относительно этого центра. Давление в любой точке площадки соприкасания, отстоящей от ее центра на расстоянии ρ , равно:

$$p = p_{\max} \sqrt{\frac{a^2 - \rho^2}{a}},$$

$$p_{\max} = 0,62 \sqrt[3]{\frac{PE^2}{d^2}}.$$

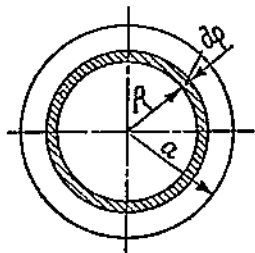


Рис. 188.

Подсчитаем давление на бесконечно тонкое кольцо площадки соприкасания, ограниченное окружностями радиусов ρ и $\rho + d\rho$ (рис. 188). Площадь этого кольца:

$$\pi(\rho + d\rho)^2 - \pi\rho^2 = 2\pi\rho d\rho$$

[отбрасывая бесконечно малую второго порядка $\pi(d\rho)^2$]

Элементарное давление:

$$dP = p 2\pi\rho d\rho.$$

Элементарный момент трения:

$$dM = \mu p 2\pi\rho^2 d\rho = \mu 2\pi p_{\max} \frac{\sqrt{a^2 - \rho^2}}{a} \rho^2 d\rho$$

(μ — коэффициент трения скольжения).

¹ Расчет этот приведен был нами впервые в журнале Оптико-механическая промышленность, № 11, 1955.

Момент трения всей площади соприкосновения M_b определится как сумма элементарных моментов, т. е.:

$$M_b = \sum dM = \frac{\mu 2\pi p_{\max}}{a} \int_0^a \rho^2 \sqrt{a^2 - \rho^2} d\rho = \frac{\mu \pi^2 a^3 p_{\max}}{8} \left(\text{так как } \int_0^a \rho^2 \sqrt{a^2 - \rho^2} d\rho = \frac{\pi a^4}{16} \right).$$

Подставив значение $p_{\max}$ и a и произведя соответствующее сокращение, получим окончательно:

$$M_b = 0,5\mu \sqrt[3]{\frac{P^4 d}{E}}.$$

Здесь P — реакция опоры в точке касания шарика. Момент относительно оси качения шарика:

$$M_b' = M_b \cos 45^\circ.$$

Работа трения верчения одного шарика:

$$A = M_b' \varphi,$$

где φ — угол поворота шарика, выраженный в радианах. Число оборотов шарика n при перемещении каретки на длине пути l :

$$n = \frac{l}{2\pi d \sin 45^\circ}.$$

Соппротивление R движению каретки будет складываться из сопротивления R_1 , создаваемого трением качения шарика и трением верчения R_2 , т. е.:

$$R = R_1 + R_2.$$

Общая нагрузка на каретку — Q ; γ — коэффициент трения качения; Z — число шариков в направляющей; $\alpha = 45^\circ$. Но реакция:

$$P = \frac{Q}{2Z \sin 45^\circ};$$

отсюда:

$$R_1 = \frac{2Q\gamma}{d \sin 45^\circ};$$

$$R_2 = \frac{4ZM_b}{d} \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \frac{2\mu Z \sqrt[3]{P^4 d}}{d} \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ = \frac{\mu Q \sqrt[3]{\frac{Q^4 d}{2Z \sin 45^\circ E}}}{d \sin 45^\circ}.$$

Тогда:

$$R_1 = \frac{4ZP\gamma}{d} \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ.$$

Подставив значения $d = 1 \text{ см}$, $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, $\mu = 0,2$ и $\gamma = 0,001 \text{ см}$, получим:

$$R_1 = 0,003 \text{ кг},$$

$$R_2 = 0,0026 Q \sqrt[3]{\frac{Q}{Z}} \text{ кг}.$$

В случае направляющих по рис. 184 площадка соприкасания будет представлять собой эллипс, полуоси которого вычисляются по формулам, приведенным ниже в расчете шарикоподшипников. Момент трения вращения выразится формулой:

$$M_b = \frac{3}{32} \cdot \mu PL,$$

где L — длина замкнутой кривой, ограничивающей площадку соприкасания.

Момент относительно оси качения шарика:

$$M_b' = M_b \cos \alpha,$$

где α — угол между нормалью к точке касания шарика и осью качения шарика.

3. Направляющие для вращательного движения (опоры, подшипники)

Классификация направляющих для вращательного движения.

1. Направляющие с трением скольжения:

- а) с цилиндрической рабочей поверхностью;
- б) с конической рабочей поверхностью:
 - 1) с одной конической цапфой,
 - 2) с двумя коническими цапфами (опоры на центрах);
- в) с шаровой рабочей поверхностью;
- г) опоры на ножах (острия).

2. Направляющие с трением качения — шариковые (роликовые) подшипники.

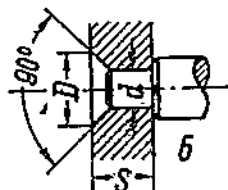
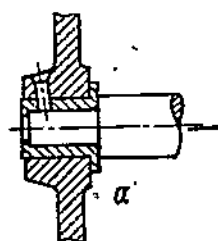


Рис. 189.

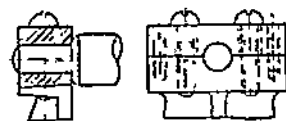
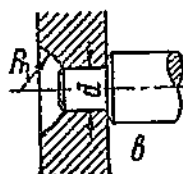


Рис. 190.

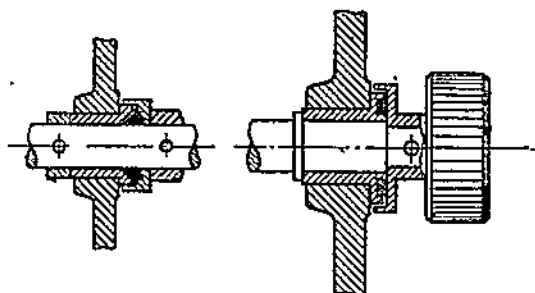


Рис. 191.

1. Направляющие с трением скольжения. а) Опоры с цилиндрической рабочей поверхностью состоят из цапфы (шейки), охватываемой подшипником (буксой, втулкой) (рис. 189—191).

В целях уменьшения трения и износа трущиеся детали необходимо делать из неодинаковых металлов. Наилучшие результаты дают:

Ось	Втулка
Сталь	Бронза
"	Чугун
"	Латунь
"	Камень (рубин, сапфир, агат и др. в часовых механизмах)
Нейзильбер	Бронза } При требовании
Латунь	" } диамагнитности

б) *Опоры с конической рабочей поверхностью.* Основными недостатками цилиндрических цапф являются неизбежный радиальный зазор (игра) в подшипнике и увеличение этого зазора от износа рабочих поверхностей, при невозможности его уничтожения без смены соответствующих деталей.

В тех случаях, когда необходимо особенно точное сохранение положения геометрической оси вращения, даже после некоторого изнашивания, применяют конические цапфы.

Трение в конических цапфах значительно выше, чем в цилиндрических, и определяется по формуле (рис. 192):

$$M = \mu r_{\text{ср.}} \cdot \frac{P}{\sin \alpha} = \mu r_{\text{ср.}} N,$$

где M — момент трения; μ — коэффициент трения; $r_{\text{ср.}} = \frac{r_{\text{наиб.}} + r_{\text{наим.}}}{2}$;

P — осевая нагрузка; α — половина угла при вершине конуса.

При радиальной нагрузке:

$$M = 1,27 \mu r_{\text{ср.}} \cdot \frac{P_1}{\sin(90 - \alpha)} = 1,27 \mu r_{\text{ср.}} N_1.$$

Если угол α слишком мал, то давление N становится слишком большим. Поэтому во избежание заклинивания в оптико-механических приборах конические цапфы, как правило, имеют еще опору по торцевой поверхности (рис. 193) или на острии (рис. 194).

Если положить $P=1$, то для различных значений угла конуса получаются значения N , указанные в табл. 33.

Рис. 192.

Таблица 33

Зависимость между P и N при различных α

Конусность	α	$\operatorname{tg} \alpha$	$\sin \alpha$	$\frac{1}{\sin \alpha}$
1:5	5°42'	0,10010	0,09961	10
1:6	4°46'	0,08338	0,08310	12
1:8	3°34'	0,06262	0,06250	16
1:10	2°52'	0,05007	0,05001	20

С другой стороны, следует иметь в виду, что чем длиннее коническая цапфа, тем она устойчивее и надежнее в работе.

Трение в конической цапфе должно происходить не по всей поверхности (рис. 193 и 194).

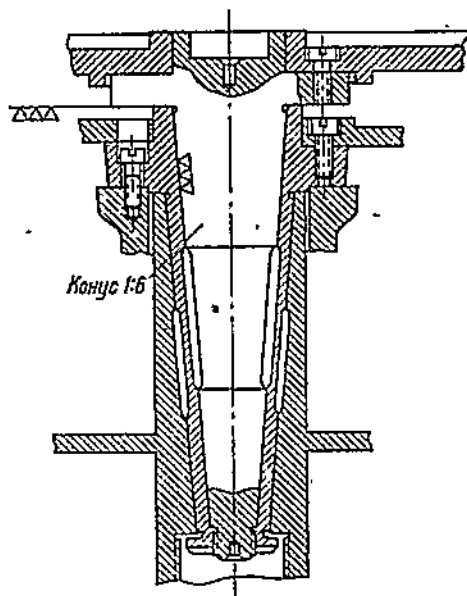


Рис. 193.

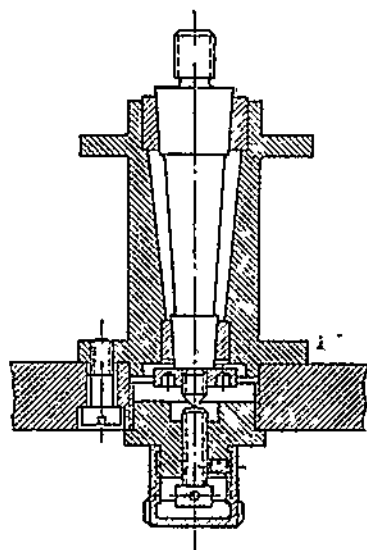


Рис. 194.

Изготовление и пригонка этих цапф значительно труднее, чем цилиндрических; их обычно притирают. В полевых приборах материал конуса и баксы должен иметь обязательно одинаковый коэффициент линейного расширения. Поэтому в настоящее время стараются избегать их применения.

Конические цапфы применяют в геодезических, астрономических приборах стереотруба и др.

Опоры с двумя коническими цапфами (опоры на центрах) применяются для легких деталей.

Для регулирования зазора применяют винты с коническим острием либо углублением. При этом ось в первом случае имеет

зенкованное цилиндрическое углубление (рис. 195) либо коническое острие (рис. 196).

При всех прочих равных условиях коническая цапфа прочнее, чем цилиндрическая, но быстрее изнашивается.

Винты должны обязательно иметь предохранение против самоотвинчивания.

Ориентировочные размеры угла при вершине конуса и размеры отверстия (по DIN 332) дают табл. 34 и рис. 196.

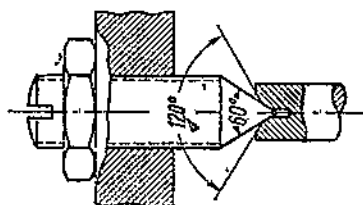


Рис. 195.

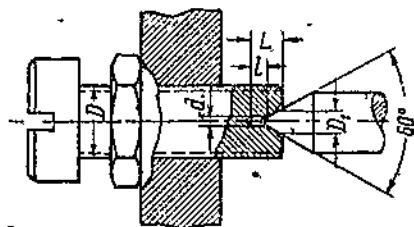


Рис. 196.

Рабочие поверхности винтов должны быть закалены.

в) Шаровые цапфы применяются в тех случаях, когда требуется обеспечить ось от продольного перемещения, предоставив ей в то же время некоторую свободу вращения около центра цапфы (рис. 197—199).

Таблица 34

Размеры центрирующих отверстий

D	d	D_1	L	l_{min}
1—2,5	0,5	1,2	1,5	0,8
2,5—5	0,75	2,0	2,5	1,0
5—10	1,0	2,5	3,0	1,2
10—20	1,5	4,0	1,5	1,8

2. Направляющие с трением качения (шариковые и роликовые подшипники). Во время работы сопротивление от трения в подшипниках качения немногим меньше сопротивления в хорошо сконструированных подшипниках скользящего трения. Начальный

же крутящий момент, необходимый для начала вращения вала, при подшипниках качения значительно меньше. Это обстоятельство

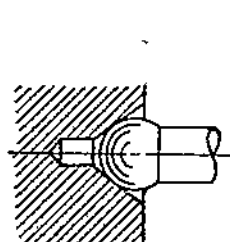


Рис. 197.

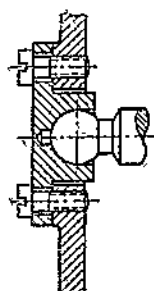


Рис. 198.

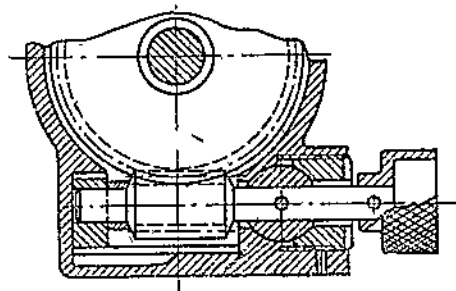


Рис. 199.

является особенно выгодным для оптико-механических приборов. Другими преимуществами подшипников качения являются, как уже указывалось выше: нечувствительность к температурным

колебаниям, малый расход и нетребовательность к смазке, нечувствительность к нагрузке при самых высоких числах оборотов, отсутствие нагревания при тех же условиях.

При низком или среднем числе оборотов применяется густая смазка (вазелин, тавот). При числе оборотов свыше 1000 об./мин. требуется смазка жидким минеральным маслом. Смазка должна быть свободна от кислот и щелочей.

Балансировка при подшипниках качения труднее, чем при подшипниках скольжения. Необходима точная установка подшипников. Обеспечивается их легкая и полная взаимозаменяемость.

Материалом для шариков (роликов) и колец служит специальная хромистая сталь марки X-6 и XIII в виде калиброванных прутков, сталь ЭХ-2 и др.

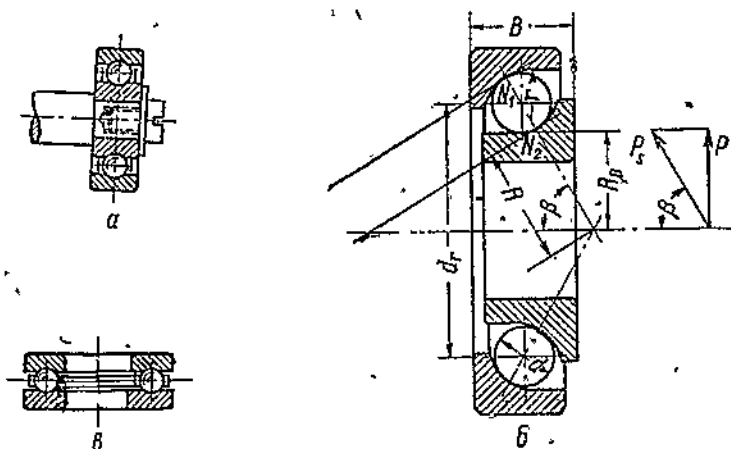


Рис. 200.

Для уменьшения трения и износа поверхность шарика и беговая дорожка кольца должны быть сильно закалены и при рассматривании в лупу не иметь трещин, царапин и вмятин.

Классификация подшипников качения. В точной механике и оптико-механическом приборостроении ввиду малых нагрузок применяются почти исключительно шарикоподшипники, рассмотрением которых мы и ограничимся в дальнейшем.

Шарикоподшипники по способности к восприятию той или иной нагрузки можно разделить на три основные группы:

1) *радиальные*, т. е. приспособленные к восприятию радиальной (перпендикулярной к оси вала) нагрузки (ОСТ 7219, 6121 и 2216) (рис. 200 а);

2) *радиально-упорные*, т. е. приспособленные к восприятию комбинированных нагрузок (ОСТ 6772¹) (рис. 200 б);

¹ ОСТ 6772 не удовлетворяет оптико-механическую промышленность, так как внутренний диаметр (под вал) начинается от 15 мм.

3) *упорные*, т. е. приспособленные к восприятию только осевых нагрузок (ОСТ 7219) (рис. 200 в).

Из нормальных типов шарикоподшипников в оптико-механических приборах применяются преимущественно однорядные радиальные подшипники легкой серии (ОСТ 6121 и 2216).

Ввиду малых нагрузок и чисел оборотов и требований наименьшего габарита и веса в оптико-механическом приборостроении имеют широкое распространение специальные конструкции шарикоподшипников.

Специальные шарикоподшипники, применяемые в оптико-механических приборах. Показанный на рис. 200 б однорядный радиально-упорный шарикоподшипник одинаково хорошо выносит как радиальную, так и аксиальную (осевую) нагрузки и хорошо сопротивляется износу, но несколько труден в производ-

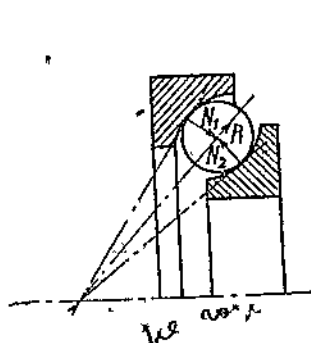


Рис. 201.

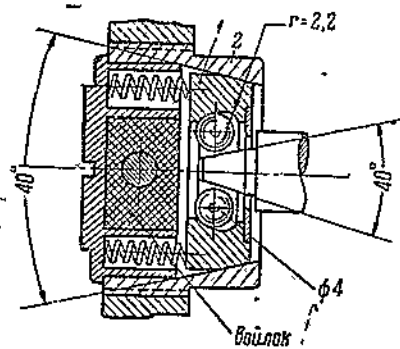


Рис. 202.

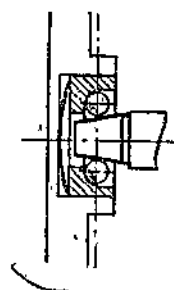


Рис. 203.

стве (эксцентриситет). Его не следует применять при больших диаметрах (из-за трудности изготовления) и в тех случаях, когда требуется минимальный бой.

Некоторые авторы ошибочно предполагают, что можно сконструировать этот подшипник так, чтобы касательные к точкам касания шарика пересекались в одной точке на оси вращения подшипника (рис. 201), что теоретически должно вести к минимуму трения скольжения. В действительности же, под влиянием равнодействующей R реакций N_1 и N_2 , направленных под углом α к центру шарика, шарик при качении будет смещаться в направлении действия силы R до тех пор, пока точки касания его не будут лежать на общем диаметре (равнодействующая $R \rightarrow 0$), а отсюда и касательные к ним расположатся параллельно друг другу, как указано на рис. 200 б. Чем меньше радиус окружности центров шариков, тем относительно больше трение скольжения (верчения).

Обычно r кольца берется равным $0,65 d_{\text{шар}}$.

¹ См. Рихтер и Фосс, Детали точной промышленности, 252; Ф. В. Дроздов, Детали точного приборостроения, 170.

Более удобным для производства, но выдерживающим меньшую нагрузку, является подшипник, изображенный на рис. 202 и 203.

Фирма Сперри (Sperry Gyroscop Co) применяет в малых моделях своих гироскопов угол конуса оси шарикоподшипника 40° и $r \approx 0,55 d_{\text{шар.}}$ (рис. 202). Мы считаем угол 40° весьма выгодным.

Данная конструкция предусматривает также компенсацию температурных влияний в том случае, если материалы оси ротора гироскопа и кольца, в котором закреплено кольцо подшипника, имеют сильно различающиеся коэффициенты линейного расширения. Для этого чашка 1 обточена снаружи на конус и поджимается сильными пружинами к внутреннему конусу дюралюминиевого кольца 2, которое, в свою очередь, ввернуто в алюминиевое карданное кольцо гироскопа. При сборке подшипник регулируется на отсутствие осевой и радиальной игры поворотом кольца 2. Смещение чашки 1 в кольцо 2 при температурных колебаниях компенсируется соответствующим изменением сопряженных конусных поверхностей чашки 1 и кольца 2. Так как коэффициенты расширения алюминия и дюралюминия одинаковы, формула для определения угла конуса имеет весьма простой вид:

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{l}{r},$$

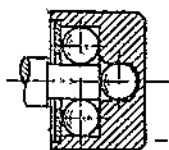


Рис. 204.

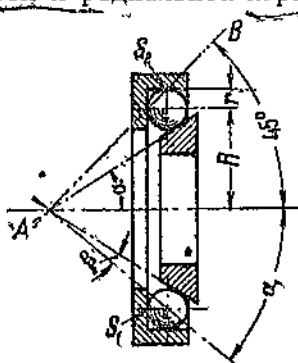


Рис. 205.

где l — длина оси ротора между точками касания шариков, r — радиус кольца в плоскости касания шариков.

Более простая конструкция с температурной компенсацией представлена на рис. 203. Посадка кольца требуется по 1-му классу точности.

Поверхность конуса (оси) сравнительно быстро изнашивается, на ней появляется колей от шариков. Однако, если такую колею получить заранее, например, обкаткой, а затем отрегулировать подшипник, то в дальнейшем износ идет значительно медленнее.

Если не требуется точной балансировки оси, то может быть применен подшипник рис. 204. При очень большом числе оборотов (6000—10 000 об./мин.) получались нагревание и даже отпуск упорного шарика.

При малых числах оборотов и малой нагрузке в оптико-механических приборах применяются шарикоподшипники, представленные на рис. 204—206. Этот тип является вполне рациональным с производственной стороны. При малых диаметрах следует, чтобы касательная AB и образующая конуса пересека-

лись в одной точке на оси вращения (рис. 205). Угол α рассчитывается по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{R}{R+r}; \quad \sin \beta = \frac{r \sin \alpha_1}{R}; \quad \alpha = \alpha_1 - \beta.$$

Для уменьшения боя следует вращающееся кольцо делать цилиндрическим.

Замкнутый радиально-упорный шарикоподшипник (рис. 207 а, б и 208) является весьма выгодным в смысле компактности и ши-

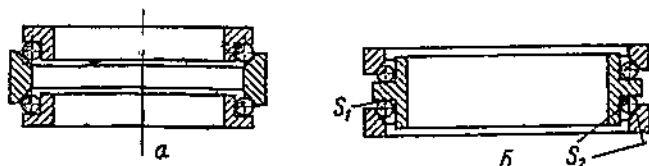


Рис. 206.

роко применяется в оптико-механических приборах. Трение в данном подшипнике несколько велико по сравнению с другими типами (см. расчет), почему его следует применять при малых нагрузке и числе оборотов, а также там, где бой не играет роли (например, клиновой компенсатор дальномера и т. п.).

Сепараторы. Для того чтобы шарики не накатывались друг на

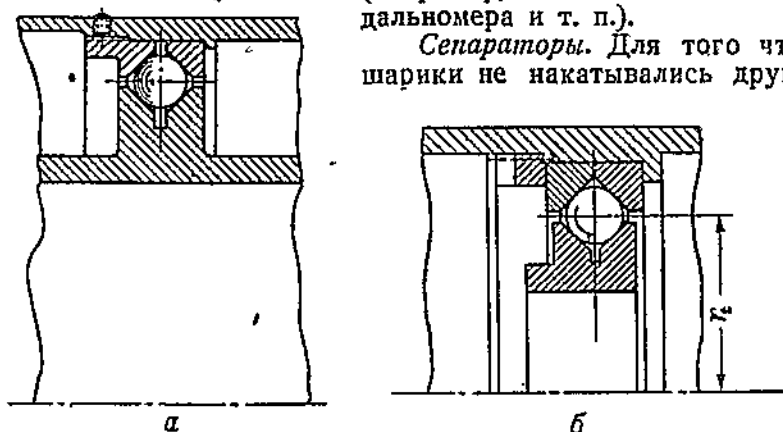


Рис. 207.

друга (при этом трение и износ их возрастают, вследствие того что касающиеся точки двигаются навстречу друг другу, т. е. с удвоенной относительной скоростью), их разделяют так называемыми сепараторами. Сепараторы изготавливаются из мягкой стали либо из латуни (рис. 209 а и б). Шарикоподшипники без сепараторов называются *насыпными*.

Расчет шарикоподшипников. а) Число шариков. Число шариков (рис. 210) определяется из уравнения:

$$\sin \frac{180^\circ}{Z} = \frac{t}{d_i},$$

где Z — число шариков; t — расстояние по хорде между центрами двух соседних шариков; d_t — диаметр окружности центров шариков.

Для подшипников без сепараторов берется $t \approx 1,01 d$, при хороших сепараторах $t = 1,2 d$ и выше.

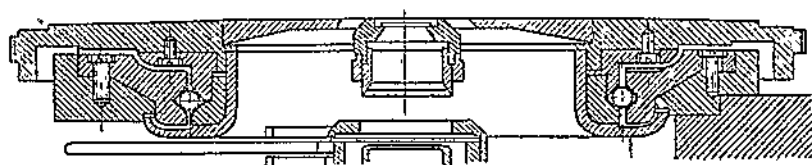


Рис. 208.

б) Трение в шарикоподшипниках. 1) Радиальный подшипник. Момент трения одного шарика (рис. 211):

$$M_n = P_n t,$$

$$P_n = \frac{5Q_0}{Z} \cdot \cos \frac{1}{2} \alpha \gamma,^1$$

или более упрощенно:

$$M_n = \frac{k' d_t}{d} f,$$

где Q — общая нагрузка; Z — число шариков; f — плечо, трения качения, равное 0,0005—0,01 см; k' — коэффициент. При $Z \geq 8$ $k' \approx 1,2$.

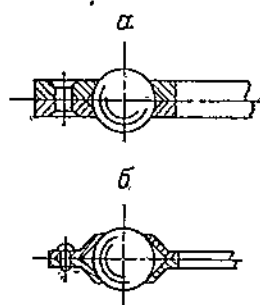


Рис. 209.

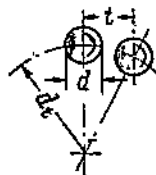


Рис. 210.

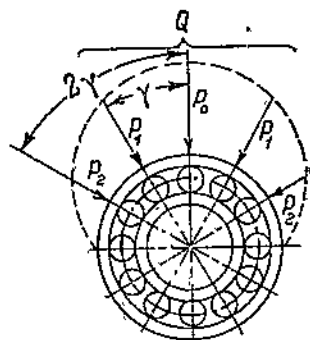


Рис. 211.

Момент трения всего подшипника равен сумме моментов трения всех шариков:

$$M = \sum M_n.$$

¹ По Штрибеку.

2) Радиально-упорный шарикоподшипник. Момент трения одного шарика при радиальной нагрузке:

$$M_n = P_s f;$$

$$P_s = \frac{P_n}{2 \sin \beta} = \frac{5Q \cos^{1/2} \alpha \gamma}{2Z \sin \beta}.$$

3) Упорный подшипник:

$$M = Qf.$$

в) Сила трения в замкнутом радиально-упорном шарикоподшипнике (рис. 207). В данном подшипнике сила трения скольжения (верчения) является относительно высокой, почему при расчете его пренебрегать ею ни в коем случае нельзя. Аналогично расчету сил трения в направляющих стр. 174) произведем расчет силы трения в этом подшипнике. При расчете кривой, ограничивающей площадку соприкасания, следует коническую поверхность кольца подшипника принять за цилиндрическую радиуса ρ_2 , равного радиусу кривизны (в точке касания шарика) параболы, образующейся в сечении конической поверхности подшипника плоскостью, нормальной образующей конуса. С достаточной степенью точности можно считать $\rho_2 = 1,33 r_t$ (здесь r_t — радиус окружности центров шариков).

В общем случае сжатия двух тел, имеющих одинаковые модули упругости, кривой, ограничивающей площадку соприкасания, является эллипс, полуоси которого определяются следующими формулами:

$$a = \alpha \sqrt[3]{\frac{Pm}{n}},$$

$$b = \beta \sqrt[3]{\frac{Pm}{n}},$$

$$m = \frac{4}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_1'} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_2'}}.$$

Коэффициенты α и β в каждом частном случае берутся по табл. 35.¹ Угол θ в первом столбце вычислен по уравнению:

$$\cos \theta = \frac{B}{A},$$

$$A = \frac{2}{m};$$

$$B = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_1'}\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_2'}\right)^2 + 2\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_1'}\right) \cdot \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_2'}\right) \cos 2\varphi},$$

где $1/\rho_1, 1/\rho_1', 1/\rho_2, 1/\rho_2'$ — главные кривизны тел в точке касания в двух плоскостях (кривизна тела считается положительной, если соответствующий центр кривизны находится внутри тела); φ — угол между плоскостями, в которых лежат радиусы кривизны.

$$B = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_2'} \right)$$

¹ Тимошенко, Сопротивление материалов, ч. 2.

Таблица 35

Коэффициенты α и β для определения полуосей эллипса касания

θ	α	β	θ	α	β
30°	2,731	0,493	65°	1,378	0,759
35°	2,897	0,530	70°	1,284	0,802
40°	2,136	0,567	75°	1,202	0,846
45°	1,926	0,604	80°	1,128	0,893
50°	1,754	0,641	85°	1,061	0,944
55°	1,611	0,678	90°	1,000	1,000
60°	1,486	0,717	—	—	—

для случая сжатия шара и кривой поверхности;

$$B = \frac{1}{2p_2}$$

для случая сжатия шара и конуса.

$$n = \frac{4E}{3(1-\mu^2)},$$

где μ — коэффициент Пуассона, равный 0,3.

Момент трения верчения в общем случае выражается формулой:

$$M_b = \frac{3}{32} \cdot \mu PL,$$

где L — длина замкнутой кривой, ограничивающей площадку соприкасания. Для эллипса эта формула примет вид:

$$M_b = \frac{9}{64} \cdot \pi \mu P [(a+b) - \sqrt{ab}].$$

Если $R \approx 20$ мм, то расчет можно вести, приняв поверхность кольца подшипника за плоскость; то же относится к случаю, когда сила P не велика (не выше 2—3 кг).

В случае радиально-упорного шарикоподшипника, приведенного на рис. 206 б, трение верчения будет иметь место в точках S_1 и S_2 , причем в S_1 площадка соприкасания будет ограничена кругом, а в S_2 — эллипсом. Если радиус цилиндра ≥ 20 мм, то цилиндр может быть принят за плоскость. Таким образом момент трения подшипника будет равен сумме моментов трения качения, вычисляемого, как указано выше для радиально-упорного подшипника, и трения скольжения (верчения).

Допуски на шарики. При изготовлении шариков применяются допуски, симметрично расположенные около номинальных диаметров. Так, для диаметров шариков до 1" (25,4 мм) допуск $\pm 0,001$ мм. Данный допуск выдерживается для шариков одного комплекта.

В случае весьма высоких требований на отсутствие боя в шарикоподшипнике следует при заводском изготовлении колец

шарикоподшипника перекомплектовывать шарики, задавая для одного комплекта необходимые допуски.

В настоящее время 1-й и 2-й ГПЗ изготавливают шарики следующих размеров (в дюймах): $\frac{1}{8}$, $\frac{5}{32}$, $\frac{3}{16}$, $\frac{7}{32}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{9}{32}$, $\frac{5}{16}$, $\frac{11}{32}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{13}{32}$, $\frac{7}{16}$, $\frac{15}{32}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{11}{16}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{13}{16}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{15}{16}$, 1 и свыше 1 через $\frac{1}{8}$.¹ Допуск на овальность у шариков диаметром до $\frac{1}{4}$ — 0,001 мм.

4. Выбор металла и его термическая обработка

В целях уменьшения трения и износа следует правильно подбирать материал трущихся деталей (см. табл. 36).

Таблица 36

Материал для направляющих прямолинейного движения

Тип направляющих	Материал направляющих	Материал движущейся детали
1. С трением скольжения		
а) Цилиндрические и призматические направляющие приборов	Сталь № 4 и выше.	Бронза, латунь
б) Плоские и призматические направляющие станины измерительных приборов	Сталь с содержанием марганца или ванадия (закаленная). Чугун, хромистый чугун	Чугун Незакаленная сталь Сталь № 4 и выше
2. С трением качения	Сталь № 4 и выше Нержавеющая сталь Высокоуглеродистая хромистая сталь ЭХ-2, ЭХ-3	См. шарикоподшипники

Опыт завода ГОМЗ показал, что для точных измерительных приборов направляющие (на шариках) следует изготавливать из стали, содержащей 0,15—0,2% углерода, с последующей цементацией и закалкой. Глубина цементации — 1,5 мм.

Направляющие сложного профиля, изготовленные из высокоуглеродистой стали, при закалке неизбежно ведет. После закалки требуются доводка и шлифовка их, для чего должен быть предусмотрен соответствующий припуск. Наилучшим же способом придания поверхностной твердости рабочим поверхностям направляющих является, по нашему мнению, азотирование.

Если направляющие (рис. 185) работают при малой нагрузке и при пониженных требованиях к их точности и износу, они могут не подвергаться термической обработке. В этом случае в зависимости от условий их работы они могут изготавливаться из стали № 6—12.

Следует иметь в виду, что и малоответственные в смысле износа направляющие в приборах, подвергаемых сильной тряске

¹ В настоящее время выпущен ОСТ 8201, предусматривающий изготовление шариков диаметром от 1 мм.

и вибрациям следует делать из хорошо закаленной стали. В противном случае при вибрациях закаленные шарики будут постепенно наминать поверхность направляющих, образуя своего рода „ухабы“, что крайне вредно влияет на плавность и легкость хода и отсутствие люфтов.

Табл. 37 показывает сравнительную изнашиваемость твердых металлов по данным иностранных авторов. Износ инструментальной стали принят за 100.

Таблица 37

Изнашиваемость твердых металлов

№ по пгр.	М а т е р и а л	А в т о р		
		Френч Гершман	Нибердинг	Саввин
1	Закаленная инструментальная сталь.	100	100	100
2	Быстрорежущая сталь (18% W)	84	57	72
3	Нитрированная сталь	49	45	34
4	Хромированная сталь ¹	29	5	32

Для исследования прямолинейности направляющих применяются различные оптические методы; ² фирмой Цейсс выпущен специальный прибор для исследования качества поверхностей направляющих, дающий возможность определять линейные ошибки до 0,001 мм на длине до 4 м.³

5. Смазка направляющих

Для подведения смазочного материала к смазываемому месту и для образования в подшипнике некоторого запаса масла обычно в теле подшипника сверлят отверстие (рис. 189 а). Если этого сделать нельзя, например, из-за малых размеров всей конструкции, то ограничиваются зенковкой отверстия для оси; в таком коническом уширении отверстия смазочный материал удерживается действием капиллярных сил.

Обычные нормы отверстий с таким уширением показаны на рис. 189б. В данном случае конец цапфы должен быть несколько утоплен и не доходить до наружной поверхности, чтобы масло держалось лучше. На буртике оси, прилегающем к подшипнику, делают фаску для уменьшения опорной площадки, а также для лучшего удержания масла.

В полевых оптико-механических приборах применяются специальные смазки. Основным требованием к этим смазкам является сохранение их свойств в интервале температур от $+50^{\circ}$ до -40° ,

¹ Большие различия у хромированной стали объясняются неодинаковостью толщины слоя хрома и способа хромирования. Следует иметь в виду, что хромированная поверхность боится поверхностного давления (происходит выкрашивание хрома).

² См. Рольф, Калибры и точные измерения, т. II.

³ О. Eppenstein, Feinmech. u. Präz., № 2, 177, 1934.

причем в последнее время есть тенденция к расширению этого интервала от $+60^\circ$ до -45° и даже ниже, так как в условиях Арктики и полетов в стратосфере возможны температуры до -60° , при которых оптические приборы должны работать безотказно.

Часто потребители считают, что смазка должна исправлять все дефекты в изготовленных приборах. Так, например, если окуляр слишком свободен — „болтается“ в оправе — то, по мнению производителей, смазка должна все же дать тугой ход окуляра, а если последний слишком туго ходит в оправе, смазка должна дать легкий ход, и т. п. Этот совершенно ошибочный взгляд должен быть отброшен, ибо известно, что сопротивление смазки строго зависит от величины зазора между трущимися поверхностями и находится в обратной зависимости от этой величины, т. е. при уменьшении зазора сопротивление быстро увеличивается, что особенно важно учитывать при низких температурах.

Глава VII

ВАЛИКИ, МУФТЫ И ШАРНИРЫ

1. Оси и валы

В общем машиностроении осью называют деталь, не передающую вращения, а служащую лишь опорой для вращающейся детали. Ось рассчитывается только на изгиб, в то время как вал рассчитывается на кручение и изгиб. Следует отметить, что в оптико-механическом приборостроении, равно как и в других отраслях точной механики, понятия „ось“ и „вал“ несколько смешаны, и наряду с приведенной выше формулировкой осью называют также небольшие валики, передающие незначительные крутящие моменты.

Обычно в оптико-механических приборах оси и валы не рассчитываются на прочность, так как действующие усилия в большинстве случаев весьма малы и учет их поэтому весьма затруднителен. В таких случаях размеры оси (вала) определяются конструктивными и производственными требованиями. Для облегчения часто делают оси и валы пустотелыми.

Если же расчет производится, то отличием его является то, что в расчете, например, изгиба собственный вес вала (оси) не учитывается.

Материалом для осей и валов обычно служат конструкционная сталь марок 3—6, 10—50, сталь серебрянка и т. п. Если требуется диамагнитность, применяют бронзу, латунь и нейзильбер.

2. Классификация муфт

Муфты служат для передачи вращения между двумя валами, расположенными примерно на одной общей оси вращения.

Соединение осей с помощью муфт применяется в следующих случаях.

1. Вал получается слишком длинным, что затрудняет сборку прибора, а также изготовление валика. При длинном и тонком валике во избежание его прогиба необходимо иметь достаточное число опор (подшипников). Однако, размещение большого числа подшипников так, чтобы их геометрические оси совпадали с достаточной точностью, является весьма затруднительным. При несоблюдении же этого требования вал получит прогиб, и вращение его будет затруднено. Если вал разделить на несколько частей и соединить эти части между собой муфтами, допускающими некоторое несовпадение осей вращения соединяемых частей, то сборка подшипников такого вала чрезвычайно облегчается, а также обеспечивается нормальная работа вала.

2. В некоторых случаях сборка вала и деталей, которые на нем закрепляются, чрезвычайно затрудняется или даже вовсе невозможна, если данный вал не разделить на части, соединяемые между собой муфтами.

3. Участки вала должны иметь возможность относительного осевого перемещения.

4. Участки вала должны иметь эластичную связь во избежание передачи толчков и ударов.

5. Участки вала должны иметь возможно большее относительное смещение, линейное и угловое (шарнир Гука, соединение гибким валом).

6. Участки вала должны иметь возможность простого и быстрого расцепления между собой как по желанию, так и автоматически (например, в случае перегрузки).

7. Требуется, чтобы вращение передавалось только при одном направлении вращения ведущего вала (муфты свободного хода).

В соответствии с этим мы дадим следующую классификацию муфт.

I. *Жесткие муфты.*

II. *Гибкие (подвижные) муфты.*

1. Муфты с возможностью осевого перемещения (расширительные муфты):

а) торцевые и втулочные муфты;

б) дисковые муфты.

2. Упругие муфты.

3. Муфты, допускающие поперечный сдвиг осей (кулачковая муфта, муфта Ольдгэма).

4. Муфты, допускающие переменный угол между осями:

а) шарнир Гука;

б) муфты с шаровым шарниром;

в) пружинно-шарнирные муфты;

г) гибкие валы.

5. Сцепные муфты:

а) управляемые сцепные муфты:

1) кулачковые муфты,

2) фрикционные муфты;

б) автоматические сцепные муфты:

- 1) муфты скольжения,
- 2) центробежные муфты,
- 3) муфты свободного хода (односторонние муфты).

3. Жесткие муфты

Эти муфты (рис. 212), как уже указывалось выше, служат для соединения осей с целью облегчения их сборки и изготовления, а также в случае соединения различных агрегатов между собой, например, для присоединения вала мотора и т. п. Следует иметь в виду, что жесткие муфты требуют почти полного совпадения соединяемых осей. Для обеспечения некоторой игры осей они изготавливаются со значительным зазором между втулкой и осью (по 4-му и 5-му классам точности). Штифты для этой же цели следует располагать под углом в 90° друг к другу.

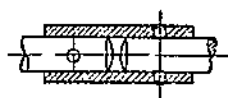


Рис. 212.

Муфты эти весьма просты в изготовлении. Материалом для втулок служит обычно мягкая сталь.

4. Гибкие (подвижные) муфты

1. Муфты с возможностью осевого перемещения (расширительные муфты). а) *Торцевые и втулочные муфты.* Наиболее простыми являются муфты, представленные на рис. 213а, б и в.

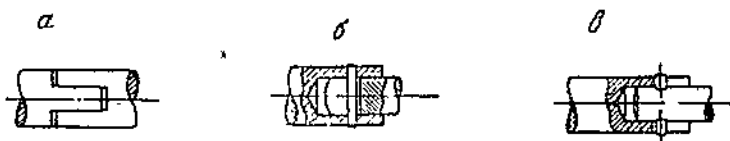


Рис. 213.

Муфта по рис. 213а значительно меньше подвержена износу, чем муфта, изображенная на рис. 213б, так как стенки паза, подверженные износу, находятся на большом расстоянии от центральной



Рис. 214.

линии оси и, следовательно, при том же крутящем моменте испытывают меньшее давление $p = M_{кр}/r$.

Расчет таких муфт на прочность должен вестись на смятие стенки паза.

На рис. 214 дана конструкция карданного валика звуковой приставки к кинопроектору ТОМП-4. За счет сжатия пружины валик может быть вынут.

Вследствие износа ведущих штифтов, пазов, кулаков и возрастающего из-за этого люфта полезно в некоторых случаях

этим частям придавать клиновидную форму и вводить их в зацепление под постоянным (осевым) давлением, либо предусматривать возможность осевого сближения указанных деталей по мере их износа. Конечно, это усложняет и удорожает конструкцию.

Расчет следует вести на смятие стенки паза. Материал — сталь.

б) *Дисковые муфты* выгодно отличаются от перечисленных выше тем, что: 1) детали сцепления, наиболее подверженные

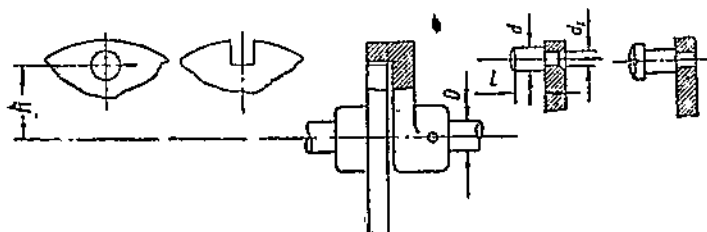


Рис. 215.



Рис. 216.

износу [кулаки (зубья), ведущие штифты], лежат на значительном удалении от оси вращения и, следовательно, испытывают меньшее давление; 2) при той же величине зазора между кулаком и пазом (отверстием) угловая величина люфта меньше.

На рис. 215 показаны детали сцепления дисковых муфт.

На рис. 216 показано упругое закрепление ведущего пальца. Такое закрепление полезно, когда муфта закрыта и не видна и приходится расцеплять и сцеплять оси на ходу. Перечисленные муфты не свободны от мертвого хода.

Материал кулаков и зубьев — сталь. Расчет кулаков ведется на изгиб.

2. Упругие муфты

Для избавления от люфта при переменном направлении вращения, при не-

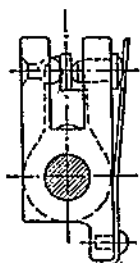


Рис. 217а.

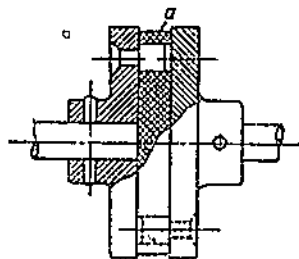


Рис. 217б.

больших крутящих моментах, применяются муфты, снабженные пружинами (рис. 217а). Если сила давления пружины меньше начального крутящего момента, но больше рабочего момента, то получаем упругую муфту.

Эти муфты применяются, когда требуется эластичная связь между осями. Для этой цели пользуются также упругими муфтами, сцепляющимися посредством промежуточных прокладок из эластичного материала. Муфты такого рода с успехом применяются для восприятия вибраций, толчков (механические фильтры), а также для поглощения шума. Для прокладок *а* применяются кожа, резина, фибра, промасленный фетр (рис. 217б).

На рис. 218 дана конструкция механического фильтра к транспортирующему валу 1 звуковой приставки к кинопроектору ТОМП-4. На валу 1 закреплена металлическая шайба 2, соединенная с ведущей шестерней 3 посредством упругой шайбы 4. Шайба 4 сделана из фетра и пропитана маслом. Фетр, пропитанный маслом, обладает упругостью и демпфирующим (тормозящим) эффектом. Такой фильтр хорошо гасит подводимые к нему колебания.

На рис. 219 изображена муфта, в которой передача производится посредством фибровых втулок 1, в которые входят кулаки

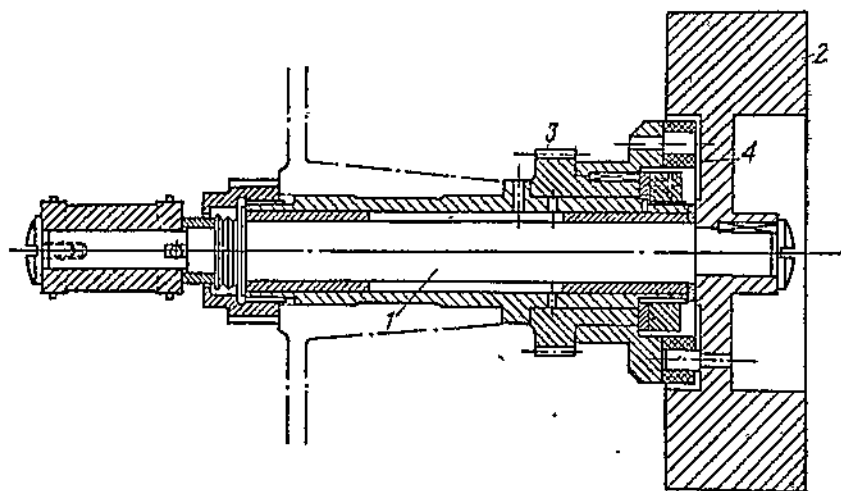


Рис. 218.

муфты. Муфты такого рода служат для электрической изоляции одной оси от другой.

Перечисленные упругие муфты не требуют большой точности в установке соединяемых осей.

3. Муфты, допускающие поперечный сдвиг осей. Если одна ось сдвинута относительно другой, оставаясь ей параллельной, то сцепляющиеся части муфты должны иметь возможность относительного движения в радиальном направлении. В случае весьма малого сдвига осей можно применять упругие муфты.

Если сдвиг осей велик, то в указанных муфтах происходит сильное изнашивание ведущих частей вследствие относительного движения, а отсюда и трения между собой сцепляющихся частей. Кроме того сама передача становится тем более неравномерной, чем больше расстояние между осями.

Из рис. 220 видно, что при постоянной угловой скорости ω_1 ведущего вала A с кривошипом C радиуса r угловая скорость ω_2 ведомого вала B изменяется в течение полуоборота от $\frac{r\omega_1}{r+a}$

(положение кривошипа C_1) до $\frac{r\omega_1}{r-a}$ (положение кривошипа C_2).

Эта неравномерность вращения устранена в муфте Ольдгэма (рис. 221а), представляющей собой две кривошипные муфты, смещенные одна относительно другой на угол 90° . В этой муфте средний диск D_2 имеет двое перпендикулярно расположенных ползьев, входящих в соответственные направляющие пазы ведущего и ведомого дисков D_1 и D_3 . При вращении дисков D_1 и D_3

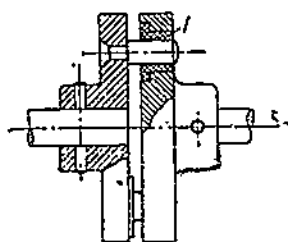


Рис. 219.

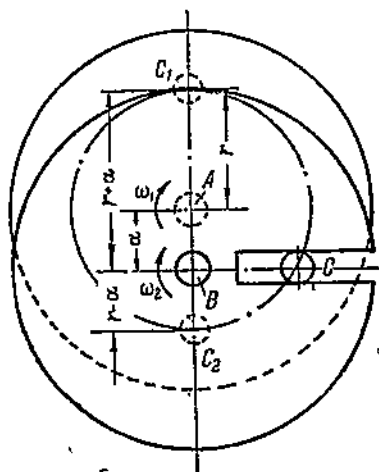


Рис. 220.

центр диска D_2 вращается с двойной угловой скоростью ($2\omega_0$) сравнительно с угловой скоростью ω_0 дисков D_1 и D_3 , описывая круг диаметром, равным расстоянию между осями a , и вращаясь при этом относительно своей оси с угловой скоростью ω_0 . Для уменьшения трения и износа следует средний диск делать из стали № 4, 6, ведущий и ведомый диски — из фосфористой бронзы. Ползья должны быть хорошо пришлифованы. Угол 90° между ползьями может быть выдержан с допуском $\pm 3^\circ$. Расстояние между осями желательно делать не более $\frac{1}{8}$ длины полза.

На рис. 221б представлена весьма простая конструкция муфты Ольдгэма, допускающая также некоторый угол между осями (1 — вилка; 2 — сухарь).

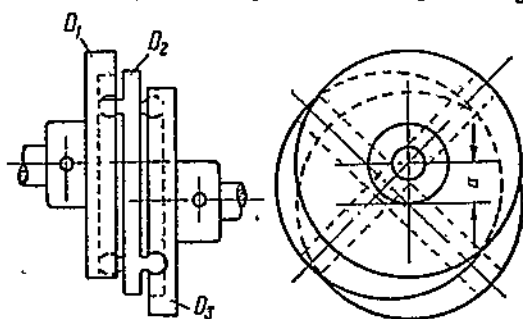


Рис. 221а.

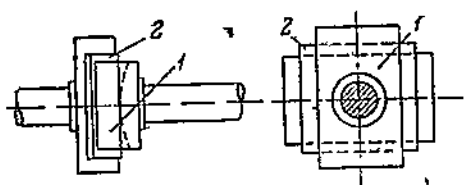


Рис. 221б.

4. Муфты, допускающие переменный угол между осями (шарнирные муфты). Эти муфты имеют широкое применение в оптико-механическом приборостроении там, где требуется гибкая связь (в небольших пределах) при достаточно точной передаче. Как на примеры применения укажем: передачу от дальномерного валика к оправам компенсаторов в дальномере, пере-

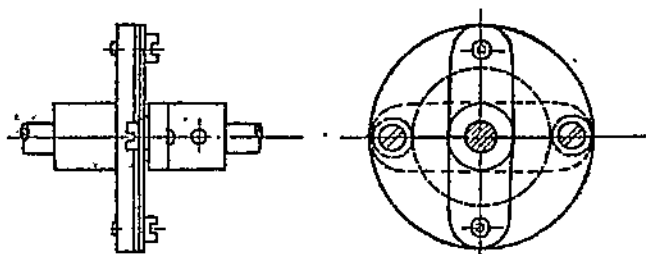


Рис. 222.

дачу к звуковой приставке в кинопроекторе ТОМП-4, передачу к курсоуказателю на самолете и т. п.

На рис. 222 дана весьма хорошая конструкция гибкой муфты (типа мембранных муфт), практически свободная от мертвого

хода. Она может работать при весьма небольших углах между осями ($3-6^\circ$).

В этих муфтах, так же как и в кулисных, передача угловой скорости неравномерна (кроме шарнира, изображенного на рис. 222).

Если ведущий вал I (рис. 223) вращается с постоянной угловой скоростью ω_1 , то угловая скорость ω_2 ведомого вала II колеблется в течение каждого оборота между наибольшим значением

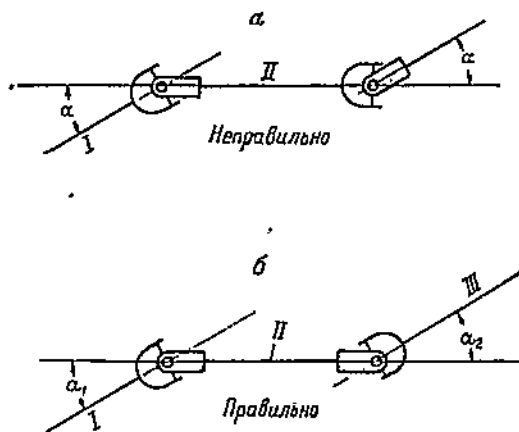


Рис. 223.

$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$ и наименьшим — $\omega_2 = \omega_1 \cos \alpha$, где α — угол между валами.¹

Располагая два шарнира, как показано на рис. 223 б, можно сделать передачу угловой скорости (к валу III) постоянной. При этом углы α_1 и α_2 должны быть равны.

¹ Следует отметить, что данное свойство шарнира Гука дало возможность использовать его в механизмах, решающих геометрическую зависимость, например, проекцию угла.

а) Шарнир Гука. Шарнир Гука (рис. 223) состоит из двух расположенных под углом 90° вилок, шарнирно сочлененных между собой крестовиной.

На рис. 224 показана шарнирная муфта, у которой осями шарниров служат цапфы винтов, ввинченных в расположенные под углом 90° отверстия в цилиндрическом вкладыше 1.

б) Муфты с шаровым шарниром. Конструкция муфты, изображенная на рис. 225а, допускает продольное перемещение осей.

На рис. 225б показана конструкция муфты, у которой для уменьшения износа на ведущий штифт 1 надеты направляющие губки 2. Губки следует делать из бронзы, латуни или стали.

Шарнирный вал рис. 226 состоит из большого числа последовательно соединенных шарнирных муфт. Подобно гибкому валу он снабжается оболочкой. Предельный изгиб каждого шарнира — не больше 45° . Весьма интересен шарнир Бартледа (рис. 227) позволяющий полу

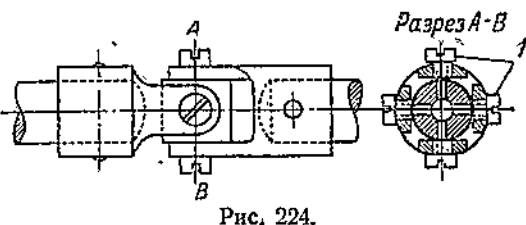
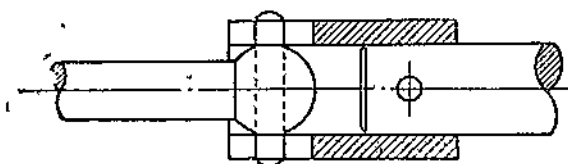


Рис. 224.



Фиг. 225а.

валу он снабжается оболочкой. Предельный изгиб каждого шарнира — не больше 45° . Весьма интересен шарнир Бартледа (рис. 227) позволяющий полу

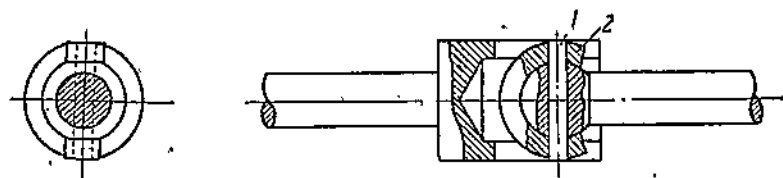


Рис. 225б.

чать угол между осями $90 - 100^\circ$ при равномерной передаче вращения.

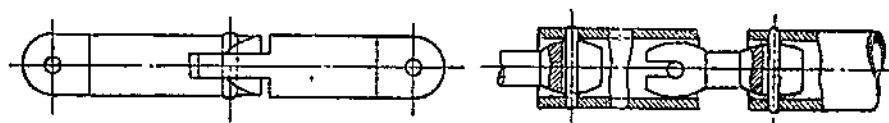


Рис. 226.

в) Пружинно-шарнирные муфты пригодны для передачи тогда, когда угол между осями и передаваемый момент не слишком велики (рис. 222).

В качестве муфты для соединения осей можно также пользоваться винтовой пружиной. К такого рода муфтам относятся и гибкие валы.

2) *Гибкие валы* предназначены для передачи вращения при всевозможных взаимных положениях ведущей и ведомой осей. Примерами применения их могут служить: передача от оптических приборов к курсоуказателю на самолете, присоединение измерительных приборов к моторам на самолетах (тахометры), на автомобилях (спидометры) и т. п.

Гибкий вал представляет собой комплекс пружин (рис. 228). Гибкие валы изготавливаются диаметром от 1 до 100 мм; наиболее

употребительные диаметры — между 1,5 и 10 мм. По длине валы бывают до 7½ м; наиболее употребительна длина в 1,5—2,5 м. Нормальное число оборотов — 1500—3500 об./мин., однако, гибкие валы могут удовлетворительно работать и при других числах оборотов. Для валов больших диаметров следует, чтобы окружная скорость на поверхности вала не превышала 150 м/мин.

Требования, предъявляемые к гибкому валу: 1) прочность: вал должен выдерживать определенный крутящий момент; 2) гибкость: вал должен допускать передачу вращения при возможно меньшем радиусе изгиба;

3) отсутствие биений: вал должен иметь возможно меньшие колебания скорости вращения на конце, присоединяемом к ведомой оси, если скорость вращения ведущей оси постоянна.

Расчет и конструкция гибкого вала. При закручивании спиральной пружины каждый ее виток работает на изгиб и может выдержать крутящий момент:

$$M = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 R_b,$$

где M — крутящий момент, d — диаметр проволоки пружины, R_b — допускаемое напряжение изгиба.

Для увеличения передаваемой нагрузки применяется не одна, а несколько пружин, вкладываемых одна в другую в промежутки между витками. Обычно берут 4 пружины. Кроме того пружины

располагаются в несколько слоев — один на другом. Направление витков рядом лежащих слоев берется противоположным (рис. 228). Благодаря такой навивке вал может работать в обе стороны (левое и правое вращение). Лучше всего вал работает в том направлении, в котором у него навит внешний слой (рис. 229). В этом случае пружины внешнего слоя как бы закручиваются. В случае обратного вращения верхний слой может раскручиваться: в этом ему ничего не препятствует. В результате на внутренние слои падает повышенная нагрузка, и вал может выдерживать значительно меньший крутящий момент (50—70% от нормального).

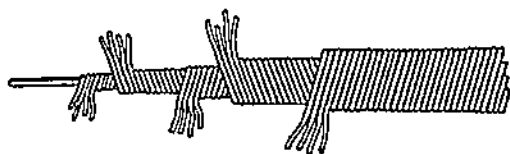


Рис. 228.

Таблица 38

Зависимость диаметра вала от передаваемой мощности и числа оборотов¹

Мощность л. с.	Число оборотов			
	800—1000	1000—1600	2000	3000
1/12	7—5	5	5	5
1/10	10	3	8	8—5
1/6	12,5	12—10	8	8
1/4	15—12	12,5	10	10—8
1/3	15—12	15—12	12—10	12—10
1/2	20	15—12	12,5	12
3/4	25—20	20—15	—	—
1,0	30—25	20	12,5	15
1,5	30	25—20	15	20—15
2,0	35—30	25	20	25—20
2,5	40—35	30	20	25—20
3,0	45—40	35—30	25	25—20

Из таблицы видно, что работа на больших числах оборотов выгоднее. Данные таблицы приблизительны, но могут быть приняты в расчет для валов с сердечником.

Иностранные фирмы (Fein, в Германии, и White Dental, в США) выпускают валы двух сортов: S и H. Сорт S имеет высокое сопротивление скручиванию. Сорт H более гибок, чем S и употребляется там, где требуется повышенная гибкость.

Фирма Flexible Shafts выпускает три сорта валов: A, B и C. Сорта A и B имеют проволочный сердечник и обладают высоким сопротивлением скручиванию (сорт A предназначен даже для ударной нагрузки). Сорт C, не имеющий сердечника, очень гибок и обладает значительно меньшим сопротивлением скручиванию.

¹ По данным германской фирмы Fein.

Табл. 39 дает допустимые крутящие моменты для валов сортов S и H разных диаметров в зависимости от радиуса изгиба вала. Гибкие валы производства заводов Автоприбор и Авиаприбор имеют несколько меньшую прочность, чем валы перечисленных иностранных фирм. Так, вал диаметром 3,5 мм трехслойный может передавать крутящий момент $M_{кр.} = 5 \text{ кгсм}$, вал диаметром 3,5 мм четырехслойный — $M_{кр.} = 3,5 - 4 \text{ кгсм}$, между тем как заграничный вал диаметром 3,5 мм трехслойный может передать $M_{кр.} = 6 \text{ кгсм}$.

Большая прочность валов иностранных фирм объясняется отсутствием у них термической обработки (закалки) вала после навивки. Кажущееся парадоксальным это явление объясняется следующим образом: если нагретый для закаливания вал опу-

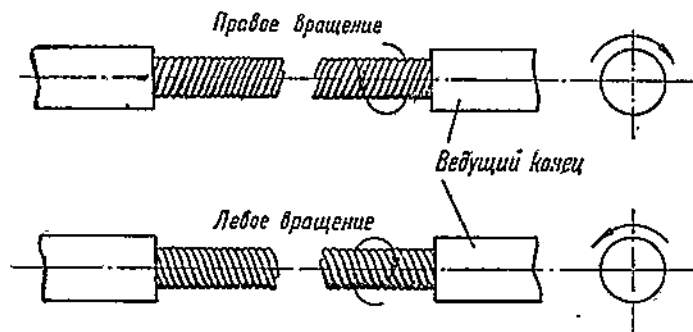


Рис. 229.

скается в охлаждающую жидкость, то охлаждение внутри лежащих витков проволоки наступает не сразу, благодаря воздушным прослойкам между слоями, и таким образом внутренние слои не закаливаются. Необходимость закалки вызывается тем, что после навивки вал часто получает изгиб, для уничтожения которого его приходится отпускать.

Если нагрузить вал выше приведенных в табл. 39 величин, то появляются продольные волны, вал образует петлю и приходит в негодность. Продольное натяжение вала затрудняет появление волн. Поэтому, когда вал не имеет крутых изгибов, целесообразно давать ему продольное натяжение с силой около 5 кг (табл. 40). В случае крутых изгибов вала продольного натяжения давать не следует, так как тогда сильно увеличится трение вала об оболочку, понизится к. п. д. и понизится прочность вала в месте изгиба (рис. 230).

Коэффициенты полезного действия валов даны в табл. 41.

В среднем можно принять к. п. д.:

Для прямого вала	0,90 — 0,95
„ вала, изогнутого на 180°	0,80 — 0,90

При чрезмерной нагрузке вала и малых радиусах изгиба появляются так называемые биения т. е. неравномерность вращения вала. Для уменьшения биений следует давать валу воз-

Таблица 39

Допустимые крутящие моменты для валов S и H разных диаметров в зависимости от радиуса изгиба вала

Сорт гибкого вала	Диаметр вала мм	Радиус кривизны, см								Прямой вал	
		50	40	25	20	17	15	12	10	Крутящий момент кгсм	Скручивание на 180°/м длины вала
		Крутящий момент кгсм									
S	3	3,5	3,0	2,7	2,4	2,0	1,6	1,2	0,4	4,4	108,00
"	6	17,5	15,4	12,0	9,7	7,8	5,5	2,2	0,4	22,0	6,20
"	9	40,0	34,0	24,2	16,5	11,0	4,4	2,2	0,4	54,0	1,90
"	12	58,0	48,5	29,7	15,4	5,5	4,4	2,2	0,4	85,8	0,65
"	15	77,0	60,0	30,0	7,5	5,5	4,4	2,2	0,4	123,0	0,30
"	18	95,0	66,0	30,0	7,5	5,5	4,4	2,2	0,4	167,0	0,30
H	3	2,2	2,0	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	0,6	2,5	120,0
"	6	10,0	9,2	7,8	6,7	5,9	4,9	3,5	1,4	12,2	7,8
"	9	22,0	19,8	15,4	12,2	10,0	7,3	2,7	1,4	28,6	4,4
"	12	41,8	36,3	27,5	20,9	15,4	13,5	2,7	1,4	55,0	0,7
"	15	59,4	51,7	37,4	25,3	17,6	6,9	2,7	1,4	82,5	0,4

Таблица 40

Зависимость появления волн от натяжения вала

Натяжение вала кг	Появление волн кгсм
Без натяжения	2,5
5	4,5—5
15	6—7
30	8,5

Таблица 41

Коэффициенты полезного действия валов

Мкр. кгсм	Прямой вал		Изогнутый вал			
			на 90°		на 180°	
	к. п. д.	Потребная мощность Л. С.	к. п. д.	Потребная мощность Л. С.	к. п. д.	Потребная мощность Л. С.
100	0,863	42,0	0,823	40,0	0,794	56,0
200	0,941	35,0	0,920	48,0	0,897	62,0
300	0,973	26,0	0,957	37,0	0,935	56,0
400	0,988	14,5	0,948	62,0	0,935	78,0
500	0,990	15,0	0,945	183,0	—	—
600	0,988	21,0	0,938	110,0	—	—
700	0,988	25,0	—	—	—	—

Примечание. Число оборотов — 3000.

можно больший радиус изгиба и брать наиболее гибкий вал.

Кроме того скручивание вала, а следовательно, и биения тем меньше, чем меньше крутящий момент и чем больше диаметр вала, крутящий же момент уменьшается с повышением числа оборотов.

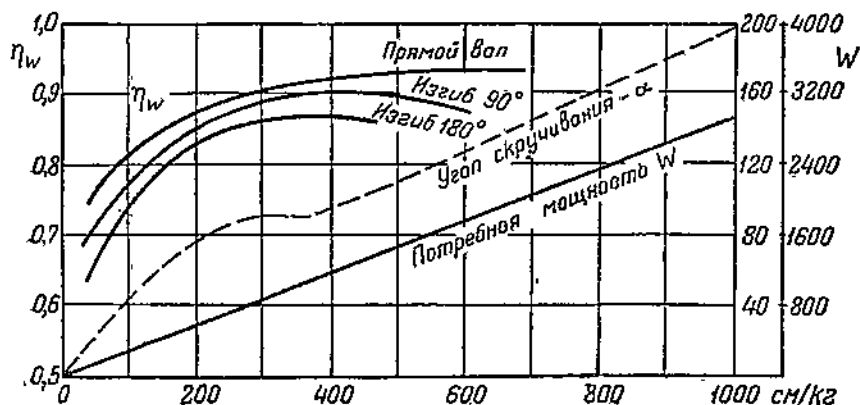


Рис. 230.

Радиус изгиба. Трехслойные валы спидометра диаметром 3,5 мм — как советские, так и заграничные — получают остаточную деформацию при изгибе радиуса меньше 25—20 мм, четырехслойные валы того же диаметра несколько более гибки и допускают изгиб до радиуса 17 мм.

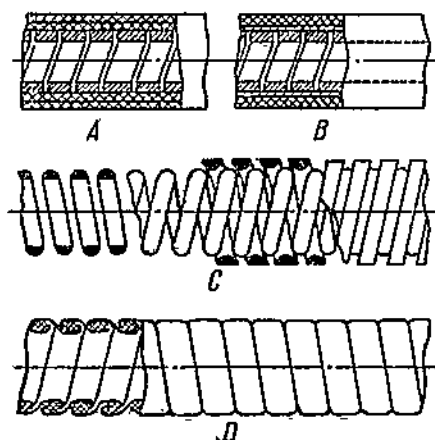


Рис. 231.

Для наших валов следует принять наименьший радиус изгиба: $R_{\text{стат.}} = 6-7d$, $R_{\text{дин.}} = 15-20d$, где d — диаметр вала.

Оболочка. Всякий гибкий вал снабжается оболочкой, которая служит направляющей, предохраняет его от попадания пыли и других посторонних веществ и облегчает обращение с ним. На коротком участке и когда нет опасности загрязнения вала и

прикосновения к чему-либо, вал может употребляться без оболочки.

Оболочка обычно представляет собой металлическую пружину, иногда покрытую сверху какой-либо оплеткой. На рис. 231 даны разные типы оболочек заграничных образцов.

Гладкая оболочка А очень гибка и сравнительно легка. Она состоит из металлической пружины и ряда хлопчатобумажных

оплеток. Применяется для валов диаметром 3—6 мм, когда нужны большая гибкость вала и опрятный наружный вид.

Оболочка *B* состоит из металлической пружины, поверх которой нанесен слой вулканизированной резины. Эта оболочка малогибка, обладает масло- и водонепроницаемостью. Применяется для очень тяжелых работ.

Оболочка *C*, целиком металлическая, хорошо изгибается, хорошо сопротивляется истиранию. Она состоит из проволоочной пружины (сделанной из закаленной стали с повышенным содержанием марганца), в промежутках которой навита трехгранная мягкая проволока. Снаружи оболочка покрыта черным лаком и почти непроницаема для масла и воды. Наименьший радиус изгиба—3,5—4 см. Употребляется для валов диаметром от 3 до 15 мм.

Жесткая металлическая оболочка *D* свита из ленты, имеющей в сечении вид буквы *S*. В заходящие друг за друга заплечики ленты вложен асбестовый шнур, предохраняющий оболочку от попадания пыли и грязи. Благодаря этому также лучше сохраняется в оболочке смазка гибкого вала. Эта оболочка является наиболее распространенной.

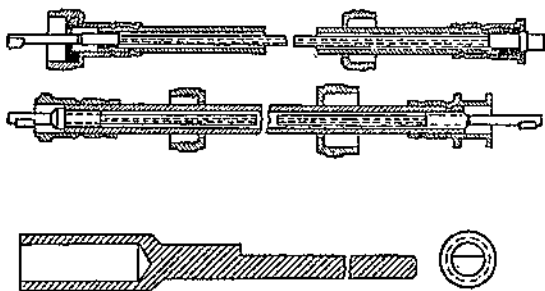


Рис. 232.

У нас для валов диаметром 3—6 мм применяется латунная оболочка такого типа для присоединения тахометра к мотору в самолете и для других целей.

Наконечники вала и оболочки. Наконечники вала (рис. 232) бывают цилиндрические со стопорным винтом, плоские, квадратные и т. д. Материал—любой. Присоединение наконечников к валу производится пайкой.

Наконечником оболочки служат чащеобразные гайки, надетые на втулки, припаянные к концам оболочки. Резьба гаек разная. Так, например, гайки оболочки гибкого вала, служащего для присоединения тахометра, имеют резьбу $M 22 \times 1,5$, гайки оболочки гибкого вала, имеющего наконечники в форме квадрата, снабжены резьбой $M 24 \times 1,25$.

Материалом для изготовления гибких валов служит высококачественная проволока тигельной стали с содержанием: $C = 0,5—0,7\%$; $Mn = 0,58—0,17\%$ и $Si = 0,12—0,23\%$.

Б. Сцепные муфты. Сцепные муфты применяются, когда требуется включать и выключать ведомую ось.

Включение и выключение могут производиться:
а) вручную (управляемые сцепные муфты);
б) автоматически—вследствие изменения:

- 1) крутящего момента (муфты скольжения),
- 2) числа оборотов (центробежные муфты),
- 3) направления вращения (муфты свободного хода).

а) *Управляемые сцепные муфты.* 1) Кулачковые муфты. На рис. 233 показана дисковая сцепная муфта: *a* — кулаки, входящие в отверстия в диске *b*; на втулке диска проточена канавка, в которую входят цапфы *c*, вклепанные в вилку отводки *d*.

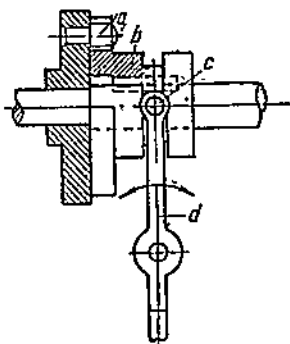


Рис. 233.

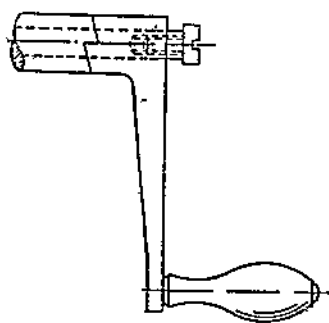


Рис. 234.

Подобные муфты можно выключать на ходу, но нельзя включать. Включение можно производить лишь при определенном взаимном положении обеих половинок муфты.

На рис. 235 *a* и *б* показаны муфты, которые можно включать в любом положении при небольших относительных скоро-

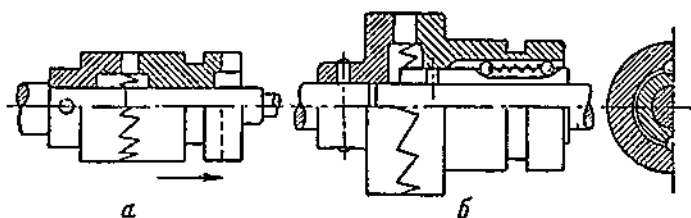


Рис. 235.

стях. Эти муфты имеют кулаки (зубья) скошенными в одну сторону.

На рис. 234 показана рукоятка киноаппарата, являющаяся простейшей конструкцией такой муфты. Для ускорения зацепления применяют муфты, имеющие большее число зубьев.

Муфта рис. 235 *б* дает возможность включать и выключать оси на ходу при значительном передаваемом моменте и числе оборотов до 150 об./мин. Она позволяет производить до 30—40 включений в 1 мин. Для уменьшения износа зубьев такая муфта делается из инструментальной стали, закаливается и отпускается при соломенно-желтом цвете побежалости.

2) Фрикционные муфты применяются, когда требуется, чтобы включение и выключение производились плавно, без ударов. Крутящий момент, который может передать фрикционная муфта, зависит от момента сил трения между половинками муфты относительно оси вращения.

Трущиеся поверхности муфты могут быть либо плоскими (торцевые, дисковые муфты), либо цилиндрическими, либо коническими.

Расчет фрикционных муфт. Если через P обозначить давление, действующее перпендикулярно трущейся поверхности, а через μ — коэффициент трения, то сила трения $R = P\mu$.

Дисковые фрикционные муфты (рис. 236). M — момент силы трения для дисковой муфты с двумя трущимися плоскостями.

У такой муфты площадь соприкосновения представляет собой кольцо, у которого: наибольший радиус — r_1 , наименьший радиус — r_0 , давление на всю поверхность — P .

Если давление на бесконечно тонкое кольцо, ограниченное радиусами r и $r + dr$, обозначим через p , то момент трения:

$$M = 2\pi\mu p \int_{r_0}^{r_1} r^2 dr.$$

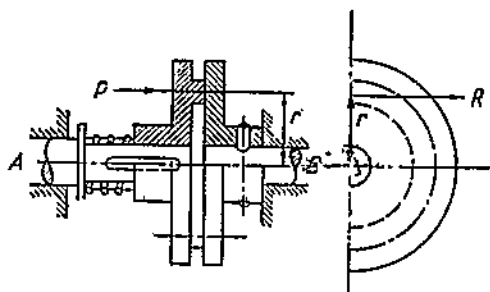


Рис. 236.

Предполагая, что давление p распределяется равномерно, т. е. что $p = c = \text{const}$, получаем:

$$M = 2\pi\mu \cdot \frac{P}{\pi(r_1^2 - r_0^2)} \int_{r_0}^{r_1} r^2 dr = \frac{2}{3} \mu P \cdot \frac{r_1^3 - r_0^3}{r_1^2 - r_0^2};$$

$$P = 2\pi \int_{r_0}^{r_1} p r dr = \pi c (r_1^2 - r_0^2).$$

Для сплошного диска имеем:

$$r_0 = 0; M = \frac{2}{3} \cdot \mu P r_1.$$

Эти результаты следует прилагать лишь к новым, не обтершимся муфтам, ибо при происходящем при включении и выключении муфты относительном движении ее двух половинок точки, лежащие дальше от центра, изнашиваются больше и постепенно давление становится более сильным на частях, лежащих ближе к центру. Для приработавшихся муфт можно считать давление на них распределяющимся так, что работа трения на единицу площади, а с нею и изнашивание всюду сохраняют одинаковую величину.

Разделив элементарную работу:

$$dA = \omega dM$$

на площадь $2\pi r dr$ элементарного кольца, запишем наше допущение в виде:

$$\omega \mu pr = \text{const}$$

(ω — относительная угловая скорость), откуда и $pr = c = \text{const}$; следовательно, p изменяется обратно пропорционально расстоянию r от центра.

Подставив это выражение в предыдущее, получаем для сплошного диска:

$$M = \frac{1}{2} \mu P r_1.$$

Этой формулой обычно пользуются при расчетах дисковых фрикционных муфт.

Конические фрикционные муфты (рис. 237). Для конических поверхностей трения имеем:

$$N = \frac{P}{\sin \alpha};$$

$$R = N \mu = \frac{P \mu}{\sin \alpha}.$$

Аналогично дисковым муфтам имеем моменты силы трения для приработавшейся муфты:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \frac{P \mu r_1}{\sin \alpha}.$$

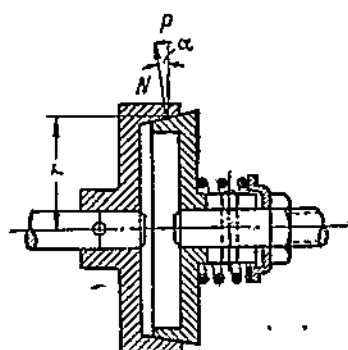


Рис. 237.

Так как $\sin \alpha$ всегда меньше единицы, то и момент сил трения по сравнению с моментом тех же сил в случае дисковых муфт больше. Во избежание заклинивания муфты угол при вершине конуса надо брать не менее 20° .

На рис. 238 изображен шарнир стереотрубы с фрикционными шайбами 1 и 2. Шайбы 1 связаны с одним коленом стереотрубы, шайбы 2 — с другим. Таким образом получается большая поверхность трения, благодаря чему оба колена стереотрубы легко фиксируются в любом положении с помощью рукоятки 3, поворачивающей гайку 4, стягивающую все фрикционные шайбы.

На рис. 239 показана электромагнитная фрикционная (мембранная) муфта, включающаяся при пропускании тока через обмотку 1. Выключение муфты происходит под влиянием мембраны 2.

Коэффициенты трения при работе фрикционных муфт приведены в табл. 42.

б) Автоматические сцепные муфты. 1) Муфты скольжения. Эти муфты рассчитываются так, чтобы их момент тре-

Таблица 42
Коэффициенты трения при работе фрикционных муфт¹

Материал	П о к о й		Д в и ж е н и е	
	Без смазки	Со смазкой	Без смазки	Со смазкой
Сталь—сталь	0,15	0,12—0,11	—	0,03—0,09 ($v = 27$ м/сек. $v = 3$ м/сек.)
Сталь—кожа	—	—	0,3—0,6	—
Сталь—резина	0,4—0,6	—	—	—
Чугун—сталь	0,15—0,33	0,16	—	0,27—0,13 ($v = 2,2$ м/сек. $v = 20$ м/сек.)
Сталь—бронза	—	0,1—0,13	0,1	0,09
Сталь—латунь	—	0,15—0,16	—	—

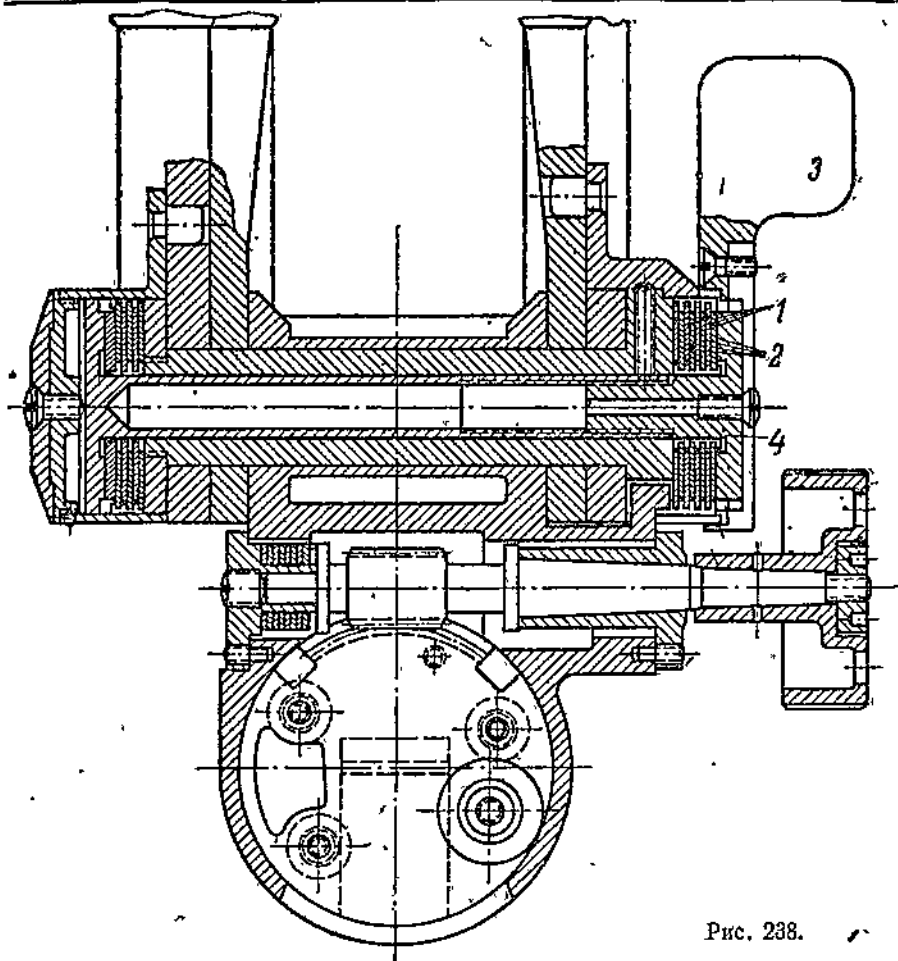


Рис. 238.

¹ По Дуббелю, Рихтеру и Фоссу и другим источникам.

ния был равен наибольшему допускаемому крутящему моменту на ведомой оси, и, следовательно, если крутящий момент на ведущей оси начнет превышать указанную величину, муфта станет проскальзывать. Величину крутящего момента, который может передавать муфта (момент трения муфты), можно регулировать, изменяя силу нажатия пружины (рис. 236).

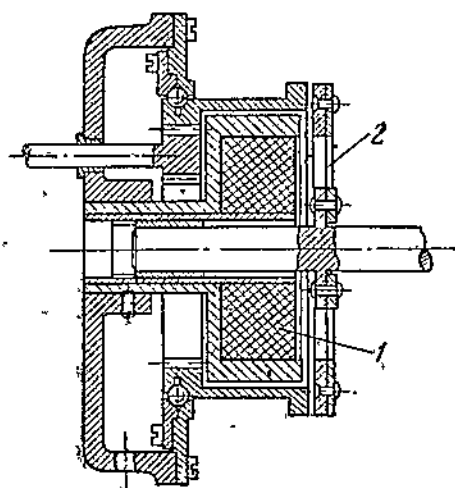


Рис. 239.

Такого рода муфты применяются, например, в передаче к наматывающей катушке в киноаппаратах, фотокамерах (Лейка) и т. п. Конструкции их весьма разнообразны.

Храповые муфты (защелкивающиеся). В этих муфтах сцепляющиеся части соединяются одна с другой путем защелкивания.

На рис. 240 показана муфта, защелкивающаяся помощью шариков.

На рис. 241 дана очень хорошая конструкция муфты для отсчетных механизмов: 1, 2 — дисковые храповые шайбы, 3 — плоская кольцевая пружина.

2) Центробежные муфты. Центробежная муфта непосредственного действия показана на рис. 242 а.

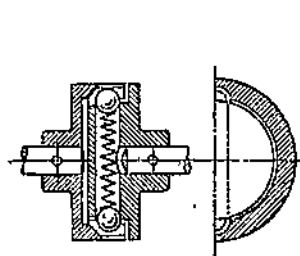


Рис. 240.

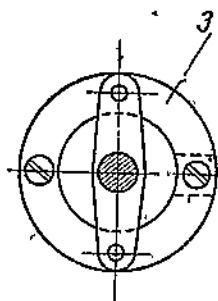
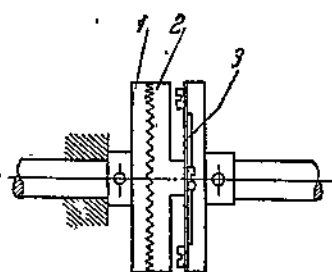


Рис. 241.



С ведущей осью A_1 соединена масса m , имеющая свободу движения в радиальном направлении и удерживаемая от этого движения силой F пружины 1. Под действием центробежной силы масса m будет прижиматься к внутренней поверхности тормозного барабана, закрепленного на второй оси A_2 . Если окружную скорость центра тяжести массы m , находящейся на

расстоянии r_1 от оси вращения, обозначить через v , то центробежная сила P будет равна:

$$P = \frac{mv^2}{r_1},$$

а вызываемый ею момент трения:

$$M = P \mu R = \frac{mv^2}{r_1} \mu R.$$

Следовательно, передаваемый крутящий момент растет пропорционально квадрату окружной скорости (числа оборотов). Такая муфта дает проскальзывание до тех пор, пока число оборотов ведущего вала не достигнет заданной величины, необходимой для преодоления крутящего момента на ведомой оси. При расчете следует еще учесть силу F пружины, т. е.:

$$M = (P - F) \mu R.$$

Трение начинает действовать при окружной скорости v_0 . Полагая $P = F$, получаем:

$$\frac{mv_0^2}{r_1} = F,$$

или:

$$v_0 = \sqrt{\frac{Fr_1}{m}}.$$

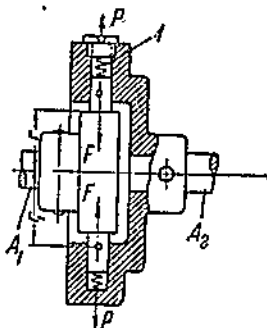


Рис. 242а.

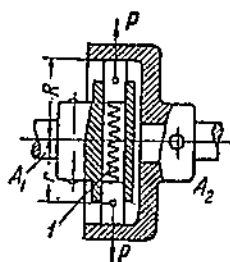


Рис. 242б.

Центробежные муфты непосредственного действия применяются при приводе от мотора, могущего взять с места лишь небольшую нагрузку, и в качестве регулятора скорости.

Центробежная муфта постоянного действия изображена на рис. 242б. В этих муфтах момент трения, необходимый для передачи начального вращательного момента, создается силой F давления пружины I , по направлению противоположной центробежной силе. Когда число оборотов превысит допустимую величину, центробежная сила уменьшит давление пружины, в результате чего муфта начнет проскальзывать. Момент силы трения:

$$M = (F - P) \mu r,$$

где P — центробежная сила.

Такого рода муфты применяются, например, в регуляторах скорости.

3) Муфты свободного хода (односторонние действующие муфты) работают только при одном направлении вращения. При перемене направления вращения муфта проскальзывает. Эти муфты бывают храповые и фрикционные (заклинивающиеся).

Храповые муфты. На рис. 243 показана храповая муфта, у которой на ведущем колесе *a* закреплена собачка *b*, могущая вращаться на стержне *c*. Пружина прижимает собачку к ведомому храповому колесу *d*.

Если рабочая грань зуба храпового колеса расположена по радиусу колеса, то момент вращения *M* вызовет тангенциальное давление $P = M/r$. При этом ось вращения собачки может лежать различно. На рис. 244 показаны четыре случая ее расположения. В первых двух случаях ось лежит на касательной к центру давления на зуб. При этом все давление *P* будет передаваться на ось. В третьем и четвертом случаях ось собачки

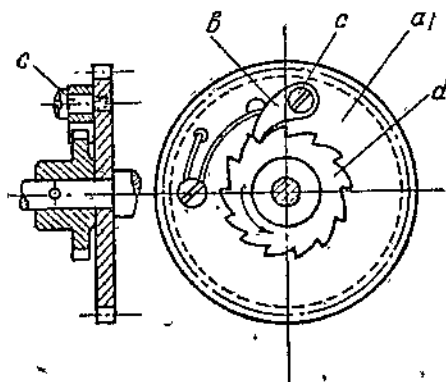


Рис. 243.

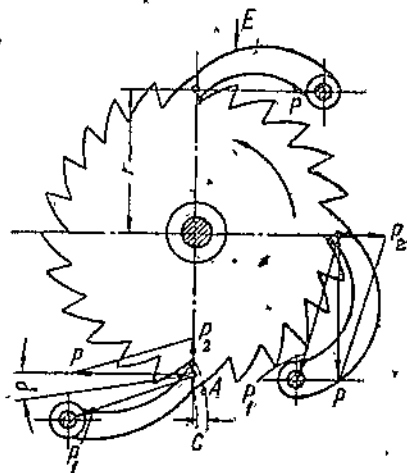


Рис. 244.

лежит не на касательной. Разложение тангенциального давления *P* даст радиально действующие составляющие P_1 и P_2 . В третьем случае P_1 направлено наружу и стремится выдвинуть собачку из зацепления с храповым колесом. В четвертом случае радиальная слагающая P_2 прижимает собачку к храповику.

Для того чтобы собачка не могла выдвинуться из зацепления, следует ось ее располагать вне угла ρ ; $\operatorname{tg} \rho = \mu$ (μ — коэффициент трения между материалом собачки и храповика). Если приходится ось собачки располагать на касательной или несколько ближе к оси храповика, то для надежности зацепления можно упорную грань зуба расположить не по радиусу, а отклонить назад на угол φ .

При конструировании храповых муфт следует учесть возможность ударов. Расчет на прочность производится главным образом для оси собачки — на изгиб.

Храповое колесо изготавливается обычно из более мягкого материала, чем собачка. Собачку делают из стали, закаливая ее и отпуская до синего цвета побежалости. Материалом оси собачки в ответственных случаях должны быть высококачествен-

ная сталь или цементированное железо, так как ось подвержена сильному износу и ударам.

Во избежание сильных ударов следует число зубьев храпового колеса брать достаточно большим. В случае невозможности получения большого числа зубьев можно получить такой же результат, применяя две и более собачек, сдвинутых одна относительно другой на величину t_1/m , где t_1 — шаг храпового колеса на окружности, на которой расположены оси собачек, а m — число собачек.

Заклинивающиеся муфты. Типичным образцом такой муфты является муфта, изображенная на рис. 245, применяемая, например, в велосипедах. Такая муфта может быть с шариками

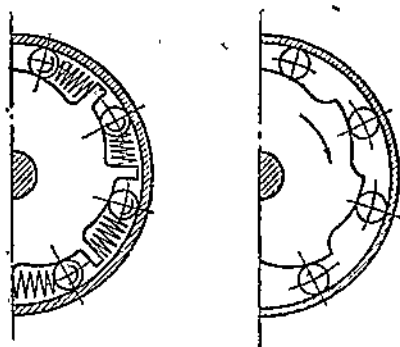


Рис. 245.

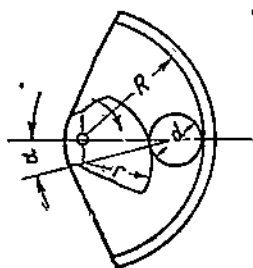


Рис. 246.

или роликами. Необходимо, чтобы $\operatorname{tg} \alpha < \mu$, где μ — коэффициент трения между шариком и внешним ободом (рис. 246). Однако, чтобы муфта не имела тенденции заклиниваться наглухо, рекомендуется угол α брать не менее 6° и снабжать муфту пружинами, как показано на рис. 245 слева.

Глава VIII

ВИНТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

1. Общие сведения

В качестве винтов движения в механизмах оптических приборов применяются винты с трапециoidalной нарезкой по ОСТ 2409, 2410, 2411, 7714, а в измерительных приборах (микрометрические винты) — винты с метрической нарезкой по ОСТ 94, 32, 271.

Трение в винтовой паре уменьшается с уменьшением угла профиля резьбы. Таким образом наиболее выгодным для винтов движения является прямоугольный профиль резьбы. Но прямоугольная резьба обладает следующими недостатками:

1) осевой и радиальный люфты не могут быть уничтожены конструкциями гаек по рис. 250;

2) технологический процесс изготовления значительно труднее и невыгоднее, чем у винтов с треугольной и трапециoidalной нарезками.

Классификация. Винты движения могут быть разбиты на две группы:

1. *Винты отсчетного движения:*

- а) с метрической нарезкой,
- б) с трапециoidalной нарезкой.

2. *Винты неотсчетного движения:*

- а) с метрической нарезкой,
- б) с трапециoidalной нарезкой.

2. Конструкция и применение винтовых механизмов

Отсчетные винты с метрической нарезкой (микрометрические) применяются тогда, когда нагрузка на винт невелика, работа винта незначительна, трение между винтом и гайкой не играет роли, а также при требованиях малого шага винта.

Область применения этих винтов — различные измерительные приборы (микрометры, измерительные микроскопы, измерительные и делительные машины и т. п.).

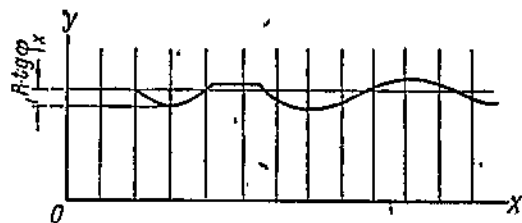


Рис. 247.

К отсчетным винтам предъявляются высокие требования на точность шага и сопротивляемость износу.

1. Пропорция винта и гайки должна быть такова, чтобы на всем ходе

винта число витков резьбы, находящихся в контакте, было неизменным.

2. Разрезная конструкция гайки (см. ниже), при которой в контакте находится только часть витков, не дает возможности выравнивания ошибок винта.

Точные винторезные станки дают возможность изготавливать винты с точностью (ошибка по шагу): станок Белинг и Любке — 0,002 на 25 мм, более тяжелый станок той же фирмы — 0,01 на 300 мм.

Коррекция ошибок шага ходового винта. Ошибки (периодические и прогрессивные) ходового винта могут быть исправлены соответствующими *коррекционными устройствами* (кривыми и линейками). Для этого винтовая пара проверяется, и в нужном масштабе изготавливается диаграмма ошибок ее шага (рис 247).

На каждый оборот винта требуется доворачивать гайку на такой угол, чтобы ее дополнительное перемещение вдоль винта компенсировало ошибку шага винта. Для осуществления этого доворота гайка снабжается хвостовиком А (рис. 248), который перемещается по криволинейному пазу. Закон построения, коррекционной кривой диктуется диаграммой ошибок винта.

Расчет и построение кривой производится следующим образом. Масштаб поправочной кривой выбирается в зависимости от требуемой степени точности, конструктивных и производственных соображений. Масштаб кривой пропорционален длине R хвостовика.

График рис. 247 показывает построение кривой, которое производится по следующей формуле:

$$Y = R \operatorname{tg} \varphi_x,$$

где φ_x — угол доворота гайки на компенсацию ошибок шага винта.¹ На графике по оси X отложены перемещения гайки, а по оси Y — линейные перемещения конца хвостовика. Понятно, что данное устройство может служить и для обратной цели, т. е. для сообщения неравномерного перемещения гайки по заданному закону при равномерном вращении винта.

Для компенсации температурных влияний может быть применено устройство, показанное на рис. 249. В этом случае коррекционная кривая превращается в прямую (MN), тангенс угла наклона которой пропорционален отношению коэффициентов линейного расширения винта и сравниваемой с ним детали и может быть получен из формулы:

получен из формулы:

$$\operatorname{tg} \varphi = (\alpha - \alpha_1) (t - t_0) \operatorname{ctg} \beta,$$

где β — угол клина K ; α и α_1 — соответственные коэффициенты линейного расширения; t — температура.

Винты движения

с трапецидальной нарезкой применяются в оптико-механических приборах в качестве ходовых винтов во всех случаях, когда от винтовой пары требуется минимум потерь на трение (см. расчет работы трения в винтовой паре). Допуски на трапецидальную резьбу — см. ОСТ 7714.

Конструкция винтовой пары. Общие соображения. В точных измерительных приборах гайку целесообразно делать неразрезной (во избежание неправильной работы витков и быстрого износа) и обратное движение сообщать гайке (винту) пружиной или грузом (там, где измерительными являются прямой и обратный ход винта). В других же случаях целесообразно делать гайку разрезной (рис. 248—253). Особенно это относится к тем случаям, когда гайка (винт) служит как основная направляющая.

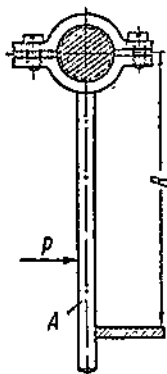


Рис. 248.

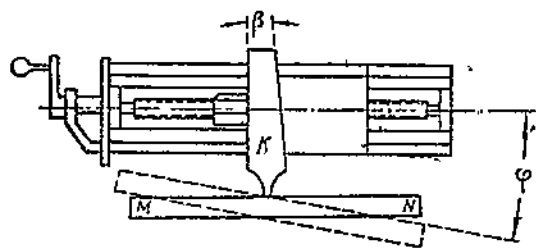


Рис. 249.

¹ При малой величине угла $\operatorname{tg} \varphi$ может быть заменен самим углом. Так сделал, например, проф. Завадский в своих делительных машинах.

Гайка рис. 251 состоит из двух половин *A* и *B*, свинченных между собой, причем шаг нарезки s_1 отличен от шага резьбы винта s . Вращением половины *A* относительно другой половины *B* достигается уничтожение люфта между винтом и гайкой. В окулярном микрометре (рис. 370) коническая гайка 4 разрезана и стягивается с помощью гайки 5. В винтовой паре по рис. 252

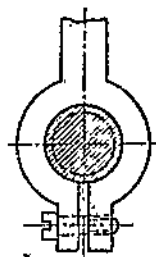


Рис. 250.

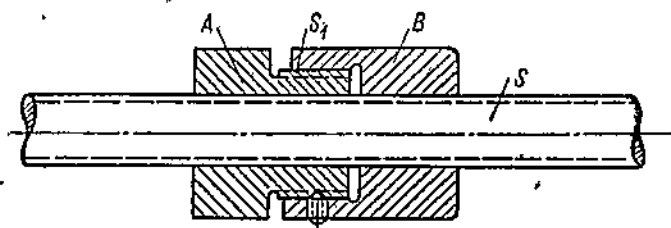


Рис. 251.

(универсальный токарный микроскоп) уничтожение мертвого хода достигается путем подтягивания гайки 1.

Дифференциальный винт. Дифференциальный винт *B* (рис. 254) имеет две нарезки с незначительно отличающимся шагом ($s_1 \neq s_2$).

Перемещение гайки *A* за один оборот винта равно разности шагов резьбы s_1 и s_2 . Предел перемещения гайки:

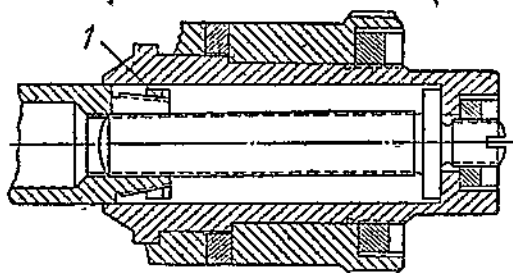


Рис. 252.

$$a = (s_1 - s_2) \frac{L}{s_2},$$

где L — величина перемещения винта *B*.

Дифференциальный винт применяется в тех случаях, когда гайке необходимо

сообщить весьма незначительные точные перемещения, для чего обычно потребовался бы винт с чрезвычайно мелкой резьбой.

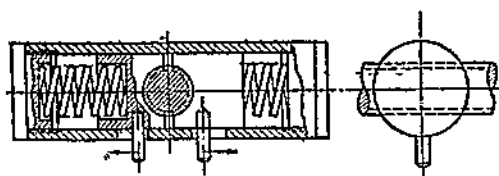


Рис. 253.

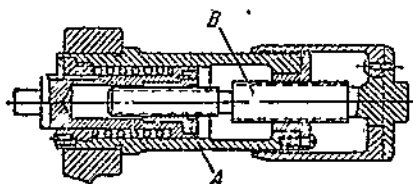


Рис. 254.

Окулярные резьбы (см. гл. II). Резьба не должна отвинчиваться от сотрясений и ударов и кроме того должна гарантировать такую плотность соединения, чтобы влага не могла

проникать в прибор. Профиль резьбы при угле 60° берется трапециoidalным, для того чтобы получить меньшую глубину нарезки, а отсюда и меньший габарит окуляра. Так как все перемещение окулярных линз должно совершаться на протяжении одного оборота оправы, то резьба, как правило, получается многозаходной.

Окулярные резьбы изготавливаются по 2-му классу точности. При этом все внимание должно быть уделено плотности сопряжения резьбы.

3. Влияние износа

Износ рабочих поверхностей винтовой пары имеет большое влияние на точность ее работы, достигнутую при изготовлении. По опытам фирмы Цейсс на износ не влияют род материала и его термообработка в практически целесообразных пределах.

Отклонения вследствие износа резьбы не превышает 1μ при 100 000 ввинчиваниях и вывинчиваниях без нагрузки и 21 000 — под нагрузкой в 1 кг. Испытывались следующие комбинации:

Винт из мягкой стали — гайка из мягкой стали					
"	"	"	"	"	" латуни
"	"	"	"	"	" бронзы
"	"	"	"	"	" твердой стали
"	"	твердой	"	"	" мягкой
"	"	"	"	"	" латуни
"	"	"	"	"	" бронзы

Не было обнаружено какого-либо различия в работе этих комбинаций. Следовательно, часто нецелесообразно применять закаленные винты и гайки из особо мягкой стали.

Глава IX

КУЛАЧКОВЫЕ И РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Кулачковые и рычажные механизмы являются преобразователями одного вида движения в другое, связанное с первым определенной функциональной зависимостью. В случае кулаков (если исключить относимую сюда спираль Архимеда) эта зависимость обязательно нелинейная.

1. Кулаки

Кулачковые механизмы можно разбить на две группы:

- 1) плоские,
- 2) пространственные.

В плоских кулачковых механизмах движение ведомого звена обычно является функцией одного аргумента, т. е. одного (простого) движения кулака (вращения, поступательного перемещения), реже — двух. Пространственный кулак (коноид) сообщает движение ведомому звену в зависимости от двух аргументов (вращение — поступательное движение). Поэтому пространственный кулак может заменять суммирующие и множительные механизмы (например, рычажные).

Различают также *замкнутые* (рис. 274) и *незамкнутые* кулачковые механизмы (рис. 257). У вторых силовое замыкание осуществляется пружиной.

Главнейшими задачами при проектировании кулачковых механизмов являются следующие:

1) построить профиль кулака по заданному аналитически или графически движению ведомого звена в зависимости от движения ведущего [$y = f(x)$];

2) определить скорости, ускорения и силы инерции движущихся масс (последнее в случае большого порядка указанных величин).

Обычно для уменьшения трения и износа ведомое звено снабжается роликом, который катится по образующей поверхности кулака (в плоских кулаках).

1. Вращающийся кулак. Имея график (рис. 255), на котором

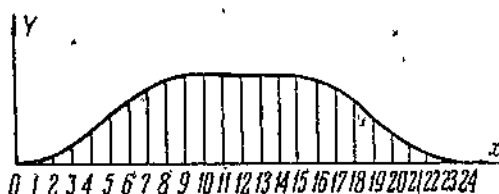


Рис. 255.

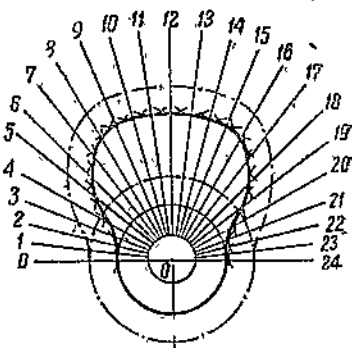


Рис. 256.

по оси ординат отложены перемещения ведомого звена (например, центра ролика), а по оси абсцисс — углы поворота ведущего звена (кулака), опишем из точки O (центр вращения кулака) окружность произвольного радиуса. Окружность (или часть ее) делим на части соответственно числу делений на оси абсцисс графика; перенумеровав деления, проводим через них радиусы-векторы $01, 02$ и т. д., на которых откладываем соответствующие ординаты — положения центра ролика; соединяя концы отложенных ординат плавной кривой, получим геометрическое место точек центра ролика ведомого звена.

Описывая из этих центров окружности радиусом, равным радиусу ролика, получим искомым профиль кулака как огибающую ко всем взятым положениям окружности ролика (рис. 256).¹

Следует иметь в виду, что наименьший радиус кривизны вогнутого участка кулака должен быть всегда больше радиуса ролика; наклон касательной к любой точке кулака (работающей на подъем ведомого звена) не должен превосходить 45° .

¹ Практически эта задача может быть решена в процессе производства применением фрезы (а затем шлифовального круга) диаметром, равным диаметру ролика. Перемещение оси фрезы при этом должно в точности соответствовать перемещению ведомого звена.

2. Прямолинейно перемещающийся кулак. Построение профиля этого кулака (рис. 257) производится совершенно аналогично предыдущему.

Если построение профиля кулаков производить, откладывая на ординатах 01, 02 (рис. 256) величины перемещения кулака (не учитывая перемещения точки касания ролика), то при качении по кулаку ролика радиуса r будет получаться ошибка в движении ведомого звена, величина которой с достаточной точностью определится следующим образом:

$$\Delta y = \left(\frac{r}{\sin \alpha_1} - \frac{r}{\sin \alpha} \right),$$

где α — угол наклона касательной к расчетному радиусу-вектору. Лучше всего определение данной ошибки производить графически в большом масштабе.

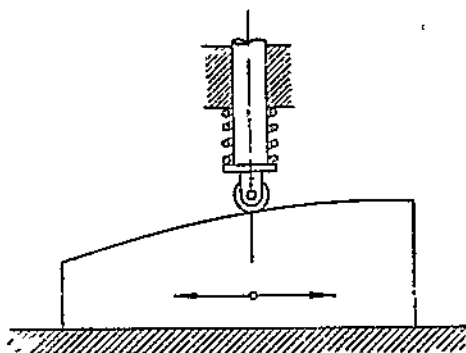


Рис. 257.

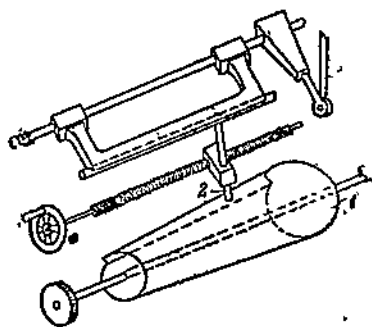


Рис. 258.

3. Коноид. Коноид можно представить как тело, состоящее из бесконечного числа тонких кулаков, насаженных на общую ось вращения (рис. 258). Вращая коноид 1 пропорционально одному из аргументов и перемещая его вдоль оси пропорционально другому аргументу, можно сообщить ведомому звену перемещения, пропорциональные функции этих двух аргументов.

Коноид может в некоторых случаях заменить сложный счетно-решающий рычажный механизм. Если функция является совершенно произвольной и не может быть выражена ни одной из простейших математических кривых, то коноид является незаменимым.

Изготовление коноидов весьма сложно и дорого. Кроме того они довольно быстро изнашиваются вследствие того, что ведомая деталь (шуп 2) не может иметь касания с коноидом с помощью ролика (благодаря двум движениям коноида это было бы бесполезно) и обычно кончается закруглением небольшого радиуса, что вызывает большое удельное давление, а отсюда и износ коноида.

Небезынтересно остановиться на одном из наиболее употребительных методов изготовления коноида. По имеющемуся расчету

Заготовка коноида засверливается сверлом, конец которого заточен по сфере с радиусом, равным радиусу шупа. После того как ряд отверстий засверлен по расчету, излишек металла спиливается или снимается фрезерованием, пока засверленные углубления не станут весьма мелкими. Далее засверливается еще ряд промежуточных углублений. Затем коноид опиливается вручную, пока засверленные (контрольные) углубления не сравняются с поверхностью („механическая интерполяция“). Если коноид должен подвергаться термической обработке, то на последующую шлифовку оставляется припуск. Проверка коноида производится индикатором, конец шупа которого также заточен по сфере того же радиуса, как и шуп коноида.

4. Профили плоских кулачков. Наиболее простым и удобным для изготовления является кулачок с профилем по архимедовой спирали.

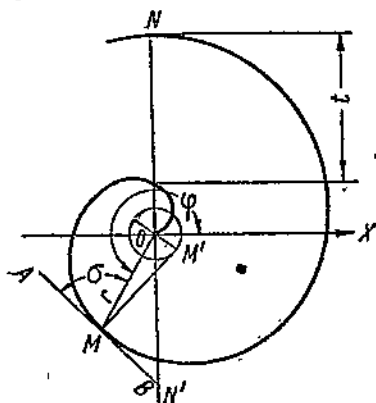


Рис. 259.

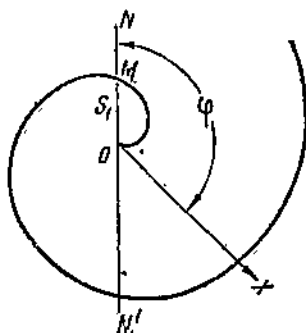


Рис. 260.

Фовой спирали. Поэтому такого рода кулачки имеют наибольшее применение в приборах.

а) Основные свойства архимедовой спирали (рис. 259). Уравнение спирали в полярных координатах:

$$r = \frac{t}{2\pi} \cdot \varphi, \quad (1)$$

где $t = \text{const}$ — шаг спирали (приращение радиуса-вектора за 1 оборот спирали); r — радиус-вектор к данной точке; φ — угол между полярной осью OX и радиусом-вектором (угол в радиальной мере).

Угол между радиусом-вектором и касательной к спирали:

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{rd\varphi}{dr} = \frac{rd\varphi}{a d\varphi} = \frac{r}{a} = \frac{a\varphi}{a} = \varphi,$$

где:

$$a = \frac{t}{2\pi}.$$

Окончательно:

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{t}{2\pi}. \quad (2)$$

Длина поднормали:

$$ON = \frac{dr}{d\varphi} = \frac{t}{2\pi} = \text{const.} \quad (3)$$

б) Построение касательной к спирали в данной точке (M).

Соединим M с O , отложим $OM' = \frac{t}{2\pi}$ перпендикулярно OM , соединим точку M' с точкой M , причем MM' будет нормалью, а отрезок $AB \perp MM'$ будет касательной к спирали.

в) Зависимость между углом поворота спирали и перемещением касающейся точки. 1. Точка M перемещается по прямой NN' , проходящей через центр спирали (рис. 260). Из уравнения (1):

$$S_1 = \frac{t}{2\pi} \cdot \varphi, \quad (4)$$

где S_1 — расстояние точки M до центра спирали O ; φ — угол между полярной осью спирали и прямой NN' , т. е. угол поворота спирали относительно NN' .

Или иначе:

$$S = S_1 - S_0 = \frac{t}{2\pi} (\varphi_1 - \varphi_0), \quad (5)$$

где φ_0 — начальный угол поворота спирали; S_0 — начальное положение точки M на прямой NN' .

Из формул (4) и (5) видно, что перемещение точки M по прямой NN' находится в прямой линейной зависимости от угла поворота спирали, т. е. равным углом поворота спирали соответствуют равные перемещения точки M .

2. Точка M перемещается по прямой, не проходящей через центр спирали (рис. 261). Пусть расстояние между прямой и центром спирали O равно $AO = b$. Перемещение точки M отсчитываем от точки A ; $AM = S$.

Через точку O проведем прямую $N_1N_1' \parallel NN'$.

Введем обозначения:

$$\angle XON_1 = \varphi; \angle N_1OM = \angle OMN' = \Delta\varphi; OM = r.$$

Из чертежа имеем:

$$S = \frac{t}{2\pi} (\varphi + \Delta\varphi) \cos \Delta\varphi. \quad (6)$$

Как видно из (6), в этом случае перемещение точки M по прямой NN' уже не находится в прямой линейной зависимости от угла поворота спирали φ , т. е. равным углом поворота спирали соответствуют различные пути, проходимые точкой M . Величина ошибки перемещения точки M вследствие смещения прямой NN' относительно центра спирали выражается формулой:

$$\Delta S = \frac{t}{2\pi} [(\varphi + \Delta\varphi) \cos \Delta\varphi - \varphi]. \quad (7)$$

Это уравнение может быть решено относительно $\Delta\varphi$ лишь приближенно путем разложения в ряд $\cos \Delta\varphi$.

При малых значениях b (до 20% от шага) и больших углах поворота φ спирали (6π и более) можно пользоваться следующими приближенными формулами:

$$S = \frac{t}{2\pi} \varphi + \frac{b}{\varphi}; \quad (8)$$

$$\Delta S = \frac{b}{\varphi}. \quad (9)$$

Формулу (9) можно применять для расчета допусков на центровку кулачковых механизмов.

2) Зависимость между углом поворота спирали и перемещением касательной прямой AB . Прямая AB перемещается по пря-

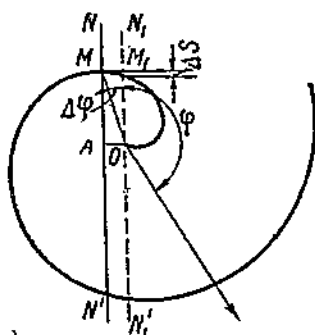


Рис. 261.

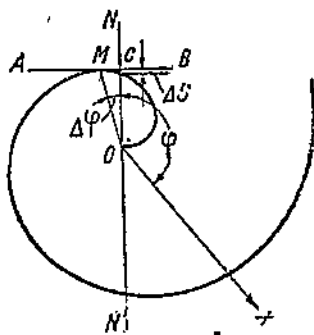


Рис. 262.

мой NN' , оставаясь все время перпендикулярной к ней (рис. 262). Введем обозначение: $OC = S$.

Выражение для определения переменного зазора ΔS может быть дано в форме:

$$\Delta S = \frac{t}{2\pi} [(\varphi + \Delta\varphi) \cos \Delta\varphi - \varphi]. \quad (10)$$

Это уравнение, так же как и (7), может быть решено или разложением в ряд или графически.

3) Зависимость между углом поворота спирали и перемещением центра касательной окружности. Центр окружности перемещается по прямой, проходящей через центр спирали. Радиус окружности — R (рис. 263).

1. Внешнее касание. Угол поворота спирали отсчитывается от прямой NN' (AB — общая касательная). Введем обозначения:

$$O_1O = S_1;$$

$$\angle OMO_1 = 90^\circ + \sigma_1 O_1M = R_1 \cdot \frac{t}{2\pi} = \alpha.$$

Из OMO_1 :

$$S^2 = R^2 + a^2 (\varphi + \Delta\varphi)^2 + 2Ra (\varphi + \Delta\varphi) \sin \sigma;$$

$$\sin \sigma = \frac{\varphi + \Delta\varphi}{\sqrt{1 + (\varphi + \Delta\varphi)^2}}.$$

Обозначив: $\varphi + \Delta\varphi$ через β , получим:

$$S = \sqrt{R^2 + a^2\beta^2 + 2Ra\frac{\beta^2}{\sqrt{1+\beta^2}}}. \quad (11)$$

Из того же треугольника имеем:

$$S = \frac{R}{\sin \Delta\varphi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\beta^2}}. \quad (12)$$

Из (14) и (15) окончательно получаем:

$$\sin \Delta\varphi = \frac{1}{\beta \sqrt{\left(\frac{1}{\beta^2} + \frac{a^2}{R^2}\right)(1+\beta^2) + \frac{2a}{R}\sqrt{1+\beta^2}}}. \quad (13)$$

По формуле (13), задаваясь вспомогательным углом $\beta = \varphi + \Delta\varphi$, находим угол $\Delta\varphi$. Затем строим график изменения $\Delta\varphi$ в зависимости от φ (в интересующем нас промежутке).

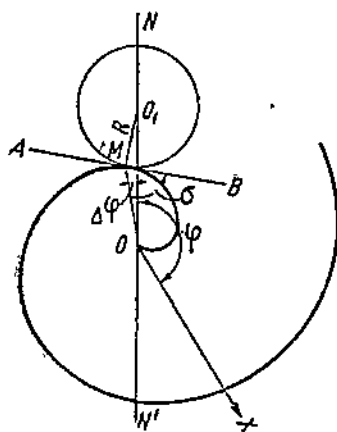


Рис. 263.

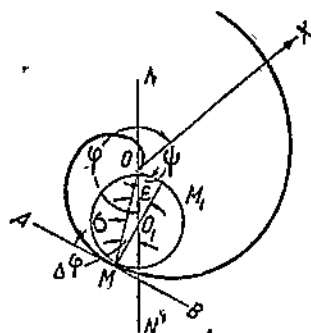


Рис. 264.

Подставляя в формулу (12) ряд значений φ и соответствующих им $\Delta\varphi$ (из графика), найдем ряд значений S в зависимости от φ .

Переменный зазор ΔS между окружностью и спиралью на прямой NN' в зависимости от φ определяем по формуле:

$$\Delta S = S - (R + a\varphi). \quad (14)$$

По формуле (14) можем вычислить график изменения ΔS в зависимости от φ .

2. Внутреннее касание (рис. 264). Аналогично получим:

$$\sin \Delta\varphi = \frac{1}{\beta \sqrt{\left(\frac{1}{\beta^2} + \frac{a^2}{R^2}\right)(1+\beta^2) - \frac{2a}{R}\sqrt{1+\beta^2}}}; \quad (15)$$

$$S = \frac{R}{\sin \Delta\varphi \sqrt{1 + \beta^2}}; \quad (16)$$

$$\Delta S = \frac{k}{2\pi} \varphi - (R + S). \quad (17)$$

[При малом угле $\Delta\varphi$ в формулах (12), (13), (15) и (16) можно полагать: $\sin \Delta\varphi \approx \Delta\varphi$.]

Эксцентриситет спирали создает ошибки, близкие к синусоиде, и может рассчитываться, как и в случае эксцентриситета окружности.

Из выведенных формул видно, что при касании окружности со спиралью перемещение центра окружности (ролика) по линии NN' не вполне пропорционально углу поворота спирали φ (пропорционально $\varphi + \Delta\varphi$). Ошибка тем больше, чем больше радиус ролика R и чем ближе ролик находится к центру спирали (чем меньше φ). Ошибка может быть исключена, если изготовление спирали будет производиться фрезой с диаметром, равным диаметру соприкасающегося ролика. То же относится и к шлифовке спирали. В других случаях следует стремиться пользоваться роликами малого диаметра и участками спирали, удаленными от ее центра ($\varphi > 6-8\pi$), так как, при увеличении φ , $\Delta\varphi$ асимптотически приближается к нулю.

5. Логарифмическая спираль.
Уравнение спирали:

$$r = ae^{m\varphi} (m > 0).$$

Рис. 265.

При $\varphi = 0$, $r = OA$ (рис. 265).

При $\varphi \rightarrow -\infty$, $r \rightarrow 0$, полюс O есть асимптотическая точка, к которой при отрицательном φ спираль приближается все более и более, никогда ее не достигая.

Касательная PT образует с радиусом-вектором OP в любой точке P постоянный угол $\sigma = \arctan m$.

Полярная поднормаль:

$$ON = r \operatorname{ctg} \sigma = rm.$$

Полярная нормаль:

$$PN = r \sqrt{1 + m^2} = \frac{r}{\sin \sigma}.$$

Полярная нормаль равна радиусу кривизны ρ в точке P .

Длина дуги, считая от точки P , при приближении другой концевой точки к полюсу стремится к значению:

$$S = \frac{r}{\cos \sigma} = \sqrt{1 + m^2} \cdot r,$$

т. е. к длине полярной подкасательной PT .

Если логарифмическая спираль катится по прямой без скольжения, то ее асимптотическая точка описывает другую прямую, наклоненную к первой под углом $\frac{1}{2}\pi - \sigma$.

Кулачки данного профиля применяются в дальномерах, высотомерах, прицельных приборах для преобразования неравномерной шкалы (пропорциональной логарифму дистанции или высоты) в равномерную. Передача осуществляется либо с помощью гибкой стальной ленты, связывающей два кулачка (рис. 349), либо с помощью ролика (щупа), либо кулачки имеют зубья (кулачные шестерни, рис. 321).

6. Спиральный кулак. Здесь кривая имеет вид канавки, нанесенной на цилиндрической поверхности (рис. 266). При вра-

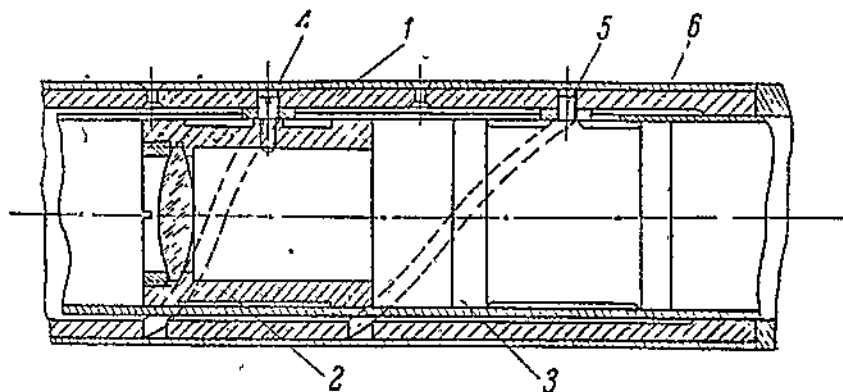


Рис. 266.

щении трубы 1 оправы 2 и 3 получают продольное перемещение благодаря штифтам 4 и 5, входящим в паз кривой. Такая конструкция применяется для перемещения линз панкратической системы.

Имея график, на котором по оси x -ов отложены углы поворота трубы 1, а по оси y -ов — линейные перемещения линз, поступают следующим образом. Для облегчения изготовления одну из кривых выпрямляют, задаваясь при этом либо ее углом подъема, либо, имея диаметр трубы, максимальным углом поворота трубы. Тогда и вторая кривая, связанная функционально с первой, также получит иную кривизну (обычно становится также более отлогой).

Для того чтобы не нарезать кривую изнутри, конструкцию выполняют по рис. 266. Трубу 1 берут с несколько меньшим внутренним диаметром. Канавку протачивают снаружи (не насквозь). Затем на трубу 1 плотно насаживают трубу 6 и соединяют их

заклепками. После этого внутренний диаметр протачивают до нужного размера, открывая канавки.

Конструкция трубы может быть выполнена и по рис. 267.

7. Механизм мальтийского креста. Система мальтийского креста служит для получения прерывистого вращательного движения от равномерно вращающегося привода. Четырехлопастный мальтийский крест является важнейшим кинематическим звеном лентопротяжного механизма киноаппаратов стационарного типа.

а) Общие законы движения мальтийского креста (рис. 268). Вокруг точки A вращается палец C , который во время части своего пути заходит в шлиц креста и поворачивает его на определенный угол. Когда палец не зашел еще в шлиц, крест удерживается в своем положении шайбой D , входящей в вырезы креста E .

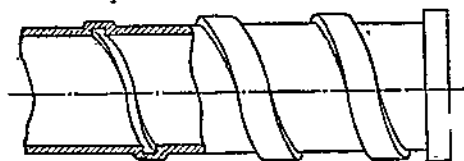


Рис. 267.

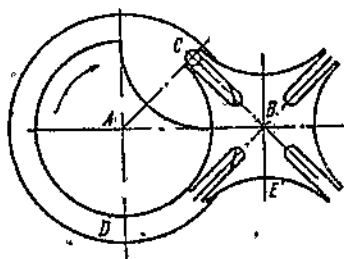


Рис. 268.

Введем следующие обозначения (рис. 269).

$r = AC$ — радиус окружности пальца эксцентриковой шайбы.

$R = BC$ — радиус мальтийского креста.

$a = AB$ — расстояние между осями.

α — угол, образуемый r и a . Частный случай: α_0 — для начального положения механизма.

β — угол, образуемый R и a . Частный случай: β_0 — для начального положения механизма.

γ — угол, образуемый r и R . Частный случай: γ_0 — для начального положения механизма.

v_A — окружная скорость точки C относительно $A = \text{const.}$

v_B — окружная скорость точки C относительно B .

$\omega_A = v_A/r$ — угловая скорость $r = \text{const.}$

$\omega_B = v_B/R$ — угловая скорость R .

ϵ — угловое ускорение.

$\varphi = \beta_0 - \beta$ — угол, пройденный R .

t — время в секундах.

Угол α является функцией времени t . Угол $\alpha_0 - \alpha$ можно определить как произведение угловой скорости ω_A на время t , откуда:

$$\alpha = \alpha_0 - \omega_A t. \quad (18)$$

Угол β_0 определяется выбранным типом мальтийского креста. В киноаппаратуре применяется исключительно четырехлопастный мальтийский крест с радиальным захватом, для которого $\beta_0 = 45^\circ$.

Угол, пройденный R , равен: $\varphi = \beta_0 - \beta$.

Из схемы (рис. 270) выводим:

$$\beta = \arccos \frac{a - r \cos \alpha}{r \sin \alpha}. \quad (19)$$

По теореме синусов:

$$a = \frac{r \sin \gamma_0}{\sin \beta_0}. \quad (20)$$

Обозначим:

$$r = \frac{1}{\sin \beta_0} = C.$$

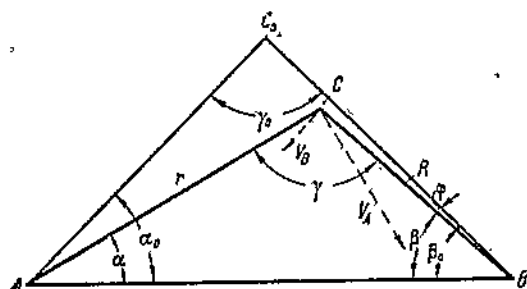


Рис. 269.

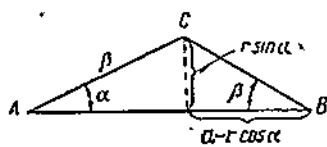


Рис. 270.

Отсюда:

$$\beta = \arccos \frac{C - r \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (21)$$

$$\varphi - \beta_0 = \arccos \frac{C - \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad (22)$$

что для четырехлопастного мальтийского креста с радиальными шлицами дает:

$$\varphi = 45^\circ - \arccos \frac{1,41 - \cos \alpha}{\sin \alpha}. \quad (23)$$

Угловая скорость:

$$\omega_B = \omega_A \cdot \frac{C \cos \alpha - 1}{B^2 - 2 \cos \alpha + 1}, \quad (24)$$

для четырехлопастного мальтийского креста с радиальными шлицами:

$$\omega_B = \omega_A \cdot \frac{1,41 \cos \alpha - 1}{3 - 2,8284 \cos \alpha}. \quad (25)$$

Угловое ускорение:

$$\xi_B = \omega_A^2 \cdot \frac{C \sin \alpha (C^2 - 1)}{(C^2 - 2 \cos \alpha + 1)^2}, \quad (26)$$

для четырехлопастного мальтийского креста:

$$\xi_B = \omega_A^2 \cdot \frac{1,41 \sin \alpha}{(3 - 2,8284 \cos \alpha)^2}.$$

На рис. 271 и 272 приведены графики угловой скорости и ускорений четырехлопастного мальтийского креста.

8. Грейфер. Грейфер, так же как и мальтийский крест, сообщает прерывистое движение кинолентке. Характер движения фильма несколько отличается от движения фильма мальтийским крестом. Время транспорта в грейфере, применяемом в кинопе-

редвижках ГОЗ и КДП (ВООМП), равно $1/8$ времени прохождения кадра.

Мальтийский крест состоит из четырех самостоятельных переключающихся элементов, последовательно участвующих в перемещении фильма. Значит, устойчивость кадра зависит от

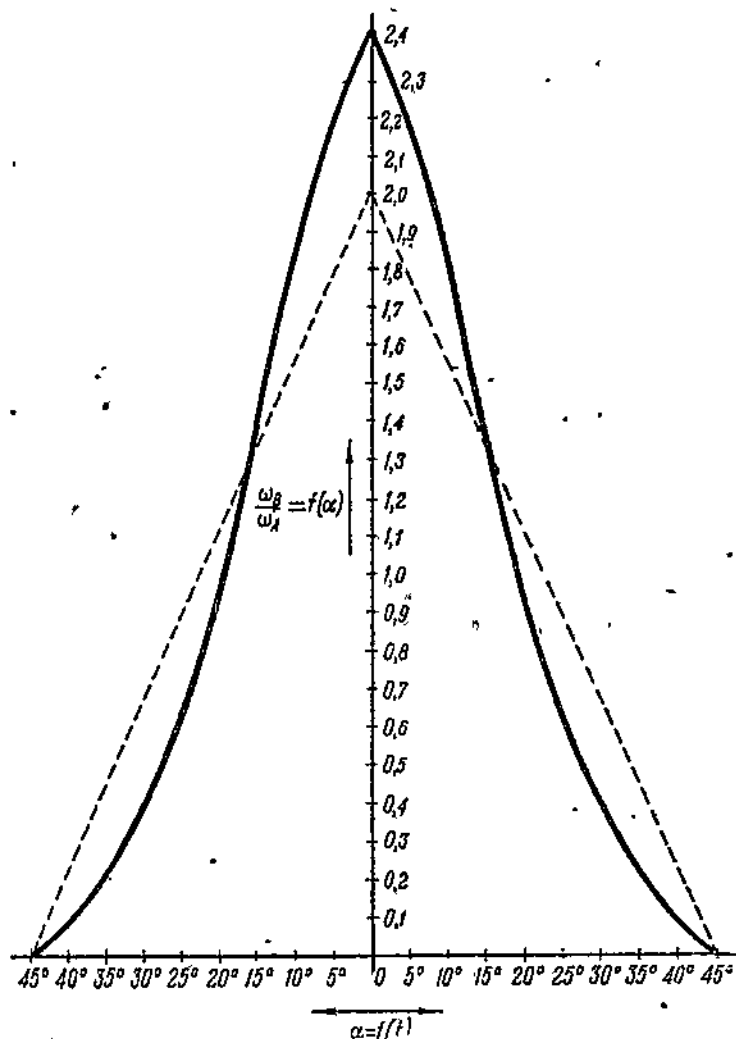


Рис. 271.

равноценности отдельных элементов. При грейфере каждый кадр переключается одним и тем же элементом. Вследствие этого грейфер исключает источник ошибок, имеющийся в мальтийском кресте. Вследствие же того, что движение производится всегда одним и тем же звеном, износ выше, чем в механизме мальтийского креста.

а) Грейфер кинопередвижки ГОЗ. Этот механизм (рис. 273 и 274) относится к замкнутым кулачковым механизмам. Профиль кулака (кулачок Вольфа) (рис. 273) имеет вид равностороннего

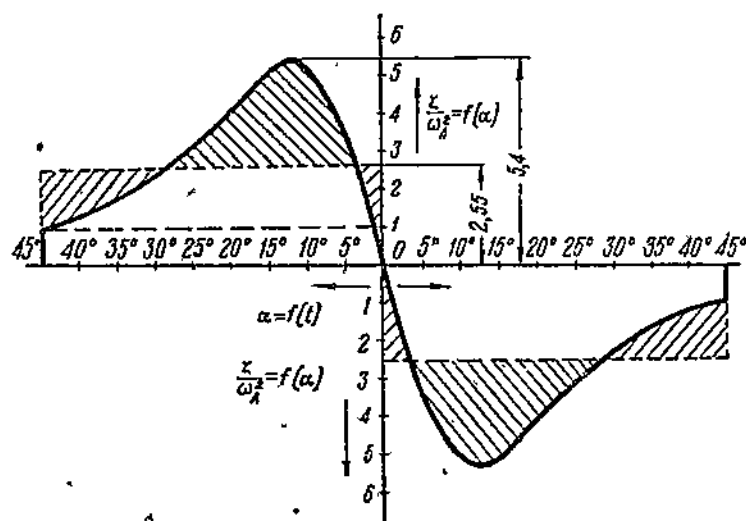


Рис. 272.

дугового трехсторонника с закругленными углами. Центр вращения вала совпадает с центром дуги закругления. При равномер-

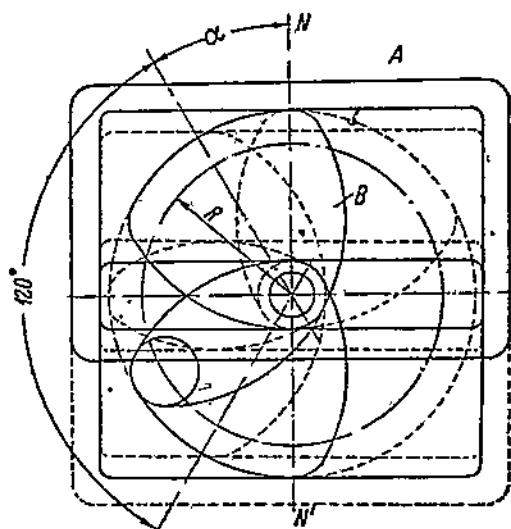


Рис. 273.

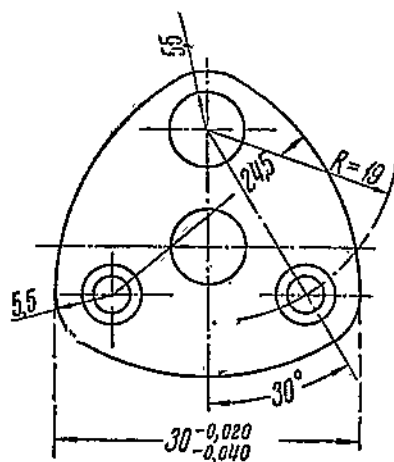


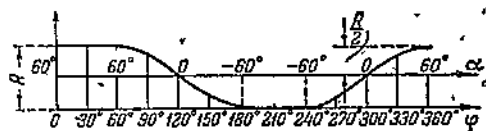
Рис. 274.

ном вращении кулака в течение $\frac{1}{3}$ оборота его (120°) рамка A перемещается в направлении NN' (на величину $2R \sin 60^\circ = R$), в течение следующих 60° поворота кулака она остается неподвиж-

ной, в следующую $\frac{1}{3}$ оборота она с той же скоростью возвращается в исходное положение, в следующие 60° поворота — опять стоит и т. д.

При движении рамки вниз гребенка (вилка) своими зубьями ведет фильм, при обратном движении рамки (вверх) изогнутая шайба отводит гребенку из пазов рамки, заставляя ее двигаться вне пути фильма.

Кривая пути рамки грейфера представляет собой укороченную синусоиду, как показано на графике пути (рис. 275, где φ — угол поворота кулака). Скорость движения рамки (а стало быть, и киноплёнки) выразится как:



$$v = \omega R \sin \alpha,$$

Рис. 275.

где R — радиус кулака, α — угол поворота ведущего радиуса-вектора R (как мы уже указывали выше, α изменяется от 0 до $\pm 60^\circ$); ω — угловая скорость вращения кулака (в радианах/сек.).

Ускорение:

$$w = \omega^2 R \cos \alpha.$$

б) Грейфер узкоплечной кинопередвижки конструкции П. К. Шиманского и А. А. Федорова (КИБ ВООМПа). Механизм грейфера (рис. 276) состоит из двух вращающихся шайб A и B , связанных между собой шестернями, т. е. шайба B вращается в 2 раза скорее, чем шайба A . Обе шайбы несут эксцентрично посаженные пальцы, на которых качаются рычаги C и D . Шарнир, сочленяющий эти рычаги, описывает плоскую фигуру (изображенную на рисунке); часть кривой (толстая линия) используется для транспортирования фильма, для чего рамка в этом месте-закругляется по радиусу, равному среднему радиусу кривой на участке mn , а на рычаге C делается выступающий зуб,

в) Механизмы для тонкого передвижения тубуса микроскопа. На рис. 277 изображен механизм фирмы Лейтц. Движение тубуса осуществляется сердцевидным эксцентриком, образованным двумя симметричными участками спирали Архимеда, по которым катится ролик. Точность отсчета — 1μ .

На рис. 278 изображен механизм фирмы Рейхерт. Движение тубуса осуществляется наклонной плоскостью K , вращающейся от рукоятки S отсчетного барабана. Механизм имеет теоретическую ошибку сложного вида.

Перемещение тубуса пропорционально:

$$a \operatorname{tg} \beta \sin \alpha + \frac{r}{\cos \gamma} - r,$$

где a — расстояние от центра вращения наклонной плоскости до точки опоры A ; β — угол наклона плоскости; α — угол поворота наклонной плоскости от начального положения; $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \beta \cos \alpha$; r — радиус опорного ролика.

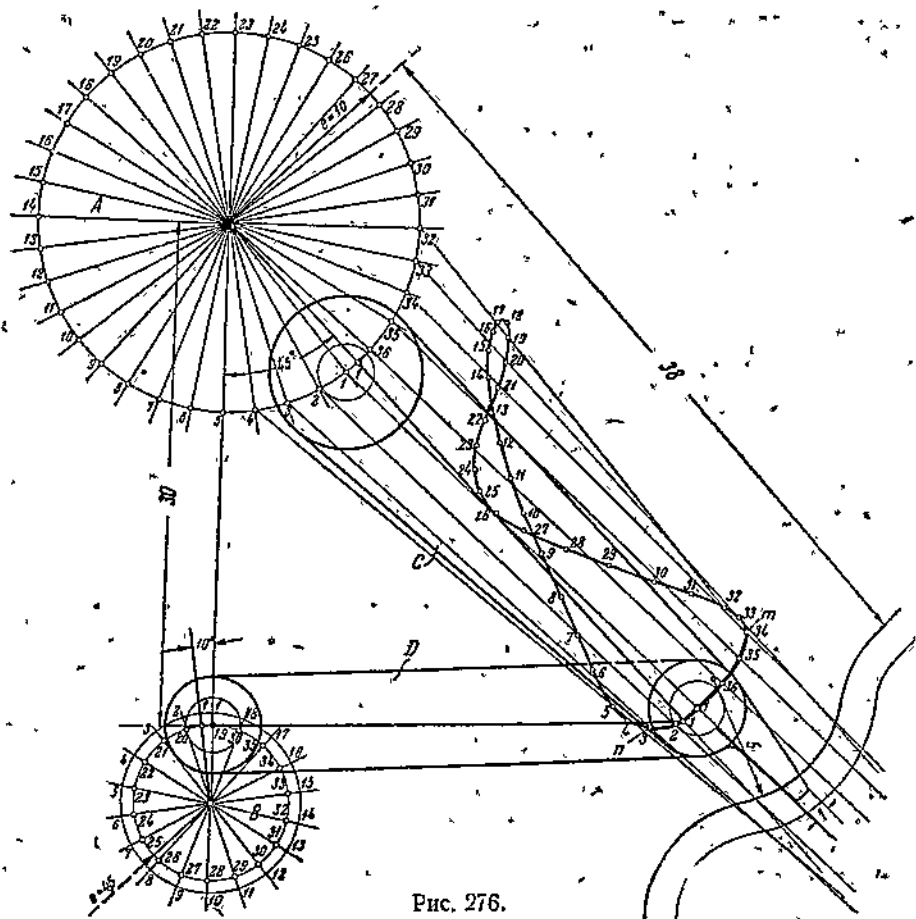


Рис. 276.

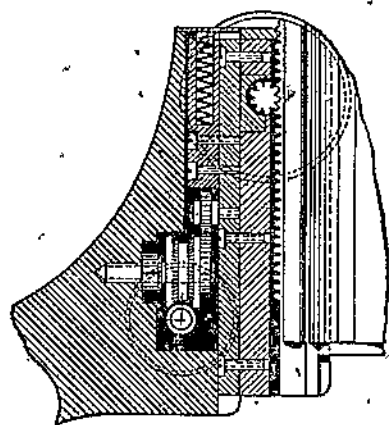
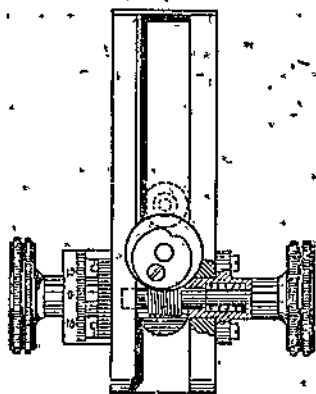


Рис. 277.



На рис. 279 изображен механизм фирмы Винкель, а на рис. 280 — механизм фирмы Бауш и Ломб.

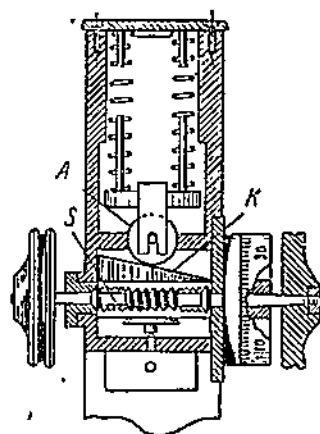


Рис. 278.

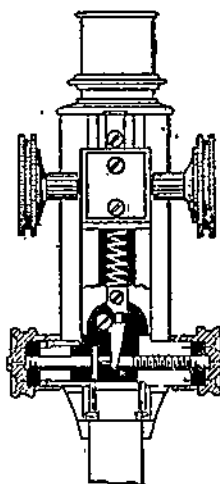


Рис. 279.

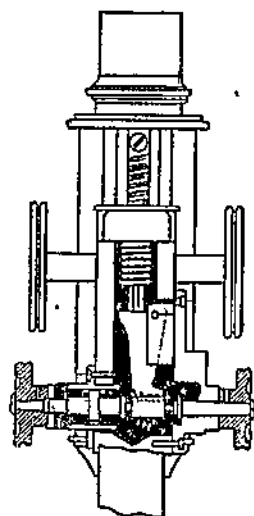


Рис. 280.

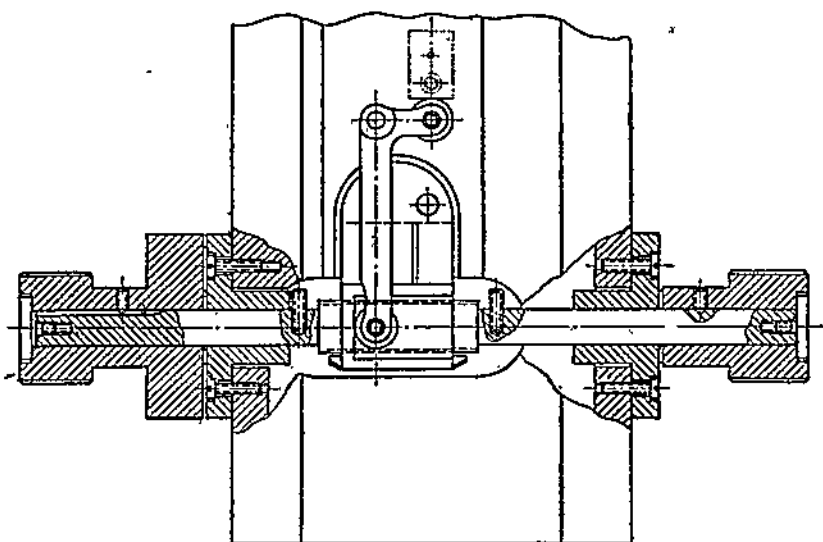


Рис. 281.

На рис. 281 изображен механизм металлографического микроскопа (ВООМП).

На рис. 282, приведены сравнительные кривые ошибок различных механизмов.

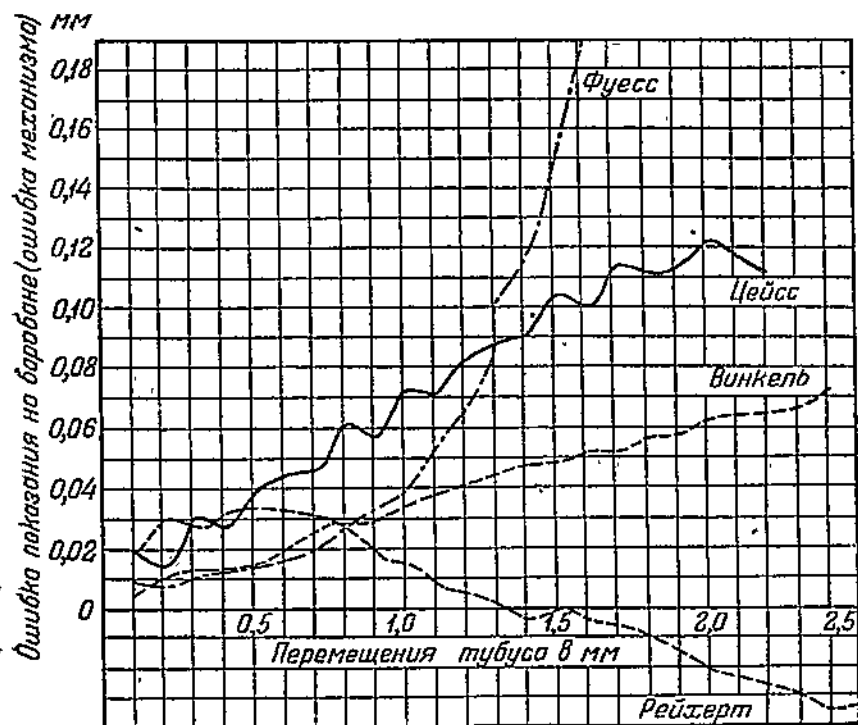


Рис. 282.

2. Рычажные суммирующие и множительные механизмы

1. Суммирующие механизмы. Этот вид механизмов основан на том свойстве рычагов, согласно которому при подъеме какой-

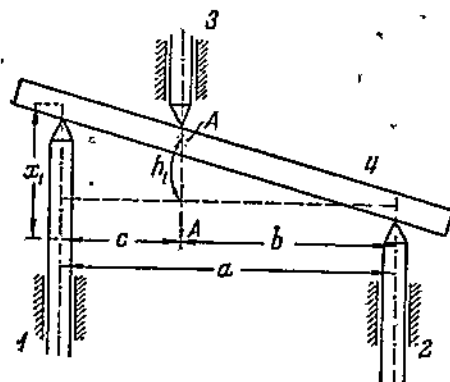


Рис. 283.

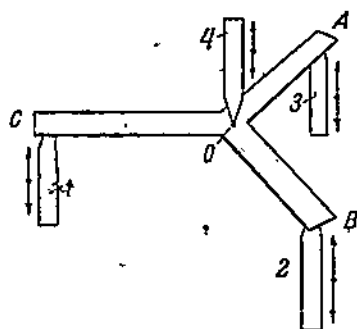


Рис. 284.

либо точки рычага 4 (рис. 283), находящейся на расстоянии a от точки опоры, на величину x_1 другая его точка A, находящаяся на расстоянии b от этой же точки опоры, поднимется (или опу-

стится) на величину $\frac{bx_1}{a} = h_1$. Делая поочередно какую-либо из двух точек рычага точкой опоры, а другую в то же время поднимая (опуская) на заданную величину, мы в какой-либо третьей

точке получим общий подъем, пропорциональный алгебраической полусумме подъемов первых двух точек. При этом точка A движется по прямолинейным направляющим.

На рис. 284 дана схема рычажного механизма для суммирования трех слагаемых.

Геометрическое сложение может быть получено помощью пантографа (см. ниже).

2. Множительные рычажные механизмы. Эти механизмы основаны на свойствах подобных треугольников (рис. 285). Из чертежа вытекает:

$$b = \frac{x_1 x_3}{x_2}$$

Изменяя сомножители x_1 и x_3 или знаменатель дроби x_2 , получим соответственное изменение величины b .

3. Механизмы, вводящие тригонометрические функции

1. Синусный механизм. Плоский синусный механизм дает возможность получать проекцию вектора r на некоторое направление (AB).

На рис. 286 изображен синусный механизм — координатор, — применяемый для преобразования полярных координат в прямоугольные. Синусный механизм может быть выполнен и дискового типа (рис. 338).

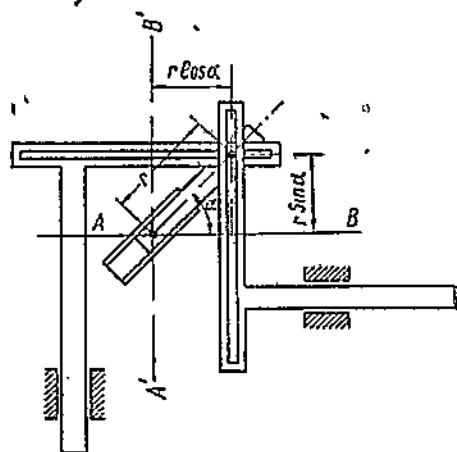


Рис. 286.

Пример конструктивного оформления синусного механизма показан на рис. 287.¹

2. Тангенсный механизм. Этот механизм решает зависимость вида: 1) $b = a \operatorname{tg} \alpha$; 2) $\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{b}{a}$.

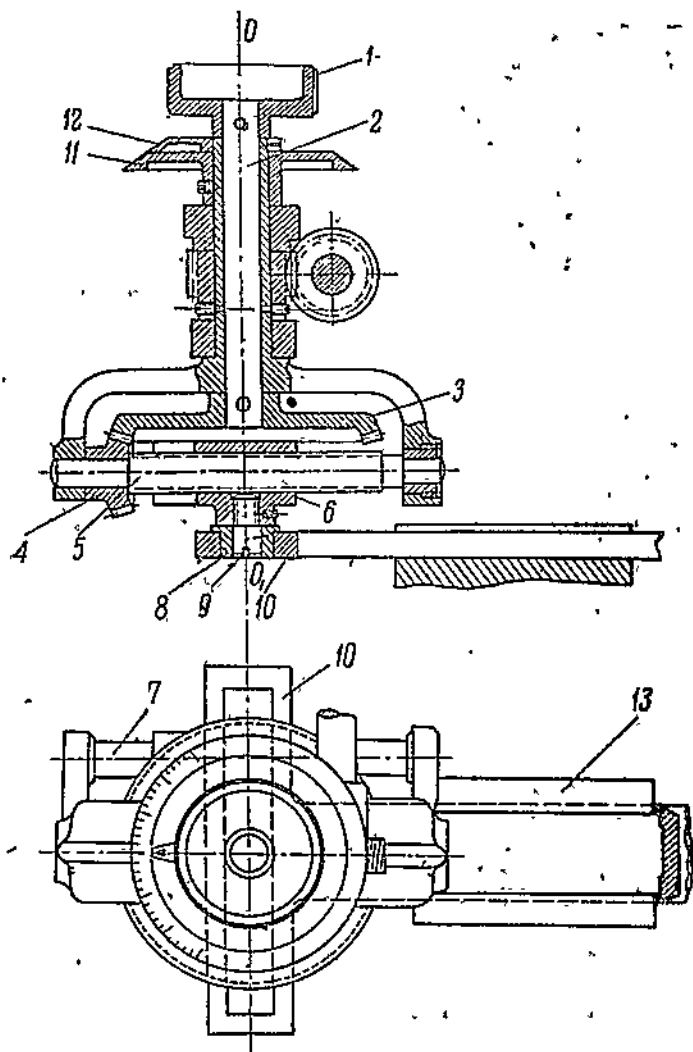


Рис. 287

¹ 1 — рукоятка; 2 — ось; 3 — коническая шестерня; 4 — малая коническая шестеренка; 5 — ходовой винт; 6 — маточная гайка; 7 — направляющая гайки; 8 — сухарь; 9 — ось сухаря; 10 — кулисса, перемещающаяся в направляющих 13; 11 — шкала; 12 — индекс. При вращении рукоятки 1 винт 5 перемещает гайку 6 на величину r . При повороте всего механизма вокруг оси OO_1 на угол α кулисса 10 передвигается на величину $r \sin \alpha$ ($r \cos \alpha$).

Конструкции тангенсных механизмов даны на рис. 288 и 287. В конструкции по рис. 289 угол α не должен превосходить 45° (если ведущей является деталь 1).

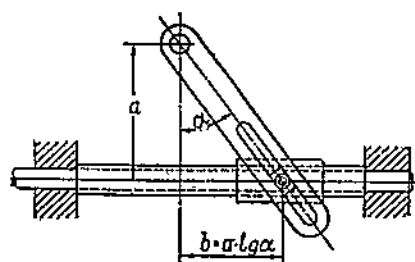


Рис. 288.

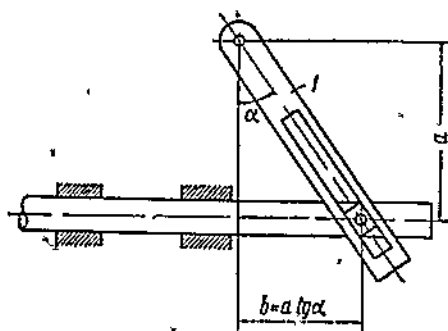


Рис. 289.

4. Параллелограмм

В некоторых случаях прибор приходится крепить на неподвижном основании, связав его движущейся деталью помощью параллелограмма. Параллелограмм должен осуществлять постоянную синхронную угловую связь между прибором и основанием, для чего противоположные его звенья должны быть выполнены с определенной степенью точности. Лучше всего одно звено из равной пары сделать регулирующимся по длине, что даст возможность отъюстировать параллелограмм с нужной степенью точности (рис. 290).

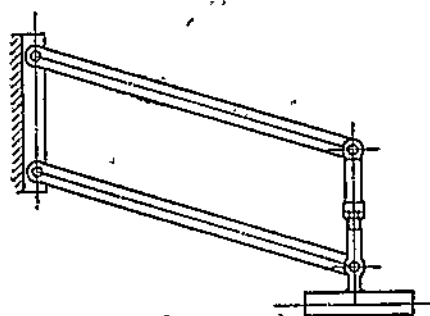


Рис. 290.

Вторым условием является отсутствие игры в шарнирных сочленениях, что достигается достаточной длиной неподвижного звена (и парного ему), выбором посадки, а также достаточной поверхностью соприкосновения и материалом трущихся деталей (для уменьшения износа).

5. Пантограф

Пантограф представляет собой четырех- или шестизвенный рычажный механизм, позволяющий воспроизводить в некотором масштабе плоские (или пространственные) кривые и получать их геометрическое сложение.

Если один конец пантографа закреплен шарнирно в точке A (рис. 291), то при движении другого его конца (точки B) центр шарнира C воспроизведет в масштабе AC/AB простран-

ственное движение точки B . Тогда C всегда должна лежать на линии AB .

Если при этом будет двигаться и точка A , то движение точки C воспроизведет геометрическую полусумму или полураз-

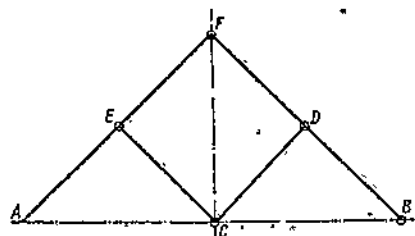


Рис. 291.

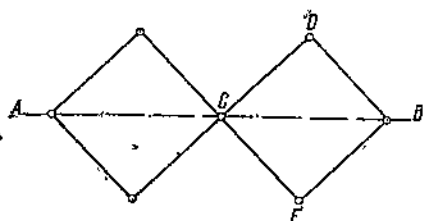


Рис. 292.

ность движений точек A и B . Если закрепить шарнирно точку C , то движение точки B будет пространственно повторять движение точки A в масштабе AB/AC .

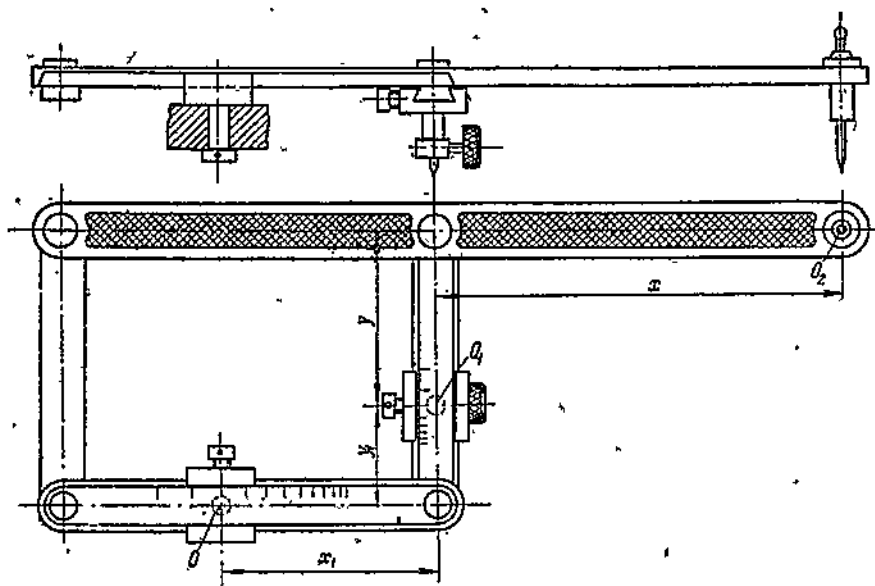


Рис. 293.

Указанные свойства пантографа, наряду со сравнительной простотой, обеспечивают ему широкое применение в копирующих устройствах, различных построительных механизмах и т. п.

Различные конструкции пантографа даны на рис. 291—293.

При конструировании следует иметь в виду, что всегда $CD = EF$ и $CE = DF$.

В пантографе, изображенном на рис. 293, масштаб можно изменять, изменяя расстояния x_1 и y_1 . При закреплённой точке, O масштаб выразится отношением:

$$\frac{x+x_1}{x_1} = \frac{y+y_1}{y_1}.$$

При закреплённой точке O_1 масштаб:

$$-\frac{x}{x_1} = \frac{y}{y_1};$$

знак $(-)$ показывает, что точка O будет двигаться в обратном к движению точки O_2 направлении.

Если;

$$\frac{x}{x_1} \neq \frac{y}{y_1},$$

то масштаб получится различным по двум перпендикулярным направлениям.

Глава X

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

1. Общие понятия

Зубчатой передачей называется передача, зубчатыми колёсами (зубчатым зацеплением) между валами, лежащими в одной плоскости или параллельно.

Винтовой передачей называется передача, выполняемая между валами, не лежащими в одной плоскости (скрещающимися). При работе такой передачи обязательно имеет место относительное скольжение.

Можно прямо сказать, что зубчатые передаточные механизмы являются основными и наиболее распространёнными механизмами для передачи вращения (или его трансформации) как в общем приборостроении, так и в оптико-механических приборах.

Преимуществами зубчатой передачи по сравнению, например, с фрикционной является то, что:

- 1) передача движения осуществляется с точным и постоянным отношением скоростей (отсутствие проскальзывания);
- 2) усилия, передающиеся на подшипники зубчатых колёс, лишь немногим могут превосходить окружные усилия на самом колесе.

В отличие от общего машиностроения, в оптико-механическом приборостроении зубчатые передачи в большинстве случаев предназначаются для передачи незначительной мощности при весьма высоких требованиях к точности передачи.

Второй особенностью является то, что в оптико-механических приборах часто приходится применять передачу с большим передаточным числом, с весьма малыми числами зубьев и малыми модулями. Применение зубчатых пар с большим передаточным числом вызывается опять-таки требованиями: точности

передачи (так как чем меньше звеньев в кинематической цепи, тем, понятно, меньше ошибки и мертвые хода), габарита и веса.

На зубчатые колеса в оптико-механических приборах распространяется та же теория зацепления, что и в общем машиностроении.

В настоящей главе мы рассмотрим элементы зубчатых зацеплений, применяемых в оптико-механических приборах, и их обоснование, а также вопросы ошибок в зубчатых передачах и рациональную конструкцию последних с целью уменьшения вредного влияния ошибок изготовления зубчатых колес.

В оптико-механических приборах применяются исключительно шестерни, профиль зуба которых построен по *эвольвенте*.

Преимущества эвольвентного зацепления по сравнению с другим применяемым в точной механике зацеплением — циклоидальным — заключаются в следующем:

- 1) простота и удобство изготовления методом обкатки;
 - 2) большая прочность зубьев, так как ширина зуба в опасном сечении (у основания) наибольшая;
 - 3) возможность изменения в некоторых пределах расстояния между центрами без нарушения правильности зацепления (при этом лишь увеличивается боковой зазор между зубьями, уменьшается продолжительность зацепления и увеличивается угол зацепления);
 - 4) возможность работы каждой шестерни с любой шестерней той же серии;
 - 5) возможность осуществления передачи без мертвого хода.
- Отметим также и недостатки эвольвентного профиля по сравнению с циклоидальным:
- 1) большее удельное давление, а отсюда и износ;
 - 2) более быстрое нарушение правильности зацепления при износе.

2. Эвольвента и ее свойства

Геометрия эвольвенты. Для полного уяснения работы зубчатых колес с эвольвентным профилем необходимо более подробно ознакомиться с геометрическими и кинематическими свойствами эвольвенты.

Эвольвентой называется кривая, которая описывается любой точкой прямой линии при перекатывании ее без скольжения по окружности (рис. 294).

Окружность, по которой производится перекатывание прямой, называется *основной окружностью*.

Выведем уравнение эвольвенты.

Пусть: r_0 — радиус основной окружности;

p — длина отрезка производящей прямой от точки касания с основной окружностью до производящей точки (P);

r — длина радиуса-вектора;

θ — угол поворота радиуса-вектора;

α — угол между радиусом-вектором и радиусом основной окружности, проведенным в точку касания производящей пря-

мой с основной окружностью, т. е. с нормалью к производящей прямой. Все углы измеряются в радианах.

Из рис. 294 видно, что длина отрезка производящей прямой равна длине дуги, которая стягивает два угла θ и α , так как этот отрезок был развернут с этой дуги основной окружности без скольжения. Таким образом мы имеем:

$$\rho = r_0(\theta + \alpha). \quad (1)$$

Но ρ является также катетом прямоугольного треугольника, отсюда:

$$\rho = r_0 \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Соединяя эти два уравнения, имеем:

$$\left. \begin{aligned} r_0(\theta + \alpha) &= r_0 \operatorname{tg} \alpha, \\ \theta + \alpha &= \operatorname{tg} \alpha, \\ \theta &= \operatorname{tg} \alpha - \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Из того же прямоугольного треугольника:

$$r = \frac{r_0}{\cos \alpha}. \quad (4)$$

Два последние уравнения являются простейшей формой, в которых может быть выражено уравнение эвольвенты. Для этого нужно их соединить и исключить переменную ρ .

Из рис. 294 имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho}{r_0},$$

откуда:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{r^2 - r_0^2}}{r_0} = \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1},$$

или:

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}.$$

Подставляя эти значения в уравнение (3), имеем:

$$\theta = \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}. \quad (5)$$

Уравнение (5) является уравнением эвольвенты в полярных координатах.

Известно, что тангенс угла ψ между касательной к кривой и радиусом-вектором будет:

$$\operatorname{tg} \psi = r \cdot \frac{d\theta}{dr};$$

$$\begin{aligned}\frac{d\theta}{dr} &= \frac{\frac{r}{r_0^2}}{\sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}} - \frac{\frac{r}{r_0^2}}{\frac{r^2}{r_0^2} \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}} = \\ &= \left(\frac{r}{r_0^2}\right) \cdot \frac{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}{\frac{r^2}{r_0^2} \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1}}{r}, \\ r \cdot \frac{d\theta}{dr} &= \operatorname{tg} \psi = \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} = \operatorname{tg} \alpha.\end{aligned}$$

Следовательно, $\psi = 0$, а значит, касательная к эвольвенте перпендикулярна к производящей прямой, т. е. производящая прямая является нормалью к эвольвенте. Это свойство эвольвенты чрезвычайно существенно.

Радиус кривизны в любой точке эвольвенты равен длине отрезка производящей прямой от данной точки до точки касания с основной окружностью, т. е. $\rho = \sqrt{r^2 - r_0^2}$.

Представим себе, что нам необходимо построить кулачок, который бы, равномерно вращаясь, сообщал равномерное прямо-

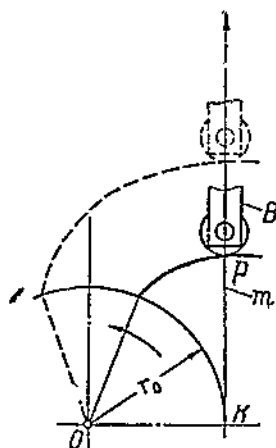


Рис. 295.

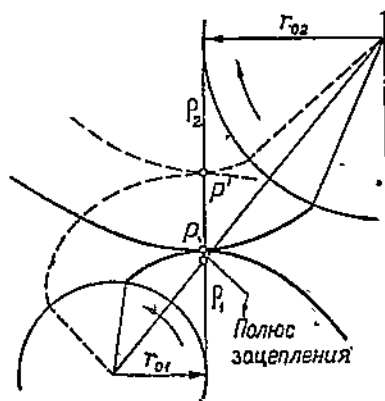


Рис. 296.

линейное движение шупу B (рис. 295), причем направление движения шупа не должно происходить через центр O вращения кулачка, а проходит на расстоянии r_0 от центра O . Тогда мы можем себе представить, что шуп B закреплен на гибкой нерастяжимой нити m , накрученной на цилиндр радиуса r_0 ; при вращении последнего, как указано на рис. 295, нить будет сматываться (наматываться) на цилиндр, сообщая равномерное движение шупу B . Совершенно ясно, что путь точки касания (прямой участок нити PK) представляет собой производящую прямую, или линию зацепления, а путь точки касания относительно вращающегося диска является эвольвентой.

Таким образом важнейшим кинематическим свойством эвольвенты является то, что при равномерном вращении вокруг центра основной окружности она сообщает равномерное же движение по линии зацепления.

Взаимодействие двух эвольвент. Заменяем теперь шуп B второй эвольвентой с основной окружностью радиуса r_{02} , как показано на рис. 296. В общей точке касания двух эвольвент касательные к обеим кривым также совпадут. Но касательные к эвольвентам всегда перпендикулярны к соответствующим производящим прямым. А раз две касательные в общей точке совпадают, то ясно, что перпендикуляры к ним, проведенные в общую точку касания, явятся продолжением друг друга.

Таким образом геометрическим местом точек касания двух эвольвент является общая касательная к двум основным окружностям, как показано на рис. 296.

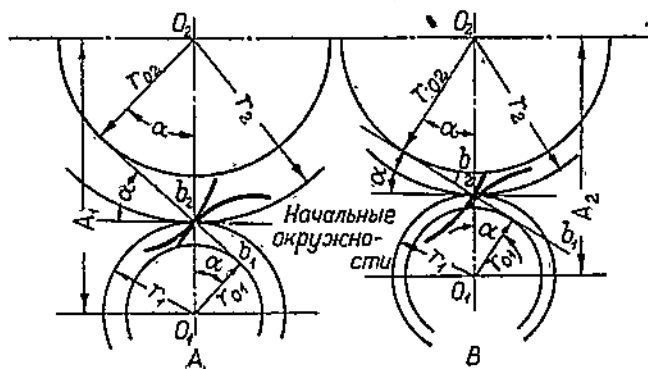


Рис. 297.

Когда эвольвента вращается с постоянной скоростью, длина линии зацепления ρ от точки ее касания с основной окружностью до точки P касания двух эвольвент изменяется также с постоянной скоростью. То же самое, понятно, относится и ко второй эвольвенте. Отсюда следует, что вторая эвольвента будет вращаться также с постоянной скоростью.

Передачное отношение. Отношение скоростей вращения двух эвольвентных зубчатых колес зависит только от отношения радиусов основных окружностей эвольвент. Расстояние между центрами двух основных окружностей не влияет на отношение их угловых скоростей.

Другим свойством эвольвенты, присущим только ей, является то, что эвольвентные колеса не имеют диаметра начальной окружности до тех пор, пока они не приведены в соприкосновение друг с другом.

Радиусы начальных окружностей r_1 и r_2 двух соприкасающихся эвольвентных колес определяются пересечением общей касательной к двум основным окружностям с линией центров этих окружностей (рис. 297).

Угол α , образованный общей касательной к двум основным окружностям и перпендикуляром к линии их центров, называется *углом зацепления*. Этого угла не существует, пока две эвольвенты не находятся в соприкосновении.

Угол между касательной к эвольвенте и радиусом-вектором, проведенным в точку касания, называется *углом давления* в этой точке. В полюсе зацепления угол давления равен углу зацепления. Во всех других точках эвольвенты, угол давления принимает другие значения.

Для каждой данной эвольвенты любому установленному диаметру начальной окружности соответствует свой угол зацепления (рис. 297).

Таким образом начальные окружности и угол зацепления пары эвольвентных колес зависят исключительно от радиусов основных окружностей и расстояния между их центрами.

Если A — расстояние между центрами, то:

$$A = r_1 + r_2,$$

$$r_1 = \frac{r_{01} r_2}{r_{02}},$$

$$A = \frac{r_{01} r_2}{r_{02}} + r_2 = r_2 \left(\frac{r_{01} + r_{02}}{r_{02}} \right),$$

откуда:

$$r_2 = \frac{r_{02} A}{r_{01} + r_{02}}. \quad (6)$$

Подобным же образом:

$$r_1 = \frac{r_{01} A}{r_{01} + r_{02}}. \quad (7)$$

Обращаясь к рис. 297, где α — угол зацепления пары эвольвент, мы находим:

$$\cos \alpha = \frac{r_{01} + r_{02}}{A}. \quad (8)$$

Взаимодействие эвольвенты и прямой линии Прямая, касательная к эвольвенте, всегда перпендикулярна к их линии зацепления.

Если эвольвента вращается равномерно, то и прямая, имеющая возможность перемещаться только оставаясь параллельной самой себе, будет перемещаться равномерно.

Рассмотрим движение прямой, имеющей возможность двигаться в направлении произвольной линии AA' (рис. 298). Обозначив расстояние, которое прямая прошла вдоль линии AA' , через S_1 , расстояние, которое прямая прошла вдоль линии зацепления, через S и угол между линией зацепления с линией AA' через α_1 , будем иметь следующее соотношение:

$$S_1 = \frac{S}{\cos \alpha_1}$$

(аналогично выражается величина S_2).

Так как величина S , как нам уже известно, изменяется равномерно и величина α_1 постоянна, то величина S_1 также изменяется равномерно.

Данный случай соответствует зацеплению рейки и эвольвентного зубчатого колеса. Радиус r_1 начальной окружности колеса в этом случае зависит только от угла профиля зубьев рейки (угла зацепления α), т. е. является величиной постоянной, не зависящей от расстояния между центром колеса и рейкой, и равен:

$$r_1 = \frac{r_{01}}{\cos \alpha}, \quad (9)$$

где r_{01} — радиус основной окружности колеса.

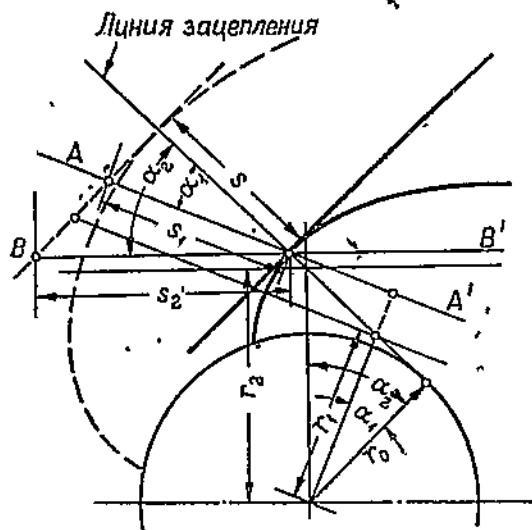


Рис. 298.

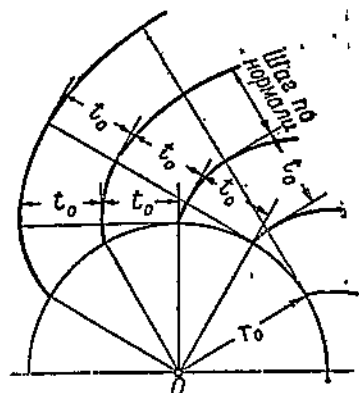


Рис. 299.

Эвольвентные профили зубьев колеса строятся от общей основной окружности.

Представим себе нитку с равномерно размещенными на ней узлами, намотанную на основную окружность. При сматывании нитки каждый ее узел будет описывать эвольвенту (рис. 299). Расстояние между этими эвольвентными кривыми (т. е. боковыми профилями зубьев), измеренное по любой касательной к основной окружности, является постоянным. Это расстояние равно длине дуги основной окружности, заключенной между начальными точками двух последовательных эвольвентных профилей, и называется *нормальным шагом* (основным шагом) зубчатого колеса.

Постоянство этого шага, т. е. правильность эвольвентного профиля, является необходимым для правильной работы зацепления. Если: t_0 — шаг по нормали, r_0 — радиус основной окружности, Z — число зубьев шестерни, то:

$$t_0 = \frac{2\pi r_0}{Z}. \quad (10)$$

Продолжительность зацепления. Число зубьев в зацеплении, или продолжительность зацепления ϵ , есть частное от деления

длины линии зацепления на длину дуги по основной окружности (основной шаг). Продолжительность зацепления должна быть обязательно ≥ 1 .

Подрезка эвольвенты. Эвольвента начинается от основной окружности, эвольвентное зацепление не может иметь места внутри основной окружности. Если рейка с заостренными углами зубьев зацепляется с эвольвентой и эти углы оказываются внутри основной окружности, то, как показано на рис. 300, получается так называемая подрезка эвольвентного профиля. Для того чтобы избежать подрезки, линия выступов зубьев рейки не должна лежать ниже точки касания линии зацепления с основной окружностью.

Из рис. 300 мы имеем: C_0 — наименьшее расстояние между линией выступов рейки с острыми нескругленными углами и осью шестерни, при котором еще не наступает подрезка профиля зуба шестерни выше основной окружности; r_0 — радиус основной окружности; r — радиус начальной окружности; α — угол зацепления. Тогда:

$$A_0 = r_0 \cos \alpha = \\ = r_1 \cos^2 \alpha.$$

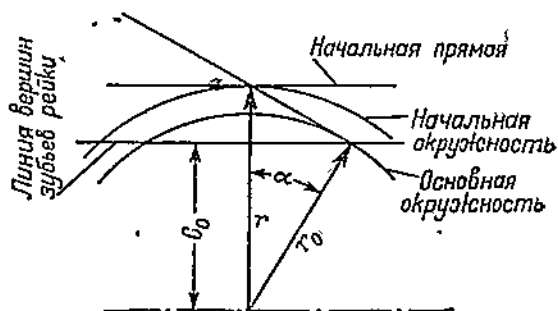


Рис. 300.

Также, если две шестерни находятся во взаимодействии, окружность выступов любой из них не должна простирается за точку касания линии зацепления с основной окружностью сопряженной шестерни, так как в противном случае возникает аналогичное предыдущему внедрение профилей.

Из рис. 301 имеем: R_{e1} — максимальный радиус окружности выступов первой шестерни, не вызывающий внедрения; R_{e2} — максимальный радиус окружности выступов второй шестерни, не вызывающий внедрения. Остальные обозначения ясны из чертежа.

$$R_{e1} = \sqrt{r_{01}^2 + (A \sin \alpha)^2}, \quad (11)$$

$$R_{e2} = \sqrt{r_{02}^2 + (A \sin \alpha)^2}. \quad (12)$$

Зависимость между усилиями, действующими на зубья шестерни, и усилиями, действующими на подшипники вала шестерни. Усилие, действующее на зубья колеса, является нормальным к эвольвентному профилю зуба, т. е. всегда совпадает с линией зацепления. Поэтому при постоянном вращающем моменте величина усилия постоянна.

Из рис. 302 имеем: T — окружное усилие на начальной окружности шестерни; T_1 — усилие по линии зацепления; α — угол зацепления. Тогда:

$$T_1 = \frac{T}{\cos \alpha}.$$

Найдем усилие на подшипниках пары.

Обозначим: T_2 — усилие, направленное по линии центров, стремящееся раздвинуть шестерни. Тогда:

$$T_2 = T \operatorname{tg} \alpha.$$

Нормальное усилие T_1 изменяется очень мало при изменении угла зацепления от 15° до 20° .

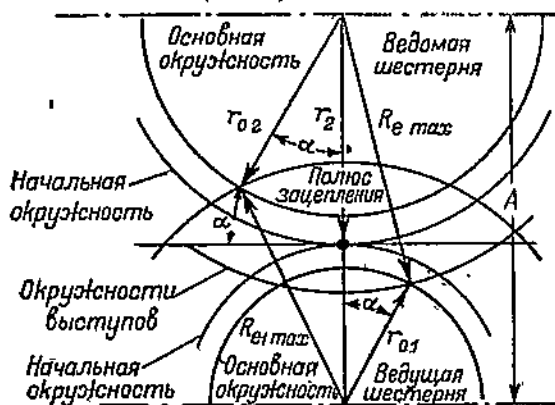


Рис. 301.

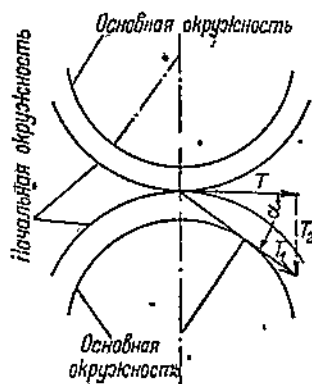


Рис. 302.

3. Цилиндрические зубчатые колеса с эвольвентным профилем, применяемые в оптико-механическом приборостроении

Эвольвентный профиль цилиндрических зубчатых колес характеризуется выбранным углом зацепления или углом профиля зуба рейки (или червячной фрезы), служащей для нарезания зубьев шестерни методом обкатки. Такая рейка носит название *основной рейки*. Элементы эвольвентного зацепления даны на рис. 303.

До недавнего времени в точной механике почти исключительно применялась эвольвентная система с углом зацепления 15° . Однако, в последнее время стали отдавать предпочтение эвольвентному профилю с углом зацепления 20° . В настоящее время 20° -градусная система нормализована в Германии. ОСТ СССР 20° -градусная система принята как основная. КИБом ВООМПа нормализованы цилиндрические зубчатые колеса с углом зацепления 20° .

Причинами выбора этой системы являются следующие преимущества 20° -градусного зацепления:

- 1) 20° -градусная система принята ОСТ как основная;

2) минимальное число зубьев колеса, нарезаемого способом обкатки, для 20-градусной системы равно 14, а для 15-градусной—25;

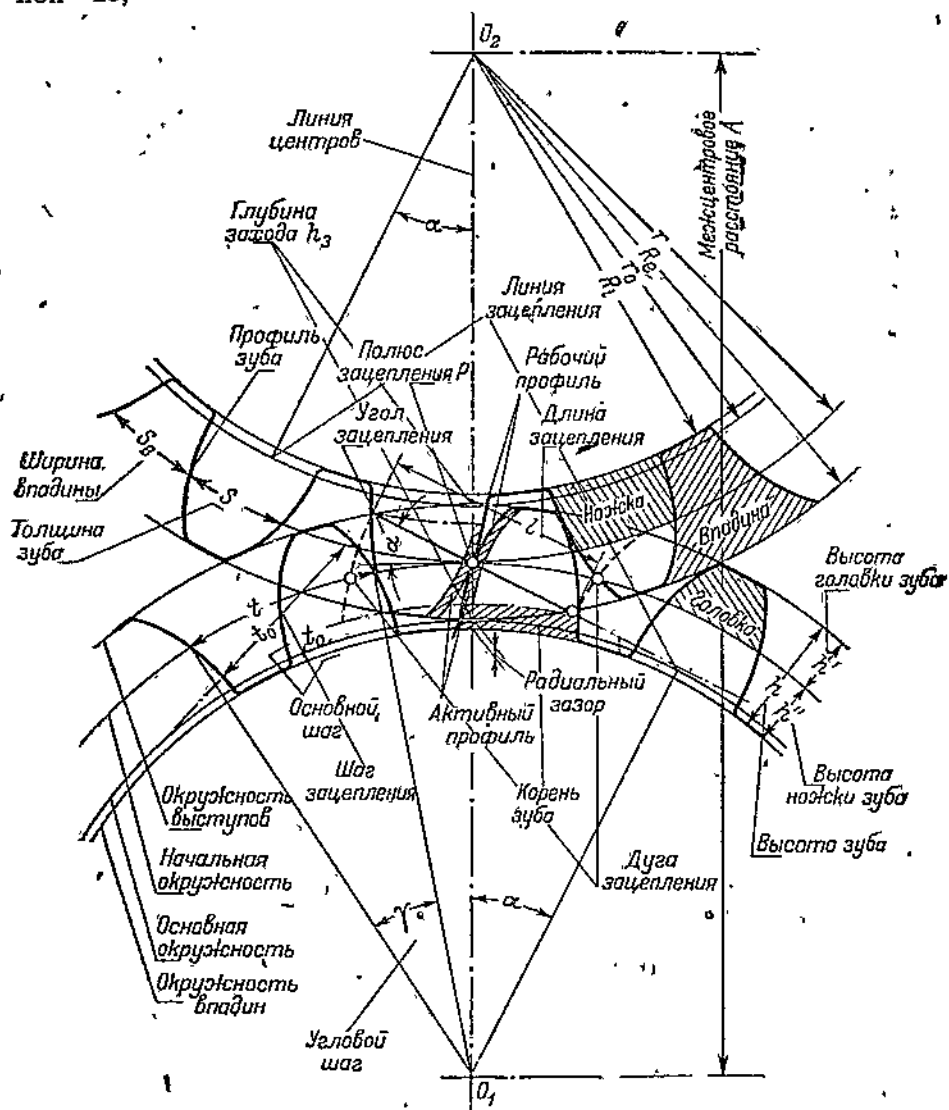


Рис. 303.

3) удельное давление и удельное скольжение, а отсюда и износ на зубьях колес 20-градусной системы меньше, чем на зубьях 15-градусной;

4) зубья при 20-градусной системе являются более прочными, чем при 15-градусной.

Продолжительность зацепления при 20-градусной системе ниже, чем при 15-градусной, однако, это не имеет значения, так как, во-первых, она все же больше единицы и, во-вторых, при системе с любым углом зацепления, даже при незначительных ошибках в шаге и в угле профиля, продолжительность зацепления падает до единицы и остается не больше единицы до тех пор, пока колеса не приработаются друг к другу.

Давление на подшипники при 20-градусной системе несколько выше, чем при 15-градусной.

15-градусная система данными нормами не исключается: один из ее видов — колеса с высоким зубом — может быть принят для часовых и затворных механизмов, где требуются колеса малых модулей и допустима или желательна работа колес с большим боковым зазором.

Следует иметь в виду, что 15-градусная система с боковым зазором допускает в большей степени увеличение расстояния между осями колес без нарушения правильности зацепления.

Терминология и обозначения в нормах КИБа ВООМПа приняты по ОСТ 8089 (к обозначению A — расстояние между осями — добавлены индексы A_0 и A , для различия расстояний между осями нулевых и фау-передат).

Расчетные формулы для фау-колес заимствованы с некоторыми не принципиальными изменениями из DIN 870.

Фау-зацеплением¹ называется такая коррекция (исправление) эвольвентного зацепления с целью получения зацепления без бокового зазора (т. е. без мертвого хода), которая достигается сдвигом режущего инструмента по направлению центра нарезаемой шестерни без уменьшения или увеличения высоты зубьев против нормальной (нулевой) шестерни. Высота зуба и всех колес $h = 2,2 m$.

Другим преимуществом, которое дает такая коррекция зубьев, является возможность изготовления методом обкатки шестерен с меньшим количеством зубьев, чем при обычном профиле без подрезки зубьев.

Коэффициент сдвига червячной фрезы, Δ — символ приращения расстояния между осями.

Для приборостроения принятая в нормах КИБа ВООМПа система является до известной степени универсальной, так как она дает возможность рассчитать передачу без бокового зазора при нормальном расстоянии между центрами колес.

Одной из важнейших положительных сторон системы является то, что все колеса системы как нормальные, так и корригированные (фау-плюс и фау-минус-колеса) нарезаются одним и тем же нормальным инструментом. Высота зуба h у всех колес равна $2,2 m$. Только у неметаллических зубчатых колес (например, текстолитовых) рекомендуется высоту зуба брать равной $1,8 m$ (см. ниже).

В табл. 43 приведены нормальные модули (m) по ОСТ 1597.

¹ „Фау“ — начальная буква слова *Verschiebung* (сдвиг).

Таблица 43

Нормальные модули по ГОСТ 1597 (в мм)

0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	9	10	11	12	13	14	15

а) Колеса с прямым зубом для передач с большим боковым зазором (рис. 304). Обозначения основных элементов и формулы для расчета приведены в табл. 44, а предельные числа зубьев — в табл. 45.

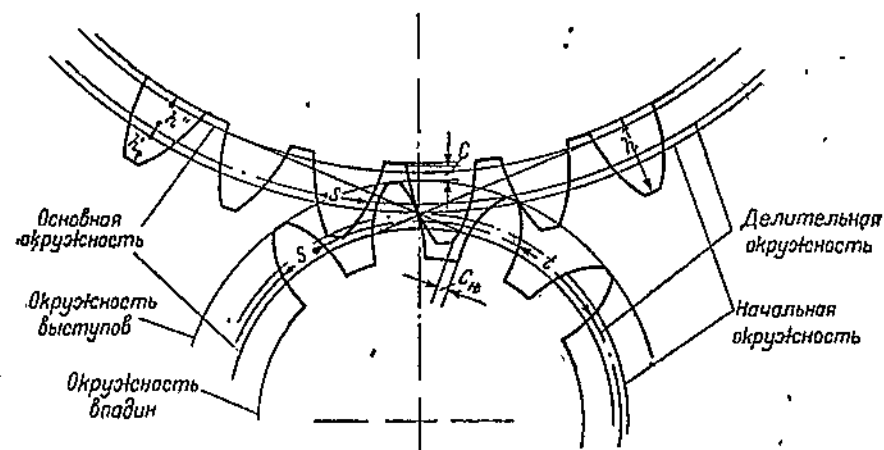


Рис. 304.

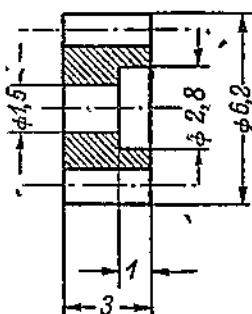
1. В основу данной системы зацепления зубчатых колес положена основная зубчатая рейка с углом наклона $\alpha = 20^\circ$.

2. Система предназначена для передач, в которых требуется большой боковой зазор (например, механизмы фотоаппаратов, часовые механизмы и пр.).

3. Все колеса системы с числом зубьев $Z < 14$ нарезаются, как обязательное правило, модульными дисковыми фрезами; при вычерчивании этих колес на деталях

чертежах делается указание о способе обработки, а именно: „нарезать модульной дисковой фрезой“.

4. На деталях чертежах, кроме размеров, определяющих геометрическую форму колеса, даются значения следующих величин: m , Z , d_g , D_g , h и α (рис. 305).



$m = 0,5$
$Z = 10$
$d_g = 5$
$D_g = 6,2$
$h = 1,2$
$\alpha = 20^\circ$
Нарезать модульной дисковой фрезой

ис. 305.

Таблица 44

Обозначения основных элементов и формулы для расчета цилиндрических зубчатых колес с прямым зубом для передач с большим боковым зазором

Названия элементов	Обозначения	Формулы или другие указания
Модуль	m	Выбирать из табл. 43
Шаг	t	$t = \pi m$ ($\pi = 3,14$)
Число зубьев	Z	—
Диаметр делительной окружности	d_d	$d_d = Zm$
Диаметр окружности выступов	D_e	$D_e = (Z + 2,4) m$
Диаметр окружности впадин	D_t	$D_t = (Z - 2,4) m$
Высота зуба	h	$h = 2,4 m$
Высота головки	h'	$h' = 1,2 m$
Высота ножки	h''	$h'' = 1,2 m$
Длина зуба	b	$b \geq 4$
Толщина зуба по делительной окружности	S	$S = 0,5 t$
Боковой зазор по нормали	C_n	$C_n \approx 0,27 m$
Боковой зазор по начальной окружности	C_e	$C_e \approx 0,29 m$
Радиальный зазор	C	$C = 0,4 m$
Угол профиля	α	$\alpha = 20^\circ$
Расстояние между осями	A	$A = 0,5 (Z_1 + Z_2 + 0,8) m$

Таблица 45
Предельные числа зубьев

Z_1 ↓	подходит Z_2 ко всем ↓	Z_1 ↓	подходит Z_2 ко всем ↓
7	7	11	11 42
8	8 11	12	12 79
9	9 17	13	13 216
10	10 26	14	14

Пример. Требуется рассчитать передачу $i=1/2$ с большим боковым зазором для расстояния между осями $A=4,5-5$ мм.

Решение:

$$A \approx 4,5 \approx 0,5 (Z_1 + Z_2 + 0,8) m,$$

откуда при $m=0,3$:

$$(Z_1 + Z_2 + 0,8) \approx \frac{9}{0,3} = 30.$$

Допустим: $Z_1 + Z_2 = 30$, тогда: $Z_1 = 10$ и $Z_2 = 20$.

$$A = 0,5 (10 + 20 + 0,8) 0,3 = 4,62,$$

что условию задачи удовлетворяет.

Малое колесо

$$Z_1 = 10$$

$$d_{a1} = 10 \cdot 0,3 = 3$$

$$D_{e1} = (10 + 2,4) 0,3 = 3,72$$

$$h = 2,4 \cdot 0,3 = 0,72$$

Большое колесо

$$Z_2 = 20$$

$$d_{a2} = 20 \cdot 0,3 = 6$$

$$D_{e2} = (20 + 2,4) 0,3 = 6,72$$

$$h = 0,72$$

б) Колеса с прямым зубом для передач без бокового зазора (рис. 306). Обозначения основных элементов и формулы для расчета приведены в табл. 46.

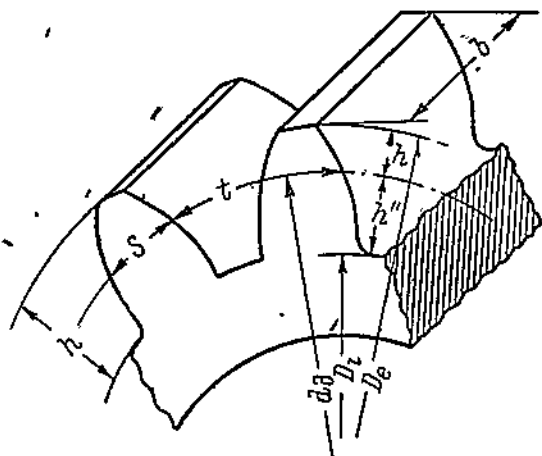


Рис. 306.

1. В основу данной системы зацепления зубчатых колес положена основная зубчатая рейка с углом наклона образующей $\alpha = 20^\circ$.

2. Все фау-плюс-колеса, фау-минус-колеса, а также нулевые колеса с числом зубьев $Z > 17$ нарезаются, как обязательное правило, червячными фрезами на обкаточных станках (типа Пфаутер, Рейнекер, Микрон). Нулевые колеса с числом зубьев $Z \geq 17$ в виде исключения могут быть нарезаны дисковыми модульными фрезами. В первом случае на рабочих чертежах делается специальное указание о способе обработки, а именно: „нарезать обкаткой“.

3. Цилиндрические зубчатые колеса подразделяются на следующие группы.

Таблица 46

Обозначения основных элементов и формулы для расчета цилиндрических зубчатых колес с прямым зубом для передач без бокового зазора

Названия элементов	Обозначения	Формулы или другие указания		
		Нулевое колесо	Фау-плюс-колесо	Фау-минус-колесо
Модуль	m	Выбирать из табл. 43		
Шаг	t	$t = \pi m$ ($\pi = 3,14$)		
Число зубьев	Z	от 14 до ∞	от 7 до 13	15 и больше
Коэффициент сдвига червячной фрезы	Δ	$\Delta = 0$	$\Delta = \frac{14-Z}{17}$	Δ , но не больше (-1)
Сдвиг червячной фрезы	V	$V = 0$; $V = \Delta m$		
Диаметр делительной окружности	d_0	$d_0 = Zm$		
Диаметр окружности выступов	D_e	$D_e = (Z+2)m$	$D_e = (Z+2+2\Delta)m$	$D_e = (Z+2-2 \Delta)m$
Диаметр окружности впадин	D_i	$D_i = (Z-2,4)m$	$D_i = (Z-2,4+2\Delta)m$	$D_i = (Z-2,4-2 \Delta)m$
Высота зуба	h	$h = 2,2 m$		
Высота головки	h'	$h' = m$	$h' = (1 + \Delta) m$	$h' = (1 - \Delta) m$
Высота ножки	h''	$h'' = 1,2 m$	$h'' = (1,2 - \Delta) m$	$h'' = (1,2 + \Delta) m$
Длина зуба	b	$b \geq 4$		
Толщина зуба	S	$S = 0,5 t$	$S = 0,5t + 0,728\Delta m$	$S = 0,5 t - 0,728 \Delta m$
Угол профиля	α	$\alpha = 20^\circ$		
Расстояние между осями нулевой и фау-нулевой передач	A_0	$A_0 = \frac{(Z_1 + Z_2) m}{2}$		
Расстояние между осями фау-передачи	A_v	$A_v = A_0 + k_v A_0$; или: $A_v = A_0 + \frac{(\Delta_1 + \Delta_2) m}{k_v}$		
Коэффициенты смещения осей фау-передачи	k	$k = 2 \cdot \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{Z_1 + Z_2}$		
	$\frac{k}{k_v}$	$\frac{k}{k_v} = \sqrt{1 + 7k_v}$; или: $\frac{k}{k_v} = \sqrt[3]{1 + 13 k}$		

а) *Нулевые (нормальные) колеса*, зубья которых нарезаются при нормальном расстоянии между осями червячной фрезы и нарезаемого колеса. Эти колеса применяются в тех случаях, когда число зубьев $Z \geq 14$. Толщина зуба S нулевого колеса, измеренная по делительной окружности, равна ширине впадины S_v .

б) *Фау-плюс-колеса*, зубья которых нарезаются при увеличенном расстоянии между осями фрезы и колеса. Они применяются:

1) во всех случаях при $Z < 14$;

2) в некоторых особых случаях при $Z > 14$, когда требуется рассчитать передачу для точно заданного расстояния между осями; в этих случаях величина сдвига червячной фрезы определяется в зависимости от заданного расстояния между осями, но не больше 1 *т*.

Толщина зуба S фау-плюс-колеса, измеренная по делительной окружности, всегда больше ширины впадины S_v .

в) *Фау-минус-колеса*, зубья которых нарезаются при уменьшенном расстоянии между осями фрезы и колеса. Они применяются:

1) в фау-нулевых передачах (см. п. 4 б);

2) в фау-передачах (см. п. 4 в).

Толщина зуба S фау-минус-колеса, измеренная по делительной окружности, всегда меньше ширины впадины S_v .

4. В зависимости от типов колес (см. п. 3), входящих в передачу, зубчатые передачи подразделяются на следующие группы.

а) *Чистые нулевые (нормальные) передачи*, состоящие из двух нулевых (нормальных) колес (или рейки и колеса) и применяемые во всех тех случаях, когда по конструктивным данным можно обойтись колесами, имеющими числа зубьев $Z \geq 14$.

б) *Фау-нулевые передачи*, состоящие из фау-плюс-колеса (меньшее колесо) и фау-минус-колеса (большее колесо) с одинаковым по величине, но противоположным по направлению сдвигом инструмента: $\Delta_1 - \Delta_2 = 0$.

Величина сдвига инструмента определяется по малому колесу (см. пример 1). Фау-нулевая передача возможна только в том случае, если $Z_1 + Z_2 \geq 28$. Она применяется в том случае, когда расстояние между осями передачи должно быть нормальным, т. е.:

$$A_0 = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot m.$$

в) *Фау-передачи*, которые могут состоять:

1) из нулевого колеса (или рейки) и фау-плюс-колеса;

2) из двух фау-плюс-колес;

3) из фау-плюс-колеса (меньшее), и фау-минус-колеса (большее), если сдвиги инструмента для обоих колес не равны по абсолютной величине. Величина сдвига инструмента для фау-минус-колеса в этом случае определяется в зависимости от заданного расстояния между осями и числа зубьев фау-плюс-колеса, сцепляющегося с ним, но не больше 1.

Фау-передачи применяются:

- 1) когда число зубьев малого колеса $Z_1 < 14$;
- 2) когда $Z_1 < 14$ и $Z_2 < 14$;
- 3) когда при заданных модуле, передаточном отношении и расстоянии между осями, пользуясь нулевой или фау-нулевой передачей, нельзя получить передачу без бокового зазора.

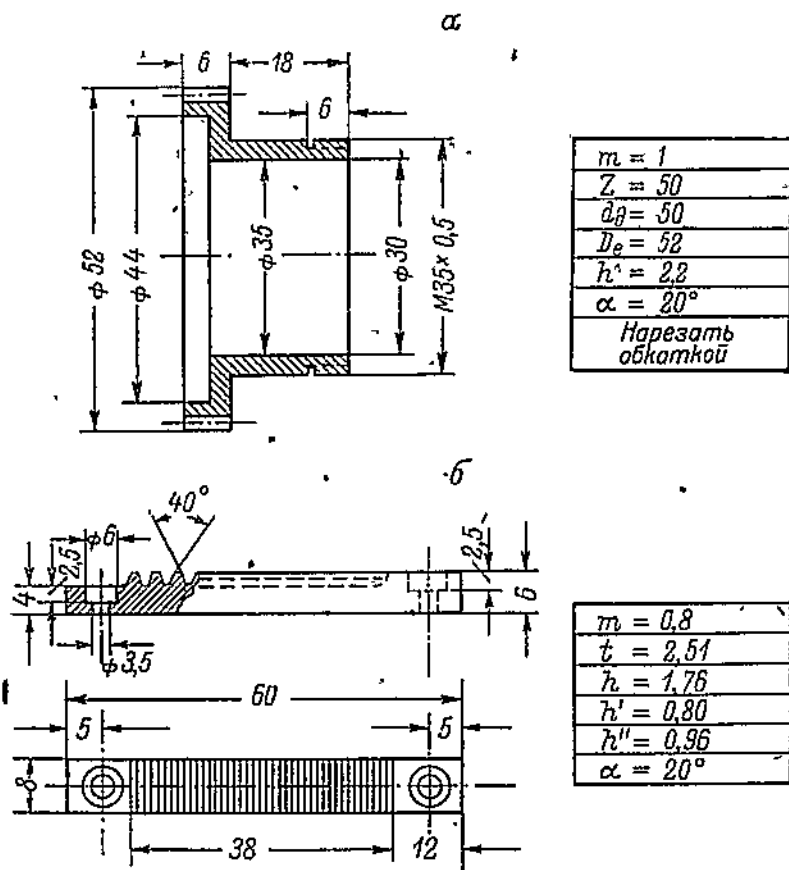


Рис. 307.

Фау-передачи рекомендуется применять только в тех случаях, когда нельзя обойтись применением нулевой или фау-нулевой передач (см. пример 2). Фау-передачи данной системы при $Z_1 + Z_2 < 22$ применять не рекомендуется.

5. На детальных чертежах, кроме размеров, определяющих геометрическую форму колеса, даются значения величин: m , Z , d_p , D_o , h , α (см. обозначения на рис. 307).

Примечания. 1. В некоторых особых случаях, при расчете передачи для точно заданного расстояния между осями, коэффициент $\Delta = \frac{14-Z}{17}$ для $Z \leq 14$ может быть увеличен до 0,5.

2. Формула $\Delta \leq \frac{14-Z}{17}$ является проверочной при расчете фау-минус-колес: она устанавливает предел сдвига, абсолютная величина которого не должна превышать $\frac{14-Z}{17}$, а также не должна превышать (-1) .

3. В расчетных формулах для определения D_e , D_i , h' , h'' и S для фау-минус-колес символ $|\Delta|$ означает абсолютную величину Δ (т. е. без учета знака).

4. В формулы для определения h и A , коэффициенты Δ_1 и Δ_2 должны входить с соответственными знаками [Δ , соответствующее фау-плюс-колесу, входит со знаком $(+)$, а соответствующее фау-минус-колесу — со знаком $(-)$].

Примеры расчета. Пример 1. Рассчитать передачу: $Z_1:Z_2 = 1:8$; модуль $m = 0,5$; расстояние между осями $A = 22-23$ мм.

$$A_0 = \frac{(Z_1 + Z_2) 0,5}{2} = \frac{Z_1 + Z_2}{4} \approx 22,$$

$$Z_1 + Z_2 \approx 88 \approx 90,$$

$$Z_1 = \frac{90}{9} = 10,$$

$$Z_2 = 10 \cdot 8 = 80.$$

Число зубьев малого колеса ($Z_1 = 10$) не позволяет осуществить чистую нулевую передачу. Сумма чисел зубьев $Z_1 + Z_2 > 28$, следовательно, можно применить фау-нулевую передачу.

Расстояние между осями в случае фау-нулевой передачи будет:

$$A_0 = \left(\frac{10 + 80}{2} \right) 0,5 = 22,5,$$

что отвечает условию задачи.

Малое колесо

$$Z_1 = 10$$

$$\Delta = \frac{14-10}{17} = \frac{4}{17} = 0,235$$

$$d_g = Z_1 m = 10 \cdot 0,5 = 5$$

$$D_e = (Z_1 + 2 + 2\Delta) m = (10 + 2 + 0,47) 0,5 = 6,235 \approx 6,24$$

$$D_i = (Z_1 - 2,4 + 2\Delta) m = (10 - 2,4 + 0,47) 0,5 = 4,035 \approx 4,04$$

$$h = 2,2m = 2,2 \cdot 0,5 = 1,1$$

$$h' = (1 + \Delta) m = (1 + 0,235) 0,5 = 0,618 \approx 0,62$$

$$h'' = (1,2 - \Delta) m = (1,2 - 0,235) 0,5 = 0,483 \approx 0,48$$

Большое колесо

$$Z_2 = 80$$

$$d_g = Z_2 m = 80 \cdot 0,5 = 40$$

$$D_e = (Z_2 + 2 - 2|\Delta|) m = (80 + 2 - 0,47) 0,5 = 40,765 \approx 40,77$$

$$D_i = (Z_2 - 2,4 - 2|\Delta|) m = (80 - 2,4 - 0,47) 0,5 = 38,565 \approx 38,57$$

$$h = 2,2m = 1,1$$

$$h' = (1 - |\Delta|) m = (1 - 0,235) 0,5 = 0,383 \approx 0,38$$

$$h'' = (1,2 + |\Delta|) m = (1,2 + 0,235) 0,5 = 0,718 \approx 0,72$$

Пример 2. Рассчитать передачу модуля $m = 0,3$ с передаточным отношением $i = 1\frac{1}{2}$ для расстояния между осями $A \approx 3,5-3,7$ мм.

$$A_0 = \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2} \right) 0,3 \approx 3,6,$$

$$Z_1 + Z_2 = \frac{3,6 \cdot 2}{0,3} \approx 24,$$

$$Z_1 = \frac{24}{3} = 8,$$

$$Z_2 = 16.$$

Чистую нулевую передачу применить нельзя, так как $Z_1 = 8 < 14$. Фау-нулевую передачу применить также нельзя, так как $Z_1 + Z_2 = 24 < 28$. Применяем фау-передачу, в которой меньшее колесо будет выполнено в виде фау-плюс-колеса, а большее — нормальное.

Малое колесо

$$Z_1 = 8$$

$$\Delta_1 = \frac{14 - 8}{17} = \frac{6}{17} = 0,353$$

$$d_o = Z_1 m = 8 \cdot 0,3 = 2,4$$

$$D_o = (Z_1 + 2 + 2\Delta_1) m = (8 + 2 + 0,706) 0,3 \approx 3,22$$

$$D_i = (Z_1 - 2,4 + \Delta_1) m = (8 - 2,4 + 0,706) 0,3 \approx 1,90$$

$$h = 2,2m = 0,66$$

$$h' = (1 + \Delta_1) m = 1,353 \cdot 0,3 \approx 0,41$$

$$h'' = (1,2 - \Delta_1) m = 0,847 \cdot 0,3 \approx 0,25$$

Большое колесо

$$Z_2 = 16$$

$$d_o = Z_2 m = 16 \cdot 0,3 = 4,8$$

$$D_o = (Z_2 + 2) m = 18 \cdot 0,3 = 5,4$$

$$D_i = (Z_2 - 2,4) m = (16 - 2,4) 0,3 = 4,08$$

$$h = 2,2m = 0,66$$

$$h' = m = 0,3$$

$$h'' = 1,2m = 0,36$$

Расстояние между осями A_o :

$$k = 2 \cdot \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{Z_1 + Z_2} = 2 \cdot \frac{0,353 + 0}{24} = 0,0294;$$

из формулы:

$$\frac{k}{k_v} = \sqrt{1 + 13k}$$

определяем k_v :

$$k_v = \frac{k}{\sqrt{1 + 13k}} = \frac{0,0294}{\sqrt{1 + 13 \cdot 0,0294}} \approx 0,0271;$$

$$A_o = A_0 + K, A_0 = 3,6 + 0,0271 \cdot 3,6 = 3,6 + 0,0985 \approx 3,70.$$

Передачи с внутренним зацеплением (рис. 308) могут применяться при передаточных числах, начинающихся с 1:2. Так как окружность выступов большого колеса при нормальной высоте головки пересекает линию зацепления в точке, лежащей вне касания ее с основными окружностями, допустимая высота головки зуба h' большого колеса делается меньше нормальной и вычисляется по формуле:

$$h' \leq \frac{Z_1 m}{2} \left[\frac{Z_2}{Z_1} - \sqrt{\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^2 + \left(1 - 2\frac{Z_2}{Z_1}\right) \sin^2 \alpha} \right];$$

здесь Z_2 — число зубьев, большого колеса.

4. Конические зубчатые колеса (с прямыми зубьями)

Обозначения основных элементов и формулы для расчета этих колес (рис. 309) приведены в табл. 47.

Профиль зуба — эвольвентный с углом наклона образующей $\alpha = 15^\circ$.

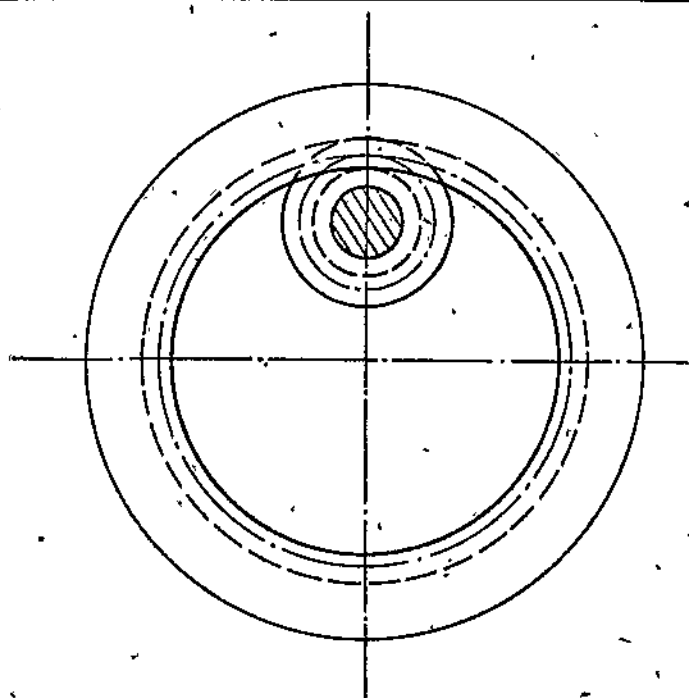


Рис. 308.

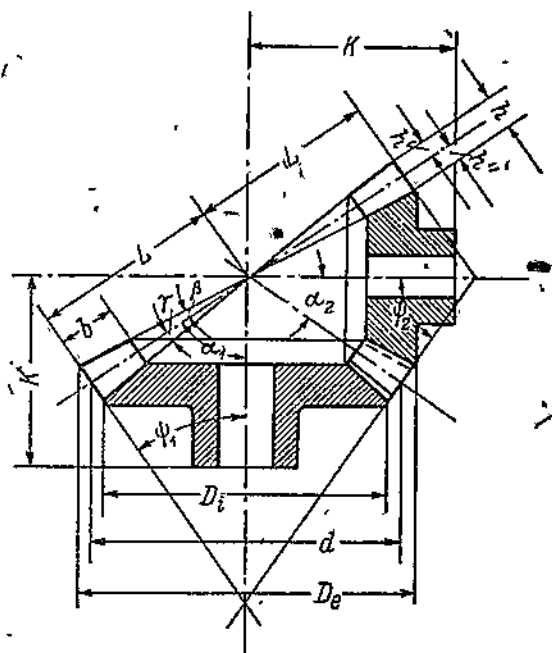


Рис. 309.

Таблица 47

Обозначения основных элементов и формулы для расчета конических зубчатых колес (при $\delta = 90^\circ$)

Названия элементов	Обозначения	Формулы или другие указания
Модуль	m	Выбирать из табл. 43
Шаг	t	$t = \pi m$ ($\pi = 3,14$)
Число зубьев	Z	Выбирать в зависимости от передаточного числа и шага
Диаметр начальной окружности	d	$d = Zm$
Диаметр наружной окружности	D_e	$D_e = (Z + 2 \cos \alpha) m$
Диаметр внутренней окружности	D_i	$D_i = (Z - 2,333 \cos \alpha) m$
Угол начального конуса	α	$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{Z}{Z_1}$; $\alpha_2 = 90^\circ - \alpha_1$
Угол выступа зуба	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{2 \sin \alpha}{Z}$
Угол впадины зуба	γ	$\operatorname{tg} \gamma = 1,2 \operatorname{tg} \beta$
Угол внешнего конуса	φ	$\varphi = \alpha + \beta$
Угол внутреннего конуса	ψ	$\psi = \alpha - \gamma$
Длина образующей начального конуса	L	$L = \frac{d}{2 \sin \alpha}$
Длина зуба	b	$b < \frac{1}{3} L$
Размеры h , h' и h''	Те же, что и в цилиндрических колесах	

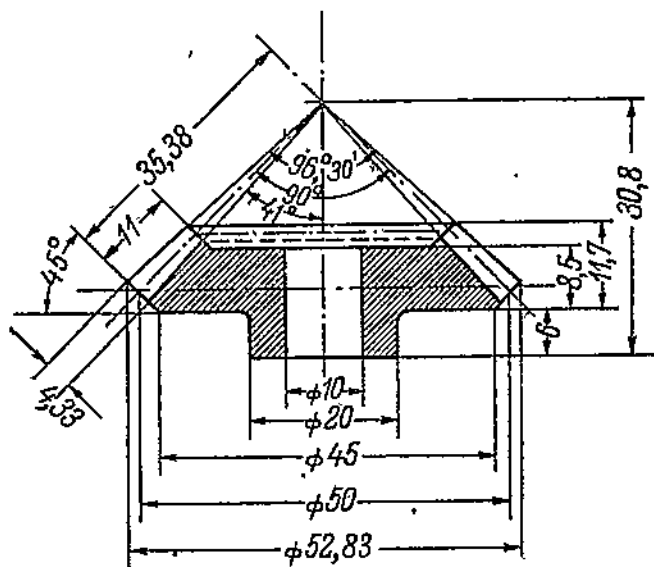
Для колес, оси которых расположены под углом δ , углы определяются формулами:

$$\operatorname{ctg} \alpha_1 = \frac{Z_2}{Z_1 \sin \delta} + \operatorname{ctg} \delta,$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_2 = \frac{Z_1}{Z_2 \sin \delta} + \operatorname{ctg} \delta.$$

При вычерчивании детальных чертежей конических зубчатых колес необходимо указать, кроме размеров, определяющих геометрическую форму колеса, значения величин m , d , D_e , D_f , Z , α , β , γ , L и k .

Пример детального чертежа приведен на рис. 310.



$$m=2; Z=25; d=50; D_e=52,83;$$

$$\alpha=45^\circ$$

Рис. 310.

Общие соображения о работе конических колес, точности и т. п. даны ниже.

5. Цилиндрические зубчатые колеса со спиральными зубьями

Цилиндрические зубчатые колеса со спиральными зубьями применяются как для передач с параллельными осями сцепляющихся колес, так и для передач между осями, пересекающимися под каким-либо углом. В этом последнем случае их обычно называют *винтовыми колесами*. Вначале мы рассмотрим передачу с параллельными осями.

1. Спиральные зубчатые колеса для передач с параллельными осями. Условия зацепления у колес со спиральными зубьями лучше, чем у колес с прямыми зубьями, а изготовление их весьма просто осуществляется методом обкатки, так как у шестерен со спиральными зубьями применяют исключительно эвольвентное зацепление. Шестерня, имеющая правую спираль, должна сцепляться с шестерней, имеющей левую спираль.

Спиральные колеса следует применять там, где передача осуществляется с большим передаточным числом, с малым числом

зубьев у малых шестерен, а также при реечном зацеплении, когда требуется иметь возможно более плавное и равномерное зацепление или когда необходимо, чтобы быстрое передачи имели по возможности спокойный и бесшумный ход.

Продолжительность зацепления спиральных зубьев:

$$z = z_p + \frac{b}{f} \operatorname{ctg} \beta. \quad (13)$$

Неправильности в профилировании и неравенство шагов у спиральных зубьев значительно меньше влияют на точность и плавность передачи, чем у колес с прямыми зубьями.

Благодаря наклону линии соприкосновения зубьев под углом подъема спирали β нормальное давление на зуб у спиральных шестерен выше, чем у шестерен с прямым зубом, т. е.:

$$P_n = \frac{P}{\sin \beta}, \quad (14)$$

где P — окружное усилие на колесе.

Относительная потеря на трение в спиральных колесах:

$$B = \frac{\mu \pi}{\sin \beta} \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \frac{v_p}{2}. \quad (15)$$

Вследствие наклонного направления нормального давления P возникает осевое усилие $P_a = P \operatorname{ctg} \beta$ (рис. 311). Поэтому угол β не делают больше 30° (от 10° до 30°). Большие наклоны спи-

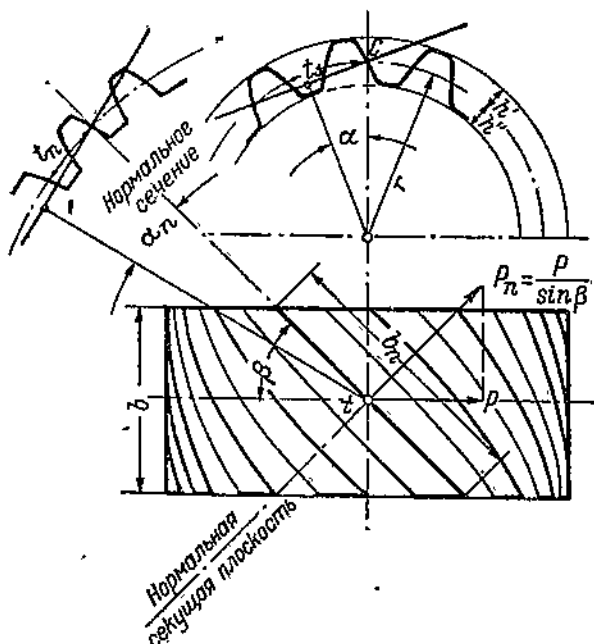


Рис. 311.

рали допустимы только у шестерен с угловыми зубьями (шевронными), но в оптико-механических приборах такие шестерни не встречаются, поэтому мы о них говорить не будем.

Спиральные шестерни нарезаются тем же инструментом (рейка, червячная фреза и т. п.), что и шестерни с прямыми зубьями. Это обстоятельство дает возможность произвести такую же коррекцию шестерен со спиральными зубьями, как и шестерен с прямыми зубьями (фау-зацепление).

Исправление зацепления, даваемого спиральными зубьями, может производиться путем обкатки их рейкой с косыми зубьями, наклоненными под углом β при соответствующем сдвиге рейки. В нормальном сечении зубья такой рейки имеют в точности такой же профиль, как и рейка с прямыми зубьями.

Шибель в своей книге „Зубчатые колеса с непрямыми зубцами“ не рекомендует применять для изготовления корригиро-

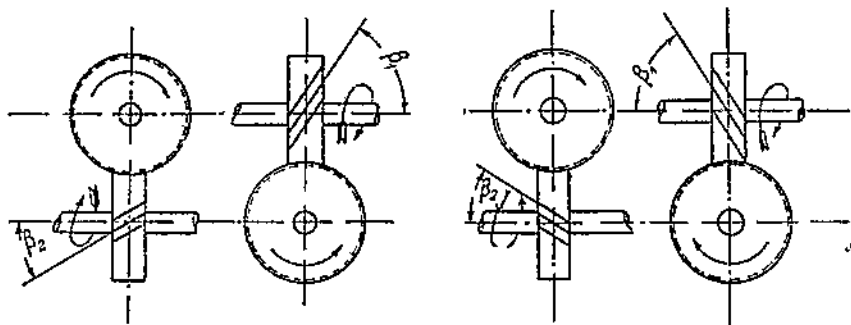


Рис. 312.

ванных спиральных колес червячную фрезу при углах β более 5° , считая, что профиль зубьев червячной фрезы в нормальном сечении тем больше отклоняется от профиля зубьев рейки, чем больше угол подъема винтовой линии зубьев β .

2. Винтовые зубчатые колеса. Винтовыми зубчатыми колесами (рис. 312), как мы уже указывали, называются цилиндрические зубчатые колеса со спиральными зубьями, служащие для передачи между пересекающимися осями (оси винтовых колес, понятно, не лежат в одной плоскости).

Передача винтовыми колесами обладает рядом существенных недостатков, ограничивающих ее применение. Передаточное число ограничивается величиной 4:1.

Винтовые колеса быстро изнашиваются, так как удельное давление на зубьях получается весьма большим. Вследствие этого их можно применять только для передачи незначительных усилий (примерно вдвое меньших, чем у цилиндрических колес).

Направление спиралей на обеих сцепляющихся шестернях должно быть либо правым либо левым, от этого будет зависеть знак передаточного числа.

При исследовании распределения усилий в винтовых зубчатых колесах обычно пренебрегают работой трения обкатки,

а учитывают лишь гораздо более значительные силы трения, возникающие от скольжения зубьев друг по другу в продольном направлении.

Если нормальное давление на зуб:

$$N = \frac{P}{\sin \beta}$$

(рис. 311), то сила трения между зубьями равна μN , где μ — коэффициент трения. Так как сила трения всегда реактивна, то она направлена в сторону, обратную относительному движению зубьев ведущего колеса (рис. 313). Сила N и сила μN дают равнодействующую $\frac{N}{\cos \rho}$, направленную под углом трения ρ ($\operatorname{tg} \rho = \mu$) к нормали N .

Составляющие P_1 и P_2 силы $\frac{N}{\cos \rho}$, перпендикулярные к осям вращения, представляют собой окружную силу трения на колесах, а составляющие A_1 и A_2 — осевые усилия.

Тогда для ведущей шестерни окружное усилие:

$$P_1 = \frac{N}{\cos \rho} \cdot \cos (\beta_1 - \rho), \quad (16)$$

осевое усилие:

$$A_1 = \frac{N}{\cos \rho} \cdot \sin (\beta_1 - \rho); \quad (17)$$

для ведомой шестерни: окружное усилие:

$$P_2 = \frac{N}{\cos \rho} \cdot \cos (\beta_2 + \rho), \quad (18)$$

оскружное усилие:

$$A_2 = \frac{N}{\cos \rho} \cdot \sin (\beta_2 + \rho). \quad (19)$$

Таким образом распределение усилий в винтовой передаче при передаче окружного усилия

P_2 на ведомой шестерне выразится следующими уравнениями:

$$P_1 = P_2 \cdot \frac{\cos (\beta_1 - \rho)}{\cos (\beta_2 + \rho)}, \quad (20)$$

$$A_1 = P_2 \cdot \frac{\sin (\beta_1 - \rho)}{\cos (\beta_2 + \rho)}, \quad (21)$$

$$A_2 = P_2 \operatorname{tg} (\beta_2 + \rho). \quad (22)$$

Если учитывать лишь потерю от трения, происходящую вследствие относительного скольжения зубьев вдоль по их об-

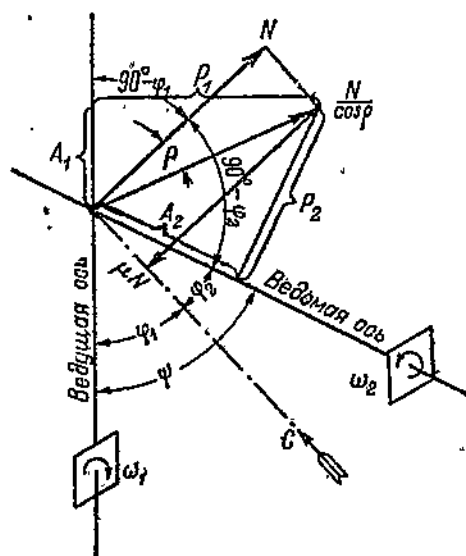


Рис. 313.

разующим, то коэффициент полезного действия передачи η_0 выразится:

$$\eta_0 = \frac{\cos(\beta_2 + \rho) \cos \beta_1}{\cos(\beta_1 - \rho) \cos \beta_2} = \frac{1 - \mu \operatorname{tg} \beta_2}{1 - \mu \operatorname{tg} \beta_1}. \quad (23)$$

Отсюда видно, что к. п. д. зависит от угла наклона зубьев. Диаграмма рис. 314, заимствованная нами у Шибеля, показывает зависимость к. п. д. от угла наклона зубьев при перекрещивающихся под прямым углом осях ($\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$) — наиболее часто встречающийся случай) и $\mu = 0,1$. Наилучший к. п. д. получается, когда $\beta_1 = \beta_2$. Продолжительность зацепления неисправленных шестерен — около 2.

Увеличение ширины зуба за область зацепления бесполезно. При угле между осями 90° наилучшей является ширина колеса, равная окружному шагу, т. е. $b = t$.

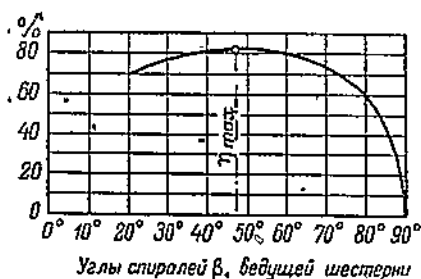


Рис. 314.

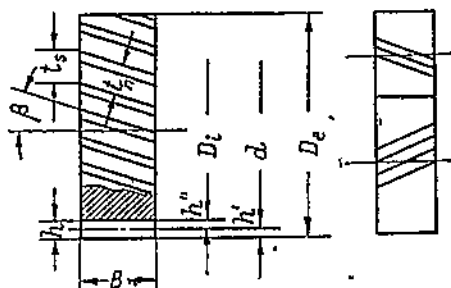


Рис. 315.

Для спиральных колес с параллельными осями передаточное число пропорционально диаметрам (числам зубьев); спираль для одного колеса — правая, для другого — левая (рис. 315).

Для винтовых колес с перекрещивающимися осями и равными диаметрами передаточное число зависит от угла наклона спирали (рис. 312):

$$i = \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}. \quad (24)$$

Для винтовых колес с перекрещивающимися осями и одинаковым углом наклона зубьев передаточное число пропорционально диаметрам (числам зубьев).

Часто встречающийся частный случай: угол между перекрещивающимися осями $\delta = 90^\circ$, тогда при равных диаметрах колес углы наклона зубьев для наиболее часто встречающихся передаточных чисел следует брать по табл. 48.

Передаточное число для колес с перекрещивающимися осями и равными диаметрами следует брать в пределах от 1:1 до 1:5, для всех остальных случаев — от 4:1 до 1:5. Угол наклона колес с перекрещивающимися осями в случае, если каждое из них попеременно то ведомое, то ведущее, берется равным 45° .

Зависимость между углом наклона зубьев колес с перекрещивающимися осями и направлением вращения указана на рис. 312.

Таблица 48

Углы наклона зубьев для винтовых колес с перекрещивающимися осями при $\delta = 90^\circ$

Передаточное число i	Угол наклона зубьев		Передаточное число i	Угол наклона зубьев	
	Ведущее колесо	Ведомое колесо		Ведущее колесо	Ведомое колесо
1 : 1	45°	45°	2 : 2	74° 3'	15° 57'
2 : 3	56° 19'	33° 41'	1 : 4	75° 58'	14° 2'
1 : 2	63° 26'	26° 34'	2 : 9	77° 36'	12° 24'
2 : 5	68° 12'	21° 48'	1 : 5	78° 41'	11° 19'
1 : 3	71° 34'	18° 26'			

Обозначения основных элементов и формулы для расчета спиральных колес приведены в табл. 49.

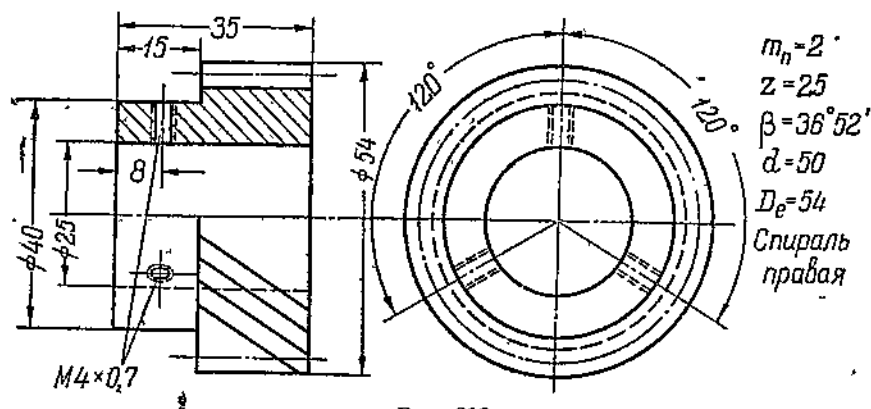


Рис. 316.

При вычерчивании детальных чертежей спиральных колес необходимо указывать числовые значения величин m_n , Z , β , d , D_e и D_a , а также — правая или левая спираль у колеса. Пример вычерчивания детального чертежа спирального колеса приведен на рис. 316.

6. Червячные колеса

Обозначения основных элементов и формулы для расчета червяка и червячного колеса (рис. 317 и 318) приведены в табл. 50.

Профиль червяков, постоянно находящихся в зацеплении с червячным колесом (рис. 319 — I), — трапециoidalный с углом профиля в 30° (угол зацепления $\alpha = 15^\circ$).

Профиль периодически включаемых червяков (рис. 319 — II), находящихся в зацеплении под действием специальной пружины, во избежание заклинивания обычно берется соответствующим профилю метрической резьбы ($2\alpha = 60^\circ$). Для особо точных передач с выключающимся червяком, рекомендуется брать $2\alpha = 40^\circ$.

Таблица 49

Обозначения основных элементов и формулы для расчета спиральных колес

Названия элементов	Обозначения	Формулы или другие указания
Передаточное число	i	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$ (n — число оборотов)
Модуль (для шага по нормали)	m_n	Выбирать из табл. 43
Шаг (по нормали)	t_n	$t_n = \pi m_n (\pi = 3,14)$
Угол наклона зубьев	Ведущее колесо Ведомое колесо β_1 β_2	Оси колес параллельны: $\beta_1 = \beta_2 \leq 20^\circ$ Оси колес перекрещиваются: $\beta_1 > \beta_2$; $\beta_1 + \beta_2 = \delta$ (δ — угол между осями)
Шаг по торцевой поверхности	t_s	$t_s = \frac{t_n}{\cos \beta}$
Число зубьев	Z	Выбирается в зависимости от передаточного числа, угла, спирали и шага
Диаметр начальной окружности	d	$d = \frac{Z m_n}{\cos \beta} = \frac{Z t_s}{\pi}$
Шаг винтовой линии зуба	S	$S = d \pi \operatorname{ctg} \beta$
Диаметр наружной окружности	D_e	$D_e = d + 2 m_n$
Диаметр внутренней окружности	D_i	$D_i = d - 2 \cdot 1,2 m_n$
Высота зуба	h	$h = 2,2 m_n$

Названия элементов	Обозначения	Формулы или другие указания
Высота головки	h'	$h' = m_n$
Высота ножки	h''	$h'' = 1,2 m_n$
Ширина колеса	b	$b \approx 10 m_n$
Длина зуба	b_1	$b_1 = \frac{b}{\cos \beta}$

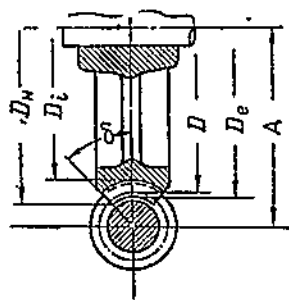


Рис. 317.

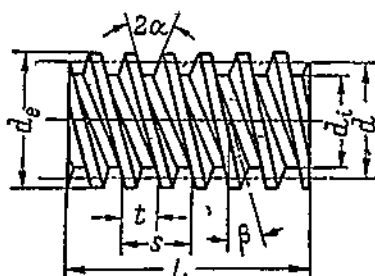
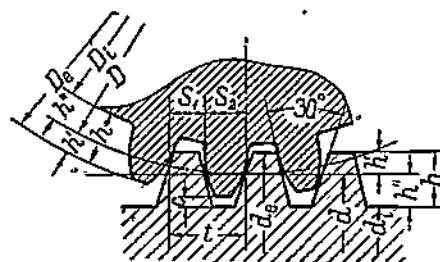


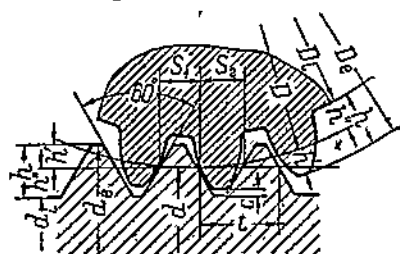
Рис. 318.



$$h' = 0,25t; \quad h'' = 0,25t + C;$$

$$h = 0,5t + C; \quad \alpha = 0,5t.$$

I



$$h' = 0,3247t; \quad h'' = 0,3699t;$$

$$h = 0,6946t; \quad C = 0,0451t;$$

$$\alpha = 0,5t.$$

II

Рис. 319.

При вычерчивании детальных чертежей червяка необходимо указывать числовые значения величин α , t , S , d и d_e , указывать „левый“, „двухзаходный“ и т. п. и, если чертеж детали мелкий, давать в увеличенном масштабе профиль червяка.

Таблица 50

Обозначения основных элементов и формулы для расчета червяка и червячного колеса

Названия элементов червяка и червячного колеса	Обозначения	Формулы и другие указания
Передающее число	i	Выбирается от 1:5 до 1:∞; $i = n:Z$, где n — число заходов червяка, Z — число зубьев червячного колеса
Ход винтовой линии	S	$S = nt$, где n — число заходов, t — шаг
Угол подъема винтовой линии	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{S}{\pi d}$; для самотормозящей передачи $\beta \leq 5^\circ$ при шариковых и $\beta \leq 6^\circ$ при обычных подшипниках
Диаметр начальной окружности червяка	d	$d = \frac{S}{\operatorname{tg} \beta \pi} (\pi = 3,14)$
Диаметр наружной окружности червяка	d_o	$d_o = d + 0,6 t$; $d_o = d + 2t'$
Диаметр внутренней окружности червяка	d_i	$d_i = d - 2t''$
Длина червяка	L	$L = \frac{2t(\sqrt{Z+1})}{\pi}$, где Z — число зубьев колеса
Расстояние между осями червяка и червячного колеса	A	$A = \frac{d+D}{2}$
Число зубьев колеса	Z	Берется в зависимости от передаточного числа, но не менее 28
Диаметр начальной окружности колеса (в средней плоскости колеса)	D	$D = \frac{Zt}{\pi}$

7. Передача некруглыми зубчатыми колесами

Вместо кулачков, связанных между собой лентой (см. гл. XI, рис. 349), для такого рода передачи в последнее время применяют передачу некруглыми зубчатыми колесами (зубчатые кулачки) (рис. 321).

У нас для изготовления такого рода зубчаток применяют кустарные методы (долбление профильным резцом, поворачивая заготовку и устанавливая резец для каждого зуба по предварительному расчету). Данное зацепление может быть выполнено разверточным. В этом случае, аналогично профилю цилиндрических разверточных эвольвентных колес, профиль зуба кулачковых шестерен будет представлять собой развертку основной кривой (основной кривой будет, например, являться профиль кулачка при передаче с помощью гибкой ленты, рис. 349). Изготовление таких зубчаток может производиться весьма просто и с достаточной точностью методом обкатки, долбяками Феллоу или гребенкой Мааг на специальных станках с помощью копира, имеющего вид основного кулачка или эталонной кулачковой шестерни.

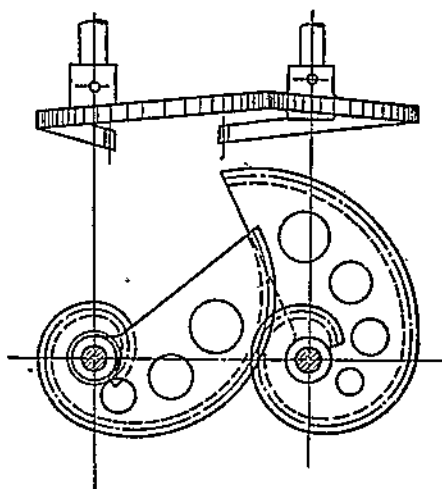


Рис. 321.

8. Конструкции зубчатых колес и передач

Материал. Материалом для изготовления зубчатых колес служат латунь, бронза, конструкционная сталь, нержавеющая сталь, текстолит, фибра (для бесшумных передач).

Латунь применяется для зубчатых колес, совершающих небольшие движения под малой нагрузкой. Для изготовления небольших тонких шестерен идет листовая латунь (мунц). Применение латуни вместо стали вызвано главным образом ее легкой обрабатываемостью (меньший износ режущего инструмента), а также сопротивляемостью коррозии.

Бронза применяется главным образом для изготовления винтовых и червячных колес, а также для цилиндрических, когда требуется, чтобы трение и изнашивание были наименьшими. Бронзовое колесо должно работать в паре со стальным колесом (червяком).

Из стали изготавливают, как правило, шестерни с меньшим числом зубьев, трибки, червяки и все остальные виды зубчатых колес при передаче ими значительных усилий, а также во всех случаях, когда не требуется антикоррозийность и т. п. Если

зубчатая передача работает под большой нагрузкой и в условиях, где она в сильной степени может подвергаться коррозии, то применяется нержавеющая сталь.

Конструктивные формы зубчатых колес. Формы зубчатых колес чрезвычайно разнообразны. Однако, все они должны

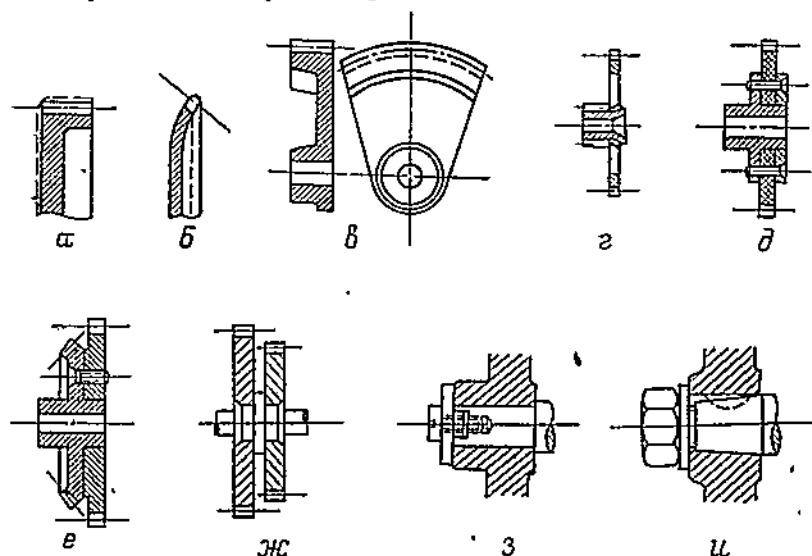


Рис. 322.

удовлетворять требованиям простоты и экономичности изготовления, а также надежности крепления и центровки.

Различные формы зубчатых колес, изготавливаемых из листового материала (штамповкой), из пруткового материала и пластмасс, и их крепление показаны на рис. 322.

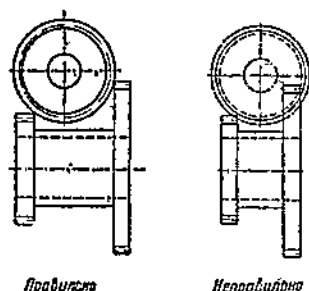


Рис. 323.

При конструировании зубчатых колес следует всегда предусматривать возможность выхода режущего инструмента (рис. 323).

Особо стоит вопрос об изготовлении зубчатых колес с внутренним зацеплением (рис. 308). Эти колеса не могут быть изготовлены червячными или дисковыми фрезами. Как правило, их изготавливают на зубострогальных станках, работающих методом обкатки долбяками Феллоу. Однако, на заводах ВООМП

подобных станков не имеется. Изготовление шестерен с внутренним зацеплением из легко обрабатываемых материалов для диаметров не свыше 80—100 мм при серийном или массовом производстве может быть осуществлено при помощи протяжки.

Протяжкой (волочением) из пруткового материала изготовляются также трибки.

На рис. 324 *а* и *б* показаны разрезные шестерни, половинки которых могут быть при сборке повернуты относительно друг друга для уничтожения мертвого хода. Этот поворот может быть также достигнут помещением между половинками шестерен (рис. 324*в*) пружинки, стремящейся их повернуть. Такие конструкции мало целесообразны ввиду их сложности, ненадежности и быстрого износа.

Конструкции зубчатых и винтовых передач. Виды зубчатых передач исключительно разнообразны.

Зубчатые передаточные механизмы в зависимости от их назначения можно разбить на следующие группы:

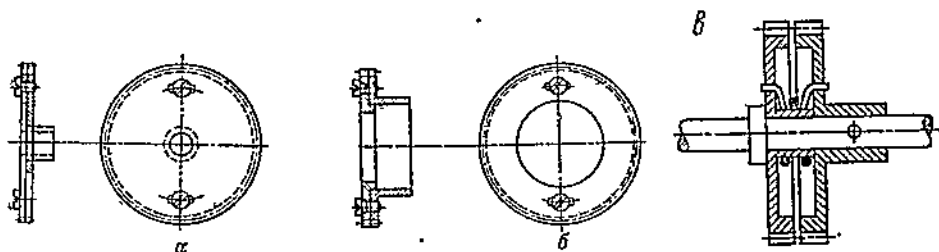


Рис. 324.

- 1) с постоянным передаточным числом;
- 2) с изменяемым (скачкообразно) передаточным числом (коробки скоростей);
- 3) с изменением знака передаточного числа (реверсивные передачи);
- 4) служащие для сложения (вычитания) угловых и линейных перемещений (дифференциалы);
- 5) с переменным передаточным числом (передача некруглыми шестернями).

По требованиям к точности изготовления различают также *отсчетные* и *неотсчетные* передачи. Передачи, работа которых связана с измерительным отсчетом в приборе, должны быть выполнены с наиболее высокой точностью.

Вопросы точности изготовления и работы зубчатых передач рассмотрены ниже (стр. 277).

Если требуется осуществить передачу без бокового зазора, то должна быть предусмотрена возможность изменения расстояния между осями колес при сборке, или же сцепляющиеся колеса (колесо и червяк) должны быть постоянно прижаты друг к другу силой пружины. Типичным представителем такой конструкции является *выключающийся червяк*, применяемый в трех конструкциях. Наиболее распространенная из них изображена на рис. 325 (1—корпус прибора; 2—эксцентриковый подшипник; 3—червяк; 4—шайба; 5—пружинный подпятник; 6—пру-

жина, поджимающая эксцентриковый подшипник; 7 — индекс; 8 — неподвижная втулка; 9 — упорное кольцо; 10—15 — рукоятка с отсчетным барабаном).

В данной конструкции изменение расстояния между осями колеса и червяка достигается тем, что подшипник 2 червяка сделан эксцентричным и находится под действием пружины 6, стремящейся повернуть его и тем самым прижимающей червяк к колесу. Величина эксцентриситета подшипника — около 0,6 *t* червяка. Осевой люфт червяка уничтожается применением пружины 1.

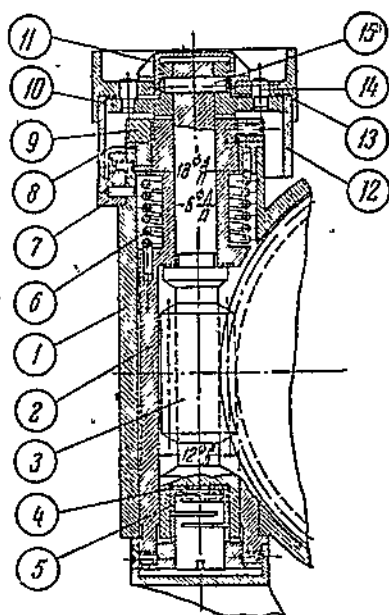


Рис. 325.

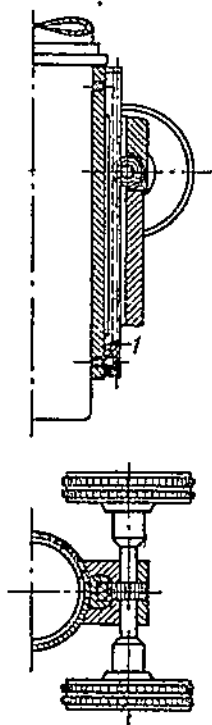


Рис. 326.

жирового подпятника 5. Такой подпятник, при достаточной упругости, не закручивается при вращении червяка (как это обычно происходит со спиральной пружиной) и таким образом не вызывает обратного поворота (смещения) червяка. Главным же назначением эксцентрикового подшипника (так же как и остальных двух) является возможность расцепления червяка с колесом для освобождения последнего. Данная конструкция не исключает возможности появления мертвого хода вследствие люфта в подшипнике червяка, благодаря чему червяк при своем вращении может накатываться на червячную шестерню (см. ниже о причинах мертвого хода в червячных механизмах).

В тубусе микроскопа для получения зацепления без игры (рис. 326) рейка 1 сделана пружинящей и закреплена на концах.

На рис. 327 показан механизм, осуществляющий постоянное направление вращения ведомого вала 1 при изменениях направления вращения ведущего вала 2. Вал 2 имеет вилку, несущую оси храповых собачек 3 и 4. Собачка 3 сцепляется с храповиком 5, а собачка 4 — с храповиком 6, имеющим обратное по отношению к храповику 5 направление зубьев. Храповик 5 закреплен на валу 1, храповик 6, составляющий одно целое с конической шестерней 7, сидит свободно на валу 1.

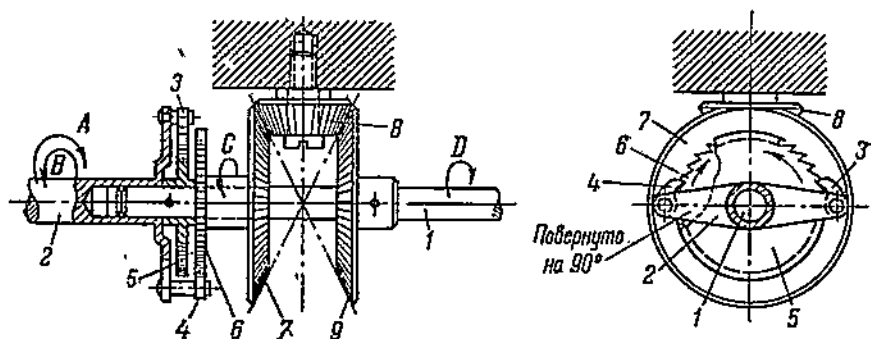


Рис. 327.

При вращении вала 2 в направлении, указанном стрелкой А, собачка 3 упрется в зубья храповика 5 и заставит его и вал 1 вращаться в том же направлении. При изменении направления вращения вала 2 ведущей будет уже собачка 4, которая через систему конических шестерен 7, 8 и 9 заставит вал 1 вращаться в том же направлении.

9. Дифференциалы

Зубчатым дифференциалом называют механизм — систему зубчатых колес, с помощью которого можно производить сложение (вычитание) угловых и линейных перемещений.

Применяются: 1) плоский дифференциал (планетарная передача); 2) конический дифференциал; 3) реечный дифференциал; 4) червячный дифференциал; 5) дифференциал с винтовыми колесами (с перекрещивающимися осями); 6) дифференциал со спиральными колесами (с параллельными осями).

1. Плоский дифференциал (планетарная передача) может быть с внешним (рис. 328) или с внутренним (рис. 329) зацеплением. От остальных зубчатых дифференциалов (кроме червячного) он отличается тем, что передаточные числа в нем можно сильно варьировать. Передаточное число: от вала 1 к валу 3, если $Z_2 = Z_4$

$$i = \frac{Z_1}{Z_3},$$

если $Z_2 \neq Z_4$:

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_4}{Z_3};$$

от вала (колеса) 2 к валу 3:

$$i = 1 - \frac{Z_1 Z_4}{Z_2 Z_3}.$$

Конструктивное оформление плоских дифференциалов весьма разнообразно.

2. Конический дифференциал (рис. 330) состоит из двух конических шестеренок 1, 2 и одной, чаще двух, малых конических шестеренок 3, 4, называемых *сателлитами*. Вращая вал 5 при неподвижной вилке 6, получим вращение вала 7 в обратном на-

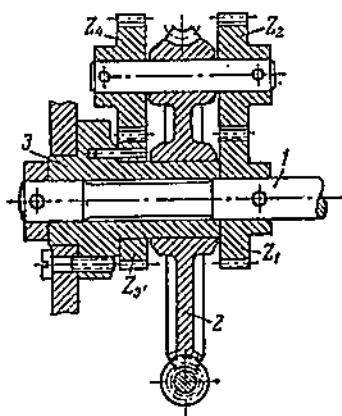


Рис. 328.

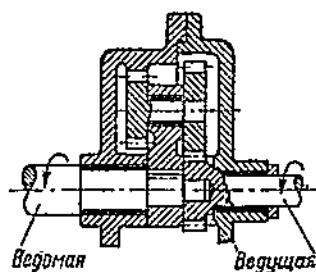


Рис. 329.

правлении (передаточное число $i = -1$); вращая вилку 6 с сателлитами при неподвижном валике 5, получим вращение вала 7 с передаточным числом $i = 2$. Если ведомой частью будет

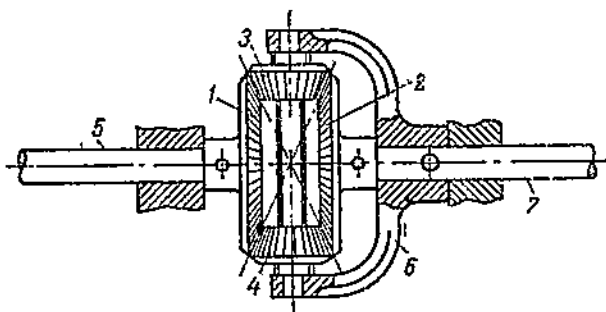


Рис. 330.

вилка 6, то передаточное число от обоих валов $i = 1:2$. Конический дифференциал является наиболее компактным из такого рода суммирующих механизмов. При малом числе зубьев Z у шестерен (1, 2) угловая ошибка и мертвый ход на ведомом валу могут достигать $30' - 1^\circ$.

3. Реечный дифференциал служит для суммирования линейных величин. Он состоит из двух зубчатых реек и сцепленной с ними цилиндрической шестерни (рис. 331). Перемещая пооче-

редно каждую из реек, мы получим перемещение оси шестерни, равное полусумме (алгебраической) перемещений реек, либо перемещая одну из реек и катя по ней шестерню, получим перемещение второй рейки с передаточным числом $i_1 = -1$ и $i_2 = 2$.

4. Червячный дифференциал. Червячным дифференциалом может быть любая червячная пара, при достаточной длине (числе

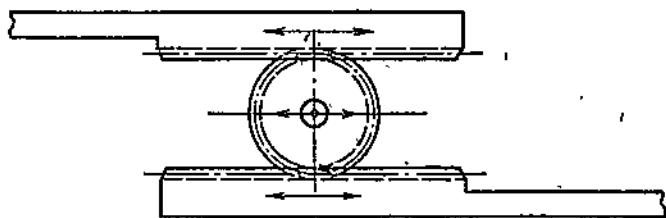


Рис. 331.

витков) червяка. Червячный дифференциал всегда выполняется необратимым, т. е. ведомым всегда является червячное колесо. Два независимые движения червяка (вращение и перемещение его вдоль оси) одинаково сообщают угловое вращение колесу (рис. 332).

Дифференциал с двумя червяками (рис. 333) может производить суммирование четырех слагаемых.

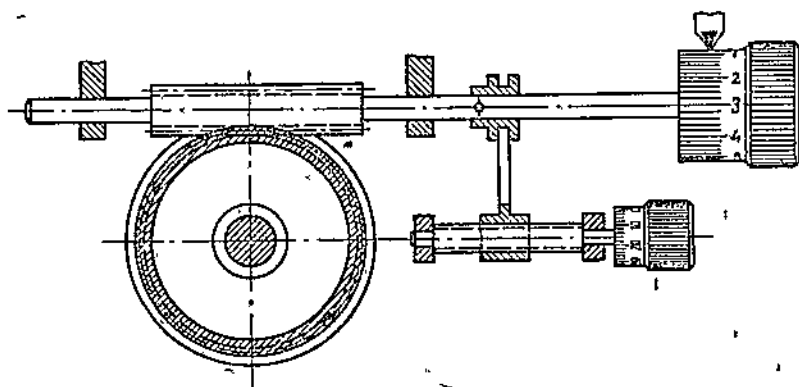


Рис. 332.

Перемещение оси колеса при вращении червяка будет равно $\frac{Sn}{2}$, где S — ход винтовой линии червяка, а n — число оборотов червяка. При осевом перемещении червяка передаточное число такое же, как и в случае реечного дифференциала.

5. Дифференциал с винтовыми колесами (оси перекрещиваются) (рис. 334) совершенно аналогичен червячному дифференциалу. Благодаря свойствам винтовых колес, о которых говорилось выше, этот дифференциал применяется, как правило,

в неотсчитных передачах. Он состоит из двух винтовых колес Z_1 и Z_2 , причем ширина подвижного колеса Z_2 делается, больше нормальной на величину подвижки. Передвижение колеса вдоль

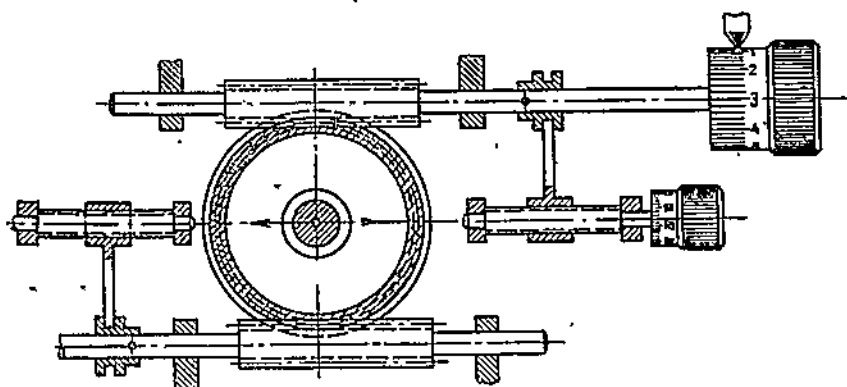


Рис. 333.

оси на величину l вызовет дополнительный поворот колеса на угол:

$$\varphi = \frac{l}{\pi d} \cdot 360^\circ.$$

6. Дифференциал со спиральными колесами (оси параллельны) (рис. 335) может применяться в ходовых и отсчетных передачах.

Одно из колес (любое) получает перемещение l вдоль оси (например, на шпонке), благодаря чему другое колесо получает дополнительный поворот:

$$\varphi = \frac{l \operatorname{tg} \beta}{\pi d} \cdot 360^\circ.$$

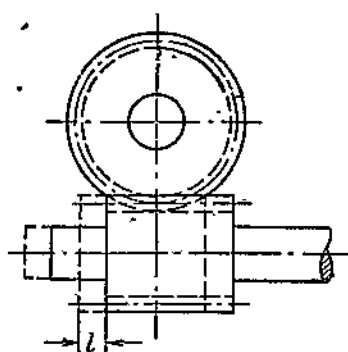


Рис. 334.

На рис. 336 показан механизм (редуктор), дающий возможность при небольшом количестве деталей (шестерен) получить понижение числа оборотов в 1000—2000 раз. Ведущий червяк 1 имеет на своей оси цилиндрическую шестерню Z_1 , сцепляющуюся с цилиндрической шестерней Z_2 , сидящей на оси червяка 2. Червяки 1, 2 сцепляются с червячными шестернями 3, 4, свободно сидящими на валу 5; червячные шестерни имеют конические венцы, сцепляющиеся с двумя сателлитами 6, 7, свободно сидящими на валике 8, закрепленном на валу 5. Оба червяка имеют одинаковое направление витков. Передаточное число i от вала 1 или 2 к валу 5:

$$i = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} \cdot \frac{m}{2Z_3},$$

где m — число заходов червяка, Z_3 — число зубьев червячной шестерни (при условии, что червячные шестерни равны между собой). Если требуется получить еще меньшее передаточное число, то следует подобрать:

$$\frac{Z_3 - Z_4}{Z_3} \neq \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} i$$

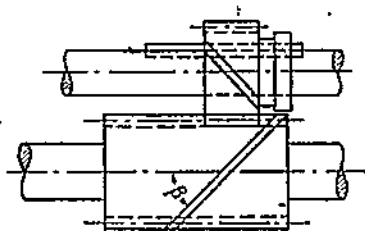


Рис. 335.

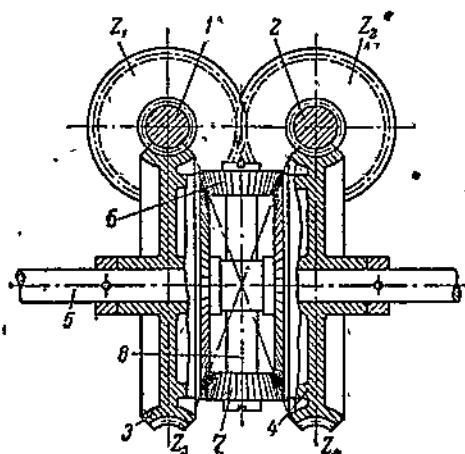


Рис. 336.

в этом случае:

$$i = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} - \frac{Z_3 - Z_4}{Z_3} \right) \frac{m}{Z_3 + Z_4}$$

Обычно берут $Z_1 - Z_2 \approx 1$.

Рациональная конструкция червячного лимба дана на рис. 337. Червячный лимб с приспособлением для коррекции ошибок вызванных эксцентриситетом червячной шестерни, показан на

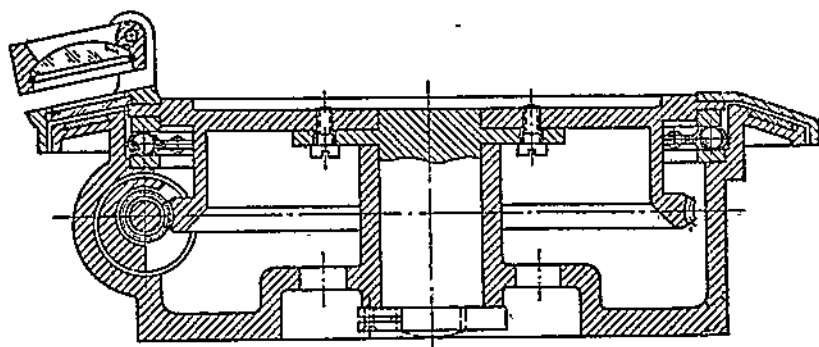


Рис. 337.

рис. 338. При эксцентриситете ошибка в отсчете углов будет иметь вид синусоиды, характер которой зависит от величины отношения эксцентриситета к радиусу начальной окружности шестерни. В описываемом приспособлении использован один из видов синусных механизмов — диск, имеющий возможность устанавливаться под различными углами к оси вращения лимба, на

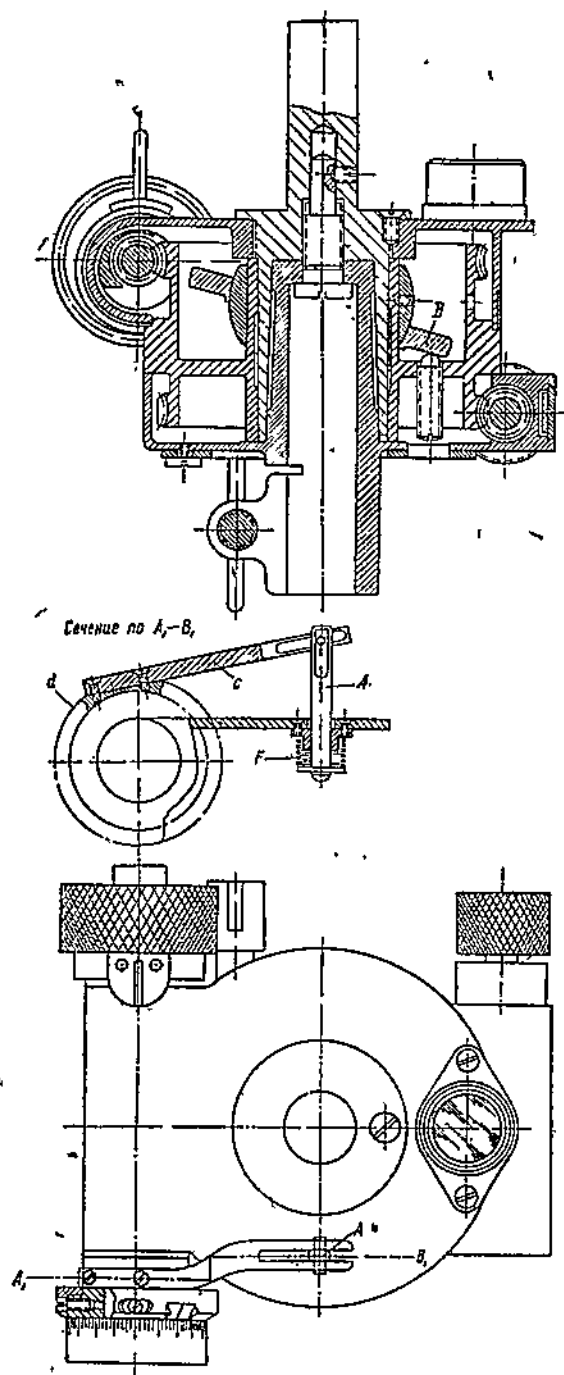


Рис. 338.

который опирается ползун *А*. Перемещения ползуна *А* пропорциональны его удалению от оси вращения диска *В*, углу наклона диска β и синусу угла поворота диска φ от начального положения, т. е. положения, при котором ползун *А* лежит на оси наклона диска. Таким образом:

$$a = b \operatorname{tg} \beta \sin \varphi.$$

b в данном механизме постоянно и характеризует собой выбранный масштаб перемещений *А*; β изменяется в зависимости от линейной величины эксцентриситета.

Конструктивно приспособление осуществлено следующим образом. Шайба *В* может устанавливаться наклонно при помощи трех установочных винтов, причем наклон может быть сделан в любом направлении. Теоретически требуется, чтобы ось наклона была перпендикулярна линии эксцентриситета. Во вращающуюся часть корпуса входит палец (ползун) *А*, который упирается полукруглым концом в шайбу. При вращении лимба палец *А*, описывая окружность на шайбе, получает перемещения вдоль своей оси. Обратное движение палец сообщает пружина *Е*.

Верхний конец пальца имеет цилиндрический поводок, входящий в прорезь рычага С. Рычаг С в свою очередь привинчен двумя винтами к кольцу индекса d . Таким образом при вращении червяка кольцо индекса получает угловые перемещения, компенсирующие ошибки эксцентриситета. Регулировка приспособления, подбор угла и направления наклона могут производиться с помощью теодолита, устанавливаемого на лимбе, и коллиматора опытным путем.

10. Точность зубчатых передач

Для конструктора оптико-механических приборов наиболее существенным является вопрос, какую точность в передаче угловых перемещений (отсчетов) он может ожидать от спроектированной им зубчатой передачи.

Причины возникновения ошибок в передаче мы можем разбить на три группы:

1) погрешности в элементах самого зацепления, т. е. ошибки в профиле, шаге и наличие эксцентриситета;

2) нерациональная конструкция шестерен, направляющих (подшипников) и тому подобных элементов передачи (особенно это относится к червячным передачам), а также неправильный выбор посадок, допусков и т. п.;

3) неточность сборки (эта причина неразрывно связана с предыдущей, вытекая из нее).

Рассмотрим ошибки первой группы. Основными ошибками являются:

а) ошибки профиля зуба (ошибки эвольвенты);

б) ошибки шага по начальной (делительной) окружности и толщины зубьев;

в) эксцентриситет.

Эти ошибки вызывают:

1) сдвиг осей и периодически повторяющуюся на каждом зубе неравномерность хода;

2) мертвый ход;

3) ошибку в повороте ведомого колеса.

Мы ограничимся рассмотрением погрешностей шестерен, зубья которых изготавливаются обкаткой с помощью рейки или червячной фрезы. Причиной погрешности в данном случае является: расхождение в углах профиля рейки или фрезы, вызываемое неправильной заточкой червячной фрезы, торцевым боем фрезы, а также возникающее в том случае, если сцепляющиеся шестерни нарезались разным инструментом. При несоответствующих друг другу профилях зубчатое зацепление не может работать при расчетном расстоянии между осями, так как профили зубьев одного колеса пересекают профили другого (интерференция). Для того чтобы данное зацепление все же работало, приходится раздвигать оси сцепляющихся колес. Ясно, что теперь при повороте шестерен на $t/2$ возникнет боковой

зазор между зубьями (мертвый ход), приблизительно равный:

$$\omega = \frac{2}{3} \cdot \frac{a \cdot 2 \operatorname{tg} \alpha}{r_f} \quad (25)$$

(в радианах). Формула (25) показывает, что сдвиг осей очень мало зависит от числа зубьев Z , угла α и знака $\Delta\alpha$ (ошибка в основном угле режущего инструмента). На основании этих

Таблица 51

Ошибки зацепления при заданном $\Delta\alpha$

$\Delta\alpha$	$\frac{\Delta A}{m}$	$\omega, \frac{Z}{\operatorname{tg} \alpha}$
15'	0,01	90'
30'	0,02	180'

ω — мертвый ход; m — модуль.

зацепление либо преждевременно (в результате чего ведомое колесо получает ускорение (замедление) при равномерно вращающемся ведущем колесе, т. е. получаются периодические ошибки, повторяющиеся в большей или меньшей степени при зацеплении каждой пары зубьев. Можно с полной уверенностью полагать среднюю ошибку угла профиля равной 20', а максимальную — 30' (что является весьма большой величиной).

График рис. 339 показывает ошибки в повороте ведомого колеса, вызываемые ошибками в угле профиля в случае пары цилиндрических колес, за время зацепления одной пары зубьев.

При изменениях $\Delta\alpha$ в пределах 1° можно считать $\Delta\varphi$ изменяющимся пропорционально $\Delta\alpha$.

Приведенные в табл. 52 данные представляют собой максимальные ошибки червячного колеса на протяжении одного шага. При $\Delta\alpha = 30'$ ошибка червячного колеса будет вдвое меньше значений, указанных в таблице. Ошибка червячного колеса при выключаемом червяке примерно вдвое меньше, чем при

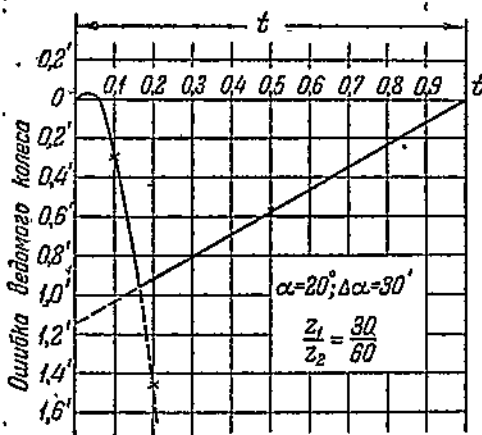


Рис. 339.

¹ КИБ ВООМП.

Ошибки в отсчете червячного колеса при погрешности в угле профиля $\Delta\alpha$

Угол профиля в осевом сечении	Отклонение в угле	Число зубьев	Высота головки в модулях	Ошибка червячного колеса	
				Не выключаю- щийся червяк	Выключающий- ся червяк
30°	+1°	60	1	2'	1,1 — 1,2
30°	-1°	60	1	2'	—
15°	+1°	60	1	1'	—
15°	-1°	60	1	1'	—
15°	+1°	60	0,8	1'	—
15°	-1°	30	1	2,5'	—

не выключающемся. С уменьшением угла профиля α ошибка уменьшается (при 15-градусном профиле она вдвое меньше, чем при 30-градусном).

1. Влияние погрешности в шаге по начальной окружности и толщине зубьев. В случае безазорного зацепления также необходим сдвиг осей ввиду захождения (интерференции) профилей зубьев. При отклонении только в шаге колеса (рейки, червяка) сдвиг осей приблизительно равен:

$$\Delta A = \frac{\Delta t}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Если оба колеса (рейка—колесо, червяк—колесо) имеют ошибку в шаге, то сдвиг осей будет соответственно больше. Так, при одинаковых отклонениях в шагах рейки и колеса ($\Delta t_k = \Delta t_p$) сдвиг равен:

$$\Delta A = \frac{1\frac{1}{2}\Delta t}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Возможный мертвый ход, возникающий при этом от вынужденной раздвижки осей, равен:

$$\omega = \frac{2\Delta A \operatorname{tg} \alpha}{r}.$$

Пример. $\Delta A = 0,04$ мм (при $\Delta t = 0,01$ мм, $\alpha = 20^\circ$ и $r = 30$ мм).

$$\omega = \frac{2 \cdot 0,04 \cdot 0,364}{30} = 0,001 (3,6').$$

2. Влияние погрешностей в шаге на поворот ведомого колеса. Погрешности в шаге шестерен также вызывают неравномерность вращения ведомого колеса. Шибель в своей книге „Зубчатые колеса“¹ приводит довольно простые рассуждения относительно влияния ошибок в шаге шестерен. Если шаг двух сцепляющихся пар зубьев неравен, то это ведет к запозданию или, наоборот, к опережению начала зацепления, т. е. к неравномерности вращения ведомой шестерни. Если шаг ведущей пары

¹ Часть 1, стр. 115.

зубьев больше шага ведомой пары на величину Δt , то идущие впереди профили удлиняют зацепление настолько, что ведомая шестерня отстает на величину разности шагов, и только после этого в зацепление вступает следующая пара профилей. Если же шаг ведущей шестерни меньше, то следующая пара профилей вступает в зацепление преждевременно и тем сообщает ведомой шестерне опережение на ту же величину разности шагов. Максимальная угловая ошибка ведомого колеса определится как:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{r}, \quad (26)$$

(где r — радиус начальной окружности ведомого колеса), или в минутах:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t \cdot 360 \cdot 60}{Zt},$$

Так, при ведомом колесе с числом зубьев $Z=60$ угловая ошибка за время зацепления одной пары зубьев при отклонении в шаге $\Delta t=0,01 t$ будет:

$$\Delta\varphi = \frac{0,01 t \cdot 360 \cdot 60}{60 t} = 3,6'.$$

Зависимость ошибок в повороте червячного колеса от отклонений в шаге иллюстрируется табл. 53.

Таблица 53

Ошибки в повороте червячного колеса при отклонениях в шаге

Угол профиля α	Число зубьев червячного колеса	Отклонение в шаге	Ошибка колеса
30°	60	— 0,01	1,9'
15°	60	— 0,01	1,6'
15°	60	+ 0,01	1,8'

3. Влияние эксцентриситета. Эксцентриситетом называется несовпадение центра вращения колеса или червяка с центром его начальной окружности.

При наличии эксцентриситета расстояние между осями вращения колес (при беззазорном зацеплении) необходимо увеличить на величину e , равную сумме эксцентриситетов ($e=e_1+e_2$), где e_1 и e_2 — эксцентриситеты колеса и червяка (или двух колес).

а) Цилиндрические шестерни. 1. Ошибка в повороте ведомой шестерни, вызываемая эксцентриситетом:

$$\Delta\varphi_0 = \frac{e_1 \sin \varphi_1 - e_2 \sin \varphi_2 - [e_1 (1 - \cos \varphi_1) + e_2 (1 - \cos \varphi_2)] \operatorname{tg} \alpha}{r_0}, \quad (27)$$

где e_1 и e_2 — эксцентриситет ведущей и ведомой шестерен; φ_1 и φ_2 — углы поворота от начального положения; $\varphi_1/\varphi_2=i$ — передаточное число; α — угол профиля; r_0 — радиус делительной окружности ведомой шестерни.

Если эксцентриситеты у обеих шестерен равны, то:

$$\Delta\varphi_0 = \frac{e}{r_0} [\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2 - (2 - \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \operatorname{tg} \alpha]. \quad (28)$$

2. Мертвый ход ведомой шестерни, вызываемый эксцентриситетом:

$$\omega = \frac{[e_1(1 - \cos \varphi_1) + e_2(1 - \cos \varphi_2)] 2 \operatorname{tg} \alpha}{r_2}. \quad (29)$$

Если $e_1 = e_2 = e$, то:

$$\omega = \frac{e}{r_2} [(2 - \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \operatorname{tg} \alpha]. \quad (30)$$

Примерный график для $i = 1/5$ показан на рис. 340.

Пример. $i = r_1/r_2 = 1/5$; $r_2 = 30$ мм; $e = 0,01$ мм; $\alpha = 20^\circ$.

Максимальная ошибка ведомого колеса с радиусом $r_2 = 30$ мм (рис. 340) будет при отсчете угла 180° (от $\varphi_2 = 120^\circ$ до 300°) равна:

$$\Delta\varphi = \frac{10\,000' + 5000' \cdot 0,01}{30} = 5'.$$

Примечание. Начальное положение при отсчете углов φ_1 и φ_2 в формулах (27) — (30) берется таким, когда: 1) линия центров вращения и начальной окружности (эксцентриситет) расположена по линии центров колес и 2) центры шестерен находятся между центрами их вращения.

б) Червячное зацепление. 1. Ошибка в повороте червячного колеса при выключающемся червяке. Так как вращение колеса происходит не вокруг центра начальной окружности, а вокруг какого-то другого центра, то углы поворота колеса не будут равны теоретическим, а будут больше или меньше в зависимости от положения эксцентриситета в каждый момент вращения. Червячное колесо за одну четверть оборота отстает, а в другой четверти опережает теоретическое положение (это относится и к цилиндрическим колесам). Ошибка червячного колеса при выключающемся червяке может быть подсчитана по формуле:

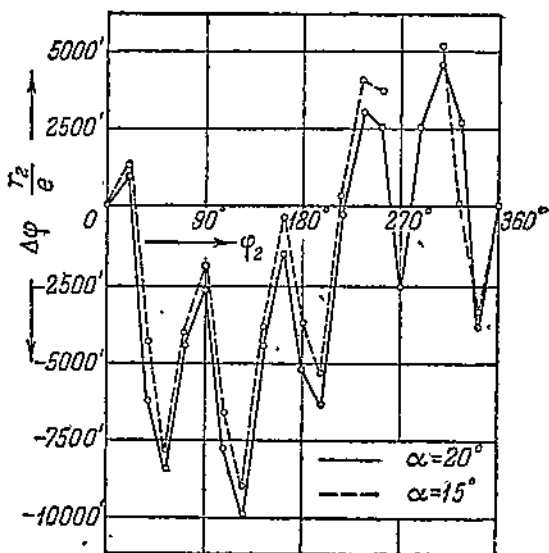


Рис. 340.

$$\Delta\varphi = \frac{e}{r} (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1), \quad (31)$$

где φ_1 и φ_2 — углы поворота колеса от исходного положения (см. примечание); e — эксцентриситет колеса; r — радиус начальной окружности.

3. Максимальная возможная ошибка червячного колеса при повороте на 180° равна:

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{2e}{r}.$$

Пример. $r = 30$ мм; $e = 0,01$ мм.

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{2 \cdot 0,01}{30} = 0,00067,$$

или в минутах $\Delta\varphi_{\max} = 2,4'$.

3. Ошибка червячного колеса при не включающемся червяке определяется из формулы:

$$\Delta\varphi = \frac{e}{r} [\sin\varphi + (1 - \cos\varphi)\operatorname{tg}\alpha]. \quad (32)$$

4. Максимальная возможная ошибка червячного колеса при повороте на 180° при не включающемся червяке равна:

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{2e}{r \cos\alpha}.$$

Пример. $r = 30$ мм; $e = 0,01$ мм; $\alpha = 20^\circ$.

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{2 \cdot 0,01}{30 \cdot 0,940} = 0,00071,$$

или в минутах $\Delta\varphi_{\max} = 2,56'$.

Примечание. Углы φ в формулах (31) и (32) отсчитываются, когда линия центров вращения и начальной окружности (эксцентриситет) расположена нормально к оси червяка.

На рис. 340 даны графики ошибок, вызываемых эксцентриситетом.

Отметим еще погрешности зубчатых передач (цилиндрическими колесами), выражающиеся в биении торцевой поверхности зубчатого колеса, непараллельности зубьев сцепляющихся колес (при сборке) и конусности зубьев. Из этих ошибок практически можно учесть влияние торцевого боя. При достаточной ширине колеса торцевой бой оказывает влияние на ошибки передачи совершенно аналогично влиянию эксцентриситета. Так, при ширине зубьев шестерни $b = 4$ мм отклонение торцевой плоскости колеса от перпендикулярности к оси вращения на 1° соответствует эксцентриситету e колеса, равному:

$$\frac{b}{4} \cdot \operatorname{tg} 1^\circ = 1 \cdot \operatorname{tg} 1^\circ = 0,018 \text{ мм.}$$

При торцевом бое, как и при конусности зубьев и непараллельности их, увеличивается износ, так как касание происходит по точкам.

В конических передачах необходимо выдерживать расстояние между шестернями. Небольшие изменения в угле между осями конических колес не нарушают правильности сцепления,

если при этом точка пересечения сохраняет свое положение. Это свойство конических колес совершенно аналогично цилиндрическим зубчатым колесам с эвольвентным зацеплением, у которых небольшие изменения расстояния между осями не отражаются на правильности зацепления. При этом у конических колес, так же как у цилиндрических, меняются величина бокового зазора между зубьями и угол зацепления.

Необходимо отметить, что в настоящее время начинает внедряться способ изготовления конических шестерен со спиральным зубом (рис. 341) методом обкатки с помощью конических червячных фрез фирмы Клингельберг. Этот способ пока применяется для модулей начиная от 1 мм и благодаря высокой точности изготовления фрез дает возможность получать значительно более точные конические шестерни, чем на станках Глиссон.

4. Мертвый ход в червячных передачах.¹ Мертвым ходом называется угловое отставание червячного колеса при изменении направления вращения червяка.

Причинами, вызывающими мертвый ход, могут быть следующие:

а) Зазор между зубьями может иметь место только при неподвижно закрепленных подшипниках червяка (не выключающийся червяк). Расчет мертвого хода для данного случая разобран в расчете ошибок зубчатых передач (стр. 277). При выключающемся червяке зазор между зубьями практически не должен иметь места благодаря действию пружины, постоянно прижимающей червяк к червячному колесу, кроме случаев, когда зацепление происходит по дну зубьев. Последнее явление возникает при недостаточно большом диаметре червячной фрезы т. е. когда наружный диаметр фрезы, очевидно, ошибочно сделан равным наружному диаметру червяка.

б) Радиальный зазор в подшипниках червячного колеса. Благодаря этому зазору червячное колесо может при неподвижном червяке занимать различные положения, перекатываясь вокруг полюса зацепления C (рис. 342). Угловая величина мертвого хода определится при этом величиной перемещения центра колеса O следующим образом. При не выключающемся червяке максимальная угловая величина мертвого хода определится бы просто как отношение Δ/r радиан, где Δ — величина зазора, а r — радиус начальной окружности колеса.

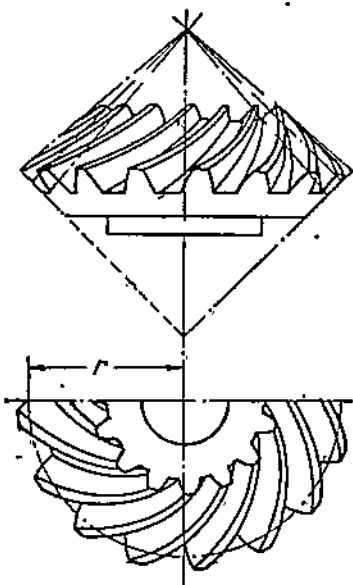


Рис. 341.

¹ См. С. Т. Цуккерман, Оптико-механическая промышленность, № 12, 1932

При выключающемся червяке расчет сильно усложняется. Мертвый ход определяется перемещением центра колеса O , или иначе углом α перемещения точки касания A между червячным колесом и подшипником.

Перемещение e центра O выражается:

$$e = (D - D_1) \sin \alpha. \quad (32)$$

Соответствующий мертвый ход колеса в минутах:

$$Mx = \frac{e}{R} \cdot 3600 = \frac{(D - D_1) \sin \alpha}{R} \cdot 3600 \text{ мин.}, \quad (34)$$

где D и D_1 — диаметры оси колеса и подшипника, R — радиус начальной окружности колеса.

Угол α может быть найден из условий равновесия сил и реакций, действующих при вращении (рис. 343).

Червячное колесо при вращении по стрелке находится в равновесии под действием двух сил:

1) силы S_1 , приложенной в точке зацепления, составляемой из радиального N_1 и осевого T_1 давления червяка;

2) силы реакции S_2 , приложенной в точке касания, составляемой из реакции N_2 и касательной T_2 .

N_2 и T_2 связаны следующим равенством:

$$T_2 = \mu N_2, \quad (35)$$

где μ — коэффициент трения червячного колеса о подшипник, т. е. $\mu = \operatorname{tg} \rho$.

$S_1 = S_2$, как друг друга уравновешивающие.

Решая треугольник OCA , найдем угол α :

$$\alpha = \rho + \beta \quad (36)$$

как внешний угол.

Далее можем написать:

$$\frac{\sin \beta}{2} = \frac{\sin \rho}{R} \quad \text{или} \quad \sin \beta = \sin \rho \cdot \frac{r}{R}. \quad (37)$$

Пользуясь уравнением (36), пишем:

$$\sin \alpha = \sin (\rho + \beta) = \sin \beta \cos \rho + \cos \beta \sin \rho. \quad (38)$$

В уравнении (38) выразим $\cos \beta$ через $\sin \beta$:

$$\sin \alpha = \sin \beta \cos \rho + \sqrt{1 - \sin^2 \beta} \sin \rho \quad (39)$$

и в уравнение (39) подставим $\sin \beta$ из (37):

$$\sin \alpha = \sin \rho \cdot \frac{r}{R} \cdot \cos \rho + \sqrt{1 - \sin^2 \rho \cdot \frac{r^2}{R^2}} \sin \rho,$$

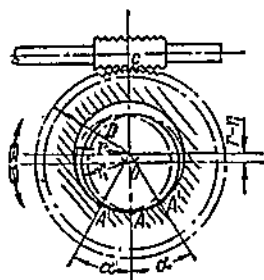


Рис. 342.

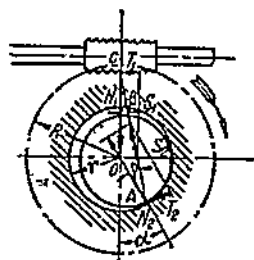


Рис. 343.

или:

$$\sin \alpha = \sin \rho \left(\cos \rho \cdot \frac{r}{R} + \sqrt{1 - \sin^2 \rho \cdot \frac{r^2}{R^2}} \right). \quad (40)$$

Формула (40) и дает выражение для угла α в зависимости:

- 1) от отношения r — радиуса подшипника — к R — радиусу начальной окружности червячного колеса,
- 2) от угла трения ρ (μ).

Имея в виду, что угол ρ невелик, можно формулу (40) значительно упростить без ущерба для практической точности, положив:

$$\sin \rho = \operatorname{tg} \rho = \mu;$$

$$\text{при } \rho = 6^\circ \operatorname{tg} \rho = 0,1051, \sin \rho = 0,1045;$$

$$\cos \rho = 1, (\text{при } \rho = 6^\circ \cos \rho = 0,9945);$$

$$\sin^2 \rho \cdot \frac{r^2}{R^2} = 0, \text{ при } \frac{r}{R} \leq 1 \sin^2 \rho \cdot \frac{r^2}{R^2} \leq 0,0109.$$

При этом допущении формула (40) примет следующий окончательный вид:

$$\sin \alpha = \mu \left(\frac{r}{R} + 1 \right) = \mu \cdot \frac{r+R}{R}. \quad (41)$$

Мертвый ход колеса в минутах получает следующее выражение [см. формулу (34)]:

$$Mx = \frac{(D - D_1) \mu \cdot \frac{r+R}{R}}{R} \cdot 3600 = \mu \frac{(D - D_1) (r+R)}{R^2} \cdot 3600 \text{ мин.} \quad (42)$$

Из формул (41) и (42) видно, что мертвый ход тем меньше, чем меньше μ , $D - D_1$ и r и чем больше R . Уменьшение r весьма важно, так как, помимо уменьшения влияния зазора ($\sin \alpha$), уменьшает и его абсолютную величину (при том же классе точности пригонки).

По закону построения системы допусков наибольший зазор равен:

$$D - D_1 = n \cdot 0,005 \sqrt[3]{D},$$

где n — число единиц допуска, зависящее от класса точности и выбранной пригонки (например, для 3-го класса и пригонки скольжения $n = 6$, для той же пригонки 2-го класса $n = 2,5$).

Пользуясь изложенными выше соображениями, можно формулу (42) переписать в более общем виде:

$$Mx = \frac{n \cdot 0,005 \cdot \sqrt[3]{D} \mu (r+R)}{R^2} \cdot 3600 \text{ мин.},$$

или:

$$Mx = \frac{18n \mu \left(\frac{D}{r} + R \right) \sqrt[3]{D}}{R^2} \text{ мин.}, \quad (43)$$

где D и R — в миллиметрах.

Для проверки правильности и применимости найденной зависимости мертвого хода от α , μ , $D(r)$ и R и нахождения величины μ С. Т. Цуккерманом был проведен ряд опытов. Некоторые из них для уменьшения ошибок измерения были проведены с увеличенными зазорами.

Для коэффициента трения μ притертых поверхностей с обычной смазкой при температуре 20° были найдены следующие значения:

Сталь по стали	$\mu = 0,1 - 0,12$
„ „ бронзе и латуни	$\mu = 0,05 - 0,07$

При всех опытах наблюдалось хорошее согласование между наблюдаемыми и вычисленными величинами мертвых ходов, причем наибольшее отклонение составляло менее 15% вычисленного значения.

На рис. 344 приведены в качестве наглядного примера кривые для червячного колеса $R = 28,6$ мм, показывающие зависимость мертвого хода от изменения диаметра и материала подшипника. Сплошные линии соответствуют скользящей пригонке 3-го

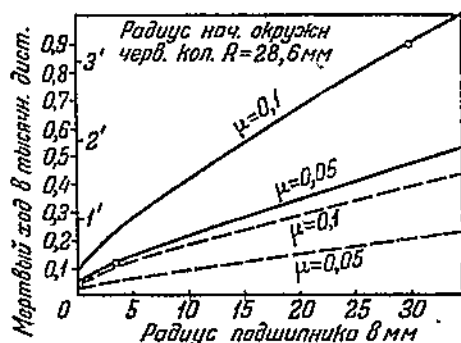


Рис. 344.

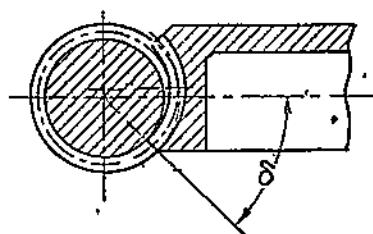


Рис. 345.

класса точности, пунктирные — той же пригонке 2-го класса. Кружочками отмечен имевший место в практике случай изменения конструкции, когда уменьшением диаметра подшипника и вставкой бронзовой втулки удалось уменьшить мертвый ход почти в 8 раз.

В заключение можно сказать следующее: все, что способствует уменьшению момента трения на червячном колесе, уменьшает мертвый ход; поэтому конструктору следует стремиться к возможному уменьшению диаметра подшипника колеса и применению в нем антифрикционных сплавов, а где возможно — шариковых подшипников (рис. 337).

в) Радиальный зазор в подшипнике червяка влияет на мертвый ход в значительно меньшей степени.

Для уменьшения его влияния на мертвый ход следует:

- 1) применять бронзовые червячные колеса;
- 2) уменьшать угол охвата 2δ до 60° и меньше;

3) возможно чище отделять зубья червячного колеса и червяка;

4) применять червяки из твердого материала.

2) *Радиальный зазор в подшипнике эксцентрика* практически не дает мертвого хода. Имеется способ вообще исключить всякую возможность влияния этого зазора на мертвый ход — креплением индекса к барабану червяка на эксцентричном подшипнике; при этом перемещение эксцентрика не окажет влияния на отсчет, так как на тот же угол повернутся червяк и индекс.

Повышению точности работы червячного механизма в значительной степени способствует уменьшение угла охвата (28) червячного колеса, так как этим уменьшается опасность работы червяка по краю обода колеса (рис. 345).

11. Допуски на элементы зубчатых колес

Установление допусков на элементы зубчатых колес является одной из труднейших производственных проблем.

В СССР до сих пор еще нет стандарта допусков на зубчатые колеса. Некоторыми нашими заводами установлены свои допуски, по которым ведется работа. За границей допуски на зубчатые колеса стандартизованы в Англии (табл. 54 и 55) и США. Разработка допусков на зубчатые колеса сейчас поставлена у нас в порядок дня.

Таблица 54

Британский стандарт допусков на цилиндрические колеса. Допуски на толщину зуба

D_f — диаметр начальной окружности в дюймах

Класс шестерен	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение
А. Точно шлифованные или нарезанные шестерни	$0,0002D_f + 0,0035$	$0,00015 + 0,002$
В. Особо точно нарезанные шестерни	$0,0002D_f + 0,0035$	$0,00015 + 0,002$
С. Шестерни, нарезанные с промышленной точностью (Commercial Cut Gears)	$0,0003D_f + 0,005$	$0,00015 + 0,002$

Точность изготовления зубчатых колес находится в непосредственной зависимости от точности станков и зуборезного инструмента. Более или менее подробные сведения о точности работы станков даны в книге проф. Шлезингера „Проверка металлообрабатывающих станков на точность“. В табл. 57 приведены некоторые данные о точности станков по шагу и эксцентricности.

Британский стандарт допусков на погрешность формы и на шаг зубьев по начальной делительной окружности

C_p — окружной шаг в дюймах; D_t — диаметр начальной окружности в дюймах; L — длина дуги по начальной окружности, на которой имеет место суммарная ошибка шага.

Класс шестерен	Ошибка в шаге между соседними зубьями	Суммарная ошибка	Погрешность формы
А. Точно шлифованные или нарезанные шестерни	$0,0005 C_p + 0,00025$	$0,0001 L + 0,0015$	$0,0005 C_p$
В. Шестерни, нарезанные с высокой точностью	$0,00002 D_t + 0,0004 C_p + 0,001$	$0,0002 L + 0,002$	$0,001 C_p$
С. Шестерни, нарезанные с промышленной точностью	$0,00002 D_t + 0,0008 C_p + 0,002$	$0,0003 L + 0,004$	$0,002 C_p$
Д. Долбленные шестерни большого диаметра с внутренними зубьями	$0,00004 D_t + 0,0016 C_p + 0,004$	$0,0003 L + 0,004$	$0,002 C_p$

1. Оба отклонения направлены в минус от номинальной толщины зуба
2. Суммарная ошибка — алгебраическая сумма всех ошибок шага, измеренного по дуге.
3. Погрешность формы — максимальные смещения любой точки профиля зуба по отношению к идеальной эвольвенте. Эта погрешность измеряется под прямым углом к эвольвентному профилю зуба.

Таблица 56

Допуски швейцарской фирмы Мааг

Характер ошибки	Незакаленные строганные колеса			Закаленные и шлифованные колеса		
	Очень точные	Точные	Средней точности	Очень точные	Точные	Средней точности
Ошибка шага мм	0,01	0,012	0,015	0,006	0,008	0,01
Эксцентricность начальной окружности мм	0,015	0,02	0,03	0,015	0,015	0,02
Ошибка профиля сторон зубьев мм	0,008	0,01	0,02	0,003	0,005	0,008

Точность зуборезных и зубострогальных станков

Тип станка	Неточности отдельных элементов станка	Величины неточности мм
Зуборезные станки, работающие методом обкатки (червячными фрезами)	Биеение стола и скалки для заготовки	0,01—0,02
	Биеение фрезерного шпинделя на длине 300 мм	0,02
	Наибольшее отклонение на одном шаге нарезаемого колеса для колеса диаметром до 500 мм	0,02
Зубострогальные станки, работающие методом обкатки (долбьяками Феллоу)	Биеение оси вращения оправки долбьяка	0,01
	Параллельность оси рабочего стола и оси шпинделя	0,01—0,02
	Максимальное отклонение в шаге делительного колеса, измеренное для одного типа, для колес диаметром до 500 мм	$\pm 0,01$

Для шестерен, нарезанных на станке, гарантируется точность при измерении одного шага:

Для колес диаметром до 200 мм	0,02 мм
" " " от 200 до 500 мм	0,03 "
" " " свыше 500 мм	0,04 "

Угловая точность деления при изготовлении цилиндрических шестерен дисковыми модульными фрезами при хорошей делительной головке — 1—2' (делительная головка фирмы Людвиг Лёве дает даже точность 30"). Угловая точность деления шестерен, изготавливаемых по методу обкатки (станки Пфаутер, Рейнекер, Микрон и др.), — около 30—50".

Следует иметь в виду, что на наших заводах зубчатые колеса обычно изготавливаются червячными фрезами в один проход. Это не может гарантировать высокой точности и чистоты обработки. При малых модулях угол профиля червячной фрезы выдерживается в среднем с допуском 15—20". Достижение большей точности при изготовлении червячных фрез для модулей ниже 1 мм является, конечно, весьма затруднительным.

Вследствие нерадиального расположения режущих граней червячной фрезы также происходит искажение профиля. Поэтому в общем машиностроении отклонения от радиального расположения режущих граней допускаются только на черновых фрезях. Для всех чистовых фрез режущие грани должны быть направлены радиально. Искажение профиля режущей грани фрезы кроме того тем больше, чем больше угол подъема β винтовой линии фрезы. Поэтому угол β для чистовых фрез не рекомен-

дуются делать больше 5—6°. Чистовые фрезы должны быть обязательно одноходовыми. Многоходовые фрезы вносят большие погрешности по шагу. Наконец, ошибки происходят от уменьшения диаметра делительного (модульного) цилиндра фрезы после нескольких заточек (вследствие наличия заднего угла у зубьев фрезы).

Для изготовления особо точных шестерен необходимо применять дополнительную их обработку. В качестве такой обра-

ботки для шестерен оптико-механических приборов мы считаем целесообразными обкатку или шевинг-процесс.

а) *Обкатка* (притирка, приработка, *Signiching*) — обработка зубьев при помощи наклепа, получающегося от давления, создаваемого между эталонными шестернями и обрабатываемой шестерней в процессе их вращения. Этот метод пригоден для обработки шестерен, не подвергающихся в дальнейшем термической обработке.

б) *Шевинг-процесс*. В настоящее время в зарубежной практике для окончательной чистовой обработки сырых шестерен с прямым и спиральным зубом применяется так называемый шевинг-процесс¹ (*shaving* — от английского глагола *to shave* — брить). Под

этой операцией понимается обработка зубчатых колес при помощи специального инструмента — *шевера*, производящего соскабливание очень мелких стружек с обрабатываемой поверхности, а также обкатку (наклеп), получающуюся от давления, создаваемого между инструментом (шевером) и обрабатываемой шестерней.

Для уяснения шевинг-процесса рассмотрим устройство шевера. Шевер фирмы Мичиган-Тулл Ко (рис. 346) представляет собой зубчатую рейку, на боковых гранях которой, перпендикулярно образующим, прорезаны тонкие канавки, шлифованные грани которых образуют режущие кромки инструмента. Канавки расположены очень близко одна от другой ($\sim 1\frac{1}{2}$ мм); глубина их — $1\frac{1}{2}$ —2 мм. Рейка составлена из отдельных зубьев. Обработка производится путем обкатки такой рейкой, как показано

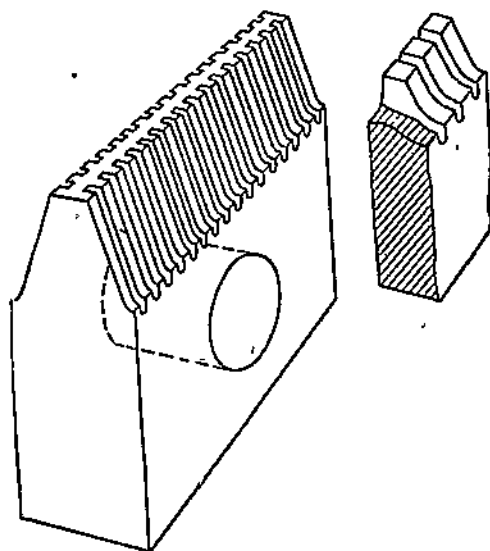


Рис. 346.

¹ У нас он применяется на заводе Красный Октябрь (Ленинград) и на заводе им. Сталина (Москва).

на рис. 347. Для обкатки цилиндрических шестерен с прямыми зубьями применяется рейка с косыми зубьями, а для обкатки цилиндрических шестерен с косыми зубьями — рейка с прямыми зубьями. Поэтому при движении рейки в направлении AB , как указано на рис. 347, между зубьями рейки и обрабатываемой шестерни получается относительное скольжение, скорость которого в зависимости от скорости движения рейки v_0 выражается формулой:

$$v = v_0 \sin \beta,$$

где β — угол наклона зубьев рейки. Зубья рейки изготавливаются с высокой степенью точности: ошибка по всем элементам — 2—3 μ , ошибка по углу профиля — 1—2'.

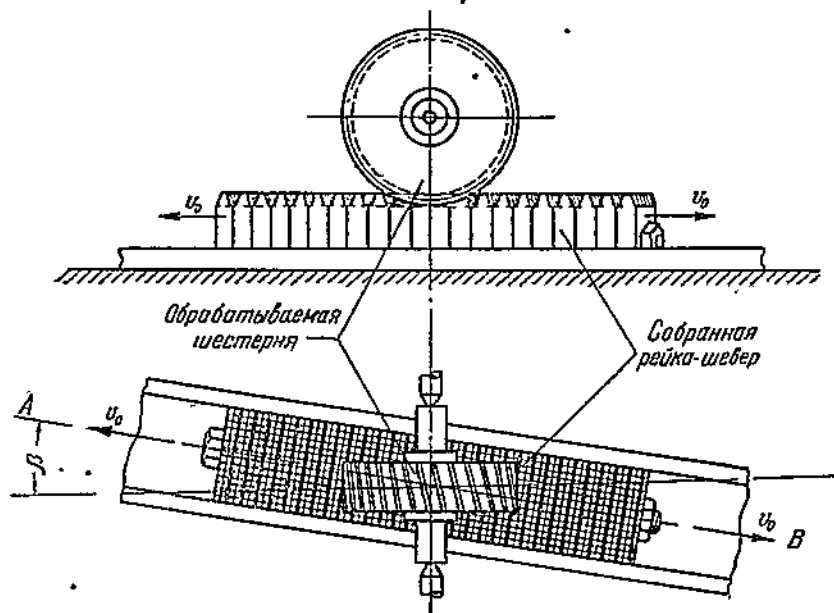


Рис. 347.

В станках фирмы Нейшинел Броу инструментом является эталонная шестерня, на зубьях которой нарезаны аналогичные канавки.

При обработке шевинг-процессом на станках Мичиган Тулл при модуле 3 мм достигнута точность: биение по начальной окружности — 0,005 мм, профиль — 0,005 мм.

Изготовление шевера по способу Мичиган Тулл является вполне возможным для модулей до 0,5 мм и даже меньше, если увеличить расстояние между канавками (в этом случае увеличится отношение наклепа к количеству снятого резанием материала) и сами канавки прорезать насквозь (как показано на рис. 347).

Недостатком шевинг-процесса является большая дороговизна изготовления шевера (большой шевер Мичиган Тулл стоит около 1000 долларов), которая, однако, по нашему мнению, вполне окупается, так как срок службы шевера и число переточек весьма велики.

По инициативе ЭНИМСа (Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков) в СССР намечены к производству в первую очередь станки типа Нейшинел Броч и во вторую — типа Мичиган Тулл.

Окончательная обработка червячных колес, по мнению автора, может быть также произведена с помощью червячного шевера, представляющего собой заготовку червячной фрезы с прорезанными радиальными канавками, число которых должно быть значительно больше, чем у обычной фрезы. Задняя заточка должна отсутствовать. Точность изготовления червячных пар на заводах ВООМП: при начальном диаметре червячной шестерни 30 мм — порядка 3—4', при больших диаметрах и повышенных требованиях к точности изготовления — 1 1/2—2'. Для изготовленных на заводе ГОМЗ целостатов в червячной передаче $Z=720$ удалось достигнуть точности около 50—60".

Хуже всего обстоит дело с коническими колесами. Точность конической пары — порядка 5—10' и менее. При расчете угловых ошибок зубчатой передачи (пары) следует учитывать передаточное число. Для примера рассмотрим зубчатую пару $Z_1=20$; $Z_2=60$. Полагая суммарную угловую ошибку деления каждого колеса равной 2', получим наибольшую ошибку при передаче от малого колеса к большому: $\Delta\varphi=2'i+2$, т. е. ошибка в повороте большого колеса равна ошибке малого, умноженной на передаточное число, плюс собственная угловая ошибка большого колеса.

При передаче цилиндрическими колесами наибольшая точность может быть достигнута при числе зубьев меньшего колеса $Z \geq 20$. Желательно у точных передач $Z \geq 30$. Для точных червячных передач не рекомендуется применять многоходовых червяков. Если их все же приходится применять, то вовсе недопустимо кратное отношение числа зубьев колеса к числу ходов червяка.

Правильность сборки червячной передачи очень сильно влияет на ее работу. При сборке ось червяка должна занимать в точности то же положение, какое занимала ось червячной фрезы при нарезании червячного колеса, чтобы не получилось ухудшения зацепления. Неблагоприятное влияние неправильной установки осей тем меньше, чем меньше угол охвата 2δ .

12. Расчет неметаллических зубчатых колес по новейшим американским данным¹

В настоящее время в производстве звуковой киноаппаратуры вследствие их бесшумной работы находят себе применение неметаллические зубчатые колеса (текстолитовые). Однако,

¹ Проф. Я. М. Хаймович, *Машиностроитель*, № 4, 1936; *Manual of gear design* by Earle Buckingham, изд. Machinery, №-Y. 1935.

вопросы прочности и износа зубчатой пары металл — текстолит, фибра и др. изучены весьма мало, несмотря на всю их важность. Приводим данные, позволяющие рассчитывать неметаллические зубчатые колеса (кожа, фибра, текстолит).

Из-за малого модуля упругости неметаллических зубчатых колес небольшие ошибки в форме и расположении зубьев поглощаются упругими деформациями и оказывают малое влияние на прочность зубьев. Наилучшей формой зуба является 20-градусная эвольвента с укороченным зубом (0,8 нормального).

Еще лучше, если произвести коррекцию зубьев неметаллического зубчатого колеса путем сдвига образующей рейки на 0,8 модуля, металлическое зубчатое колесо сделать нормальным (20-градусная эвольвента, зуб укороченный) и раздвинуть колеса настолько, чтобы они нормально сцеплялись друг с другом. При этом наружный диаметр неметаллического зубчатого колеса будет равен:

$$D_o = (Z_1 + 3,2) m;$$

диаметр впадин:

$$D_i = (Z_1 - 0,4) m;$$

расстояние между центрами:

$$A = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos \beta} \cdot m, \quad (44)$$

где угол β определен по формуле:

$$\text{inv } \beta = \text{tg } \beta - \beta = \frac{1,6 \text{ tg } 20^\circ}{Z_1 + Z_2} + 0,014904.1 \quad (45)$$

Такая зубчатая пара с коррекцией зубьев неметаллического зубчатого колеса в состоянии передать нагрузку на 50—75% больше, чем при некорригированных зубьях.

Наиболее эффективной областью применения неметаллических зубчатых колес являются быстроходные передачи. На малых скоростях, где крутящий момент при пуске может быть велик и где нагрузка может меняться в широких пределах, эти материалы не всегда хороши. Лучше всего их применять при $v > 3 \text{ м/сек.}$

Для лучшей сохранности неметаллических зубчаток лучше всего сопряженные с ними металлические зубчатые колеса изготавливать из закаленной стали ($H_B > 400$). На втором месте стоит чугун. Применение латуни, бронзы и мягкой стали не рекомендуется, ибо эти материалы приводят к сильному износу неметаллических зубчатых колес.

Вибрации и шум при работе неметаллических зубчатых колес значительно меньше, чем у металлических.

¹ Таблица $\text{inv } \beta$, облегчающая отыскание β , приведена в книге Е. Бакингер *Цилиндрические зубчатые колеса*, ОНТИ, 1935.

Таблица 58

Допускаемые напряжения на изгиб у неметаллических зубчатых колес

v м/сек.	R_b кг/мм ²	v м/сек.	R_b кг/мм ²	v м/сек.	R_b кг/мм ²
0,5	3,15	3,0	1,84	8,0	1,40
0,75	2,85	3,5	1,75	8,5	1,38
1,0	2,63	4,0	1,68	9,0	1,36
1,25	2,45	4,5	1,62	9,5	1,35
1,5	2,31	5,0	1,58	10,0	1,33
1,75	2,20	5,5	1,59	11,0	1,31
2,0	2,10	6,0	1,50	12,0	1,28
2,25	2,02	6,5	1,47	13,0	1,27
2,5	1,95	7,0	1,44	14,0	1,26
—	—	7,5	1,42	15,0	1,25

Таблица 59

Значения коэффициента y

Число зубьев колеса	14 1/4° и 15° эвольвент	20° эвольвента, нормальный зуб	20° эвольвента, укороченный зуб	Пара зубчаток с внутренним зацеплением, 20° эвольвента	
				Малая зубчатка с наружным зубом	Большая зубчатка с внутренним зубом
12	0,210	0,245	0,310	0,327	—
13	0,223	0,260	0,324	0,327	—
14	0,235	0,274	0,339	0,330	—
15	0,245	0,289	0,348	0,330	—
16	0,254	0,295	0,361	0,333	—
17	0,264	0,301	0,367	0,342	—
18	0,270	0,307	0,377	0,348	—
19	0,275	0,314	0,384	0,358	—
20	0,282	0,350	0,392	0,364	—
21	0,298	0,327	0,398	0,370	—
22	0,292	0,330	0,405	0,372	—
24	0,298	0,334	0,414	0,383	—
26	0,308	0,345	0,423	0,392	—
28	0,314	0,352	0,430	0,398	0,690
30	0,317	0,358	0,436	0,405	0,678
34	0,327	0,370	0,446	0,411	0,660
39	0,332	0,383	0,455	0,424	0,644
43	0,339	0,395	0,462	0,430	0,628
50	0,345	0,408	0,474	0,436	0,613
60	0,354	0,420	0,484	0,446	0,597
75	0,361	0,434	0,496	0,452	0,581
100	0,367	0,446	0,505	0,461	0,565
150	0,374	0,458	0,518	0,468	0,550
300	0,383	0,471	0,534	0,477	0,534
Рейка	0,389	0,484	0,550	—	—

Неметаллические зубчатые колеса рассчитывают на прочность по формуле:

$$P_{\text{огр.}} \leq R_b m b u \text{ кг,} \quad (46)$$

где m — модуль;

b — ширина зубчатого колеса (длина зуба) в миллиметрах;

u — коэффициент, зависящий от числа и формы зубьев;

R_b — допускаемое напряжение на изгиб для некорригированных зубьев:

$$R_b = 4,2 \left(\frac{0,75}{1+v} + 0,25 \right) \text{ кг/мм}^2. \quad (47)$$

В табл. 58 приведены значения R_b для разных окружных скоростей v м/сек.

Значения коэффициента u даны в табл. 59.

Глава XI

ПЕРЕДАЧА ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

1. Общие сведения

Передача движения при помощи гибкого *неэластичного* тела имеет значительное применение в оптико-механических приборах. Гибкие неэластичные тяговые органы применяются для передачи вращательного (конечного) и прямолинейного движения, а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Передача гибким *эластичным* органом применяется только для вращательного движения, допускающего большую неточность передачи.

Классификация гибких передач. 1. Гибкое тело соединено непосредственно с движущимися частями (угол поворота ограничен) (рис. 348—350). Применяется для точной передачи.

2. Передача производится при помощи трения или зубчатого зацепления (*цепная* передача). Для передач высокой точности не применяется.

а) Передача гибким телом:

1) стальная лента (для точной передачи);

2) трос;

3) бесконечный резиновый или пружинный шнур.

б) Передача шарнирным приспособлением:

1) цепочка из колец;

2) шарнирная цепь;

3) роликовая цепь.

2. Передача гибкой стальной лентой

Передача гибкой стальной лентой применяется в оптико-механических приборах для передачи вращательного движения высокой точности:

1) с постоянным передаточным числом (рис. 348);

2) с переменным передаточным числом (кулачковая передача) (рис. 349).

Для передачи берется ленточная, холодно-вальцованная, крепко-каленная, сине-полированная, пружинная сталь со следующей характеристикой: сопротивление на разрыв—120—140 кг/мм²; относительное удлинение—от 0,006 до 0,01 (с увеличением этой нормы, при закручивании до пределов 0,013—0,015); число твердости по Шору—до 60; химический состав: C=0,70—0,79%; Mn=0,30—0,40%; Si=0,20—0,30%; P+S≤0,04%.

Размеры лент даны в табл. 60.

Для обеспечения плотного прилегания по всему профилю ролика (кулачка) лента должна находиться под постоянным натягом (нагрузкой). Величины последней указаны в табл. 61.

Расчет произведен по формуле:

$$P = \frac{1}{6} \frac{b h^3 R_b}{r},$$

где P —минимальная сила, необходимая для обеспече-

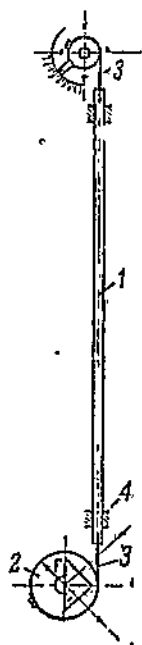


Рис. 348.

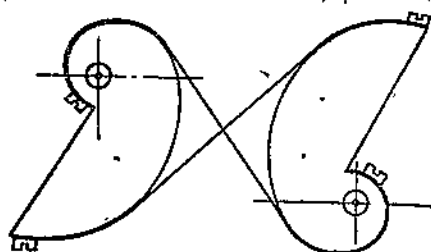


Рис. 349.

Таблица 60
Размеры лент

Толщина ленты мм	Ширина ленты (по заказу) мм	Наименьший радиус изгиба мм
0,05	2,5—60	6
0,1	2,5—60	12
0,2	2,5—60	24
0,3	2,5—60	36
0,4	2,5—60	48
0,5	2,5—60	60
До 1,5 через 0,1	2,5—60	—

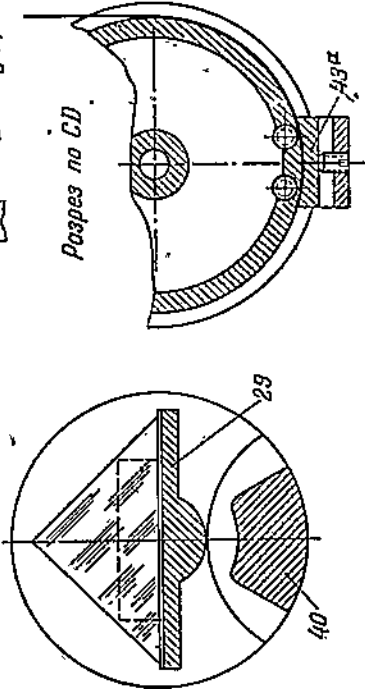
Таблица 61

Необходимая нагрузка P_x на ленте в зависимости от радиуса изгиба ленты (радиуса ролика)¹

Наименьший радиус изгиба ленты мм	$h=0,05$ мм $b=2,5$ мм	$h=0,1$ мм $b=2,5$ мм
	Необходимая нагрузка P_x в г	
6	250	—
7,5	200	—
10	160	—
12	160	480
15	100	400
20	100	300
25	100	250
30	100	200

¹ x —коэффициент точности передачи, принятый равным 8.

Примечание. В случае если лента должна обогнуть кулачок, за r берут радиус наибольшей кривизны кулачка.



2- Визирная призма	Стекло М14
40- Стойка	Алюминий
29- Опора призм	Латунь
25а- Прокладка	Прессшпон
34- Осб	Ст. 4
35- Подшипник	Латунь
33- Замок	"
36- Осб	Ст. 4
38- Пружина	Ст пруж. $t=0,2, L=760$
37- Крышечк	Ст. 4
39- Крышка	Латунь
41- Блок	"
42а- Замок	"
43а- Планка	"
45- Лента тяги	Столб ленточная
	$t=0,06, L=100, a=2,5$

ния прилегания ленты к ролику; b — ширина, h — толщина ленты; R_b — допустимое напряжение на изгиб, равное 180—200 кг/мм².

Для обратного движения ведомой детали обычно служит пружина, которая в то же время создает постоянный натяг ленты. Иногда вместо пружины применяют обратную ленту (рис. 349). При этом должен быть также обеспечен необходимый натяг.

На прямых участках следует ленту заменять жесткой тягой, снабженной направляющими. Тягу необходимо делать из того же материала, что и часть прибора, вдоль которой она расположена (или из материала, имеющего соответствующий коэффициент линейного расширения), во избежание ошибок в приборах, эксплуатируемых при значительных колебаниях температуры.

Угловое перемещение ведомой детали, (призмы) (рис. 348) при изменении температуры может быть определено по формуле:

$$\Delta\varphi = \frac{L\alpha(t_1 - t_0) - L\alpha_1(t_1 - t_0)}{r},$$

где φ — угол поворота призмы 1 в радианах; r — радиус ролика 2; α — коэффициент линейного расширения материала ленты 3; α_1 — коэффициент линейного расширения материала основания 4; L — длина ленты при температуре t_0 .

Точная передача гибкой тягой не может быть осуществлена при горизонтальном положении и значительной длине тяговых органов ввиду их провисания.

Передача гибкой стальной лентой с закрепленными концами, на первый взгляд, представляется одним из самых точных способов передачи движения. Однако, это не совсем так. Кроме температурных влияний, следует еще иметь в виду, что находящаяся под некоторым натягом лента, сходя с ролика, не примет сразу формы прямой линии, а будет иметь вид некоторой

Рис. 351.

упругой кривой (рис. 351), кривизна которой будет зависеть от поперечного сечения ленты, радиуса ролика r , нагрузки P (силы пружины, если возвратное движение сообщается ролику пружиной) и трения в цапфах ролика. Трение в подшипниках ролика имеет значение, потому что момент силы трения будет менять свой знак при перемене направления вращения ролика и таким образом будет либо складываться с моментом пружины либо вычитаться из него, а следовательно, будут изменяться натяг ленты и форма упругой кривой. При этом будет возникать мертвый ход.

Этот мертвый ход $\Delta\varphi$, вообще говоря, будет пропорционален:

$$\Delta\varphi \propto \frac{Kbh^2M_R}{M_p r},$$

где b — ширина ленты; h — толщина ленты; M_R — момент трения в цапфах ролика; M_p — момент пружины; r — радиус рабочей поверхности ролика; K — коэффициент пропорциональности. Поэтому нагрузка на ленту P берется в несколько раз больше ($x=8-10$) полученной из формулы на стр. 296.

Закрепление ленты. На рис. 352 *б* показан правильный профиль шкива для ленты 0,05×2,5.

На рис. 352 *в* представлен весьма простой способ закрепления ленты на шкиве с приспособлением для натяга (юстировки): лента 3 впаявается в паз стержня 2, который может передвигаться в расположенном по хорде шкива 1 отверстию и стопорится винтом 4.

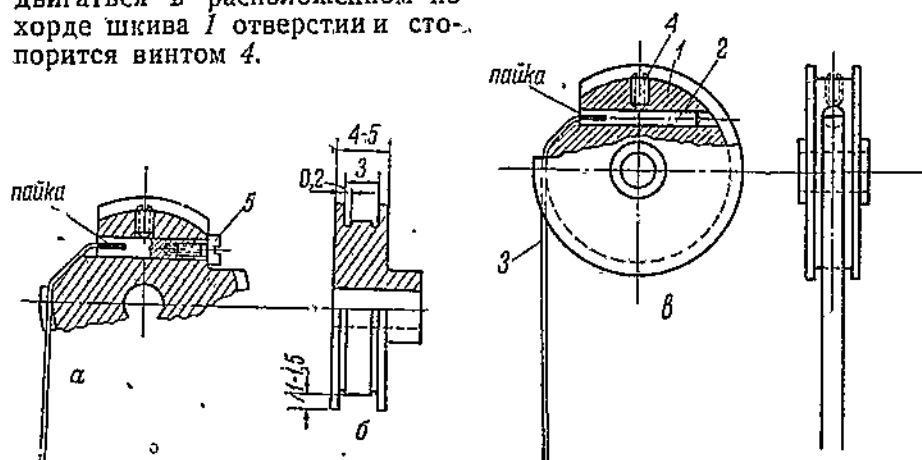


Рис. 352.

Более удобной для юстировки является конструкция, изображенная на рис. 352 *а*. Юстировка достигается вращением винта 5.

В конструкции по рис. 353 лента 1 впаяна в поперечный паз кольцевого сектора 2. Кроме этого сектор имеет продольный паз, сквозь который проходят винты, крепящие его к шкиву 3. Благодаря такому устройству сектор имеет возможность перемещаться по окружности шкива. Внутренний радиус сектора желательно делать на 0,1—0,2 меньше, чем радиус шкива.

На рис. 354 стержень 1 зажимается в пластинке 2, привинченной к ролику (кулачку) 3.

Закрепление ленты по рис. 355 не предусматривает юстировки и может быть допущено только на одной из связываемых передач деталей.

В последнее время, для того чтобы не припаивать ленту, заводы применяют закрепление, указанное на рис. 350.

Весьма удобное для юстировки крепление показано на рис. 356.

3. Передача гибким канатиком (тросом)

Передача гибким канатиком применяется исключительно как грубая (неотсчетная) передача. Примеры применения: качание верхней головной призмы в перископах, перемещение линз

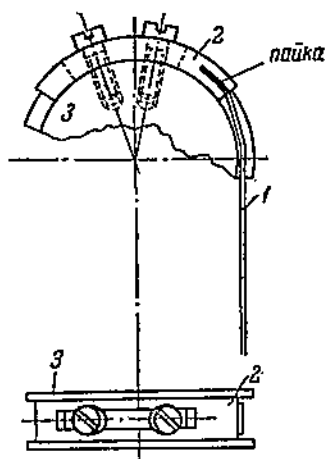


Рис. 353.

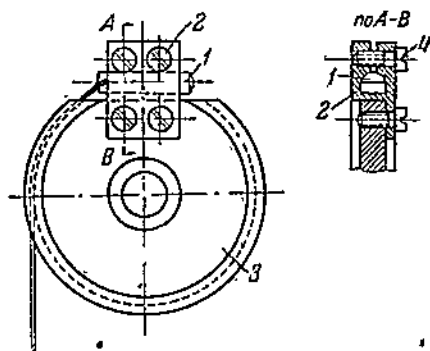


Рис. 354.

системы переменного увеличения в перископах, открывание удаленных крышек (заслонок) в приборах, фотоспуск и т. п. (рис. 357—362).¹

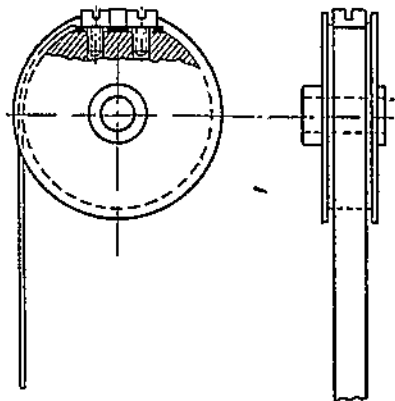


Рис. 355.

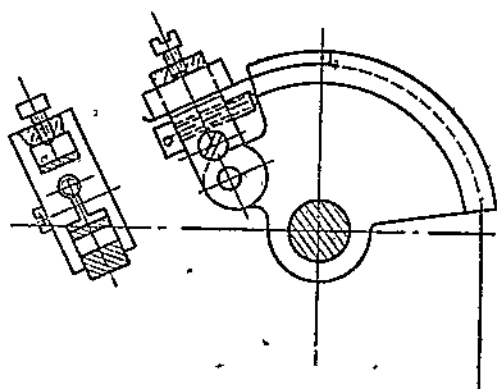


Рис. 356.

Табл. 62 дает характеристику канатов завода Красный Гвоздильщик.

¹ На рис. 357: 1 — накопечник; 2 — боек; 3 — проволоочная броня; 4 — наружная хлопчатобумажная оплетка; 5 — втулка; 6 — трос (7 жил по 0,2 мм); 7 — оправа пружины; 8 — пружина; 9 — упор пружины; 10 — стержень нажима; 11 — упор; 12 — дно упора; 13 — нажимная кнопка; 14 — дно нажимной кнопки.

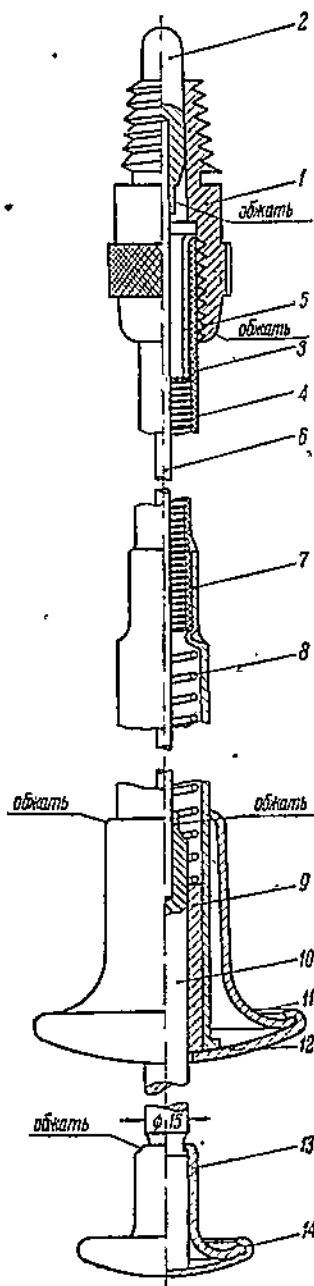


Рис. 357.

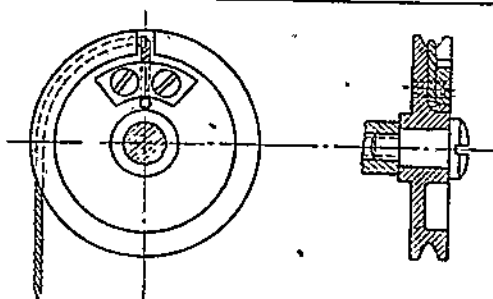


Рис. 358.

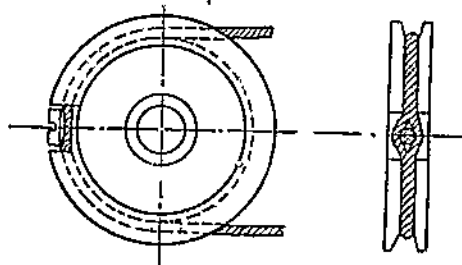


Рис. 359.

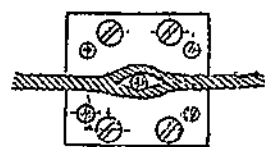
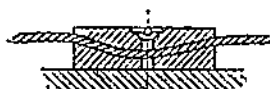


Рис. 360.

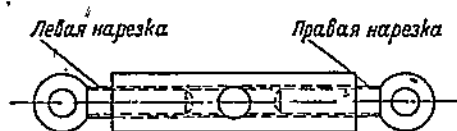


Рис. 361.

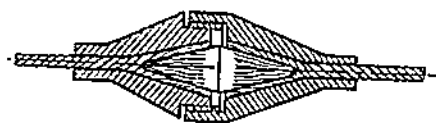


Рис. 362.

Таблица 62

Канаты авиационные завода Красный Гвоздильщик

№ по каталогу	Диаметр мм		Вес 1 пог. м кг	Площадь живого сечения проволок каната мм²	Разрывающее усилие каната (не менее) кг	Наименьший радиус изгиба мм	Поперечное сечение каната
	Канат	Проволока					
а) Жесткие							
7 проволок							
60101	0,75	0,23—0,26	0,0035	0,38	50	10—12	
02	1,00	0,32—0,35	0,006	0,61	90	13—15	
03	1,25	0,39—0,42	0,009	0,90	130	16—18	
04	1,50	0,47—0,51	0,012	1,32	190	19—21	
60105	1,75	0,56—0,61	0,017	1,88	270	22—25	
19 проволок							
60106	2,00	0,39—0,42	0,023	2,44	350	15—17	
07	2,25	0,42—0,46	0,027	2,88	415	17—19	
08	2,50	0,47—0,51	0,033	3,58	515	19—20	
09	2,75	0,51—0,56	0,040	4,25	610	20—21	
60110	3,00	0,56—0,61	0,048	5,10	730	21—23	
7 прядей по 7 проволок							
60201	2,00	0,21—0,23	0,017	1,85	265	7—8	
02	2,25	0,23—0,26	0,022	2,80	380	8—9	
03	2,50	0,26—0,29	0,027	2,90	415	9—10	
04	2,75	0,29—0,32	0,033	3,58	515	10—11	
05	3,00	0,32—0,35	0,040	4,30	615	10—12	
б) Мягкие							
6 прядей по 7 проволок и 1 органическая сердцевина							
60215	1,8	0,19—0,21	0,013	1,32	190	6—7	
16	2,0	0,21—0,23	0,016	1,60	230	7—8	
60217	2,5	0,26—0,29	0,025	2,50	360	8—10	

Эти канаты изготавливаются исключительно из оцинкованной электрическим или горячим способом стальной проволоки с временным сопротивлением разрыву не менее 160 кг/мм².

Способы закрепления канатов даны на рис. 358—360.

На рис. 361 изображена стяжка (тандер) для натяга троса. На рис. 362 дана муфта для соединения концов троса.

4. Цепная передача

Эту передачу можно также назвать зубчатой передачей с промежуточным гибким телом (цепью). Гибкое тело (цепь) в данном случае можно рассматривать как шарнирную бесконечную зубчатую рейку. Поэтому принципы конструирования цепной передачи до известной степени те же, что и в случае реечного

зацепления. Зацепление цепных колес следует отнести к зацеплениям цевочного типа.

Рис. 363 дает схему зацепления цепного колеса. Здесь r — радиус начальной окружности цепного колеса; t — шаг колеса или цепи; d — диаметр валика цепи.

Если предположить, что шаг цепи в точности совпадает с шагом колеса, то точка B ролика при набегании и сбегании

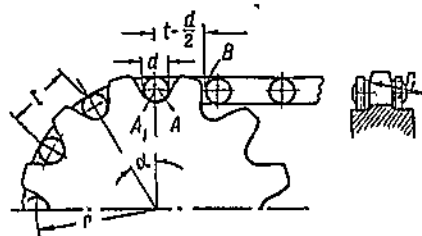


Рис. 363.

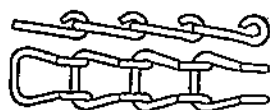


Рис. 364.

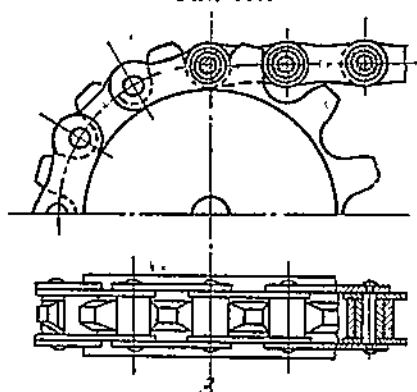


Рис. 365.

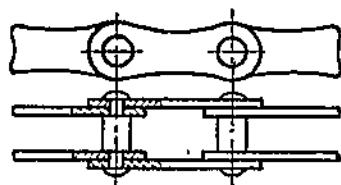


Рис. 366.

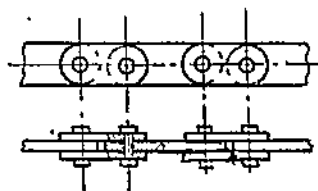


Рис. 367.

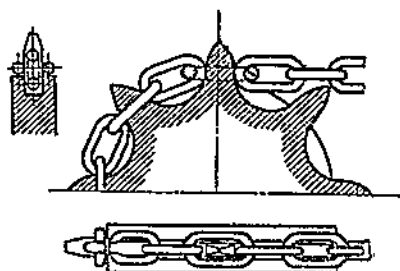


Рис. 368.

с колеса должна описывать дугу радиуса $t - \frac{d}{2}$ около центра ролика A . Учитывая износ и вытяжку звеньев цепи, целесообразно профиль зуба очерчивать по дуге из центра A_1 .

На рис. 364 дана так называемая *крючковая цепь*, звенья которой сделаны из проволоки. Такая цепь может передавать очень небольшое усилие.

Когда цепь должна иметь точный шаг или передавать большое усилие, применяют *шарнирную цепь* (Галля), которая может

быть *роликовой* или *блочной* (рис. 365). Звенья такой цепи делаются из стали. Ролики закаливаются и шлифуются. Простая (штифтовая) шарнирная цепь изображена на рис. 366.

На рис. 367 изображена *банкаброшная* цепь. Эта цепь обладает небольшой шириной и некоторой гибкостью (в плоскости чертежа).

Цепочка из колец представлена на рис. 368. Концы ее звеньев могут спаиваться, свариваться или оставаться свободными. В последнем случае цепочка может выдержать очень незначительное усилие.

Глава XII

ОТСЧЕТНЫЕ БАРАБАНЫ И ШКАЛЫ

1. Общие требования

Почти все оптико-механические приборы, являющиеся, по существу, измерительными приборами, имеют отсчетные механизмы.

Общие соображения о погрешностях при отсчете по шкалам даны в гл. II первой части.

Основными деталями отсчетных механизмов являются отсчетные лимбы, барабаны, линейки и индексы (указатели).

Лимбами обычно называют дисковые шкалы, у которых деления нанесены на торцевой поверхности. Часто эту поверхность обрабатывают под конус с углом при вершине не менее 120° . Это дает большие удобства для наблюдения сбоку.

Барабаном называют деталь, имеющую вид цилиндра, у которой деления нанесены на цилиндрической поверхности.

Зачастую, однако, эти понятия смешивают.

Материал деталей (металлических), на которых наносятся деления, должен легко обрабатываться резанием. Штрих должен получаться чистый, с ровными краями.

Если материал подвержен коррозии, то деталь должна обязательно получить поверхностную отделку, предохраняющую от коррозии. Отделка должна увеличивать контрастность штрихов.

Не следует делать поверхность детали полированной (блестящей).

Конструкция отсчетных механизмов оптико-механических приборов должна удовлетворять следующим условиям.

1. Конфигурация механизма должна обеспечивать максимальное удобство пользования им (удобное расположение, удобство чтения отсчетов, надлежащий диаметр рукоятки в зависимости от крутящего момента и т. п.).

2. Должна быть предусмотрена возможность юстировки нулевого положения шкал и удобного закрепления их в отъюстированном положении.

3. Конструкция должна предусматривать возможность уничтожения (уменьшения) мертвого хода.

4. Во избежание параллакса совмещаемые края штрихов шкалы и индекса должны лежать, по возможности, в одной плоскости.

5. Толщина штрихов должна выдерживаться постоянной. Толщины штрихов шкалы и нониуса (индекса) должны быть одинаковыми.

2. Металлические отсчетные барабаны и лимбы

1. Способы нанесения делений:

а) наружные шкалы приборов, эксплуатируемых на открытом воздухе: 1) нарезание стальным резцом, 2) травление;

б) внутренние шкалы и шкалы лабораторно-измерительных приборов: 1) нарезание стальным и алмазным резцом, 2) травление.

Нанесение делений производится на специальных линейных и круговых делительных машинах, снабженных коррекционными приспособлениями (см. гл. VIII), вносящими поправку на ошибки шага ходового винта (червяка) и изменение температуры помещения. Гарантируемая точность лабораторных линейных и круговых делительных машин швейцарской фирмы SIP при толщине деления от 0,05 до 0,15 мм (тонкие штрихи) — 0,002 мм и 10" (особо точные круговые делительные машины — до 1").

Линейные и круговые делительные машины для мастерских (автоматы) при толщине делений от 0,1 до 0,2 мм (средние штрихи) наносят деления с точностью 0,005—0,01 мм и 15—30".¹ Максимальная длина штриха — около 26 мм. Максимальный диаметр круговых шкал — 600 мм. Производительность делительных автоматов в зависимости от материала шкалы, ширины, глубины и длины штриха — 50—200 делений/мин.

Цифры гравировются на специальных гравировальных станках по трафаретам.

2. Наружная отделка шкал. Деления и цифры заполняются краской либо заливаются сплавом Вуда. Свободная поверхность отсчетных барабанов окрашивается, чернится либо матово никелируется (кроме шкал, нанесенных на серебре и нейзильбере). Иногда применяют матовое серебрение или матовое хромирование.

Технология изготовления шкал на стекле подробно описана в гл. I.

3. Нанесение делений гравированием алмазным резцом применяется главным образом при изготовлении сеток оптических приборов (см. сетки), дифракционных решеток и в некоторых специальных случаях. Наименьшая толщина штриха при этом способе — около 0,005 мм.

3. Кривые на металле

Изготовление такого рода кривых резанием сопряжено с большими производственными трудностями и обходится весьма дорого, так как требует предварительного изготовления копира.

¹ Фирма Leilman & Polter на своих круговых делительных автоматах гарантирует 1".

Поэтому, несмотря на то, что изготовленные таким образом кривые являются весьма прочными, применения этого способа следует по возможности избегать.

Наиболее рациональным способом является травление контактного отпечатка с соответствующего негатива.

4. Примерные конструкции отсчетных механизмов.

Рис. 369: типовой отсчетный барабан: 1—отсчетный барабан; 2—рукоятка с накаткой; 3—индекс; 4—шайба; 5—установочный штифт; 6—гайка; 7—ось червяка. Отпуская гайку 6, можно производить установку барабана 1 в нулевое положение.

Рис. 370: отсчетный барабан окулярного микрометра. 1—рукоятка со шкалой тонкого перемещения; 2—цилиндрическая шкала грубого отсчета; 3—микрометрический винт; 4—кониче-

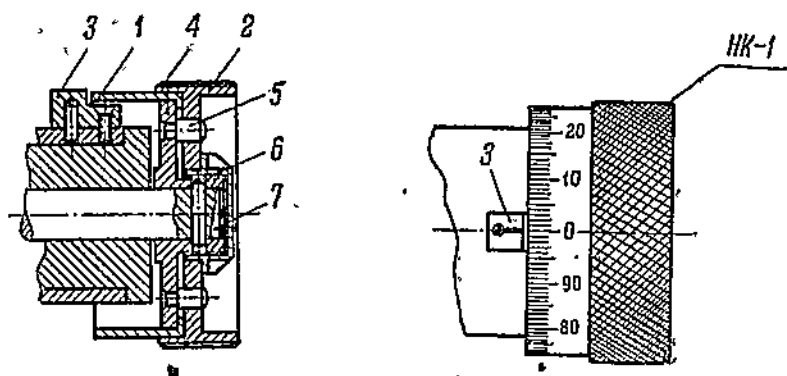


Рис. 369.

ская разрезная гайка; 5—гайка, служащая для затягивания конической гайки 4 с целью уничтожения мертвого хода; 6—подшипник конической гайки; 7—шайба.

Рис. 371: отсчетная рукоятка универсального микроскопа. 1—микрометрический винт; 2—штулка микрометрического винта (коническая часть штулки нарезана, имеет 3 радиальных разреза и может быть зажата гайкой 3); 4—шкала грубого перемещения (в миллиметрах); 5—рукоятка; 6—гайка; 7—барабан. Цена деления — $\frac{1}{100}$ деления шкалы 4.

Рис. 372: отсчетный барабан механизма тонкого движения тубуса микроскопа. 1—рукоятка с накаткой; 2—винт; 3—отсчетный барабан; 4—гайка; 5—ось трибки; 6—штулка; 7—подшипник (на нем нанесен индекс); 8—пружинные шайбы; 9—винт, крепящий подшипник.

Рис. 373: дистанционный барабан дальномерного приспособления с логарифмическими шкалами. 1—ось; 2—рукоятка; 3—кольцо шкалы дистанций; 4—шкала размеров цели; 5—кольцо шкалы 4 с зубчатой шайбой 11; 6—штулка с зубчатой шайбой 10;

7—стакан с зубьями в торцевой части (дне); 8—шайба с зубьями аналогично детали 7; 9—пружина. При вращении рукоятки в положении, указанном на рисунке, вращаться будет шкала 4; при нажатии рукоятки зубчатая шайба 10 выйдет из зацепления с зубчатой шайбой 11, прижмет стакан 7 к зубьям детали 8 и остановит шкалу 4.

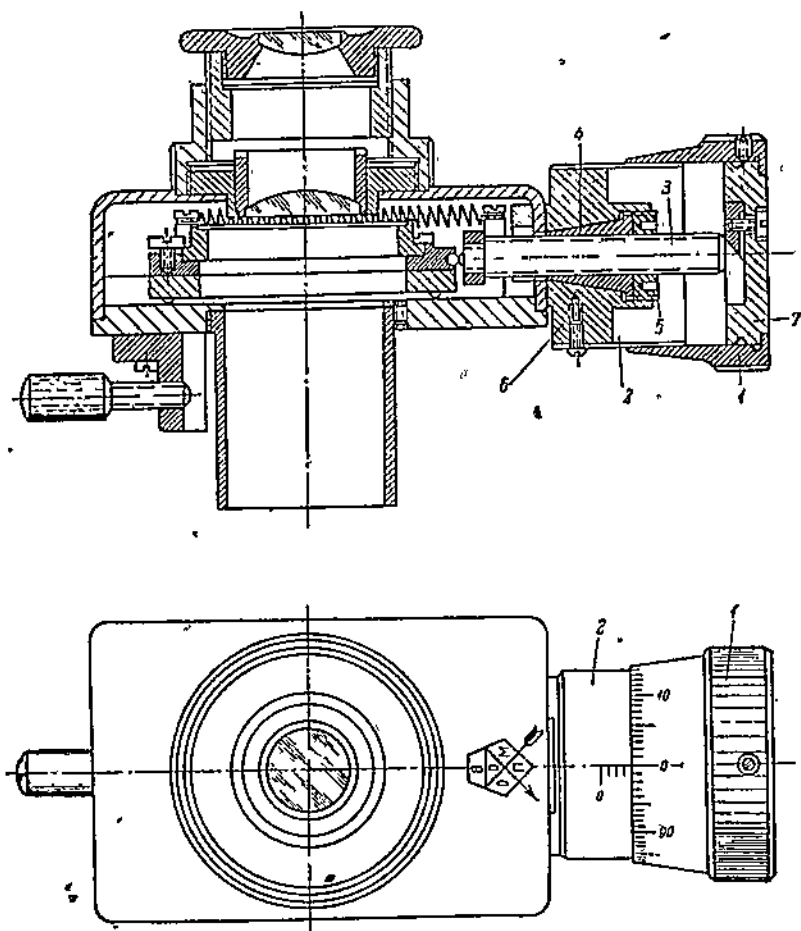


Рис. 370.

Рис. 374: отсчетная рукоятка уровня с шайбо-кулачковым ограничителем поворота (см. также ограничители вращения стр. 312). 1—ось рукоятки; 2—рукоятка с накаткой; 3—барабан со шкалой; 4—индекс; 5—гайка; 6—ведущая шайба ограничителя поворота рукоятки; 7—неподвижная (стопорная) шайба; 8—промежуточные (свободные) шайбы.

Рис. 375: отсчетный механизм с винтовым ограничителем движения. Устройство этого механизма вполне ясно из чертежа

(см. также ограничители вращения, стр. 310). Свободный конец вала 1 присоединяется к той детали (механизму) прибора, поворот которой должен быть отсчитан. Линейная шкала прибора (под

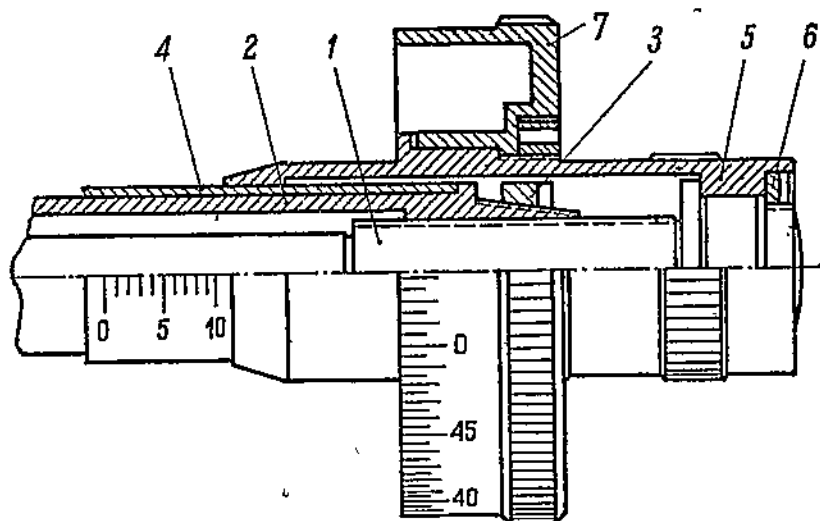


Рис. 371.

защитным стеклом) дает отсчет целых оборотов вала 1, а барабан 2 — доли оборота.

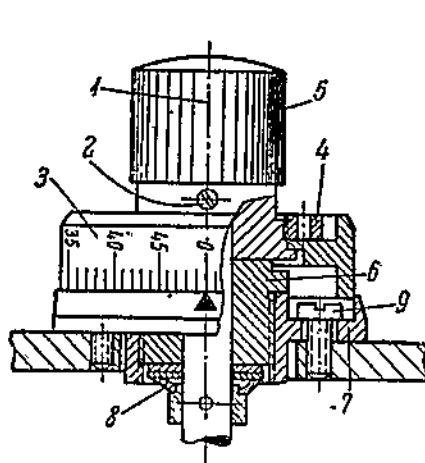


Рис. 372.

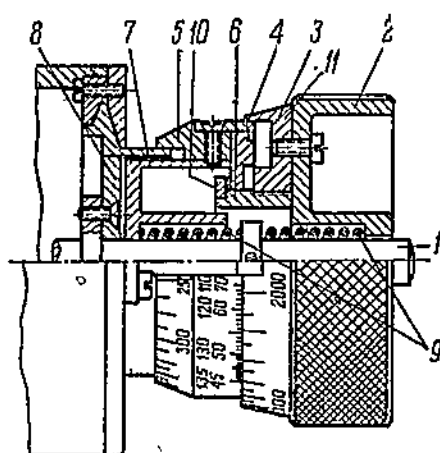


Рис. 373.

Рис. 376: лимб, применяемый главным образом в биноклях и стереотрубах (для отсчета расстояний между оптическими осями). Установка — по глазам.

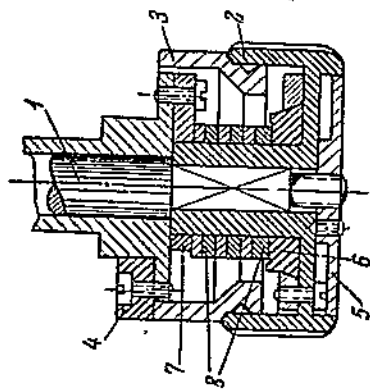


Рис. 374.

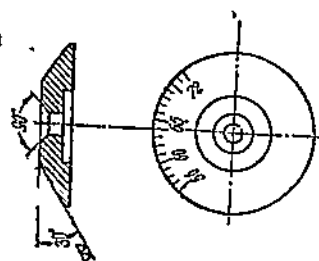
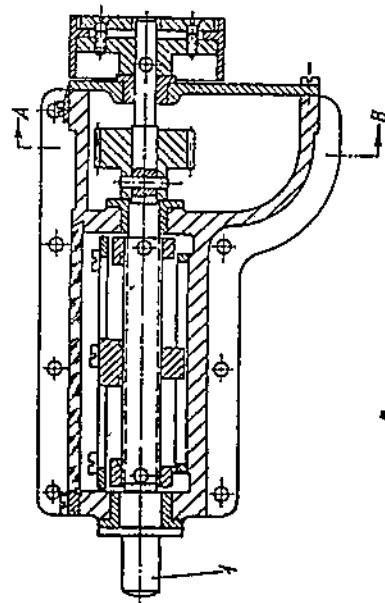


Рис. 376.



Разрез по А-В

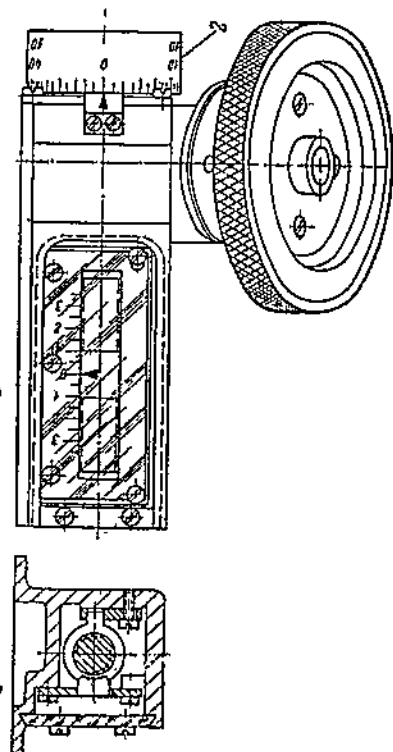
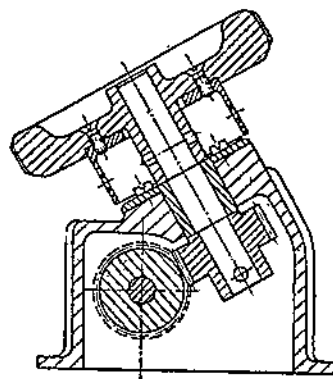


Рис. 375.



5. Спиральные шкалы

В тех случаях, когда круговая шкала должна быть разделена на очень большое число делений, вследствие чего для одного оборота шкалы деления получаются слишком мелкими, применяются спиральные (многооборотные) шкалы. Эти шкалы наносятся по винтовой линии детали, имеющей вид барабана.

В одной конструкции барабан имеет изнутри винтовую нарезку того же шага, что и винтовая линия делений (рис. 377) и посажен на винт. Таким образом при своем вращении он получает продольное перемещение, в результате которого винтовая линия делений остается совмещенной с неподвижным индексом.

В другой конструкции (рис. 378) барабан 1 имеет снаружи винтовую канавку, вдоль которой нанесены деления. Индекс 2,

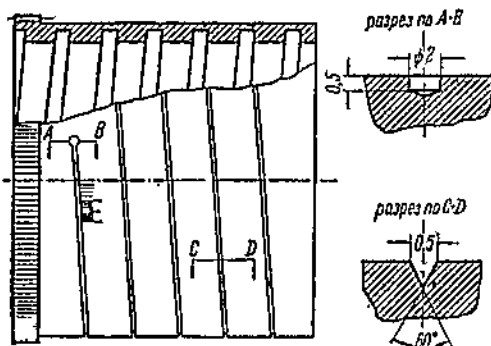


Рис. 377.

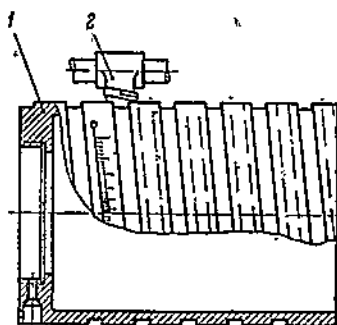


Рис. 378.

имеющий свободу перемещения параллельно образующей барабана, снабжен выступом, входящим в винтовую канавку барабана, благодаря чему при вращении барабана он получает продольное перемещение вдоль последнего.

Глава XIII

ОГРАНИЧИТЕЛИ ВРАЩЕНИЯ

Часто поворот отсчетных рукояток должен быть ограничен определенным числом оборотов (углом поворота). Для ограничения числа оборотов в оптико-механических приборах наиболее часто применяются ограничители вращения следующих типов: 1) винтовой, 2) шайбо-кулачковый, 3) зубчатый, 4) мальтийский крест.

1. Винтовой ограничитель вращения

Одним из наиболее простых типов ограничителей является винтовой ограничитель. Принцип его действия состоит в следующем. Представим себе винт M (рис. 379), на котором на расстоянии S_0 закреплены два упорные кольца a ; между этими

кольцами по винту может перемещаться гайка b , которая удерживается от вращения выступом, входящим в паз, расположенный параллельно оси винта. Таким образом при вращении винта гайка может перемещаться только поступательно, причем величина ее перемещения равна: $S = S_0 - S_1$, где S_1 — толщина гайки. Число оборотов винта, при котором гайка пройдет путь S , равно: $n = S/t$, где t — шаг винта.

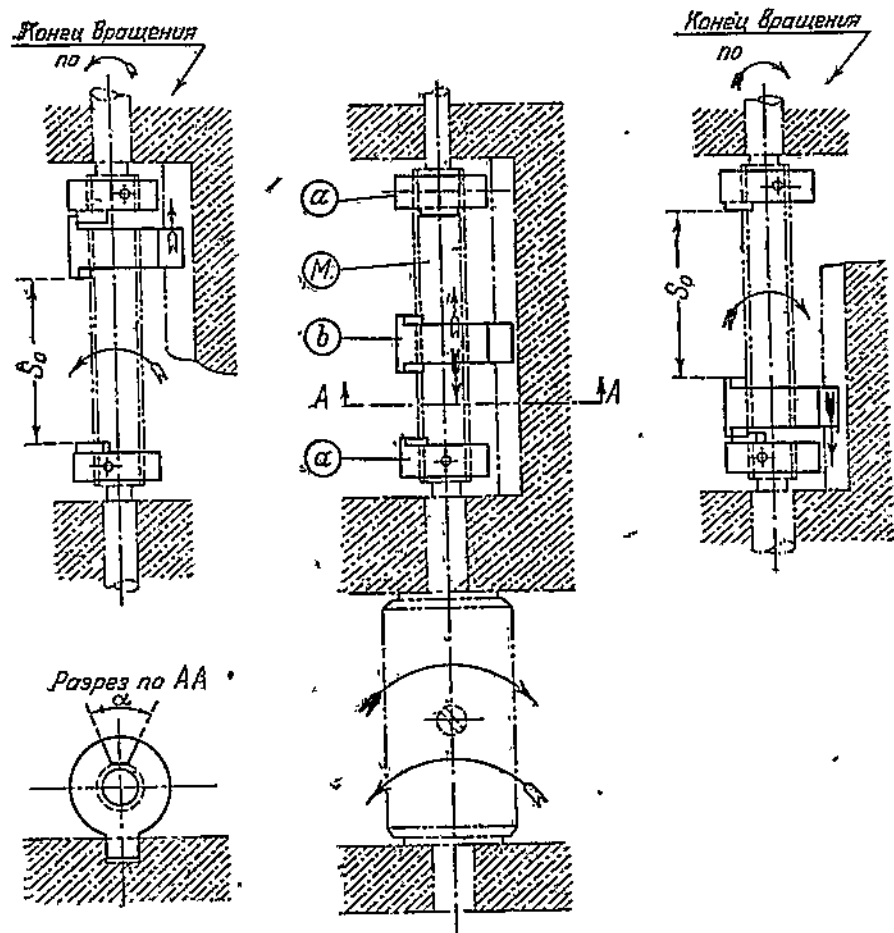


Рис. 379.

Однако, такая простейшая конструкция не совсем удобна по той причине, что при малом угле подъема винта будет происходить заклинивание гайки в ее крайних положениях. Чтобы избежать этого, на гайке b и упорных кольцах a делают клинообразные выступы, и таким образом касание гайки с упорами происходит не по торцевой поверхности, а по боковой поверхности выступов, чем исключается возможность заклинивания.

Точный расчет числа оборотов винта в этом случае получается несколько более сложным. Для того чтобы этот расчет получался в прежней зависимости, т. е. $n = S/t$, упорные кольца должны быть повернуты относительно друг друга на угол клинового выступа гайки α ; обычно α берется равным 45° . Высота h клинового выступа должна быть не менее $0,1-0,2 t$.

Отсчетный механизм с винтовым ограничителем показан на рис. 375 (гл. XII).

2. Шайбо-кулачковый ограничитель вращения

Неудобством винтового ограничителя является относительно значительная длина, особенно при малом числе оборотов. Для последнего случая бывает удобен шайбо-кулачковый ограничитель.

Шайбо-кулачковый ограничитель вращения состоит из ряда шайб с выступами (кулачками), посаженных на вращающийся валик M (рис. 380). Одна из шайб a (ведущая) закреплена на отсчетном валике, последняя шайба q закрепляется неподвижно в корпусе механизма. Все промежуточные шайбы сидят свободно на валу. При вращении валика ведущая шайба a захватывает своим выступом следующую, свободную шайбу b , та, в свою очередь, при своем повороте захватывает следующую шайбу ряда, и т. д. Валик и система шайб будут иметь возможность вращаться до тех пор, пока последняя свободная шайба не упрется своим выступом в выступ неподвижной шайбы q .

Общее количество k кулачковых шайб для заданного числа оборотов n находится по формуле:

$$k = \frac{360 - n}{360 - 2\alpha} + 1,$$

где α — угол (центральный) между боковыми гранями выступа шайб (кулачков) в градусах.

Если величина k , вычисленная по данной формуле при выбранном α , получается дробной, то ее округляют до ближайшего большего целого числа. Если необходимо точно выдерживать число оборотов, то появившийся излишек угла поворота уничтожают

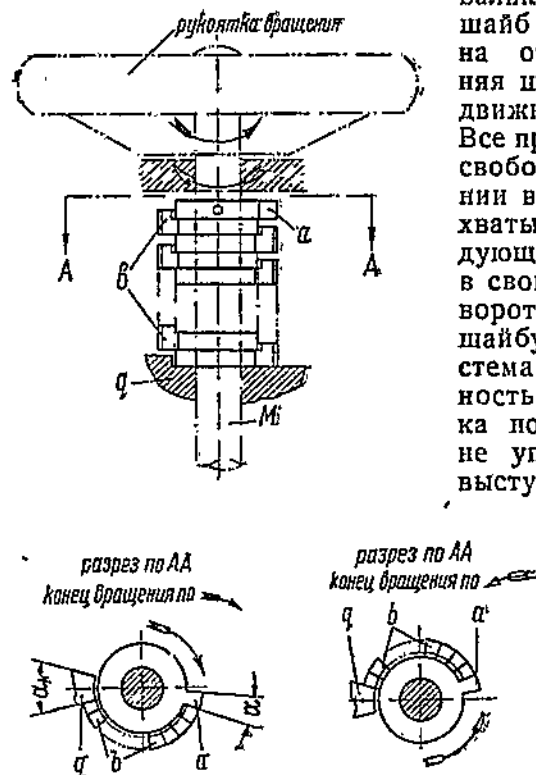


Рис. 380.

увеличением угла α_k кулачка стопорной или ведущей шайбы. Угол α нормализован и равен 15° .

Угол α_k (в градусах) определяется в последнем случае по формуле:

$$\alpha_k = (360 - 2\alpha)(k - 2) - 360(n - 1) - \alpha.$$

Число ведомых шайб b равно $k - 2$.

Пример. Дано $n = 8$ (точно); $\alpha = 15^\circ$. Тогда:

$$k = \frac{360 \cdot 8}{360 - 30} + 1 = 9,7.$$

Принимаем $k = 10$, тогда:

$$\alpha_k = (360 - 30)(10 - 2) - 360(8 - 1) - 15 = 105^\circ.$$

На рис. 381 изображены кулачковые шайбы ограничителя по нормам ВООМПа. В табл. 63 даны нормальные размеры шайбы.

Таблица 63

Нормальные размеры кулачковых шайб

Размеры в мм					
d доп. A_4	D доп. C_5	r	H	h	α
8	12	7	2	1	15°
10	15	8	2	1	15°
12	18	10	2	1	15°
14	20	11	3	1,5	15°

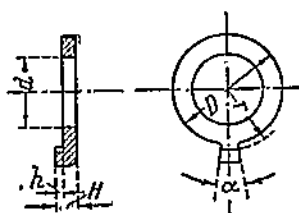


Рис. 381.

3. Зубчатый ограничитель вращения

Зубчатый ограничитель по идее весьма остроумен: он позволяет при весьма малых габаритах и количестве деталей получить большое число оборотов.

Этот ограничитель состоит из двух зубчатых колес, из которых одно закреплено на валу M , а другое, находящееся в зацеплении с первым, посажено свободно на неподвижную ось (рис. 382). У одной из зубчаток один зуб удлинен. В одной плоскости с этой удлиненной частью зуба на другой зубчатке против впадины между зубьями запрессовывается упорный штифт K . Валик M вращается до тех пор, пока стопорный зуб e шестерни E не встретит упорного штифта K .

При расчете зубчатого ограничителя¹ вращения задаются: 1) числом оборотов n валика M , 2) числом зубьев Z_1 шестерни E . Требуется найти наименьшее число зубьев Z_2 стопорной шестерни S , при котором получится остановка шестерни E через заданное число оборотов n .

¹ Расчет зубчатого ограничителя произведен впервые ниж. И. М. Триус-Александровым и приводится в нормах КИБ ВООМПа.

Такое число должно удовлетворять следующим условиям:
 1) $Z_1 \neq Z_s$; 2) Z_1/Z_s — дробь несократимая; 3) $Z_s \geq n$.

При $Z_s = n$ и удовлетворяющем двум другим условиям наи-

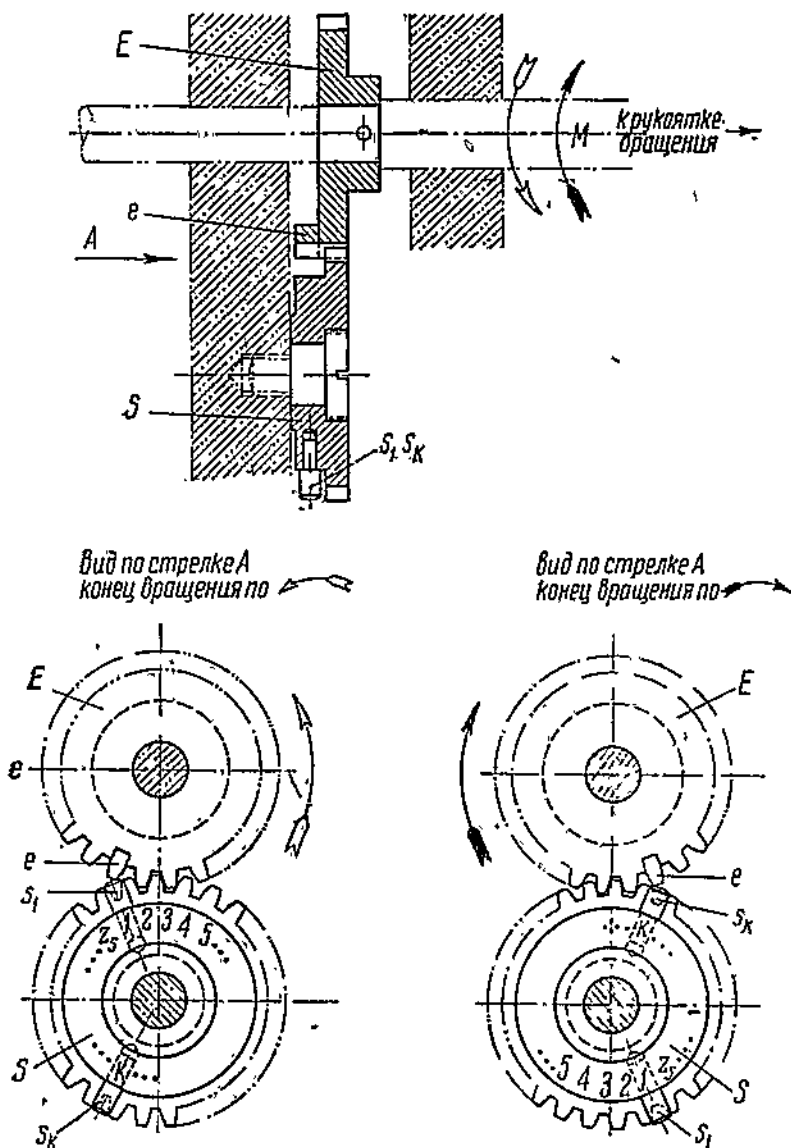


Рис. 382.

меньшее количество зубьев Z_s шестерни S получается при одной стопорной впадине (при посадке одного штифта; см. числовой пример 1). Поэтому при расчете ограничителя сперва задаются численным значением $Z_s = n$ и, если оно удовлетворяет

двум другим условиям, выполняют ограничитель с одной стопорной впадиной.

Если значение $Z_s = n$ противоречит условиям 1-му и 2-му, то численные значения для Z_s подбирают минимальными, но больше n (например, $Z_s = n + 1$) и выполняют ограничитель с двумя стопорными впадинами s_1 и s_k .

Вращение шестерни E по направлению часовой стрелки в этом случае начинается от момента положения зуба e у стопорной впадины № 1 и оканчивается при встрече его со стопорной впадиной с порядковым номером k .

Число k определяют из выражения:

$$k = Z_1 n - Z_s m + 1,$$

где m — число целых оборотов, которое сделает шестерня S при заданных n оборотах шестерни E (см. числовой пример 2).

Численно m равно целой части дроби $\frac{Z_1 n + 1}{Z_s}$, если дробь неправильная, и на единицу меньше, если дробь обращается в целое число. В последнем случае $k = Z_s$ (см. числовой пример 3).

При расчете зубчатого ограничителя необходимо иметь в виду, что валик M с шестерней E не сделает точно целого числа n заданных оборотов и без той части оборота, которая соответствует центральному углу φ .

Примеры расчета зубчатых ограничителей. Пример 1. Даны: число оборотов валика M , число зубьев ведущей шестерни E ; $n = 13$. Требуется найти число зубьев Z_s стопорной шестерни S .

Выбирают численное значение для $Z_s = n = 13$, удовлетворяющее всем условиям, а именно: $13 \neq 14$; $\frac{13}{14}$ — дробь несократимая. Выполняют ограничитель с одной стопорной впадиной (s_1).

Пример 2. Дано: $n = 20$; $Z_1 = 10$. Требуется найти Z_s и k .

Численное значение $Z_s = n = 20$ не удовлетворяет условию несократимости дроби, так как $Z_s / Z_1 = \frac{20}{10} = 2$. Поэтому выполняют ограничитель с двумя стопорными впадинами (s_1 и s_k).

Минимальное численное значение для Z_s , удовлетворяющее всем условиям, будет $n + 1$, т. е. $Z_s = 21$. Определяя место второй стопорной впадины (s_k), находят:

$$k = 10 \cdot 20 - 21 \quad m + 1 = 201 - 21 \quad m = 21 \quad (9 - m) + 12.$$

При $m = 9$, $k = 12$.

Пример 3. Дано: $n = 10$; $Z = 12$. Требуется найти Z_s и k . Наименьшее численное значение для Z_s , удовлетворяющее всем условиям, равно $n + 1 = 11$, следовательно, $Z_s = 11$.

$$k = 12 \cdot 10 - 11 \quad m + 1 = 121 - 11 \quad m = 11 \quad (11 - m).$$

В данном случае для m необходимо взять значение на единицу меньше, т. е. $m = 10$; тогда $k = 11$.

4. Мальтийский крест

В качестве ограничителя вращения может применяться мальтийский крест.

Неудобство мальтийского креста, показанного на рис. 383, состоит в том, что допускаемое им число оборотов всегда будет иметь вид неправильной дроби:

$$\frac{m \cdot 360 \pm \varphi}{360},$$

где m — число рабочих лопастей мальтийского креста, а φ — угол поворота пальца до касания с упором q .

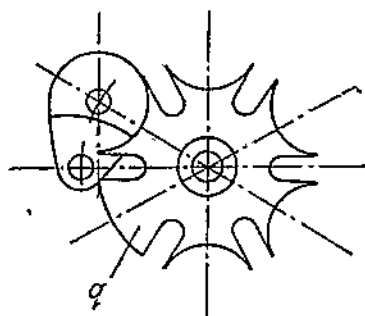


Рис. 383.

Глава XIV

ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРООСВЕТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

1. Общие требования

Значительная часть оптических приборов требует искусственного освещения сеток, шкал, объектов. Требования, которым должны отвечать электроосветительные устройства, вытекают из общих требований, предъявляемых к оптическим при-

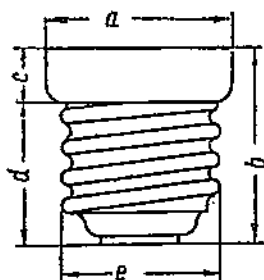


Рис. 384.

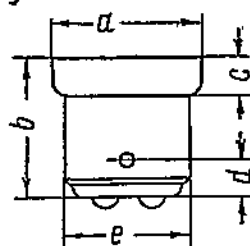


Рис. 385.

борам: минимальный вес и габарит, надежность в работе, удобство обслуживания; для приборов, подвергаемых тряске, — нечувствительность к последней, и т. п.

Для целей освещения сеток и шкал обычно применяются лампы напряжением 2,5—12 В. Для передвижных киноустановок и микропроекции — лампы 6—12 В. В стационарных установках применяются и лампы накаливания напряжением 110—220 В и дуговые лампы. Специфическим требованием, предъявляемым к ряду ламп (особенно это относится к проекционным лампам), является возможно меньшая площадь светящегося тела (например, точечные

лампы). Весьма важна в проекционных устройствах возможность фокусировки светящегося тела.

Ниже рассматриваются следующие детали электрооборудования: 1) патроны, 2) реостаты, 3) контактные устройства.

Для включения ламп применяются два основных типа цоколей (табл. 64):

1) *винтовой цоколь* Эдиссона (рис. 384),

2) *штыковой цоколь* Свана (рис. 385).

Цоколь Эдиссона применяется преимущественно в стационарных установках (за исключением лампочек Лилипут с этим цоколем, применяемых в подвижных установках).

Таблица 64

Цоколи

№ по пор.	Тип цоколя	№ рисунка	Завод-ский №	Размеры мм				
				a	b	c	d	e
1	Эдиссон нормальный	—	0	27	26	0	27	26
2		384	1	27	28	5	23	27
3		384	2	28	30	7	23	27
4		384	18	38	44	16	23	27
5	Эдиссон Миньон	384	9	22	27	9	18	14
6		384	12	18	27	10	15	14
7		384	—	9,5	13	3,5	9,5	9,5
8		384	20	47	63	18	35	39
9	Сван нормальный	385	6	26,5	25	9	6	22
10	Миньон 1	385	7	20	17	4	5—6	15
11 ²	" 2	—	—	15	15—17	—	5—6	15

Пример обозначения цоколей Эдиссон-Лилипут и Сван-Миньон двухконтактного: „Цоколь E-10“; „Цоколь S-15-2“ (по каталогу ВЭТ).

2. Патроны

1. Общие требования. 1. Для предотвращения перегрева у ламп мощностью выше 15 W должна быть обеспечена достаточная вентиляция. В приборах, эксплуатируемых на открытом воздухе, должна быть обеспечена защита лампы от попадания влаги.

2. Патрон должен обеспечивать надежный электрический контакт, нечувствительный к сотрясениям, а также удобство и надежность присоединения питающих проводов.

3. Патрон должен обеспечивать удобную замену перегоревшей лампочки.

4. В некоторых случаях (микро- и кинопроекция и др.) в конструкции патрона должна быть предусмотрена точная фокусировка лампы.

¹ Цоколь такой же, как на рис. 384, но без ободка.

² Цоколь такой же, как на рис. 385, но без ободка; применяется преимущественно.

2. Основные типы. Ниже приводятся основные типы патронов (фонарей), применяемых в оптико-механических приборах.

На рис. 386 показан патрон для малого Свана (S-15), выпускаемый ВЭТ.

На рис. 387 показан фонарь осветительной системы звуковой приставки к кинопроектору ТОМП-4. 1 — корпус фонаря; 2 — центрированная крышка, снабженная байонетным затвором 6 и зажимным устройством 7; 3 — шаровое кольцо; 4 — патрон S-15; 5 — проекционная лампа 12 V, 30—50 W. Такое устройство делает возможным подвижку лампы в любом направлении,

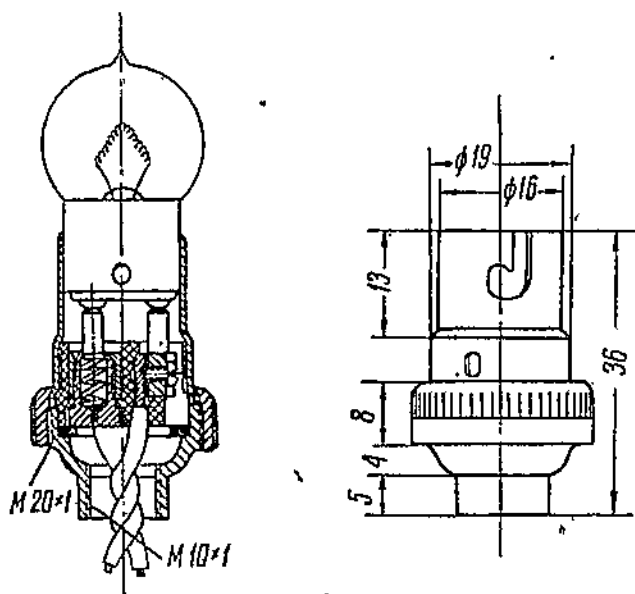
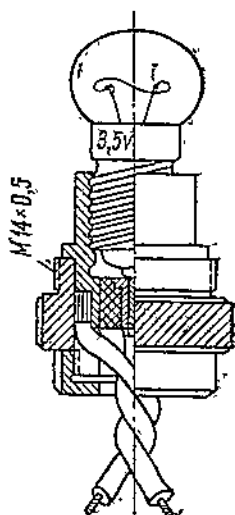
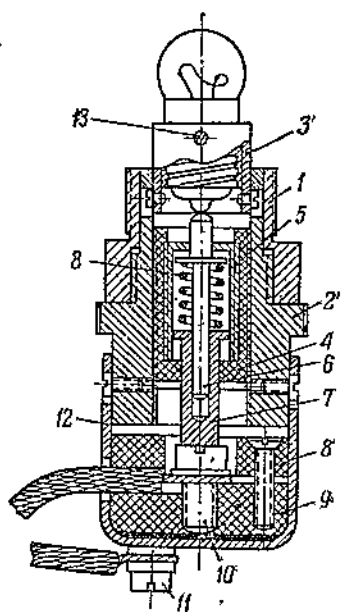
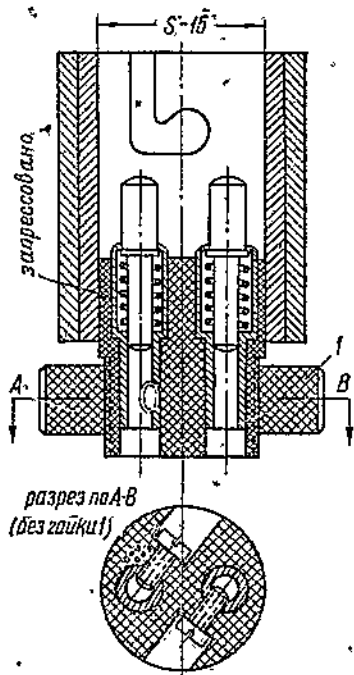
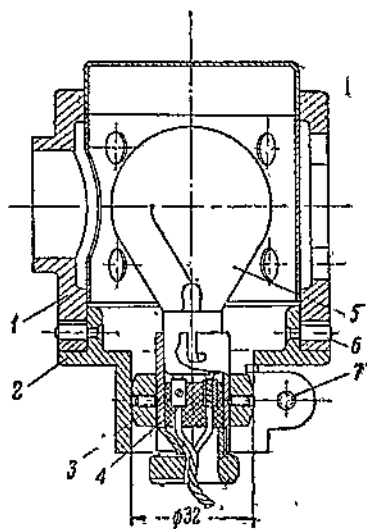


Рис. 386.

Рис. 388 изображает патрон для ламп с цоколем S-15. При применении в полевых приборах он должен быть снабжен герметическим кожухом.

Рис. 389 изображает патрон, применяемый в ряде оптических приборов для освещения сеток. 1 — переходная втулка; 2 — корпус патрона с байонетными вырезами; 3 — втулка лампочки с резьбой E-10 и ввернутыми винтами, головки которых входят в байонетные вырезы в корпусе; 4 — изоляционная втулка; 5 — втулка контактов 6 и 7; 8 — пружина контактов, поджимающая одновременно оба контакта: верхний (6) — к лампочке и нижний (7) к винту, поджимающему проводник. Оплетка одного проводника зажимается между зажимными шайбами из фибры 9. Сам проводник зажимается контактным винтом 10. Второй провод зажимается на колпачке 12 помощью винта 11, крепящего одновременно шайбы 8 и 9 к колпаку. Колпачок 12 снабжен байонетным затвором. Лампочка стопорится винтом 13. Несмо-



тря на некоторую сложность, этот патрон является весьма удобным и надежным в работе.

Патрон по рис. 390 также применяется для освещения сеток в оптических приборах. По конструкции он значительно проще.

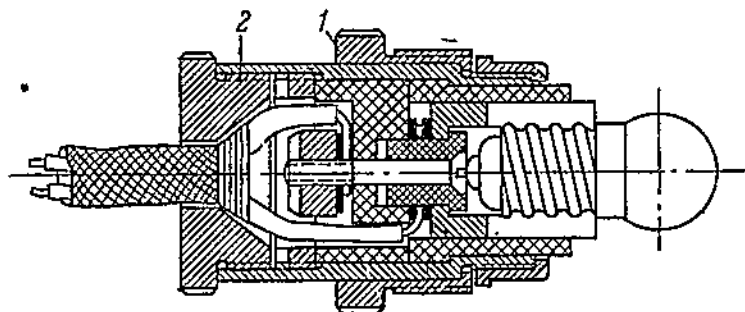


Рис. 391.

Существенным недостатком его является необходимость припайки проводников.

Хорошо сконструированный патрон показан на рис. 391.

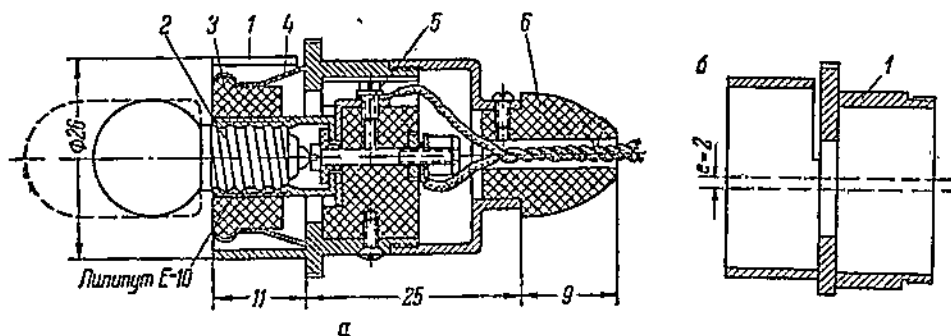


Рис. 392.

Он может быть рекомендован для применения в полевых приборах. Замена перегоревшей лампочки весьма удобна, так как при вывинчивании патрона из гнезда вращается только втулка 1. Гайка 2 служит для зажима оплетки проводов.

Рис. 392 а изображает патрон для стационарных приборов (например, лабораторных и т. п.). Если требуется юстировка лампы, то деталь 1 делается с эксцентриситетом ($e=2$), как показано на рис. 392 б. 2 — гильза патрона; 3 — изоляционное кольцо; 4 — упорное кольцо; 5 — винт и гайка для поджима проводов; 6 — изоляционный ниппель.

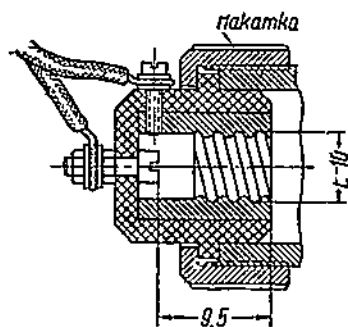


Рис. 393.

Другой весьма простой и достаточно надежный патрон для стационарных (лабораторных) приборов показан на рис. 393.

Рис. 394 изображает однополюсный (один провод замыкается на корпус), а рис. 395 — двухполюсный патроны, снабженные

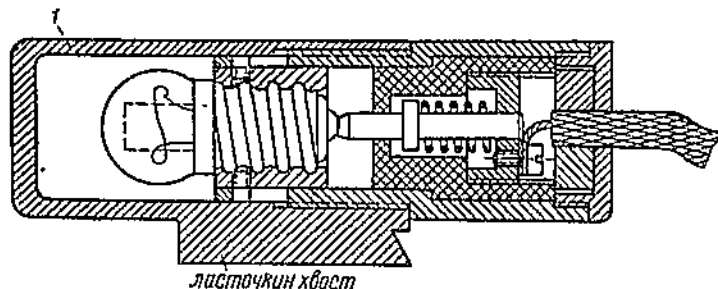


Рис. 394.

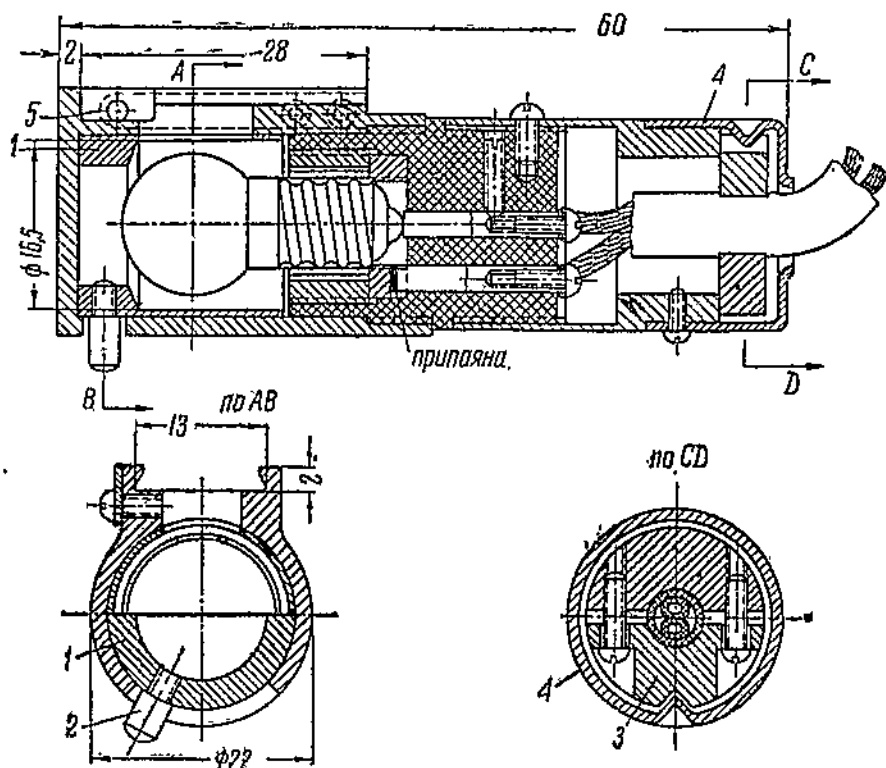


Рис. 395.

ласточкиным хвостом, при помощи которого патрон вставляется в соответствующее гнездо в приборе и стопорится.

Патрон, показанный на рис. 395, снабжен цилиндрической шпторкой 1, в которую ввернут штифт 2, проходящий в проре-

занный в корпусе патрона шлиц. В шторке прорезано отверстие, равное световой щели корпуса патрона. Вращая шторку с помощью штифта 2, можно регулировать величину световой щели. Оплетка провода зажимается между половинками шайбы 3. От скручивания провод предохраняется шлицом, имеющимся в одной из половинок шайбы 3, в который входит выступ колпачка 4; 5 — стопор.

На рис. 396 показана коробка патрона для коммутаторной лампочки. Лапки 1, поддерживающие лампочку, прикреплены

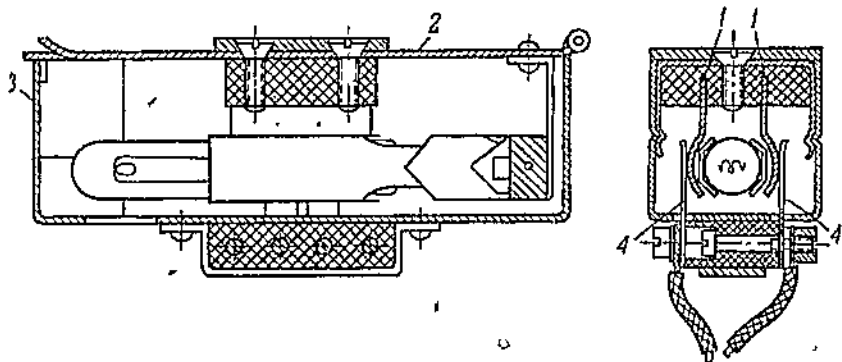


Рис. 396.

к крышке 2, шарнирно укрепленной на коробке 3, и соединяются с контактами 4. При открывании крышки происходит автоматическое размыкание тока.

3. Реостаты

Реостатом называется прибор, включаемый в цепь электрического тока для изменения (уменьшения) силы тока. Основной частью реостата является омическое сопротивление, величину которого необходимо изменять. В реостатах с металлическим сопротивлением (о которых только и будет идти речь) это сопротивление представляет собой ряд витков проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением: никелин — удельное сопротивление $\sim 0,44 \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$, манганин — удельное сопротивление $0,40 \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$, константан.

Реостаты, применяемые в оптико-механических приборах служат для плавного изменения силы тока в цепи питания ламп и тем самым для плавного изменения силы света. Изменение силы света необходимо при подсвечивании сеток и шкал, видимых в поле зрения прибора, при изменениях внешних условий освещения (освещенности наблюдаемых объектов и яркости фона).

Ниже мы приводим некоторые наиболее применяемые типы реостатов.

Реостат, изображенный на рис. 397 (изготавливается на заводе Геофизика в качестве нормального типа), достаточно прост, надежен и удобен в эксплуатации. Корпус 1 и головка 2 де-

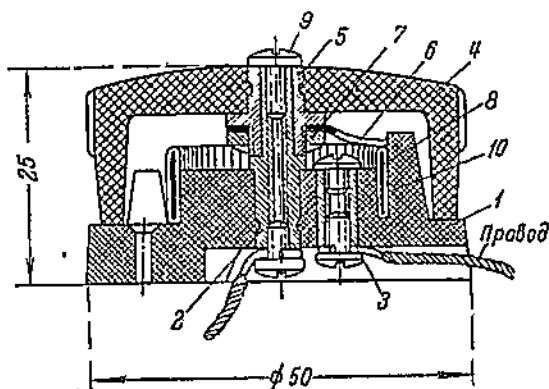


Рис. 397.

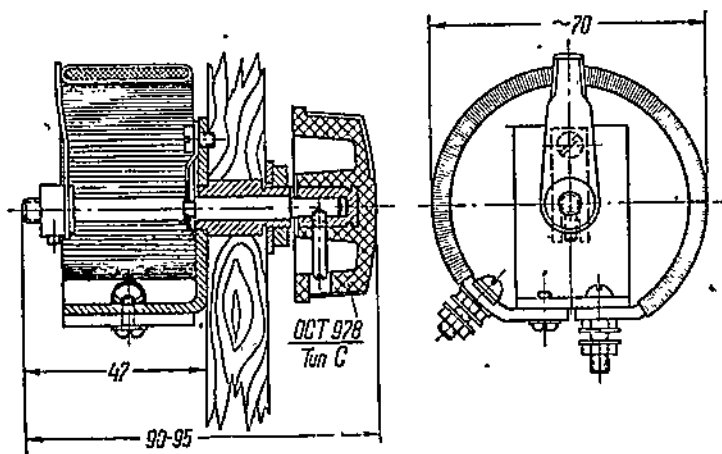


Рис. 398.

лаются из пластмассы. Все остальные детали изготавливаются на автоматах и штамповкой. Реостат состоит из следующих деталей: 1 — корпус; 2 — ось; 3 — втулка; 4 — головка реостата; 5 — втулка; 6 — ползун; 7 — гайка; 8 — каркас с обмоткой; 9 — винт; 10 — прокладка. Сопротивление реостата изменяется от 0 до 15 Ω .

На рис. 398 показан реостат с сопротивлением от 0 до 100 Ω , изготавливаемый на заводе им. Кулакова в Ленинграде. Обмотка — никелиновой проволокой.

Весьма компактен реостат, изображенный на рис. 399, с сопротивлением около 10 Ω .

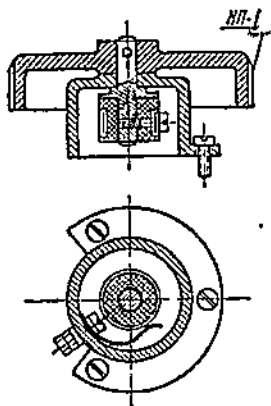


Рис. 399.

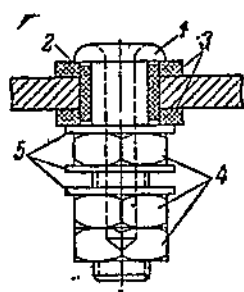


Рис. 400.

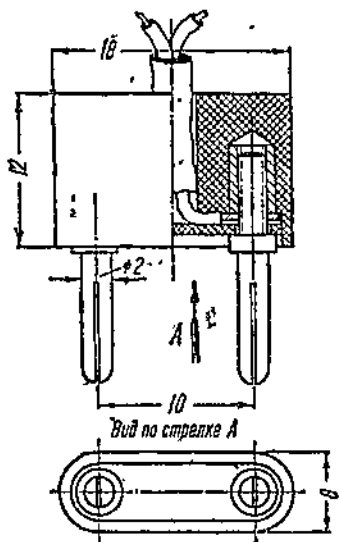


Рис. 401.

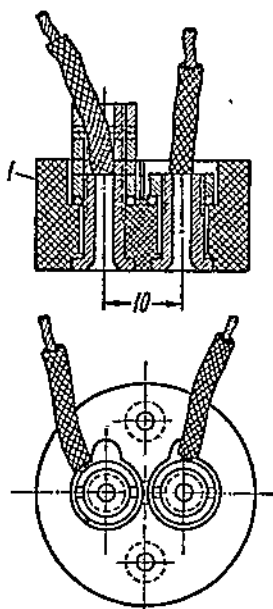


Рис. 402.

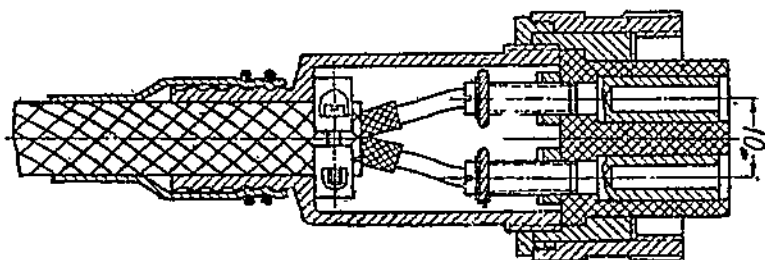


Рис. 403.

Контактные устройства

Приводим наиболее употребительные и характерные устройства.

Рис. 400 — штепсельное гнездо глухое.¹ Применяется, когда требуется не нарушить герметичности прибора при креплении непосредственно на стенке прибора.

Рис. 401 — нормальная штепсельная вилка завода Геофизика. Корпус вилки — карболит.

Рис. 402 — нормальная штепсельная розетка завода Геофизика. Корпус 1 — карболит.

Рис. 403 — штепсельная розетка, применяемая в дальномерах.



¹ 1 — гнездо глухое; 2 — изоляционная втулка; 3 — изоляционная шайба 32 × 7,5 × 16; 4 — гайка ЛМ7 — VI ш; 5 — шайба 11 × 7,5 × 14.

	Стр.
Предисловие	3
<i>Часть первая</i>	
Основы расчета и конструирования оптико-механических приборов	
Глава I. Оптико-механические приборы	5
Глава II. Понятие об ошибках приборов. Допуски в оптико-механическом приборостроении	17
Глава III. Методика проектирования и разработка рабочих чертежей приборов	29
Глава IV. Обзор материалов, применяемых в оптико-механическом приборостроении	34
<i>Часть вторая</i>	
Детали и механизмы оптико-механических приборов	
Глава I. Оптические детали	60
Глава II. Соединение оптических деталей с механическими	106
Глава III. Наглазники, налобники, диафрагмы и бленды	135
Глава IV. Уровни	146
Глава V. Конструирование литых деталей	154
Глава VI. Направляющие для прямолинейного и вращательного движения	165
Глава VII. Валки, муфты и шарниры	190
Глава VIII. Винтовые механизмы	211
Глава IX. Кулачковые и рычажные механизмы	215
Глава X. Зубчатые передачи	236
Глава XI. Передача гибкой связью	294
Глава XII. Отсчетные барабаны и шкалы	304
Глава XIII. Ограничители вращения	310
Глава XIV. Детали электроосветительного оборудования оптико-механических приборов	316