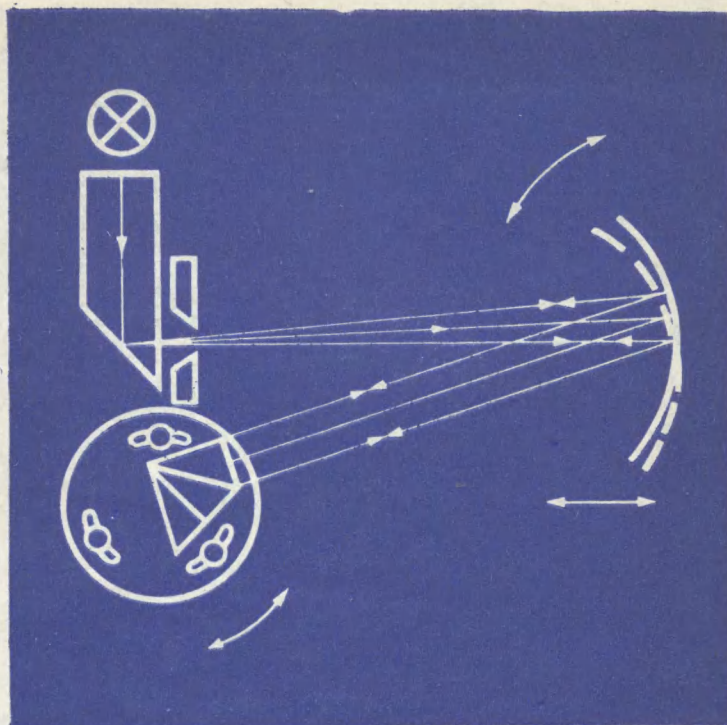


Б. С. ГРИШИН ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



БИБЛИОТЕКА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЯ



Б. С. ГРИШИН

ЮСТИРОВКА СЛОЖНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИБОРОВ



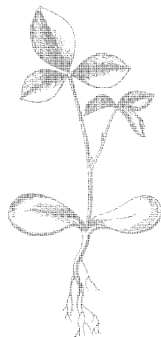
БИБЛИОТЕКА ПРИБОРОСТРОИТЕЛЯ



Б. С. ГРИШИН

ЮСТИРОВКА СЛОЖНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИБОРОВ

Москва «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1976



Scan AAW

6П5.8
Г85
УДК 681.4:53.084.4

Рецензент проф. д-р техн. наук *Г. В. ПОГАРЕВ*

Гришин Б. С.

Г85 Юстировка сложных оптических систем приборов. М., «Машиностроение», 1976.

205 с. с ил.

В книге рассмотрены основные вопросы теории и практики процессов юстировки оптических приборов со сложными оптическими системами; изложены теоретические основы юстировочных процессов геодезических, фотограмметрических приборов, камер фотоаппаратов и др.; описаны основные вопросы, связанные с процессами юстировки оптических систем зрительных труб с внутренней фокусировкой, микроскопов, фотоаппаратов, зеркально-линзовых систем зрительных труб и микроскопов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников и исследователей оптических приборов, работающих в НИИ и лабораториях заводов, связанных с созданием новых, а также ремонтом и юстировкой оптических приборов.

Г 31305-276 276-76
038(01)-76

6П5.8

© Издательство «Машиностроение» 1976 г.

В настоящее время отечественной оптико-механической промышленностью выпускаются разнообразные оптические приборы для использования в различных отраслях народного хозяйства. Большая номенклатура оптических приборов выпускается в качестве товаров народного потребления (фотоаппараты, киноаппараты, очки, бинокли и т. д.).

В производстве оптических приборов завершающими технологическими процессами являются их сборка и юстировка. Если описания конструкций и применения оптических приборов довольно широко рассмотрены в технической литературе, то вопросы сборки и юстировки оптических приборов представлены лишь небольшим числом монографий диссертаций и статей. Необходимо отметить, что некоторые вышедшие книги по сборке и юстировке (например: П. П. Артамонов «Юстировка оптических измерительных приборов», Оборонгиз, 1939 г. и другие) стали библиографической редкостью.

В последние годы появились книги по сборке и юстировке оптических приборов, содержащие как общие вопросы, связанные со сборкой и юстировкой оптических узлов и приборов, так и по отдельным группам оптических приборов.

Однако в этих книгах в большей части отражены вопросы установки отдельных деталей или юстировки отдельных узлов оптических систем.

Очень мало книг имеется по сборке и юстировке оптических приборов, которые могут быть рекомендованы как руководство по этим технологическим процессам, что осложняет изучение и освоение этапов юстировки при производстве оптических приборов.

В данной книге большое место уделено рассмотрению различных оптических систем и методов их юстировки. Поэтому вопросы отладки и регулировки механических узлов конструкций и поверки приборов в целом опущены, так как эти вопросы освещены в специальной литературе. Кроме того, описание юстировок оптических систем приборов и регулировок, а также проверок механических узлов конструкций приборов привело бы к очень большому объему книги. В книге рассмотрены общие принципы построения технологических процессов сборки; типовые работы, связанные с процессом сборки; теоретические основы юстировочных процессов некоторых оптических систем.

Поскольку юстировка оптических приборов с большим количеством оптических деталей требует помимо знаний конструкции прибо-

ра определенных практических навыков, а также знаний специальных приемов, то в книге приводятся методики юстировок оптических систем приборов практического характера.

В процесс юстировки оптических приборов органически входят как определение конструктивных элементов оптических систем, так и испытание оптических узлов, и оптических систем в целом. Поэтому в работе приводятся краткие сведения о контрольно-юстировочных приборах общего назначения, а также примеры испытания и исследования оптической системы зрительной трубы с внутренней фокусировкой.

Предполагается, что читатель располагает сведениями из прикладной оптики и технологии производства оптических приборов.

Все предложения и замечания по содержанию книги следует направлять по адресу: 107885, Москва Б-78, 1-й Басманный пер, 3, изд-во «Машиностроение».

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СБОРКИ И ЮСТИРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Согласно ГОСТ 2.101—68 изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Устанавливаются следующие виды изделий:

- а) детали;
- б) сборочные единицы;
- в) комплексы;
- г) комплекты.

Изделия, в зависимости от наличия в них составных частей, делят на:

- а) неспецифицированные (детали), не имеющие составных частей;
- б) специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты), состоящие из двух и более составных частей.

При этом составной частью может быть любое изделие.

Деталь представляет собой изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Сборочная единица является изделием, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и др.), например: автомобиль, станок, телефонный аппарат, микромодуль, редуктор, сварной корпус, маховичок из пластмассы с металлической арматурой.

Комплекс состоит из двух или более специфицированных изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Комплект состоит из двух или более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры, комплект упаковочной тары и т. п.

Таким образом, оптические приборы могут рассматриваться в одном случае как сборочные единицы, например: бинокль, панорама, оптический теодолит, а в другом случае как комплексы, например: аэрофотоаппараты, электронные микроскопы, светодально-

меры и, наконец, в качестве комплекта могут быть представлены: базисное оборудование, фотонаборные установки, фотоаппараты со сменными объективами и др.

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ И СБОРОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРОВ

Каждый прибор состоит из узлов и отдельных деталей. Узлом или «сборкой» называется сборочная единица, представляющая собой соединение некоторого числа деталей.

Узел, входящий непосредственно в изделие, называют группой. Узел, входящий непосредственно в группу, называют подгруппой 1-го порядка; узел, входящий непосредственно в подгруппу 1-го порядка — подгруппой 2-го порядка и т. д.

Подгруппы 1-го порядка и низших называются также подузлами. Каждая подгруппа любого порядка может состоять или из отдельных деталей, или из подгрупп низших порядков и деталей.

При сборке приборов, состоящих из значительного количества деталей, производится соединение сначала деталей в подгруппы, затем подгруппы в группы и, наконец, групп в изделие.

Приборы простой конструкции, состоящие из небольшого количества деталей (до 10—12), собираются непосредственно из деталей без предварительной сборки их в подгруппы и группы.

Различают конструктивные и сборочные элементы (узлы) приборов.

Конструктивные элементы прибора определяются функциональным назначением их в приборе.

Сборочные элементы прибора представляют собой узлы и подузлы, собираемые отдельно (параллельно) и независимо друг от друга.

Сборочные и конструктивные элементы прибора по составу входящих в них деталей могут существенно отличаться. В ряде случаев, однако, конструктивные и сборочные группы и подгруппы совпадают; тогда они называются конструктивно-сборочными элементами прибора. Для установления целесообразности порядка сборки и комплектования сложных приборов, состоящих из значительного числа деталей, рекомендуется составлять схемы сборочных элементов.

В качестве примера на рис. 1* показана схема сборочных элементов миниметра.

На этой схеме слева от наименования каждой детали указывается ее номер, а справа — количество данных деталей, входящих в соответствующий узел. Узлы обозначены буквами «сб» (нумерация групп и подгрупп принята порядковая).

Иногда каждому узлу присваивают номер базовой детали, входящей в данный узел, который проставляется за буквенным обозначением сб. (например, узел с базовой деталью № 5 обозначается: «сб. 5»).

Базовой деталью называют основную деталь, с которой начинается сборка прибора, группы (узла) или подгруппы (подузла).

Базовой подгруппой называют подгруппу, с которой начинается сборка подгруппы высшего порядка или группы. Развернутая схема,

* А. М. Ведмидский. Технология производства измерительных приборов, Машгиз, 1953.

Схема сборочных элементов миллиметра

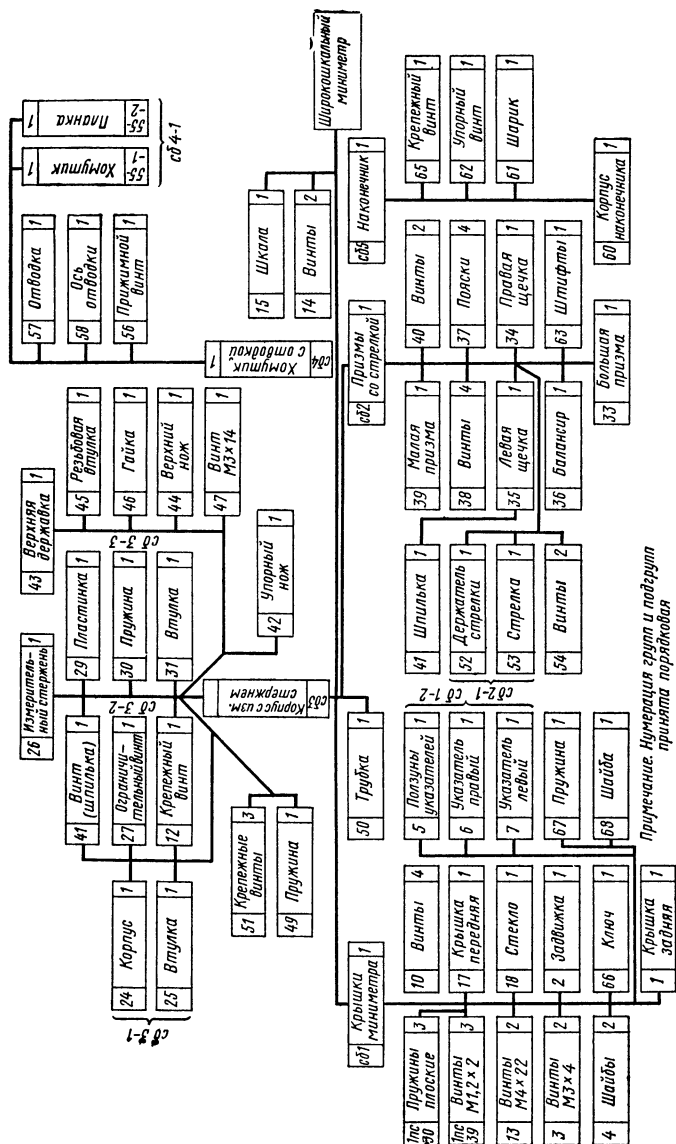


Рис. 1. Схема сборочных элементов миниметра

подобно показанной, может оказаться весьма громоздкой. В таких случаях рекомендуется составлять укрупненную схему, включающую лишь группы и детали, непосредственно входящие в изделие, что соответствует общей сборке. Развернутые схемы для каждой из групп изделия соответствуют узловой сборке.

2. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ К СБОРКЕ

Стальные детали поступают на сборочный участок обычно покрытыми антикоррозионной смазкой и поэтому их перед сборкой тщательно промывают. После промывки детали высушивают, а затем собирают, причем в случае необходимости их смазывают смазкой, применяемой при эксплуатации приборов.

Если в процессе сборки некоторые поверхности детали подвергаются механической обработке (например, окончательно шлифуют или доводят их рабочие поверхности), то собранные узлы разбирают с последующей тщательной промывкой и сборкой вновь.

Промывку деталей приборов следует механизировать, особенно в условиях крупносерийного и массового производства. Такую механизированную промывку в простейшем виде выполняют в ваннах, с помощью круглой медной щетки диаметром 80—150 мм (диаметр проволоки 0,1 мм), вращающейся на шпиндельной головке. Можно также применять промывку деталей при помощи ультразвука.

Корпусные детали приборов, имеющие внутренние перегородки, отверстия малых диаметров, узкие канавки, из которых трудно удалить мелкие стружки и другие посторонние частицы, наряду с промывкой обдувают струей сжатого воздуха. Внутренние поверхности промытых деталей в ряде случаев покрывают тончайшим слоем смазки для предохранения их от коррозии и для создания липкой внутренней поверхности, на которой могут задержаться мелкие частицы, случайно попавшие внутрь.

3. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ СБОРОК

Основными при сборке являются операции, связанные с контролем, регулированием положения деталей и узлов, и операции закрепления деталей и узлов в требуемых положениях.

Кроме перечисленных основных операций, в процессе сборки обычно приходится выполнять ряд дополнительных и вспомогательных операций, к числу которых относятся: слесарно-механические операции (сверление отверстий и т. п.), слесарно-пригоночные операции (шабрение, доводка, зачистка), промывка, антикоррозионная обработка, окраска, лакировка, смазка и др. В зависимости от точности изделия, типа производства и ряда технико-экономических факторов в приборостроении применяют сборку по принципам индивидуальной пригонки деталей, взаимозаменяемости, селекции, подбора и с помощью компенсаторов. На приборостроительных заводах существуют две организационные формы сборки: а) стационарная, б) подвижная.

Стационарную сборку выполняют на одном сборочном рабочем месте, к которому подают все необходимые детали или предварительно собранные узлы и подузлы. Стационарная сборка является распространенной для приборов, изготавливаемых в условиях единичного и серийного производства. Стационарная сборка основных

узлов прибора обуславливается его значительными габаритными размерами, требованием обеспечения высокой точности изготовления, наличием узлов с уровнями или применением контрольных приборов также с уровнями. В этих случаях не допускается даже малейшее перемещение собираемых приборов.

При стационарной сборке приборов по принципу укрупнения операции, например, точных приборов в условиях мелкосерийного и единичного производства, часто весь сборочный процесс выполняет один слесарь-сборщик или бригада слесарей-сборщиков. При стационарной сборке приборов, разграниченных на отдельные узлы, по принципу расчленения операций (например, трудоемких приборов со значительным количеством деталей) весь процесс разделяют на сборку отдельных узлов, выполняемую параллельно несколькими рабочими или бригадами. Общую сборку прибора как завершающую стадию процесса выполняет особый высококвалифицированный сборщик-юстировщик или отдельная бригада. Длительность цикла расчлененной стационарной сборки прибора обычно меньше, чем укрупненной. Однако для ее осуществления требуется весьма тщательная организационно-техническая подготовка, составление сборочных схем и графиков.

В условиях подвижной сборки осуществляется транспортировка собираемого объекта от одного сборочного поста (места) к другому; на каждом из таких постов рабочий-сборщик выполняет одну повторяющуюся операцию. Необходимые детали и узлы подают к соответствующим постам участка сборки. Эту форму сборки применяют в условиях поточного производства и осуществляют двумя способами:

1) сборку производят со свободным движением собираемых объектов, перемещаемых вручную от одного рабочего места к другому или посредством конвейера, который в данном случае выполняет функцию только транспортного устройства;

2) сборку осуществляют с принудительным движением собираемых объектов, перемещаемых посредством конвейера при строго рассчитанном такте.

4. ТРУДОЕМКОСТЬ СБОРКИ

Составляющие времени на сборку можно разделить на две группы:

а) составляющие, связанные непосредственно со сборкой, т. е. с соединением деталей, регулированием взаимного положения, юстировкой и закреплением их;

б) составляющие, затрачиваемые на различные пригонки, притирки, доделки, повторные разборки и сборки.

На общую трудоемкость сборки приборов оказывает большое влияние качество обработки деталей, требующих минимальных по объему пригоночных работ или не требующих их вовсе.

Коэффициент трудоемкости сборки определяется отношением времени, затрачиваемого на сборку данного прибора, ко времени, ушедшему на изготовление (обработку) комплекта деталей этого прибора.

Обеспечение высокой точности изготовления прецизионных приборов, в том числе измерительных приборов и инструментов, связано, как правило, со значительным объемом пригоночных и доводочных работ, дополнительной обработкой собранных деталей, по-

следующей разборкой узлов, промывкой деталей и окончательной сборкой. Последние существенно влияют на увеличение коэффициента трудоемкости сборки.

Так, например, в условиях поточного производства микрометров на одном из заводов коэффициент трудоемкости сборки составляет 0,40—0,55. В некоторых отраслях приборостроения этот коэффициент достигает до 0,60 и выше.

При высоком коэффициенте трудоемкости сборки приборов рекомендуется производить исследование сборочных процессов методом разборок и повторных сборок.

Для этого после первичной сборки, в процессе которой фиксируются затраты времени по отдельным операциям, переходам и всем дополнительным работам, собранное изделие подвергают разборке. Выполняют повторную сборку изделия, при которой снова фиксируют затраты времени по отдельным операциям и переходам. Разность времен первичной (предварительной) и повторной сборок примерно характеризует время, затраченное по отдельным деталям и узлам на дополнительные пригоночные работы при сборке.

Анализ технологических процессов сборки методом повторных сборок дает возможность вскрыть недостатки и в значительной степени усовершенствовать сборочный процесс, внося надлежащие коррективы в технологию сборки. Для подробного технико-экономического анализа сборочного процесса могут найти соответствующее применение также методы, предложенные Н. А. Бородачевым в книге «Анализ качества и точности производства» (Машгиз, 1946 г.).

Снизить трудоемкость сборки можно двумя путями:

1) повышением качества деталей, в частности увеличением точности обработки, сводящим к минимуму или вовсе исключаящим необходимость пригоночных работ;

2) усовершенствованием процесса сборки, которое можно достигнуть за счет мероприятий организационного характера. Однако наиболее перспективными являются механизация процесса сборки, оснащение его различного рода сборочными и контрольными устройствами и автоматизация наиболее типовых сборочных операций.

5. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В машиностроении и приборостроении производство ряда машин, механизмов и приборов не может быть закончено простым процессом сборки, так как при этом необходима регулировка или юстировка как отдельных узлов, так и механизма, машины или прибора в целом.

В отличие от процессов регулировки и отладки, присущих почти всем видам машин, механизмов и приборов, процесс юстировки относится в основном только к оптико-механическим приборам.

Юстировкой называется технологический процесс, заключающийся в установке оптических и механических деталей согласно оптической схеме прибора и обеспечивающий выполнение технических условий на прибор.

Юстировка является более сложным процессом, чем регулировка и отладка, применяемые при изготовлении механических узлов и приборов, так как в оптическом приборе установить оптические детали можно только за счет изменения механических деталей или прокладок под оптические детали. В процесс юстировки оптических

приборов органически входят как определение конструктивных элементов оптических систем, так и испытание оптических узлов, а также оптических систем приборов в целом. В настоящее время отечественная оптико-механическая промышленность выпускает порядка 1 000 наименований оптических приборов.

Однако по принципиальным оптическим схемам приборы (сборочные единицы) могут быть сведены в типовые группы, такие как: 1) зрительные трубы и коллиматоры; 2) микроскопы; 3) отсчетные приспособления (оптические микрометры и др.); 4) кино-фотоаппаратура и аэрофотоаппаратура; 5) проекционные приборы; 6) фотограмметрические приборы; 7) фотометрические и офтальмологические приборы; 8) спектральные приборы; 9) осветительные приборы; 10) оптико-электронные приборы.

При изучении сборочно-юстировочных процессов большинства оптических приборов достаточно бывает рассмотреть сборочно-юстировочные процессы тех оптических приборов, которые являются представителями вышеуказанных типовых групп.

Возможность проведения рационального сборочного процесса, юстировок и контроля прибора должна быть предусмотрена конструкцией прибора.

При сборке и юстировке отдельных узлов, а также всего прибора его конструкция должна обеспечивать простоту юстировки за счет юстировочных устройств и компенсаторов.

До начала сборки прибора должны быть спроектированы и изготовлены контрольно-юстировочные приборы и приспособления для проверки узлов всего прибора. Должны быть разработаны технология юстировочных операций и методика контроля.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

6. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

В зависимости от выполняемой задачи оптико-механические приборы в общем случае состоят из одного или нескольких точных механизмов и ряда оптических деталей, представляющих собой оптическую систему прибора.

В соответствии с этим сборка оптико-механических приборов (кроме простейших) обычно состоит из трех основных операций:

- 1) соединение механических деталей и узлов конструкций (механическая сборка);
- 2) предварительная установка оптических деталей согласно чертежу (оптическая сборка);
- 3) юстировка оптических систем узлов и прибора в целом.

Механическая сборка включает в себя соединение механических деталей и узлов, монтаж электрической части прибора, регулировку и проверку взаимодействия механизмов и отсчетных устройств прибора (в результате этой сборки получают собранные узлы и прибор без оптических деталей).

Предварительная установка оптических деталей согласно чертежа включает соединение оптических и механических деталей и установку узлов с оптическими деталями на место в приборе.

Юстировка оптических систем узлов и прибора в целом включает выявление ошибок взаимного расположения деталей и узлов, систему подвижек с целью устранения ошибок и фиксацию достигнутого положения деталей и узлов.

Юстировку простых приборов обычно производят после сборки всего прибора, в сложных приборах юстируют и проверяют также отдельные узлы, благодаря чему значительно упрощается процесс общей юстировки.

Под термином «поверка» (ГОСТ 16263—70, термин 11,6) понимается определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению. В отдельных случаях при поверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находятся ли они в допускаемых пределах. Под термином «периодическая поверка средства измерений» (термин 11,10) понимается поверка средства измерений, производимая при его эксплуатации и хранении через определенные промежутки времени. При этом пользуются специальными выверочными устройствами, отладку этих устройств производят в процессе заводской юстировки, с тем чтобы ими можно было пользоваться при эксплуатации. Примерами таких устройств могут служить уровни, регулируемые лагеры в теодолитах, юстировочные приспособления у фототеодолитных

камер, устройства для юстировки дальномеров у фотоаппаратов и т. д. В процессе сборки и юстировки оптических приборов выполняется чистка оптики и герметизация прибора. Сборку оптико-механических приборов в общем случае проводят в следующей последовательности: механическая сборка — предварительная установка оптических деталей согласно чертежу — юстировка — чистка оптики — герметизация.

Переходы при сборке имеют неизменный характер. Операции комплектуются из переходов и имеют условный характер. Наиболее четко определяется характер операции при поточной сборке, так как длительность операции должна быть равна или кратна такту поточной сборки.

7. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ К КОНСТРУКЦИИ

В процессе проектирования любого изделия необходимо решать параллельно две задачи:

- 1) обеспечить технические характеристики изделия, т. е. удовлетворить все требования ТУ, вытекающие из условий его эксплуатации;

- 2) удовлетворить требования технологии производства этого изделия.

Требования технологии рационального процесса сборки к конструкции оптико-механического прибора следующие: а) наличие сборочных баз, обеспечивающих требуемое положение деталей и узлов; б) поточность процесса сборки; в) независимость сборки узлов; г) удобство сборки и юстировки; д) применение возможно меньшего числа пригонок; е) применение отдельных юстировочных устройств; ж) недеформируемость деталей как в процессе сборки, так и при эксплуатации прибора.

Поточность (непрерывность) процесса сборки. Поточность процесса сборки оптико-механических приборов представляет собой последовательное соединение деталей и узлов в готовое изделие без промежуточных разборок. Примером непрерывности этого процесса является конвейерная сборка приборов. Однако при сборке приборов со сложными оптическими системами применение метода конвейерной сборки вызывает определенные трудности из-за юстировки как отдельных узлов с оптическими деталями, так и прибора в целом.

В производстве оптико-механических приборов при сборке в процессе пригонки, применяемой в большом количестве, засоряется собранная часть прибора стружкой, абразивами или пастой, что приводит к необходимости разборки собранного узла, промывки и обезжиривания деталей и повторной сборки.

Однако при соответствующей обработке конструкции во многих случаях можно избежать применения пригонок, ведущих к разборке и повторным сборкам [16].

На рис. 2, а приведена конструкция крепления кронштейна 1 к корпусу 2. При потайных винтах перемещение кронштейна невозможно. Поэтому сверление и нарезание резьбы в корпусе можно провести только в сборке после регулирования положения кронштейна.

При сверлении и нарезании резьбы стружка попадает в полость прибора, что приводит к необходимости разборки, промывки и повторной сборки узла.

Кроме этого, отверстие под штифт сквозное как в кронштейне, так и в корпусе, что приводит также к попаданию стружки в полость прибора. Конструкция крепления кронштейна 1 к корпусу 2, представленная на рис. 2, б, не имеет указанных недостатков. В этом случае отверстие в корпусе 2 может быть выполнено заранее. Перемещение кронштейна 1 осуществляется за счет зазора между цилиндрической головкой винта и отверстиями под винт в кронштейне. Отверстие под штифт в кронштейне может быть выполнено заранее и через него можно просверлить несквозное отверстие

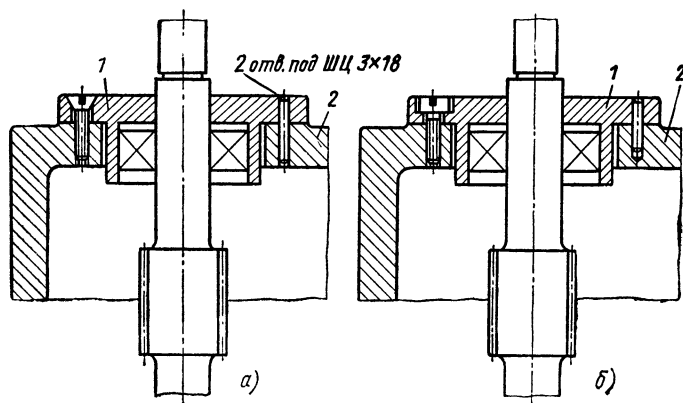


Рис. 2. Конструкции крепления кронштейна 1 к корпусу 2

в корпусе. Таким образом, при сверлении отверстия в корпусе стружка не попадет в полость прибора.

При сборке оптико-механических приборов с несложными оптическими системами принцип поточности (непрерывности) сборки должен быть безусловно выдержан.

Независимость сборки узлов. При разработке конструкций оптического прибора необходимо предусмотреть его деление на ряд узлов, желательно одинаковой трудоемкости, сборка и юстировка которых может производиться параллельно и независимо друг от друга различными рабочими или бригадами.

Применение отдельных юстировочных устройств. Методика юстировки оптических приборов зависит от конструкции оптической системы. Поэтому при разработке процесса юстировки, кроме устройств общего назначения (оптические скамьи, коллиматоры и т. д.), приходится создавать специальные устройства. При этом конструкция прибора должна предусматривать возможность применения таких юстировочных устройств, чтобы посредством каждого из них можно было устранить только один источник ошибок. Последовательное применение отдельных юстировочных устройств значительно облегчает общую юстировку оптической системы прибора.

8. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Процесс сборки оптических приборов является завершающим этапом производства, поэтому при его построении прежде всего следует исходить из получения высокого качества приборов, отвечающих техническим условиям. Технологический процесс сборки должен обеспечивать высокую производительность труда. Коэффициент трудоемкости процесса сборки ϕ для крупносерийного производства не должен превышать $\phi = 0,2 \div 0,3$; для серийного производства — $\phi = 0,3 \div 0,8$; для мелкосерийного единичного производства — $\phi = 0,8 \div 1,2$.

Значительный рост трудоемкости сборки с уменьшением серийности производства объясняется тем, что при этом сборка сопровождается большим объемом пригоночных работ.

В производстве оптических приборов коэффициент трудоемкости сборки в значительной степени зависит от сложности оптической системы прибора, так как при этом процесс юстировки в ряде случаев занимает больше времени, чем сборка прибора.

Полная взаимозаменяемость в приборе означает возможность замены любой детали без подбора, выбора и подгонки.

Помимо высокой производительности труда процесс сборки при полной взаимозаменяемости деталей имеет еще одно преимущество — легкую организацию поточных методов сборки.

Однако в производстве оптических приборов полной взаимозаменяемости достичь трудно, так как пригоночные работы неизбежны. Это происходит по следующим причинам.

1. При сборке приборов со сложными оптическими системами возникают технологические трудности получения точных размеров механических и особенно оптических деталей. Поэтому целесообразнее обеспечивать точность соединения механических деталей путем пригонки их в сборке, а выполнение заданных оптических характеристик — при юстировке оптической системы прибора.

2. Ряд пригоночных работ зависит от серийности производства и определяется экономическими соображениями.

3. Часть пригоночных работ при некоторых конструкциях соединений деталей является технологически неизбежной. Например, сверление под штифты производится при сборке после регулировки положения деталей.

Виды сборочных процессов. Условием, определяющим вид сборки, является степень взаимозаменяемости деталей. В зависимости от степени взаимозаменяемости различают три вида сборки:

- а) по принципу полной взаимозаменяемости, что соответствует крупносерийному и массовому производству;

- б) по принципу ограниченной взаимозаменяемости, что соответствует серийному производству;

- в) по принципу индивидуальной пригонки, что соответствует единичному и мелкосерийному производству.

Поскольку производство оптических приборов в основном может быть отнесено к серийному или единичному производству (кроме производства очков, биноклей и т. д.), то при разработке технологического процесса сборки прежде всего следует установить вид сборки.

При сборке по принципу ограниченной взаимозаменяемости не-

обходимо определить, какие пригонки в сборке при данной конструкции прибора или узла являются технологически неизбежными.

При этом следует разработать технологические мероприятия, обеспечивающие наименьшее число пригонок деталей, входящих во взаимное сопряжение, а также методы и средства для юстировки оптических систем прибора.

9. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ПРИГОНКУ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ

Так как результаты размерного аналитического расчета могут потребовать изменения конструкции, системы постановки размеров и величин допусков, а также принятия ряда мер (введение компен-

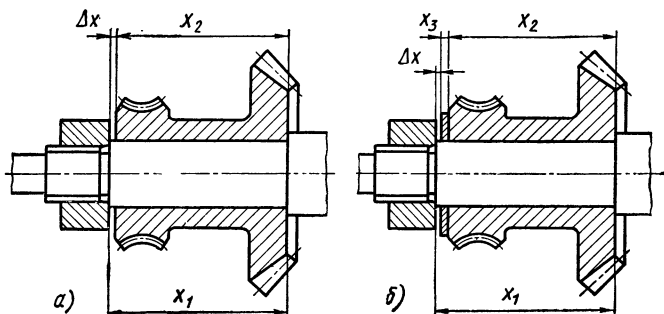


Рис. 3. Пример трехзвенной цепи

саторов и др.) для обеспечения нормальных условий работы механизма, то расчеты следует проводить при выполнении рабочих чертежей на опытный образец прибора одновременно с простановкой размеров и назначением допусков.

В процессе аналитического расчета следует:

а) проверить взаимозаменяемость и собираемость деталей и узлов;

б) установить допуски на размеры деталей и на проверяемые сборочные размеры в узлах и сопоставить их (допуски) с экономической точностью;

в) в случае невозможности или нерентабельности получения необходимых точностей за счет механической обработки решить вопрос о введении компенсаторов (регулировки) или селективной сборки.

В конструкции прибора должны быть предусмотрены сборочные базы, обеспечивающие требуемое положение деталей и узлов.

Метод абсолютной взаимозаменяемости. На рис. 3, а приведен пример трехзвенной цепи блока зубчатых колес конического дифференциала.

По условиям работы узла, блок зубчатых колес должен иметь осевой зазор, который определяется размерами x_1 и x_2 . При этом гайка должна быть плотно привернута к торцу оси.

Из теории размерных цепей известно, что величина допуска замыкающего звена размерной цепи равна сумме абсолютных значений величин допусков всех остальных звеньев.

Предположим, что при допуске на замыкающее звено $\delta'_{\Delta x} = 0,02$, средняя величина допусков на звенья x_1 и x_2 будет равна [16]

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_{\Delta x}}{(m-1)} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \text{ мм},$$

где m — число звеньев цепи.

Номинальные размеры x_1 и x_2 равны между собой, т.е. $x_1 = x_2 = 50$ мм.

Поскольку в цепи всего лишь два соответствующих звена, то можно допуск каждого из них принять за среднюю величину допуска и тогда $x_1 = 50^{+0,01}$ мм и $x_2 = 50_{-0,01}$ мм. Если детали выполнены в этих пределах, то они обеспечат полную взаимозаменяемость соединения.

Точность изготовления линейных размеров указанных деталей соответствует примерно 1-му классу точности.

Изготовление деталей с такой точностью связано с определенными трудностями. Поэтому в подобных случаях сборку производят по методу пригонки или по методу регулировки. Чем длиннее цепь, чем больше в нее входит звеньев и чем меньше допуск замыкающего звена, тем жестче допуски соответствующих звеньев и тем труднее осуществить взаимозаменяемость.

Метод пригонки. Этот метод заключается в том, что устанавливаются экономически приемлемые величины допусков на все звенья и при допуске замыкающего звена выше заданного достигают требуемой точности путем снятия стружки с какого-либо заранее выбранного звена или путем специально вводимой детали, называемой компенсатором.

Таким образом, из размерной цепи удаляется излишняя величина допуска, или величина компенсации.

Максимальная величина компенсации.

$$\delta_k = \delta'_{\Delta x} - \delta_{\Delta x},$$

где $\delta_{\Delta x}$ — величина допуска замыкающего звена, полученная в результате назначения экономически приемлемых допусков;

$\delta_{\Delta x}$ — заданная величина допуска замыкающего звена.

В примере (см. рис. 3, а) можно установить на размеры x_1 и x_2 экономически приемлемые допуски.

Пусть $\delta_{x_1} = 0,1$ мм, $\delta_{x_2} = 0,1$ мм. При этих величинах зазор может достигнуть

$$\delta'_{\Delta x} = \delta_{x_1} + \delta_{x_2} = 0,2 \text{ мм}.$$

Следовательно, размерная цепь дает излишнюю ошибку

$$\delta_k = \delta'_{\Delta x} - \delta_{\Delta x} = 0,2 - 0,02 = 0,18 \text{ мм}.$$

Для осуществления пригонки надо изменить величину номинального размера компенсирующей детали на величину компенсирующей ошибки. Если принять компенсирующим звеном уступ оси x_1 , надо

увеличить размер x_1 на 0,18 мм. При сборке необходимо определить ошибку замыкающего звена и подрезать торец оси до получения заданного зазора соединения.

Преимущество этого метода заключается в возможности экономической точности обработки всех звеньев размерной цепи путем пригонки одного звена.

Недостатком метода является выполнение дополнительной механической обработки при сборке. Метод пригонки широко применяют при сборке узлов с оптикой.

Метод регулировки. Указанный метод заключается в том, что при этом заданная точность замыкающего звена достигается изменением величины одного из заранее выбранных звеньев без механической обработки (без снятия стружки).

При применении этого метода размерную цепь можно решить двумя способами:

1) компенсацией ошибок, перемещением деталей или узлов при сборке приборов (например, перемещением детали или узла устраняется мертвый ход в зубчатых соединениях);

2) введением в размерную цепь компенсаторов (компенсаторы бывают подвижные и неподвижные).

К подвижным компенсаторам относятся устройства, автоматически компенсирующие погрешности звеньев цепи, например, пружины, карданные и телескопические валики и т. п. Неподвижные компенсаторы изготавливают заранее в определенной градации размеров и в размерную цепь после сборки вводят компенсатор нужного размера. На рис. 3, б приведен пример с применением неподвижного компенсатора.

Размерную цепь $x_1 - x_2 - x_3 - \Delta x = 0$ решают без пригонки с помощью неподвижных компенсаторов, имеющих различные размеры.

Число ступеней N неподвижных компенсаторов определяют из уравнения [16]:

$$N \geq \frac{\delta_k}{\delta_{\Delta x}}.$$

При установленной в предыдущем примере величине компенсации $\delta_k = 0,18$ мм и допуске замыкающего звена $\delta_{\Delta x} = 0,02$ мм число ступеней компенсаторов составит $N = 9$.

При минимальной толщине кольца $x_3 = 1$ мм необходимо иметь набор колец толщиной — 1; 1,02; 1,04; 1,06; 1,08; 1,10; 1,12; 1,14; 1,16; 1,18 мм. Имея все ступени компенсаторов, можно при любой комбинации размеров x_1 и x_2 в пределах указанных допусков всегда подобрать соответствующий неподвижный компенсатор и обеспечить точность замыкающего звена в пределах 0,02 мм.

Метод регулировки имеет большие преимущества, так как позволяет получать высокую точность замыкающего звена при экономически приемлемых допусках на все остальные звенья без пригонки деталей в сборке.

Метод подбора или селективной сборки. Сущность метода заключается в том, что детали, изготовленные с расширенными допусками, перед сборкой сортируют на группы по заранее установленным градациям размеров. Сборку же деталей с контрдеталью производят только по одноименным группам, т. е. только в тех сочетаниях, которые обеспечивают заданную точность сборочного размера.

Метод подбора позволяет получать высокую точность сборочного размера при наличии широких допусков на изготовление деталей, однако для его осуществления требуются дополнительные затраты на контроль и сортировку деталей, что оправдывается только при крупносерийном производстве. Этот метод может осуществляться способом непосредственного подбора и способом предварительной сортировки деталей на группы.

Способ непосредственного подбора заключается в том, что рабочий из числа деталей, доставленных на сборку, выбирает такие, которые на ощупь дают требуемую посадку. Способ прост, не требует никаких инструментов для обмера деталей, но при этом качество соединений зависит исключительно от квалификации исполнителя, производящего подбор.

Способ предварительной сортировки деталей на группы заключается в том, что поля допусков деталей (вал и втулка) разбивают на несколько равных групп. Сортировку деталей по группам производят специальными калибрами; в каждую группу должны входить охватывающие и охватываемые детали, у которых пределы отклонений лежат внутри частичных полей допусков.

Технологическая документация процесса сборки. Для оформления процесса сборки приняты следующие виды технологической документации: а) карта укрупненного технологического процесса сборки; б) операционная карта сборки; в) технологическая схема сборки; г) технологическая карта юстировки прибора.

Карта укрупненного технологического процесса сборки отражает последовательность технологического процесса общей сборки прибора из собранных узлов.

Операционная карта сборки отражает последовательность технологического процесса сборки узлов из собранных подузлов и деталей.

Технологическая схема сборки графически изображает процесс соединения деталей в узлы и узлов в готовое изделие. Схемы сборки могут быть укрупненные и развернутые.

В укрупненной схеме сборки графически изображается процесс соединения узлов в готовое изделие.

В развернутой схеме сборки графически изображается процесс соединения подузлов и деталей в готовый узел.

Если оптический прибор состоит из большого количества деталей, то следует составлять как укрупненную схему сборки прибора, так и развернутые схемы сборки узлов.

Технологическая карта юстировки прибора отражает последовательность этапов юстировки оптических систем узлов и прибора в целом.

При этом в технологической карте юстировки должны быть отражены способы юстировки, методы и средства контроля.

ТИПОВЫЕ РАБОТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОЦЕССОМ СБОРКИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

10. ПРОМЫВКА МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Механические детали, непосредственно соприкасающиеся с оптическими деталями, как например, оправы сеток, окуляров и объективов и т. п. и все механические детали, не подлежащие отделке (окрашивание, чернение, хромирование и т. д.), подвергаются промывке. Промываются также детали после окончания пригоночных работ.

Цель промывки — очистка и обезжиривание деталей путем растворения антикоррозионной смазки, нанесенной на поверхностях деталей, следов охлаждающих эмульсий и т. п.

Для промывки деталей применяют петролейный эфир, авиационный бензин, бензин второго сорта, ацетон.

Петролейный эфир является продуктом перегонки авиационного бензина и представляет собой летучую жидкость, которая кипит при температуре 40—70°, хорошо растворяет минеральные, животные и растительные жиры и применяется для промывки деталей, непосредственно соприкасающихся с оптическими деталями, а также для промывки деталей очень точных соединений. Указанные детали промывают в три приема последовательно в трех ванночках. Сушат детали после промывки, слегка нагревая или вытирая детали салфетками. Остальные детали промывают в бензине в два приема: предварительно в бензине второго сорта или в отстойном бензине и окончательно в авиационном бензине.

Промывку производят в бачках ершиками и волосяными щетками, после чего детали сушат струей сжатого воздуха.

Широко стала внедряться промывка при помощи ультразвука.

11. ЧИСТКА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Для выполнения технических условий по чистоте оптических поверхностей деталей в процесс сборки включают операцию чистки оптических деталей. Различают следующие основные виды загрязнения стеклянных поверхностей: а) пыль — твердые частицы, осевшие на поверхность стекла из воздуха; б) осыпка — твердые частицы на поверхности стекла, оторвавшиеся от внутренних поверхностей деталей прибора, например, частицы лака, краски и т. п.; в) мазки — отпечатки пальцев, капли смазки и т. д.; г) капельный жировой налет — мельчайшие капельки жировых веществ.

Из всех видов загрязнений наиболее опасным является жировой налет, так как он со временем увеличивается и в оптических приборах затрудняет наблюдение.

С применением химически нестойких и «налетоопасных» сортов оптических стекол на поверхностях оптических деталей также образуются пятна и налеты.

Кроме капельных (жировых и гигроскопических), могут возникнуть биологические налеты — образование плесени на полированной поверхности стекла от применения прокладки из пробки и картона при высокой относительной влажности (более 80%).

Сущность процесса чистки заключается в растворении имеющихся на оптических поверхностях жировых веществ и снятии с этих поверхностей твердых нерастворимых частиц. В соответствии с этим для чистки применяют растворители и протирочные материалы.

Растворителями являются следующие вещества.

1. Спирт этиловый ректификат C_2H_5OH растворяет жиры, удаляет со стекла остатки смолы, бальзама и воскообразных веществ (первый растворитель).

2. Петролейный эфир применяется в качестве второго растворителя.

3. Смесь петролейного эфира с этиловым спиртом (эфир 85—90, спирт 15—10 частей) применяется также в качестве второго растворителя.

4. Смесь спирта этилового ректификата с эфиром этиловым (спирт 85—75, эфир 15—25 частей) служит для обезжиривания инструмента, применяемого при чистке оптики.

Для чистки применяют следующие протирочные материалы:

1) вату гигроскопическую обезжиренную с содержанием жиров не более 0,1%;

2) салфетки из белой фланели размером 75×75 см с содержанием жиров не более 0,1%;

3) кисточки (беличьи) для удаления с поверхности деталей отдельных пылин.

В процессе чистки оптических поверхностей применяют: 1) палочки для намотки тампонов ваты; 2) пинцеты; 3) подставки для намотки ваты на палочки; 4) ящики для хранения чистой и отработанной ваты; 5) стеклянные банки с притертыми пробками для растворителей; 6) ванночки для прополаскивания деталей в петролейном эфире или смеси; 7) резиновую грушу.

Чистку оптических деталей выполняют следующим образом.

Каждую полированную поверхность детали последовательно три раза протирают тампонами ваты, смоченными в спирте, и тампонами сухой ваты.

После чего эти же поверхности таким же образом протирают тремя тампонами ваты, смоченными в смеси петролейного эфира и этилового спирта или в петролейном эфире.

После каждой протирки тампоны с ватой меняют. Затем детали протирают насухо салфетками, снимают кисточкой пыль и устанивливают их или завальцовывают в механические оправы.

Металлическую пыль, попавшую на поверхность при завальцовке, снимают тампоном сухой ваты или ватой, смоченной смесью. При чистке и сборке оптические детали держат пинцетами. При чистке призм смесью этилового спирта с петролейным эфиром предварительно обезжиривают нерабочие шлифованные поверхности. При чистке сеток или других деталей, находящихся в местах промежуточных изображений предметов, вместо протирания детали прополаскивают последовательно в двух-трех ванночках со смесью или

петролевым эфиром, после чего детали высушивают в салфетках, — этим улучшают и ускоряют процесс чистки.

Отдельные пылинки удаляют кисточкой. Удаление пылинок с сеток является весьма трудоемкой частью процесса чистки. Эту операцию производят иногда при вращении оправы с сеткой на электродвигателе или же на приспособлении, получившем название волчок.

Вычищенные оптические детали и узлы следует хранить под стеклянными колпаками. Эффективность чистки оптики зависит не только от выполнения процесса чистки, но и от чистоты рабочего места и помещения. Контроль чистоты оптических деталей осуществляется визуально в проходящем свете.

12. ЗАВАЛЬЦОВКА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Завальцовка является простым, надежным и экономичным способом соединения механических деталей с оптическими (линзы, сетки). При завальцовке край металлической оправки должен

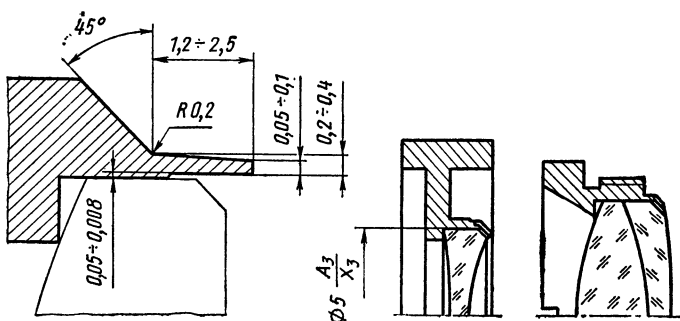


Рис. 4. Завальцовка оптических деталей

соприкасаться с фаской оптической детали, а не с полированной поверхностью и плотно охватывать деталь по всей окружности. Подготовка оправ под завальцовку заключается в проточке наружного края оправы, снятии грата и зачистке наждачной и крокусной бумагой (рис. 4).

Завальцовку оптических деталей ведут на токарно-арматурных станках или с помощью специальных приспособлений. В первом случае металлическую оправу устанавливают в специальный патрон станка (зажимной, разжимной или резьбовой) и сообщают ей вращение. Завальцовку ведут вручную при помощи полировальников (воронило) с упором на подручник станка.

При завальцовке и подготовке оправы отделка ее наружной кромки нарушается и она становится блестящей. Во избежание появления отражений и бликов от блестящей поверхности кромки ее после завальцовки тут же на станке покрывают фасочной эмалью с помощью кисточки.

Процесс завальцовки должен обеспечивать прочное крепление линз в оправе, не вызывая натяжения и деформации оптических деталей, ухудшающих качество изображения. Поэтому все завальцованные в оправы объективы проверяют на качество изображения.

13. ВЫПОЛНЕНИЕ РАЗБОРНЫХ И НЕРАЗБОРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Разборные соединения деталей выполняют при помощи винтов, болтов, шпилек, штифтов и резьбы.

Установку винтов производят обычными и часовыми отвертками: во избежание заедания металла нарезанную часть винтов слегка смазывают смазкой. Если в процессе сборки приходится несколько раз снимать и ставить на винты детали и узлы, то сборку ведут при помощи рабочих винтов, которые в последний момент сборки заменяют новыми.

Для предохранения от самоотвинчивания применяют:

а) кернение в шлиц и в стык головки винта;
б) установку винтов на сурик, в частности для герметизации резьбовых соединений на винтах в морских приборах; для этого используют смесь из свинцового сурика (90%) и натуральной олифы (10%) по весу;

в) заливку винтов шеллаком, особенно для предохранения измерительных приборов от разъюстировки при транспортировке.

Установку деталей на штифты применяют для окончательной фиксации собранных узлов после их регулировки и для соединения деталей.

Соединение деталей при помощи резьбы является наиболее употребительным видом разборных соединений. Перед свинчиванием детали слегка смазывают.

Сборку деталей клепкой, развальцовкой и завальцовкой ведут путем пластической деформации материала одной из соединяемых деталей.

Гарантированный натяг деталей до сборки обеспечивается применением прессовых посадок. Наиболее широко применяют посадки: Пр; Пр1з; Пр3з. Соединение деталей с гарантированным натягом можно выполнить: а) запрессовкой, б) нагревом охватывающей детали, в) охлаждением охватываемой детали.

Запрессовку производят на ручных или приводных прессах. Для обеспечения правильной установки деталей применяют специальные приспособления. При соединении способом нагрева охватывающая деталь расширяется и свободно надевается на сопрягаемую деталь.

Температуру, до которой следует нагреть охватывающую деталь, можно определить по формуле [16]

$$t = \frac{\delta_{\max} - \delta_0}{\alpha d \cdot 10^3} + t_0,$$

где δ_{\max} — наибольший натяг в мкм; δ_0 — необходимый зазор для свободного соединения нагретой детали с сопрягаемой в мкм; α — коэффициент линейного расширения металла охватывающей детали; d — номинальный диаметр соединений; t_0 — температура помещения, где происходит сборка.

Детали нагревают в электропечи, термостате или нагретом масле. При соединении способом охлаждения охватываемая деталь сжима-

ется и свободно входит в сопрягаемую деталь, а при нагреве до комнатной температуры вследствие расширения охватываемой детали обеспечивается необходимое соединение. Детали охлаждают в ванне с жидким воздухом или в термостате с твердой двуокисью углерода.

14. СМАЗКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СБОРКЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В приборах, работающих на открытом воздухе, к смазкам предъявляются требования сохранения их свойств в интервале температур от $+50$ до -45°C .

В обоих случаях смазки должны сохранять свое свойство — сообщать плавность хода трущимся частям.

Смазки делят на: а) консистентные, б) жидкие.

Широко применяют консистентные смазки; главными компонентами этих смазок являются вазелиновое масло МВП и церезин. Вазелиновое масло снижает температуру замерзания, а церезин повышает температуру плавления смазки.

Соответствующее соотношение этих двух компонентов и определяет температурные интервалы работы смазок. Для придания смазке большей маслянистости и вязкости, кроме указанных основных компонентов, в небольших количествах вводят в смазку петролатум, озокерит (горный воск) с температурой плавления не ниже 84°C . Для смазывания трущихся частей с малыми зазорами применяют смазку меньшей консистенции.

Например, для смазки осевых систем высокоточного оптического теодолита ОТ-02 применяют специальное часовое масло МН-30, или МН-45. Смазывание трущихся частей с большими зазорами (например, окулярную резьбу) производят смазкой большей консистенции. Для смазывания трущихся поверхностей, испытывающих большие нагрузки (например, червячные зацепления, осевые системы прецизионных делительных машин), применяют графитовую смазку, получающуюся путем добавления в смазку малой консистенции 20% графита. В точных механизмах измерительных приборов с малыми зазорами, работающих в закрытых помещениях, применяют в основном смазку, содержащую вазелиновое масло МВП с небольшим добавлением коптыного масла. Внутренние полости труб для предохранения от ссыпки и поглощения смазывают смазкой следующего состава в процентах по весу: мыло — 5, церезин высокоплавкий — 5, авиамасло — 42,5, костное масло — 42,5, натуральный воск — 5. Этой смазкой промасливают папиросную бумагу, при помощи которой и смазывают поверхности тонким слоем.

15. СПОСОБЫ ПРИГОНОЧНЫХ РАБОТ

Шабрение. Процесс шабрения заключается в соскабливании тонких слоев металла для получения точной поверхности детали. Точность шабрения определяется по числу точек контакта детали и эталона поверхности (контрольная плита и т. д.). Для герметичного соединения должно быть не менее пяти точек контакта на участке 25×25 мм для соединения типа «ласточкин хвост» — не менее 10—12 точек контакта. Декоративное шабрение осуществляют обычным способом, а также на сверлильном станке, в патрон которого закрепляют деревянную палочку диаметром 8—10 мм и с помощью абразива наносят кружки, накладывающиеся друг на друга.

Приработка деталей. Процесс приработки деталей аналогичен процессу притирки с той лишь разницей, что вместо притира используют сопрягаемую деталь. В производстве этот процесс называют еще совместной притиркой или шлифовкой. Приработку деталей применяют в следующих случаях:

- 1) при посадке деталей по диаметрам с зазором до 0,01 мм при плавном ходе подвижного соединения;
- 2) при подвижных соединениях деталей на конусах для плавного вращения;
- 3) при необходимости плавного хода без качки микрометрических винтов, окулярных резьб и т. п.

Приработку цилиндрических деталей для получения малых зазоров соединения (осевые системы геодезических инструментов) производят после раздельной притирки каждой детали (оси и втулки) соединения. Притирку и приработку выполняют вручную или на токарно-арматурных станках.

Токарно-пригоночные работы. Пригонку деталей на прецизионных токарно-арматурных станках, снабженных рядом приспособлений, производят при подрезке торцов компенсационных деталей и компенсаторов; при расточке отверстий и обточке наружных поверхностей оправ линз сложных объективов; при подготовке оправ под завальцовку оптических деталей; в процессе притирки и завальцовки. Прецизионный токарно-арматурный станок должен отвечать следующим нормам точности:

- а) обточенный на станке валик не должен иметь овальность более 0,005 мм;
- б) конусность валика при обработке в центрах на длине 300 мм должна быть не более 0,01 мм;
- в) отклонение от плоскостности планшайбы диаметром 300 мм при поперечной обточке не должно превосходить 0,02 мм.

Для особо точных осевых систем применяют токарно-арматурные станки с «мертвыми центрами».

16. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Приборы, находящиеся под непосредственным давлением воды (например, головная часть перископов для подводных лодок), а также приборы, подвергающиеся в процессе эксплуатации воздействию различных естественных климатических условий (дождь, снег, холод, жара, брызги морской воды), как например, геодезические приборы, аэрофотоаппараты и т. п., должны быть герметизированы.

Опасность при проникновении влажного атмосферного воздуха внутрь прибора заключается в том, что влага, конденсируясь на оптических деталях, образует налет на их поверхностях.

При низких температурах влага в виде инея оседает на внутренней стороне защитных стекол.

Для герметизации применяют:

- 1) замазку мягкую, черную и цветную в холодном виде для соединения больших поверхностей и под головками винтов;
- 2) замазку среднюю, черную и цветную в холодном и горячем виде для соединения поверхностей небольших размеров;
- 3) замазку контактную, по консистенции близкую к смазке, в холодном виде для соединения больших поверхностей с малыми зазорами.

Герметизацию стыков и швов плоскостей металлических деталей производят контактной замазкой.

Герметизацию стыков металлических деталей с оптическими производят мягкой замазкой при завальцовке и зажиме прижимными кольцами наружных оптических деталей. Для этого под линзу на буртик оправы наносят тонкий слой замазки. Излишки замазки выжимают и зачищают деревянной палочкой.

При герметизации плоских защитных стекол (если не применяются резиновые прокладки) мягкую замазку кладут под стекло на буртик оправы и под прижимную планку.

Герметизации подвижных соединений (выводных валиков, рукояток и т. п.) добиваются, применяя соответствующие посадки соединений и смазку поверхностей соединения (при зазоре до 0,005 мм). Герметизацию таких соединений осуществляют также при помощи сальников. Герметичность приборов проверяют обычно искусственным дождеванием или нагнетанием внутрь прибора воздуха при небольшом давлении. При этом критерием герметичности прибора будет время, в течение которого давление воздуха в приборе уменьшается в два раза (150 мм рт. ст. 3—6 мин.). Мелкие приборы можно опускать в бак с водой и по пузырькам выходящего воздуха определять негерметичность прибора.

При производстве оптических приборов в тропическом исполнении следует руководствоваться общими техническими условиями на изготовление машин, приборов и оборудования, поставляемых в страны с тропическим климатом, утвержденных Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР.

Рекомендации по герметизации отдельных деталей, узлов и приборов в соответствии с общими техническими условиями могут служить основанием для выбора и использования материалов и способов защиты приборов в «нормальном исполнении». Герметизация должна осуществляться путем запайки, заливки термореактивными или другими герметизирующими составами, а также вакуумным уплотнением. При герметизации могут быть применены компаунды на основе эпоксидных смол, например, компаунд 168 (СТУ 30-14279-65); компаунд 293 (СТУ 30-14130-63); компаунд 115 (СТУ 30-14148-63).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЮСТИРОВОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕКОТОРЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

17. ОСНОВНЫЕ ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

В геодезических, астрономических и других приборах встречаются различные зрительные трубы: прямые, центральные, ломаные.

Оптические системы зрительных труб можно разделить на три группы: 1) трубы с внешней фокусировкой; 2) трубы с внутренней фокусировкой; 3) трубы с зеркально-линзовыми системами.

Наиболее широко в настоящее время применяют зрительные трубы с внутренней фокусировкой. Это объясняется рядом преимуществ, например, сокращением габаритных размеров трубы, герметичностью и т. д.

Основными процессами при юстировке оптической системы зрительной трубы являются: а) юстировка оптической системы объектива зрительной трубы; б) центрирование оптической системы объектива трубы; в) устранение зрительного параллакса.

Юстировка оптической системы объектива зрительной трубы. Процесс юстировки оптической системы объектива зрительной трубы сводится к установке линз объектива в соответствии с положением кардинальных точек данной системы. Практически при выполнении этой операции линзы устанавливают с выдерживанием воздушных промежутков между ними по оси системы.

Процесс выдерживания воздушных промежутков между линзами сводится к измерению и последовательному подтачиванию (замене) промежуточных колец. В большинстве случаев оптические системы объективов зрительных труб, а также собственно объективы в трубах с внутренней фокусировкой состоят из двух линз, но в последнее время появились трубы с внутренней фокусировкой, у которых собственно объектив состоит из трех линз. Процесс юстировки трехлинзового объектива значительно сложнее, чем процесс юстировки двухлинзового объектива. Как указано выше, процесс установки линз сводится к выдерживанию воздушных промежутков между линзами объектива по оси системы, поэтому очень важно знать зависимость между воздушным промежутком и эквивалентным фокусным расстоянием, а также влияние изменения воздушного промежутка на изменение эквивалентного фокусного расстояния.

Определение влияния изменения воздушного промежутка на эквивалентное фокусное расстояние. В целях упрощения рассмотрим случай комбинации двух систем с общей осью, схема расположения кардинальных точек которой представлена на рис. 5.

Из геометрической оптики известно, что

$f' = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta}$ — заднее эквивалентное фокусное расстояние,

$\Delta = d - f'_1 + f_2$ — оптический интервал.

Если линзы находятся в воздухе, то

$$f_1 = -f'_1; \quad f_2 = -f'_2.$$

Таким образом,

$$f' = \frac{f'_1 f'_2}{f'_1 + f'_2 - d}. \quad (1)$$

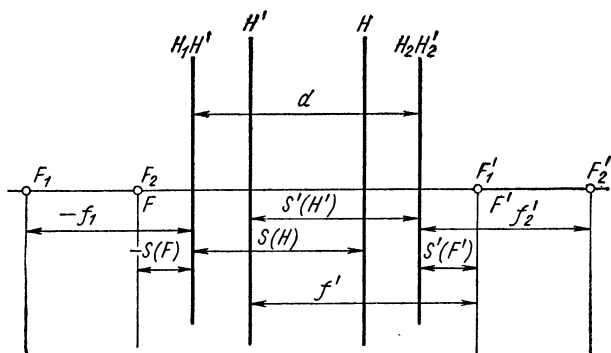


Рис. 5. Схема расположения кардинальных точек комбинации двух систем (тонких линз) с общей осью

Из этой формулы можно видеть зависимость заднего эквивалентного фокусного расстояния f' от расстояния между линзами d . Для определения величины изменения f' от изменения d несколько преобразуем формулу (1):

$$f'_1 f' + f'_2 f' - f' d = f'_1 f'_2.$$

Поделив обе части уравнения на f' , имеем

$$f'_1 + f'_2 - \frac{f'_1 f'_2}{f'} = d.$$

Дифференцируя, получим

$$\frac{\partial f'}{\partial d} = \frac{f'^2}{f'_1 f'_2},$$

откуда

$$\partial f' = \frac{f'^2}{f'_1 f'_2} \partial d. \quad (2)$$

Формула (2) дает возможность определить изменение заднего эквивалентного фокусного расстояния от изменения расстояния между линзами (воздушного промежутка).

Поскольку величины f'_1 , f'_2 и f' для конкретной системы известны, формулу (2) можно написать в виде

$$\partial f' = K \partial d, \quad (3)$$

где

$$K = \frac{f'^2}{f'_1 f'_2}.$$

В случае трехлинзового собственно объектива вначале находят по формуле (1) заднее эквивалентное фокусное расстояние первых двух линз и решают вопросы, связанные с фокусированием первых двух линз. Затем решают те же задачи по системе, эквивалентной двум первым линзам и третьей линзе.

Контролем служит проверка фокусного расстояния объектива и определение качества изображения.

При фокусировании оптических систем объективов зрительных труб серийного производства можно по формуле (3) составить таблицу зависимости изменения заднего эквивалентного фокусного расстояния от изменения расстояния между линзами. Пользование этой таблицей ускорит процесс юстировки.

Центрирование оптической системы объектива зрительной трубы. Необходимость центрирования оптических систем вызвана тем, что оптические детали (линзы) изготавливаются в пределах определенных допусков и, следовательно, имеют отклонения как по диаметрам, так и по косине. Центрирование оптической системы зрительной трубы сводится к центрированию оптической системы объектива трубы.

У зрительных труб с внутренней фокусировкой выполняют центрирование практически только собственно объектива, так как смещение оси фокусирующего компонента по отношению к оси собственно объектива допускается в ряде случаев в 3—5 раз больше, чем смещение перекрестия «сетки нитей» по отношению к оси объектива в трубах с внешним фокусированием.

Центрирование фокусирующего компонента объектива относительно геометрической оси трубы достигается за счет соблюдения допусков на изготовление оправы и отверстия трубы под оправу фокусирующего компонента.

Процесс центрирования линз объектива заключается в последовательном повороте их вокруг оптической оси относительно друг друга с контролем качества центровки посредством коллиматора, в фокусе которого установлена точка, и микроскопа. При центрированной системе объектива получается хорошее изображение точки, которое при расфокусировании переходит в правильную окружность с интерференционными кольцами.

При центрировании оптических систем зрительных труб необходимо иметь в виду следующие обстоятельства:

- 1) смещение визирной оси зрительной трубы вследствие смещения фокусирующего компонента с оси трубы;
- 2) влияние эксцентриситета перекрестия сетки нитей для труб с внешним фокусированием.

Рассмотрим эти вопросы, так как они важны при конструировании зрительных труб.

Смещение визирной оси трубы вследствие смещения центра фокусирующей линзы с оси трубы. Предположим, что фокусирующая линза смещена относительно оси собственно объектива на величину ϵ (рис. 6). Тогда изображение перекрестия сетки нитей, даваемое фокусирующей

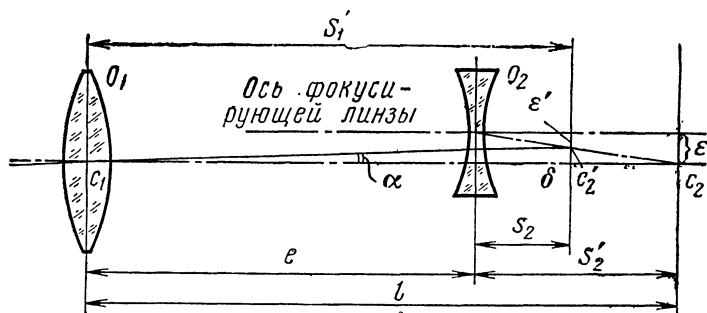


Рис. 6. Схема телеобъектива зрительной трубы с внутренней фокусировкой

линзой, будет лежать в точке C_2' на расстоянии δ от оси трубы; визирная ось займет положение C_1C_2' , образуя с осью трубы угол α :

$$\alpha = \frac{\delta}{S_1'}$$

После ряда преобразований получаем выражение для угла смещения визирной оси [7]

$$\alpha = - \frac{l - e}{f_2' f_1'} \epsilon. \quad (4)$$

Этому выражению можно придать другой вид.
Так как

$$l - e = f_2' \left(1 - \frac{f'}{f_1'} \right),$$

где f' — фокусное расстояние объектива; f_1' — фокусное расстояние собственно объектива; f_2' — фокусное расстояние фокусирующей линзы, то подставляя последнее выражение в формулу (4), получим

$$\alpha = \frac{f' - f_1'}{f' f_1'} \epsilon. \quad (5)$$

Формула (5) показывает, что при фокусировке на определенное расстояние точность визирования зависит лишь от фокусного расстояния собственно объектива при заданном f' .

Влияние эксцентриситета перекрестия сетки нитей для трубы с внешней фокусировкой. Для простой зрительной трубы при фокусировании на большие расстояния действительная формула смещения визирной оси вследствие смещения сетки нитей:

$$\alpha_0 = \frac{1}{f'} \varepsilon. \quad (6)$$

Рассмотрим две трубы с одинаковым фокусным расстоянием: одна из них с внутренней фокусировкой, а другая с внешней. Деля выражение (5) на выражение (6) и обозначая отношение $\frac{\alpha}{\alpha_0}$ через β_K , найдем

$$\beta_K = \frac{f' - f'_1}{f'_1}. \quad (7)$$

Величина β_K показывает, во сколько раз труба с внутренней фокусировкой менее чувствительна к поперечным смещениям визирной оси при фокусировании, чем равная по величине f' труба с внешней фокусировкой.

Пример. Прецизионный нивелир типа НА-1 имеет объектив с фокусным расстоянием $f' = 410$ мм. Фокусное расстояние собственно объектива $f'_1 = 280$ мм.

Таким образом,

$$\beta_K = \frac{f' - f'_1}{f'_1} \approx \frac{1}{2}.$$

Следовательно, визирная ось нивелира с внутренней фокусировкой в 2 раза менее чувствительна к поперечным смещениям при фокусировании, чем соответствующая труба с внешней фокусировкой. При центрировании оптической системы объектива или собственно объектива зрительной трубы следует также иметь в виду, что децентрация получается в основном за счет косины отрицательной линзы, так как центровка отрицательных линз и соответствующий их контроль представляют значительные трудности в сравнении с положительными линзами.

Устранение зрительного параллакса. Одним из недостатков сборки и юстировки оптических систем приборов является параллакс.

Параллаксом называется явление смещения изображения объекта, рассматриваемого через оптическую систему, по отношению к перекрестию сетки нитей прибора при перемещении глаза от одного края выходного зрачка к другому. Параллакс получается в результате несовпадения плоскости сетки нитей с фокальной плоскостью объектива. Величина указанного несовпадения (параллакса) выражается в диоптриях или в угловой мере.

В первом случае для измерения величины параллакса со стороны объектива испытуемого прибора применяют зрительную трубу с $f' = 400 \div 500$ мм и увеличением $40 \div 50\times$. Перемещение окулярной части трубы отсчитывают по шкале, нанесенной в диоптриях, с ценой деления в 0,01 дптр в пределах $\pm 0,2$ дптр.

Нулевое положение индекса должно соответствовать установке зрительной трубы на бесконечность без параллакса. Измерение сводится к тому, чтобы установив трубу против объектива испытуемого прибора, передвижением кремальеры добиться отсутствия параллакса между крестом нитей испытуемого прибора и перекрестием сетки нитей вспомогательной трубы; при этом отсчет по шкале трубы даст непосредственно искомую величину в диоптриях.

Для измерения параллакса в угловых единицах перед объективом длиннофокусного коллиматора ($f'_k = 1000 \div 1500$ мм), в фокусе которого помещена шкала с ценой деления в $1'$, устанавливают испытуемый прибор. Через окуляр испытуемого прибора наблюдают изображение шкалы (миры) коллиматора, перемещая глаз от одного края выходного зрачка к другому, и замечают на сколько делений перекрестие сетки нитей трубы испытуемого прибора перемещается по шкале коллиматора. Число делений шкалы, выраженное в угловой мере, есть угловая величина параллакса испытуемой трубы.

При рассмотрении вопроса о параллаксе в зрительных трубах необходимо иметь в виду ряд обстоятельств.

1. В зрительных трубах с внешним фокусированием параллакс легко устраним, так как окулярное колено вместе с сеткой нитей может перемещаться относительно объектива. В зрительных трубах, имеющих внутреннюю фокусировку, исправление параллакса усложняется, так как расстояние между собственно объективом и сеткой нижней трубы фиксировано. Поэтому устранение параллакса идет за счет изменения расстояния между собственно объективом и сеткой нитей трубы. Например, в трубе теодолита ОТ-02 расстояние изменяют путем подгонки промежуточного кольца в опрае сетки нитей. Допуск при этом задают только плюсовой.

2. Имеются различные толкования о величине параллакса: одни считают, что величина параллакса есть максимальное отклонение изображения объекта от перекрестия сетки нитей в одну сторону, а другие понимают под величиной параллакса отклонение изображения объекта от перекрестия в обе стороны.

В соответствии с положениями геометрической оптики, а также методами измерения последнее изображение является правильным.

3. Когда параллакс переходит некоторый предел, он начинает существенно влиять на точность наведения и правильность измерений.

Для юстировки необходимо знать зависимость между параллактическим углом α_1 и параллактическим смещением P по оси прибора.

Определение зависимости параллактического угла от параллактического смещения. Рассмотрим схему параллакса в зрительной трубе (рис. 7). Предположим, что O_k — окуляр трубы; Z — положение выходного зрачка. В фокусе окуляра F находится перекрестие сетки нитей. Предположим, что действительное изображение, даваемое объективом трубы (на рис. 1 не изображено), образуется не в точке F , а в точке K' , т. е. смещено на величину P . Наблюдатель, помещая свой глаз в центр выходного зрачка (положение Q_1), видит, что точки K' и F кажутся совмещенными на оси.

После этого помещают глаз в положение Q_2 у края выходного зрачка. Так как точка G находится в бесконечности, а K — на не-

котором определенном расстоянии, то наблюдатель будет видеть эти точки на линиях $m''G$ и $m''K$, образующих между собой некоторый угол α_1 , который и называется углом параллакса. Обычно считают параллакс отрицательным, когда K' находится перед фокусом F (со стороны наблюдателя), положительным — если K' находится позади F .

Определим влияние изменения параллактического смещения P на угол параллакса α_1 .

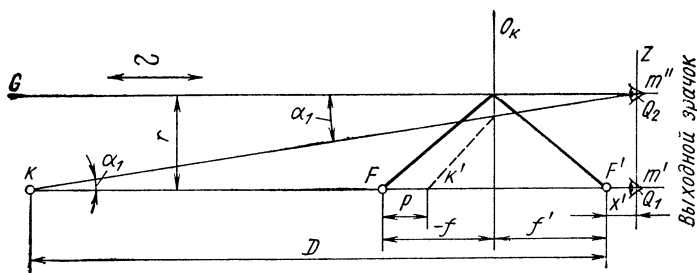


Рис. 7. Схема параллакса в зрительной трубе

Из треугольника $m''m'K$ имеем

$$(D + x') \operatorname{tg} \alpha_1 = r, \quad (8)$$

где r — радиус выходного зрачка, но так как α_1 всегда мало, а D велико, то величиной x' можно пренебречь, т. е.

$$r = D \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{D \alpha_1''}{206\,265}. \quad (9)$$

С другой стороны, по формуле Ньютона имеем

$$DP = f_{\text{ок}}'^2, \quad (10)$$

где $f_{\text{ок}}'$ — фокусное расстояние окуляра; P — параллактическое смещение.

Из формулы (9) находим

$$D = \frac{r \cdot 206\,265}{\alpha_1''}, \quad (11)$$

а из формулы (10) имеем

$$D = \frac{f_{\text{ок}}'^2}{P}, \quad (12)$$

тогда из формул (11) и (12) получим

$$P = \frac{f_{\text{ок}}'^2 \alpha_1''}{r \cdot 206\,265}. \quad (13)$$

Для определения влияния изменения параллактического смещения на изменение параллактического угла необходимо продифференцировать формулу (13).

Так как $f'_{ок}$ и r — величины постоянные для данной системы, то

$$\frac{f_{ок}^{'2}}{r\rho''} = K_1 = \frac{f_{ок}^{'2}}{r \cdot 206\,265},$$

тогда $P = K_1 \alpha_1$ или $\alpha_1 = \frac{1}{K_1} P$.

Дифференцируя последнее равенство, получим

$$\partial \alpha_1 = \frac{1}{K_1} \partial P. \quad (14)$$

Формула (14) дает возможность установить величину изменения параллактического угла α_1 от изменения величины параллактического смещения P .

Из формулы (13) следует, что если α_1 придать значение, равное разрешающей способности глаза, то тем самым найдем величину предельного смещения P , не осязательного для глаз.

При $\alpha_1 = 30''$, $r = 1$ мм и $f'_{ок} = 10$ мм

$$P = \frac{f_{ок}^{'2} \alpha_1}{r \cdot 206\,265} \approx 0,015 \text{ мм.}$$

Как следует из примера, величина предельного параллактического смещения P сравнительно малая и выражается в сотых долях миллиметра, поэтому при юстировке оптических систем зрительных труб с внутренней фокусировкой необходимо точно выдерживать размер от последней поверхности собственно объектива до сетки нитей, тем самым устанавливается оптическая длина трубы. l .

18. ОСНОВНЫЕ ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МИКРОСКОПА

Простые микроскопы и лупы в геометрической оптике рассматриваются обычно в одном разделе. В процессе юстировки этих оптических систем трудностей не возникает. Поэтому рассмотрим основные юстировочные процессы применительно к оптическим системам сложных микроскопов.

Некоторые вопросы теории оптических систем сложных микроскопов. Если у зрительной трубы задний фокус объектива совмещен с передним фокусом окуляра (телескопическая система), то у сложных микроскопов эти фокусы находятся на значительном расстоянии друг от друга. Это расстояние называется оптической длиной тубуса Δ_0 (рис. 8).

$$x = \frac{f_{об}^{'2}}{\Delta_0}; \quad x' = \frac{-f_{ок}^{'2}}{\Delta_0}.$$

Общее фокусное расстояние сложного микроскопа

$$f'_{\text{микр}} = \frac{-f'_{\text{об}} f'_{\text{ок}}}{\Delta_0}.$$

Общее увеличение сложного микроскопа

$$\Gamma_{\text{микр}} = \frac{250}{f'_{\text{микр}}} = \left[\frac{250}{f'_{\text{об}}} \right] \left[\frac{-\Delta_0}{f'_{\text{ок}}} \right] = \left[\frac{-\Delta_0}{f'_{\text{об}}} \right] \left[\frac{250}{f'_{\text{ок}}} \right]$$

или

$$\Gamma_{\text{микр}} = -\frac{250\Delta_0}{f'_{\text{об}} f'_{\text{ок}}}. \quad (15)$$

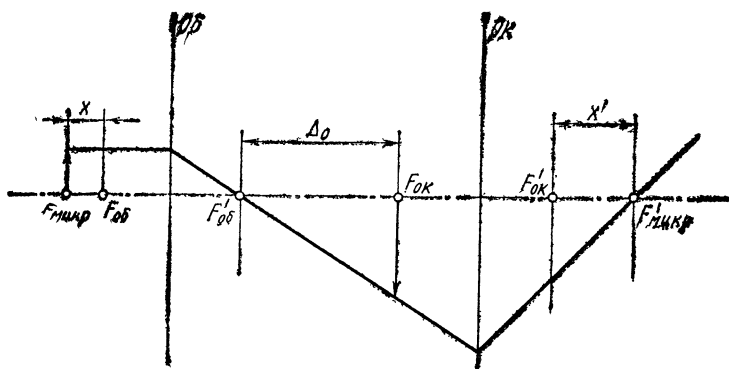


Рис. 8. Схема хода лучей в сложном микроскопе

Правую часть равенства (15), являющегося основным при изучении микроскопа, можно разложить на два множителя и в зависимости от разложения получить две различные схемы, применяемые в современных оптических приборах.

1. Представим равенство (15) в виде

$$\Gamma_{\text{микр}} = \frac{-\Delta_0}{f'_{\text{об}}} \frac{250}{f'_{\text{ок}}} = \beta_1 \Gamma_{\text{ок}}. \quad (16)$$

В таком виде равенство позволяет рассматривать общее действие микроскопа как результат совместного действия объектива и окуляра.

Объектив микроскопа обращен к объекту и дает его промежуточное изображение (действительное, увеличенное и перевернутое) на расстоянии оптической длины тубуса от своего заднего фокуса. Линейное увеличение объектива

$$\beta_{\text{об}} = \frac{-\Delta_0}{f'_{\text{об}}}.$$

По законам геометрической оптики объект в этом случае находится на расстоянии от переднего фокуса объектива

$$x = \frac{-f'_{об}{}^2}{\Delta_0}.$$

Предметное расстояние, т. е. расстояние от предмета до передней линзы объектива, у сложного микроскопа на величину x больше, чем у объектива, используемого в простом микроскопе.

Окуляр служит лупой, при помощи которой рассматривается промежуточное изображение, даваемое объективом. Окуляр дополнительно увеличивает промежуточное изображение и доводит его до размеров, при которых оно наблюдается под достаточно большим углом зрения. Угловое увеличение окуляра составляет

$$\Gamma_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}}.$$

В сложных микроскопах окуляр может быть заменен простым микроскопом. Такие системы сложных микроскопов применены в оптических теодолитах.

2. При втором варианте преобразования равенство (15) имеет вид

$$\Gamma_{микр} = \frac{250}{f'_{об}} \frac{-\Delta_0}{f'_{ок}} = \Gamma_{об} \Gamma_{зр.тр}. \quad (17)$$

Первый множитель представляет собой увеличение, даваемое объективом, действующим как лупа:

$$\Gamma_{об} = \frac{250}{f'_{об}}.$$

Второй множитель характеризует возрастание увеличения, полученного от объектива, до общего увеличения, определяемого длиной тубуса и фокусным расстоянием окуляра. Формально он соответствует увеличению зрительной трубы, у которой фокусное расстояние объектива равно Δ_0 ; это увеличение называется увеличением окулярного аппарата:

$$\Gamma_{зр.тр} = \frac{-\Delta_0}{f'_{ок}}.$$

Сложные микроскопы, схема которых выполнена по второму варианту разложения равенства [15], применены в стереокомпараторах, стереометрах и стереопроекторах.

В формуле общего увеличения микроскопа содержится три величины, изменением которых можно варьировать величину общего увеличения. Можно изменять:

- 1) фокусное расстояние объектива (смена объективов);
- 2) фокусное расстояние окуляра (смена окуляров);
- 3) длину тубуса.

Однако необходимо иметь в виду, что изменение длины тубуса допустимо в небольших пределах и только при применении объек-

тивов с малой апертурой, так как большие изменения длины тубуса ухудшают качество изображения. Смена же объективов и окуляров в целях изменения общего увеличения микроскопа применяется весьма широко. На рис. 9, а дана схема микроскопа, разложенного по первому способу, а на рис. 9, б — схема микроскопа, фактически построенного по предложенному Аббе принципу разделения микроскопа.

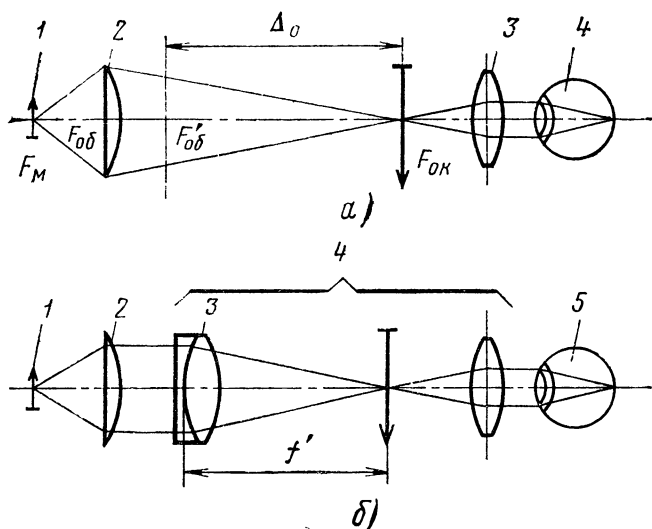


Рис. 9. Схема разделения оптических систем сложных микроскопов:

а — схема разделения микроскопа по первому способу: 1 — предмет; 2 — объектив микроскопа; 3 — окуляр или простой микроскоп; 4 — глаз; б — схема разделения микроскопа по Аббе: 1 — предмет; 2 — объектив; 3 — объектив зрительной трубы (тубусная линза); 4 — зрительная труба; 5 — глаз

Изображение, даваемое объективом, расположено в бесконечности и рассматривается в зрительную трубу. Объектив зрительной трубы в этом случае называют тубусной линзой.

Юстировка оптических систем сложных микроскопов состоит из следующих процессов: юстировка объектива микроскопа; приведение изображения штрихов лимбов (шкал) в поле зрения окулярной части микроскопа; устранение рена микроскопа; устранение параллакса.

Юстировка оптической системы объектива микроскопа. Юстировка оптической системы объектива микроскопа в отличие от юстировки оптической системы объектива зрительной трубы представляет собой более простой процесс, который сводится к перемещению объектива вдоль его оптической оси до получения резкого изображения штрихов лимба (шкалы).

В процессе юстировки оптической системы микроскопа фокусирование объектива несколько раз повторяется, как например, при устранении рена, параллакса и т. д.

Приведение изображения штрихов лимбов (шкал) в поле зрения окулярной части микроскопа. Этот процесс выполняют различными способами в зависимости от оптической системы микроскопа.

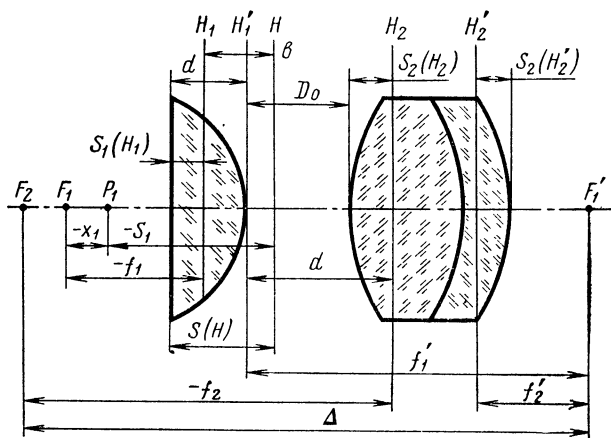


Рис. 10. Схема объектива микроскопа горизонтального лимба теодолита ОТ-02

Например, при юстировке микроскопа горизонтального лимба теодолита ОТ-02 соблюдают такую последовательность:

- 1) устанавливают лимб;
- 2) производят юстировку оптического микрометра;
- 3) устанавливают призму отсчетного микроскопа.

Этот процесс связан с установкой оптических деталей (призм), передающих систем (линз) и может рассматриваться только в связи с конкретной оптической системой [7].

Устранение рена микроскопа. Наличие рена указывает на несоответствие фактического увеличения микроскопа расчетному (рис. 10).

Определим влияние изменения расстояния между компонентами объектива микроскопа на его увеличение.

Поперечное увеличение для комбинации двух оптических систем с общей осью выражается формулой

$$\beta_2 = \frac{f_1 f_2}{f_1 f_1' - x_1 \Delta}. \quad (18)$$

Эту формулу можно написать в виде

$$\beta_2 = \frac{-f_1' f_2'}{f_1'^2 + x_1 \Delta}. \quad (19)$$

Продифференцируем ее, считая β_2 и Δ переменными, а x_1 — постоянным

$$\frac{d\beta_2}{d\Delta} = \frac{x_1 f'_1 f'_2}{(f_1'^2 + x_1 \Delta)^2} \quad (20)$$

Умножив и разделив правую часть формулы на величину $f'_1 f'_2$, получим

$$\frac{d\beta_2}{d\Delta} = \frac{x_1 f'_1 f'_2 f'_1 f'_2}{(f_1'^2 + x_1 \Delta)^2 f'_1 f'_2}.$$

Таким образом,

$$\frac{d\beta_2}{d\Delta} = \frac{x_1 \beta_2^2}{f'_1 f'_2},$$

откуда

$$d\beta_2 = \frac{x_1 \beta_2^2}{f'_1 f'_2} d\Delta. \quad (21)$$

Поскольку величины β_2 , $f'_1 f'_2$ и x_1 для данной конкретной системы известны, то формулу можно написать в виде

$$d\beta_2 = K_2 d\Delta, \quad (22)$$

где

$$K_2 = \frac{x_1 \beta_2^2}{f'_1 f'_2}.$$

Так как $d\Delta \approx dD_0$,
то

$$d\beta_2 = K_2 dD_0. \quad (23)$$

Формула (23) дает возможность определить изменение увеличения объектива микроскопа в зависимости от изменения расстояния между компонентами объектива микроскопа.

Устранение параллакса. В сложных микроскопах параллакс устраняют различными способами в зависимости от конструкции оптической системы микроскопа. Рассмотрим этот вопрос в общем виде. Параллакс возникает, если плоскость изображения не совпадает с плоскостью сетки прибора, что зависит от точности фокусировки. В большей части случаев устранение параллакса достигается перемещением объектива вдоль оптической оси.

При устранении параллакса необходимо знать зависимость между изменением величины x и изменением величины перефокусировки окуляра x' (см. рис. 8).

Из теории сложного микроскопа известно, что

$$x = \frac{f_{об}'^2}{\Delta_0}; \quad x' = \frac{-f_{ок}'^2}{\Delta_0}; \quad F_{микр} = -\frac{f_{об}' f_{ок}'}{\Delta_0};$$

$$\Delta_0 = \frac{f'_{об}}{x} = \frac{-f'_{ок}}{x'}; \quad x' = \frac{-f'_{ок}}{f'^2_{об}} x. \quad (24)$$

Обозначив через K_3 отношение $-\frac{f'_{ок}}{f'^2_{об}}$ и продифференцировав формулу (24), получим

$$dx' = K_3 dx. \quad (25)$$

Эта формула дает возможность определить изменение величины x' вследствие изменения x .

Приведем примеры способов устранения параллакса различных систем сложных микроскопов.

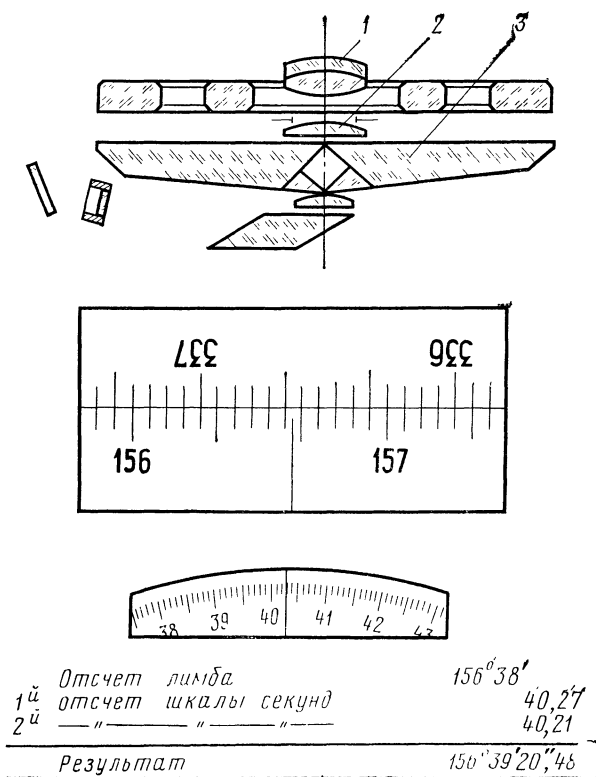


Рис. 11. Схема оптической системы объектива микроскопа горизонтального лимба теодолита ОТ-02.
Поле зрения отсчетного микроскопа

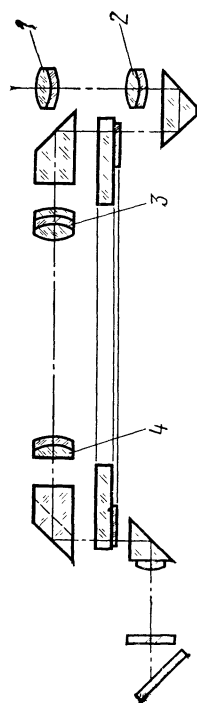


Рис. 12. Схема оптической системы объектива микроскопа горизонтального лимба теодолита ТнВ. Поле зрения отсчетного микроскопа

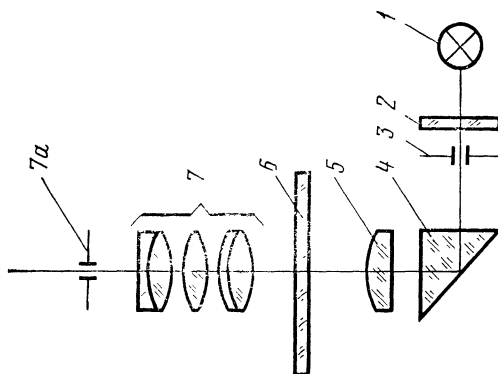
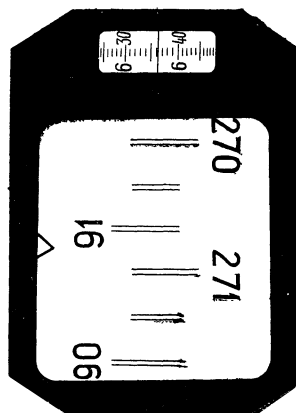


Рис. 13. Схема оптической системы объектива инструментального микроскопа:

1 — источник света; 2 — матовое стекло или зеленый светофильтр; 3 — ирригационная диафрагма; 4 — призма; 5 — конденсор; 6 — предметное стекло; 7 — объектив; 7а — диафрагма

Оптическая система объектива микроскопа горизонтального лимба в теодолите ОТ-02. Параллакс между изображением противоположных штрихов лимба устраняется за счет наклона одной из алидадных призм 3 (рис. 11).

Параллакс между изображением противоположных штрихов лимба и индексом оптического микрометра устраняется за счет фокусировки объектива микроскопа горизонтального лимба 1, 2.

Оптическая система объектива микроскопа горизонтального лимба в теодолите ThB. Параллакс между изображением противоположных штрихов лимба устраняется за счет перемещения вдоль оси линз передающей системы (поз. 3, 4, рис. 12).

Параллакс между изображениями противоположных штрихов лимба и индексом оптического микрометра устраняется за счет фокусировки объектива микроскопа 1, 2.

Оптическая система объектива инструментального микроскопа. В этой системе параллакс между штриховой сеткой и предметом (шкала) устраняется за счет фокусировки объектива микроскопа 7 (рис. 13).

19. ОСНОВНЫЕ ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИКРОМЕТРОВ

Оптические микрометры представляют собой отсчетные приспособления к различным оптическим системам. Они применяются как в оптических системах микроскопов, так и в оптических системах зрительных труб.

В первом случае оптические микрометры служат средством для увеличения точности отсчета по лимбам или шкалам, в другом — для повышения точности отсчета по рейке. Оптические микрометры применяются и в других оптических приборах.

Оптические микрометры разнообразны по конструкции, а поэтому юстировочные процессы, связанные с их сборкой, имеют различную сложность как по времени, так и по квалификации.

Рассмотрим юстировочные процессы оптических микрометров микроскопов к теодолитам ОТ-02, ThB, а также оптического микрометра в системе зрительной трубы нивелира НБ-2.

Оптический микрометр теодолита ОТ-02. Рассматриваемый микрометр представляет собой устройство с вращающимися в разные стороны плоскопараллельными пластинками. При повороте пластинок вокруг осей несущих рычагов лучи, идущие от противоположных штрихов лимба, смещаются и возможно совмещение двух изображений штрихов лимба в поле зрения отсчетного микроскопа. В существующей конструкции теодолита наклон пластинок осуществляется механизмом с уменьшением угловой скорости примерно в 60 раз по сравнению с поворотом диска секунд. Механизм наклона пластинок (рис. 14, а) состоит из двух рычагов, вращающихся на осях O_1 и O_2 , в каждом из которых укреплен плоскопараллельная пластинка. На концах рычагов a_1 и b_1 укреплены штифты, которые входят в паз диска А, имеющий форму спирали Архимеда. Диск А вращается вокруг оси С, на которой также укреплен секундный диск.

И. П. Араев в своей работе «Упрощенная конструкция оптического микрометра с качающимися плоскопараллельными пластин-

ками», помещенной в Сборнике статей по геодезии, вып. II за 1952 г., приводит формулу теоретической погрешности оптического микрометра теодолита ОТ-02, выраженную в числе делений диска секунд:

$$\delta\gamma^{\partial} = \frac{Rm}{2\pi a} \sin \frac{\alpha_0}{2} \left(\frac{z}{4} \right)^2, \quad (26)$$

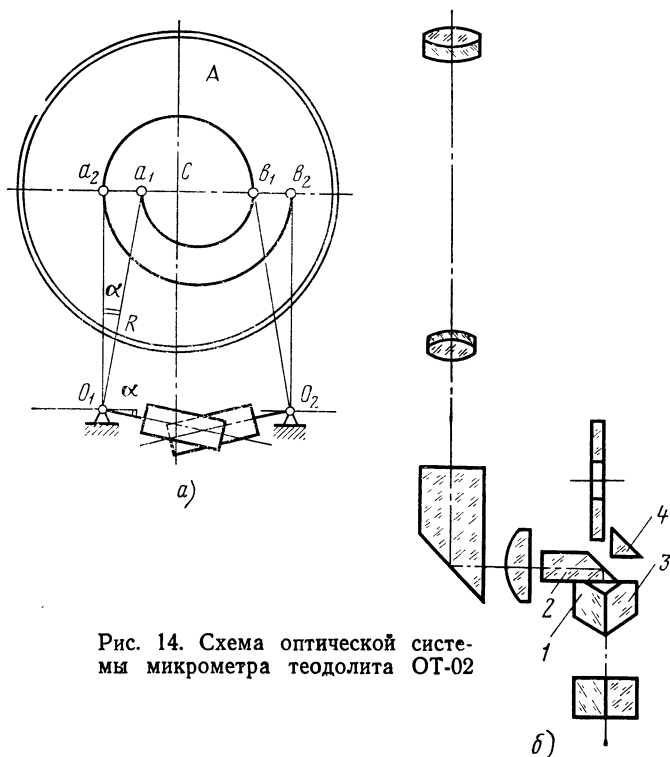


Рис. 14. Схема оптической системы микрометра теодолита ОТ-02

где

$$a = \frac{t}{2\pi}$$

или

$$\partial\gamma^{\partial} = \frac{R}{t} m \sin \frac{\alpha_0}{2} \left(\frac{z}{4} \right)^2$$

здесь $\alpha_0 = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ — угол при нейтральном положении пластинок микрометра, где α_1 и α_2 — предельные углы наклона рычагов; γ —

угол поворота кулачка (диска A) с диском секунд; α — угол отклонения рычага с пластинкой; R — длина рычага; t — шаг спирали; m_s — число делений диска секунд; $z = (\alpha_2 - \alpha_1)$ — величина диапазона работы микрометра.

Величина теоретической погрешности для микрометра теодолита ТО-02 при $\alpha_0 = 0,2$ рад; $z = 0,1$ рад; $R = 30$ мм; $t = 3$ мм и $m_s = 600$ будет равна

$$\delta\gamma^d = \frac{R}{t} m_s \sin \frac{\alpha_0}{2} \left(\frac{z}{4} \right)^2, \quad (27)$$

$$\delta\gamma^d = \frac{30}{3} 600 \cdot 0,00006 = 0,36 \text{ деление диска секунд.}$$

Таким образом, теоретическая погрешность оптического микрометра теодолита ОТ-02 составляет около $(1/3)''$.

На практике погрешность оптического микрометра теодолита ОТ-02 в несколько раз больше из-за погрешности обработки спирального паза кулачка, ведущих штифтов рычагов, осей рычагов, а также изготовления пружин.

По техническим требованиям оптический микрометр теодолита ОТ-02 должен иметь следующие характеристики:

- а) систематические ошибки не должны превышать $1''$;
- б) ошибки совмещения штрихов горизонтального лимба не должны превышать $0''$, 3 , а вертикального лимба — $0''$, 6 ;
- в) мертвый ход не должен превышать $1''$ при различных установках алидады горизонтального лимба [7].

Чтобы обеспечить эти требования, необходимо выполнить следующие юстировочные процессы, т. е. установить плоско-параллельные пластинки; призмы на мостике микрометра; призму подсветки диска секунд; испытать оптический микрометр.

При установке плоско-параллельных пластинок оптического микрометра снимают его мостик с оптическими деталями и навертывают оправу микрометра на резьбовую стойку гониометра.

На оправу микрометра устанавливают лагерь микрометра с прикрепленной к его основанию плоско-параллельной пластинкой. Наблюдая в автоколлимационную трубу гониометра, устанавливают плоско-параллельные пластинки микрометра так, чтобы блики от них и от плоскопараллельной пластинки, укрепленной на основании лагеря микрометра, совпадали.

После того как плоско-параллельные пластинки установлены в рычагах микрометра, их закрепляют при помощи стопорных винтов и шеллака.

Для того чтобы установить оптические детали в мостике микрометра, необходимо установить призму 2, передающую изображение штрихов лимбов, и разделяющий блок 1, 3 (рис 14, б). Мостик микрометра устанавливают на плоско-параллельную пластину, помещенную вместе с автоколлиматором на контрольную плиту. Наблюдая автоколлимационное изображение от пластины, подводят мостик микрометра и устанавливают призму 2 так, чтобы выходящая грань ее была параллельна основанию мостика микрометра. После этого мостик микрометра устанавливают в оправу микрометра, на которой укрепляют оправу с отсчетным микроскопом (рис. 15).

Наблюдая в отсчетный микроскоп, устанавливают разделяющий блок (рис. 14, б). Для того чтобы линия раздела проходила по оси симметрии отверстия диафрагмы (рамки), нанесенной на призме 2, необходимо призму переместить в направлении, перпендикулярном к основанию мостика микрометра. После установки призмы 2 и разделяющего блока их закрепляют стопорными винтами.

Осветительную призму 4 диска секунд устанавливают при наблюдении в отсчетный микроскоп, укрепленный на оправе микрометра.

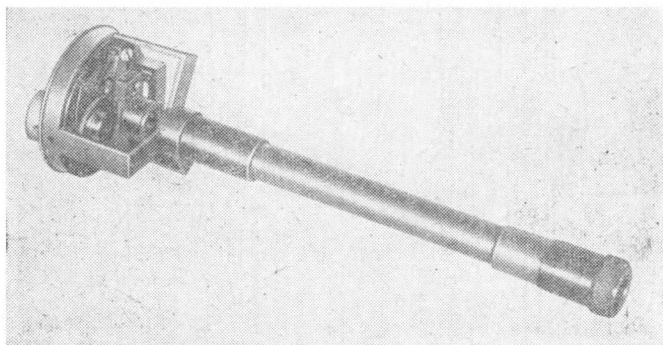


Рис. 15. Отсчетный микроскоп с оптическим микрометром

Наблюдая в отсчетный микроскоп, призму 4 устанавливают при помощи юстировочных винтов так, чтобы изображение штрихов диска секунд было симметрично диафрагме, нанесенной на призме 4. Вращая головку микрометра до упора и наблюдая в отсчетный микроскоп, устанавливают диск секунд так, чтобы индекс микрометра был приблизительно посередине штрихов с подписью 0 и 60, после чего диск секунд закрепляют. При параллельности плоско-параллельных пластинок микрометра отсчет по диску секунд должен быть примерно 475.

Испытание оптического микрометра производят следующим образом. Кулачок, ведущий штифты рычагов, изготовлен в виде спирали Архимеда. При его вращении плоско-параллельные пластинки изменяют свой угол наклона.

Метод исследования, предложенный С. И. Уличкиным, сводится к измерению углов поворота пластинок в зависимости от угла поворота кулачка на установке, представляющей собой тип гониометра, или на высокоточном гониометре. На резьбовой стойке в подставке укрепляют оптический микрометр, соединенный с отсчетным микроскопом посредством патрубка. Наблюдая в отсчетный микроскоп, вращением головки микрометра приводят в движение диск секунд и кулачок, а через ведущие штифты рычагов наклоняют плоско-параллельные пластинки микрометра.

Установив интервалы по диску секунд (например, 0—50, 50—100, 100—150 и т. д.), измеряют углы поворота пластинок, наблюдая в

автоколлимационную трубу гониометра и отсчитывая по микро-
скопу лимба.

Отклонения измеренных углов поворота пластинок от расчет-
ных данных не должны превышать одной минуты [7].

В случае больших отклонений микрометр исправляют регулиров-
кой пружин, притиркой осей рычагов и ведущих штифтов, а также
сменой кулачка.

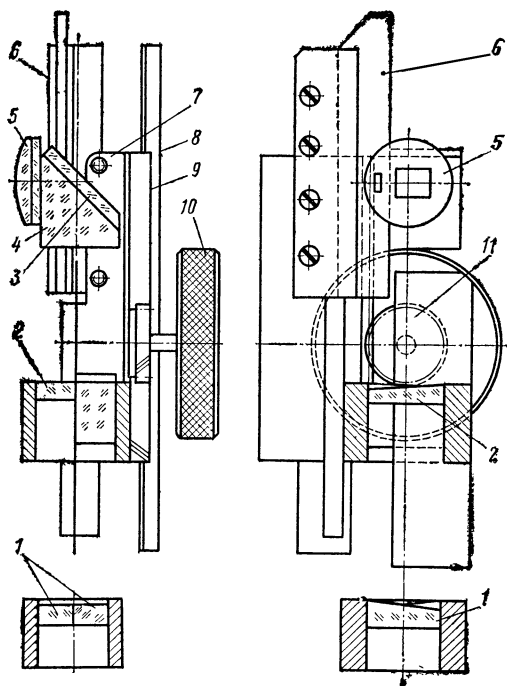


Рис. 16. Схема оптического микрометра
теодолита ThB

Оптический микрометр теодолита ThB. Этот прибор представ-
ляет собой микрометр с перемещаемыми вдоль оптической оси объ-
ектива микроскопа оптическими клиньями. Оптические микрометры
такого типа имеют преимущество перед микрометрами с плоско-
параллельными пластинками, так как шкала микрометра и оптические
клинья жестко укреплены в одной оправе, что исключает мертвый
ход механизма перемещения шкалы. Оптический микрометр пред-
назначен для выполнения отсчетов по горизонтальному и верти-
кальному лимбам. Горизонтальный и вертикальный лимбы теодолита
разделены через $20'$, шкала микрометра имеет 600 делений. Таким
образом, цена деления шкалы микрометра равна $1''$, причем пере-

мещение шкалы на всю длину соответствует 10'. Принципиальное устройство оптического микрометра теодолита ThB показано на рис. 16.

На пластине, являющейся основанием микрометра (на рис. 16 не показана), укреплены все части. При вращении барабана 10 по направляющей 8 перемещается ползун 7, с которым жестко связаны рейка 9, шкала микрометра 6 и оправы с клиньями микрометра 2. С рейкой 9 находится в зацеплении зубчатое колесо 11 барабана 10 оптического микрометра. Над клиньями микрометра 2

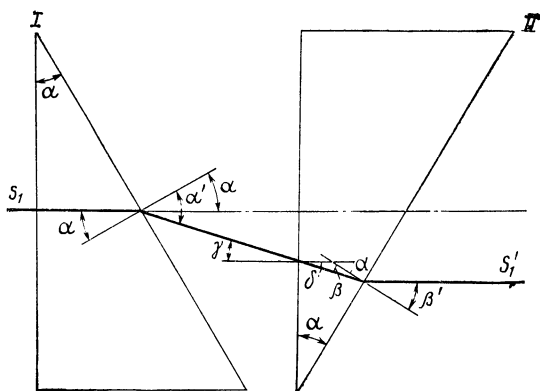


Рис. 17. Ход лучей в клиньях оптического микрометра теодолита ThB

помещена оправа с блоком разделяющей призмы, в который входят клин 3, призма 4 и конденсатор 5 с диафрагмой. Под клиньями 2 помещены оправы с неподвижными клиньями 1, а также оправы с призмой переключения (на рис. 16 не показана).

Для того чтобы выполнить отсчет по лимбам, необходимо совместить изображения противоположных штрихов лимба. Это достигается вращением барабана 10 микрометра. После совмещения изображений противоположных штрихов лимба, ориентируясь по индексу диафрагмы, берут отсчеты по лимбу и по шкале микрометра.

Рассмотрим схему работы оптического микрометра.

На рис. 17 изображены неподвижный I и подвижный II клинья микрометра, через которые проходят лучи с одного края лимба.

Луч, пройдя клин I, отклонится на величину $\gamma = \alpha' - \alpha$. Так как $\alpha' = n\alpha$, то

$$\gamma = \alpha(n - 1). \quad (28)$$

Луч, войдя в клин II, преломится и пройдет под углом δ

$$\delta = \frac{\gamma}{n} = \frac{\alpha(n - 1)}{n}. \quad (29)$$

Из рис. 17 следует, что $\alpha = \delta + \beta$

$$\beta = \alpha - \delta = \alpha - \frac{\alpha(n-1)}{n} = \frac{n\alpha - n\alpha + \alpha}{n} = \frac{\alpha}{n}.$$

Луч выйдет из клина II под углом β' , который находим из формулы

$$\beta' = \beta n = \frac{\alpha}{n} n = \alpha. \quad (30)$$

Таким образом установлено, что в этой системе клиньев выходящий пучок лучей параллелен входящему. Следовательно, действие такой системы равноценно действию качающейся плоско-параллельной пластинки.

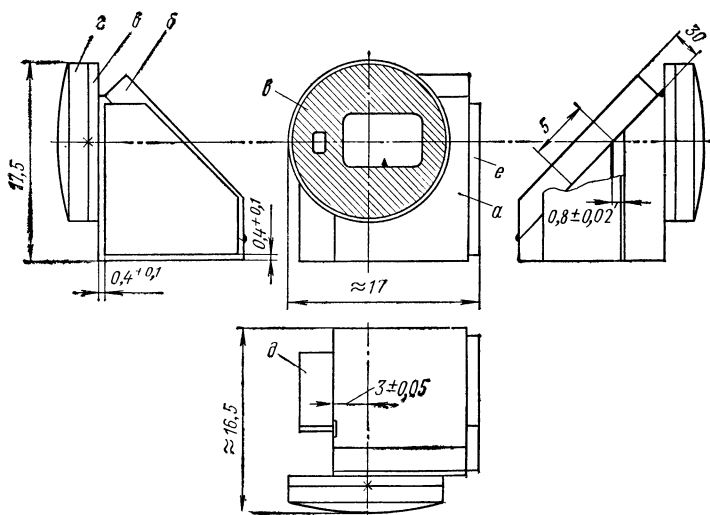


Рис. 18. Схема блока разделяющей призмы

Юстировка оптического микрометра состоит из установки подвижных и неподвижных клиньев и блока разделяющей призмы.

Установка клиньев микрометра осуществляется при помощи автоколлиматора таким образом, чтобы входные грани подвижных и неподвижных клиньев были параллельны.

Важнейшим узлом оптического микрометра теодолита является блок разделяющей призмы (рис. 18), состоящий из следующих деталей: a — призмы; b — клина, 30° ; e — плоско-параллельной пластинки; g — коллектива отсчетного микроскопа; d — призмы-подсветки шкалы микрометра; e — пластины, скрепляющей клин с призмой.

Плоскость клина, к которой приклеена призма, частично посеребрена и образует тем самым линию раздела изображений проти-

воположных штрихов лимба. Противоположная плоскость клина посеребрена полностью.

На плоско-параллельной пластине *в* нанесена диафрагма. Все детали блока разделяющей призмы склеены между собой.

Склейка блока разделяющей призмы представляет собой сложный процесс, так как при этом должны быть выполнены следующие условия.

Линия раздела (посеребренный край) и индекс должны быть посередине отверстия диафрагмы: допустимое отклонение 0,05 мм. Линия раздела должна быть параллельна краю диафрагмы; допустимое отклонение 10'. Склеиваемые плоскости клина и призмы должны быть высокого качества, поэтому процесс склеивания необходимо выполнять аккуратно во избежание образования царапин и других повреждений. Выходные грани призм *а* и *д* должны быть параллельны (допуск 10').

В склеенном блоке между плоскостью призмы *а* и отражающей плоскостью клина *б* должен быть угол 30' (допуск $\pm 1'$). В целях предохранения клина от сползания края соединения с призмой промазывают смесь рыбьего клея с гипсом. Может быть также применен бальзамин с наполнителем (молотый тальк).

После проверки качества склейки блок разделяющей призмы со своей оправой устанавливают в микрометре.

Оптический микрометр окончательно юстируют в инструменте, где устанавливают диапазон перемещения шкалы микрометра, ее нулевое положение и т. д., после чего шкалу, клинья, а также блок разделяющей призмы окончательно закрепляют.

В отъюстированном оптическом микрометре при рассматривании через отсчетный микроскоп линия изображений противоположных штрихов лимба должна быть посередине диафрагмы и параллельна ее краю, индекс шкалы микрометра находится посередине диафрагмы и шкала микрометра установлена без перекоса.

Оптический микрометр ОМГ-1 для высокоточных оптических теодолитов. Существующие оптические микрометры в высокоточных оптических теодолитах имеют существенные недостатки.

1. В оптических микрометрах, которые применяются в оптических теодолитах типа «Вильд» имеют место погрешности, вызываемые в процессе обработки: спирального паза кулачка, ведущих штифтов рычагов, а также изготовления пружин. Поэтому при цене деления диска секунд 0", 2 систематические ошибки доходят до 1".

2. В оптических микрометрах, которые применяются в оптических теодолитах типов ThB, ТБ-1 и ТВО-1 недостатком является то, что при резком изображении штрихов лимба изображение диафрагмы в поле зрения отсчетного микроскопа не резкое. Это получается в результате того, что плоскость изображения противоположных штрихов лимба проходит через линию раздела блока разделяющей призмы, а диафрагма нанесена на плоско-параллельной пластинке, склеенной с коллективом отсчетного микроскопа. Автором предложена конструкция оптического микрометра ОМГ-1 для высокоточных теодолитов, которая не имеет указанных недостатков.

Оптический микрометр ОМГ-1 представляет собой отсчетное приспособление по горизонтальному и вертикальному лимбам высокоточных оптических теодолитов. Оптический микрометр ОМГ-1 отличается от существующих конструкцией разделяющего блока.

В этом блоке (рис. 19) изображения противоположных штрихов лимба и диафрагмы с индексом находятся в одной плоскости со шкалой микрометра. Поэтому в данной конструкции оптического микрометра параллакс между изображениями противоположных штрихов лимба и изображением диафрагмы с индексом отсутствует. Применение шкалы, связанной с неподжными клиньями микро-

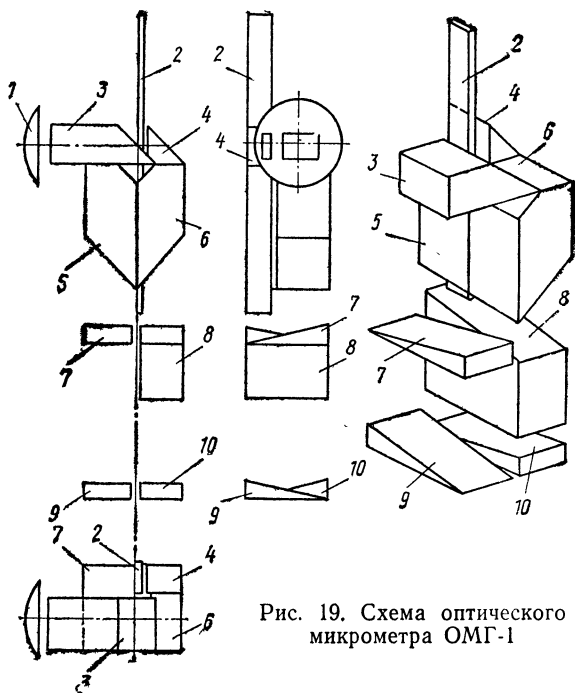


Рис. 19. Схема оптического микрометра ОМГ-1

метра (7, 8) исключает влияние механических погрешностей при перемещении шкалы с клиньями и отсчетах по лимбам.

В оптической системе микрометра содержатся следующие узлы и детали (рис. 19): 1 — коллектив отсчетного микроскопа; 2 — шкала микрометра; 3 — призма, передающая изображение противоположных штрихов лимба; 4 — призма подсветки шкалы микрометра; 5, 6 — разделяющий блок; 7, 8 — подвижные клинья микрометра; 9, 10 — неподвижные клинья микрометра.

Отраженный пучок света от горизонтального или вертикального лимбов падает на неподвижные клинья 9, 10, затем на подвижные клинья 7, 8 и проходит блок 5, 6. В плоскости, совпадающей с гипотенузной гранью призмы 3, объективом микроскопа строится изображение противоположных штрихов лимба, которое рассматривается через коллектив 1 и систему отсчетного микроскопа.

Часть света при этом проходит через правую деталь блока 6, более длинную чем деталь блока 5, в призму подсветки 4, благодаря которой освещаются штрихи шкалы микрометра, которые рассматриваются в отсчетном микроскопе через коллектив 1. Призма 4 может быть приклеена к детали 6 или укреплена на основании микрометра. На призме 3 нанесена диафрагма поля зрения противоположных штрихов лимба, а на призме 4 диафрагма поля зрения штрихов шкалы микрометра.

Конструкция оптического микрометра ОМГ-1 может быть применена в теодолитах ТБ-1, ТВО-1, Т-5, а также при создании новых высокоточных оптических теодолитов.

При применении данного микрометра в оптических теодолитах типа «Вильд» подвижные клинья 7, 8 должны быть одинаковы по размерам.

Юстировка оптического микрометра состоит из установки подвижных и неподвижных клиньев, разделяющего блока и общей юстировки микрометра.

Установка клиньев микрометра осуществляется при помощи автоколлиматора таким образом, чтобы входные грани подвижных и неподвижных клиньев были параллельны.

Важнейшим узлом оптического микрометра является разделяющий блок, состоящий из призм 5, 6, 3 и 4.

Коллектив отсчетного микроскопа 1 с диафрагмами может быть приклеен к призме 3 или укреплен в оправе микрометра. Прежде всего необходимо склеить призмы 5 и 6. Склейка выполняется при помощи микроскопа с увеличением порядка 40—50 \times . Наблюдая в микроскоп, склеивают призмы 5 и 6 так, чтобы изображение линии раздела было бы в виде тонкой линии равной толщины на всем протяжении склейки. После этого приклеивают призму 3 к призме 5 так, чтобы линия раздела была бы в центре диафрагмы, нанесенной на входной грани призмы 3.

Склейку призмы 4 с призмой 6 выполняют в оправе микрометра с укрепленной шкалой 2, клиньями 7, 8, 9, 10 и коллективом отсчетного микроскопа 1. При этом коллектив 1 должен быть установлен (или приклеен к призме 3) так, чтобы диафрагма на коллективе совпадала с диафрагмой на призме 3.

На оправе оптического микрометра укрепляют отсчетный микроскоп. Наблюдая в микроскоп, устанавливают призму 4 так, чтобы освещение окна диафрагмы с изображением штрихов шкалы было бы равномерно по всему полю. После правильной установки призму 4 приклеивают к призме 6.

Установка шкалы микрометра 2 заключается в том, что изображение штрихов шкалы параллельны индексу, нанесенному в окне диафрагмы.

Окончательная юстировка оптического микрометра осуществляется в инструменте, где устанавливают диапазон перемещения шкалы микрометра, ее нулевое положение и т. д. После чего шкалу, клинья, а также разделяющий блок окончательно закрепляют.

Юстировочные процессы при сборке оптического микрометра в нивелире НБ-2. Оптический микрометр в нивелире НБ-2 является частью оптической системы зрительной трубы нивелира и состоит из первых двух компонентов объектива, представляющих собой трубу Галилея, и плоско-параллельной пластинки.

Лабораторные исследования опытного образца трубы конструк-

ции В. А. Белицына и Б. В. Фефилова показали, что при перемещении отрицательного компонента объектива трубы меняется цена деления барабана микрометра.

Это происходит оттого, что плоско-параллельная пластинка в этой системе находится внутри трубы, где лучи идут «почти» параллельно. Поэтому цена деления барабана микрометра зависит не только от толщины плоско-параллельной пластинки, но и от увеличения оптической системы первых двух компонентов объектива зрительной трубы.

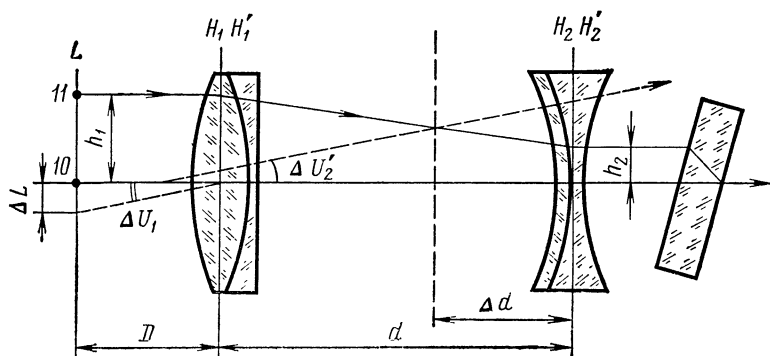


Рис. 20. Схема оптического микрометра НБ-2

Цена деления барабана микрометра постоянна для различных расстояний до рейки в том случае, если увеличение первых двух компонентов при этом также постоянно.

Существуют два метода юстировки оптического микрометра:

- 1) предложенный авторами конструкции данной трубы и
- 2) предложенный С. И. Уличкиным (см. Сборник статей по геодезии. Вып. II, М., Геодезиздат, 1952).

Рассмотрим первый метод (рис. 20).

Покажем, как влияет неправильная установка расстояния между двумя первыми компонентами системы объектива трубы на точность показаний нивелира и на каком расстоянии от рейки следует производить юстировку трубы.

На рис. 20 $H_1 H_1'$ и $H_2 H_2'$ — первый и второй компоненты объектива. Штрих 10 рейки находится на оптической оси и совмещен с перекрестием сетки нитей. Луч от штриха 11, идущий параллельно оси, после прохождения через указанные компоненты вновь становится параллельным оси, но проходит на высоте h_2 от нее

$$h_2 = \frac{h_1}{\gamma_1}, \quad (31)$$

где $\gamma_1 = \frac{-f_1'}{f_2'}$ — увеличение первой телескопической системы.

Задача заключается в том, чтобы этот луч поворотом плоско-параллельной пластинки совместить с оптической осью и тем самым штрих *II* рейки совместить с перекрестием сетки нитей. В идеальном случае перемещения изображения рейки относительно перекрестия сетки нитей не произойдет. Если же указанные два компонента не являются телескопической системой, то луч штриха *II* после прохождения через второй компонент составит с осью угол u_2' (предполагается незначительное отступление от телескопических свойств). Плоско-параллельная пластинка не может этот луч совместить с оптической осью, если ее повернуть на заданный угол. Штрих *II* будет совмещен с перекрестием сетки нитей, когда на барабане микрометра отсчет будет меньше. Цена деления барабана микрометра изменилась. Величина этого изменения может быть определена следующим образом.

Напишем для данной оптической системы уравнения, определяющие ход указанного луча:

$$u_1' = h_1 \varphi_1; \quad (32)$$

$$h_2 = h_1 - d_1 u_1' = h_1 - h_1 d_1 \varphi_1; \quad (33)$$

$$u_2' = u_1' + h_2 \varphi_2. \quad (34)$$

Дифференцируем эту группу уравнений (переменные h_2 ; d_1 ; u_2')

$$\Delta h_2 = -h_1 \varphi_1 \Delta d_1;$$

$$\Delta u_2' = -h_1 \varphi_1 \varphi_2 \Delta d_1. \quad (35)$$

Связь между $\Delta u_2'$ и сопряженным ему углом на местности $\Delta u_1 = \frac{\Delta L}{D}$ имеет вид

$$\Delta u_2' = \Delta u_1 \gamma_1 = -\Delta u_1 \frac{\varphi_1}{\varphi_2}. \quad (36)$$

Решим совместно уравнения (35) и (36), заметив при этом, что ΔL изменяется с изменением расстояния до рейки, и полагая $h_1 = 5$ мм, получим

$$\begin{aligned} \Delta d_1 &= \frac{\Delta L \varphi_2}{\varphi_1 D h_1 \varphi_1 \varphi_2} = \frac{\Delta L}{n_1 D \varphi_1^2}; \\ \Delta d_1 &= \frac{\Delta f_1'^2}{h_1 D}. \end{aligned} \quad (37)$$

Уравнение (37) можно использовать для подсчета ошибок в установке расстояния между первыми компонентами объектива трубы. Если ошибка цены деления барабана $\Delta L = \pm 0,1$ мм, то установка второго компонента должна ограничиваться ошибкой (при $D = 50$ мм)

$$\Delta d_1 \approx \pm 0,04 \text{ мм.}$$

Для определения влияния несоответствия цены деления для различных расстояний до рейки из того же уравнения напишем

$$\Delta L = \frac{h_1 D \Delta d_1}{f_1'^2} = K_4 D, \quad (38)$$

где K_4 — постоянная величина, равная $\frac{h_1 \Delta d_1}{f_1'^2}$.

Уравнение (38) показывает, что юстировку второго компонента следует делать для дистанций больших, чем принятое рабочее расстояние до рейки. Ошибка цены деления барабана уменьшается с уменьшением расстояния до рейки.

Рассмотрим второй метод юстировки оптического микрометра.

При изготовлении опытной партии нивелиров НБ-2, а также последующих партий приборов юстировка оптического микрометра проводилась по методике, предложенной С. И. Уличкиным. В отличие от опытных образцов трубы Белицына-Фефилова в нивелире НБ-2 конструкция трубы позволяет изменить расстояние между первым и вторым ее компонентами за счет толщины кольца, проложенного между оправой первого компонента и корпусом трубы.

Методика юстировки оптического микрометра сводится к следующему. Предварительно систему первых двух компонентов устанавливают на бесконечность. Затем измеряют микрометром в делениях барабана пятимиллиметровые интервалы на рейках, установленных в 5, 25 и 40 м от нивелира. Если число делений для крайних реек неодинаково, то по табл. 1 определяют знак и величину Δ_1 , на которую следует изменить расстояние между I и II компонентами объектива трубы. Так как изменение расстояния между компонентами ведет к изменению увеличения и соответственно цены деления барабана микрометра с различными знаками, то становится возможным установить цену деления для различных расстояний до рейки в рабочем диапазоне в пределах $0,05 \pm 0,0005$ мм. Под рабочим диапазоном принимается расстояние от рейки до инструмента, равное 50 м.

Чтобы компенсировать влияние ошибок на фокусные расстояния первого и второго компонентов объектива для дистанций от 10 до 50 м, в процессе юстировки цена деления барабана микрометра может быть округлена до 0,5 деления барабана.

Табл. 1 составлена на основании формулы

$$\delta z = 0,00113 x_1 \Delta_1, \quad (39)$$

вывод которой приводится ниже.

Смещение визирного луча при наклоне плоско-параллельной пластинки в трубе нивелира НБ-2 выражается формулой

$$z = \frac{d \gamma \sin(i - i')}{\cos i'}, \quad (40)$$

где z — смещение визирного луча в плоскости рейки; d — толщина пластинки; γ — угловое увеличение; i и i' — углы падения и преломления визирного луча.

Таблица 1

Δ_1 в мм	δz (в делениях барабана) при длине визирного луча в метрах							
	5	10	20	30	40	50	60	70
$\pm 0,02$	$\pm 0,113$	$\pm 0,23$	$\pm 0,45$	$\pm 0,68$	$\pm 0,91$	$\pm 1,13$	$\pm 1,36$	$\pm 1,59$
0,04	0,23	0,45	0,91	1,36	1,81	2,27	2,72	3,17
0,06	0,34	0,68	1,36	2,04	2,72	3,40	4,08	4,76
0,08	0,45	0,91	1,81	2,72	3,62	4,53	5,44	6,34
0,10	0,57	1,13	2,26	3,40	4,53	5,66	6,80	7,93

Из геометрической оптики известно, что угловое увеличение для комбинации двух оптических систем с общей осью выражается формулой

$$\gamma = - \frac{f_1 f'_1 - x_1 \Delta_1}{f_1 f_2}. \quad (41)$$

Выразив f_1 и f_2 через f'_1 и f'_2 , эту формулу можно написать в виде

$$\gamma = - \frac{f'_1}{f'_2} - \frac{x_1 \Delta_1}{f'_1 f'_2} \quad (42)$$

и так как

$$\gamma_0 = \frac{-f'_1}{f'_2},$$

то

$$\gamma = \gamma_0 - \frac{x_1 \Delta_1}{f'_1 f'_2}, \quad (43)$$

где γ_0 — угловое увеличение телескопической системы, постоянное для различных расстояний от инструмента до рейки.

Умножив и разделив второй член формулы (43) на $\frac{f'_1}{f'_2}$, получим

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_0 \frac{x_1 \Delta_1}{f'_1 f'_2}. \quad (44)$$

Из формулы следует, что угловое увеличение системы первых двух компонентов для общего случая, когда оптический интервал Δ_1 не равен нулю, будет больше углового увеличения телескопической системы γ_0 при $\Delta_1 > 0$ и меньше — при $\Delta_1 < 0$.

Приращение увеличения

$$\delta\gamma = \gamma_0 \frac{x_1 \Delta_1}{f'_1 f'_2}.$$

Чтобы судить о влиянии $\delta\gamma$ на изменение смещения визирного луча δz , из уравнения (40) получим

$$\delta z = \frac{d \sin(i - i')}{\cos i'} \delta\gamma. \quad (45)$$

Подставив значение $\delta\gamma$, имеем

$$\delta z = \frac{\gamma_0}{f_1'^2} \frac{d \sin(i - i')}{\cos i'} x_1 \Delta_1 \quad (46)$$

или

$$\delta z = K_5 x_1 \Delta_1, \quad (47)$$

где

$$K_5 = \frac{\gamma_0}{f_1'^2} \frac{d \sin(i - i')}{\cos i'}.$$

Для оптической системы первых двух компонентов объектива трубы нивелира НБ-2 $K_5 = 0,0000565$, тогда

$$\delta z = 0,0000565 x_1 \Delta_1$$

или в делениях барабана оптического микрометра

$$\delta z^d = 0,00113 x_1 \Delta_1. \quad (48)$$

При юстировке по второму методу необходимо иметь в виду, что цена деления барабана микрометра будет постоянна только в пределах 50 м от инструмента (рабочий диапазон). Исследования показали, что при увеличении расстояния до 100 м цена деления изменяется до 0,053 мм.

20. ОСНОВНЫЕ ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ КАМЕР ТОПОГРАФИЧЕСКИХ АЭРОФОТОАППАРАТОВ

Фокусировка аэрокамеры. При фокусировке аэрокамеры изменяют расстояние объектива до плоскости прикладной рамки до тех пор, пока не получится наиболее резкое изображение «бесконечно удаленных» объектов или миры, заключенной в широкоугольном коллиматоре. Условно считают, что расстояние от задней узловой точки объектива до плоскости прикладной рамки является фокусным расстоянием аэрокамеры f'_k .

Строго рассуждая, такого расстояния по ряду причин не существует. К этим причинам относятся, например, ошибки отклонения от плоскостности самой прикладной рамки, остаточные аберрации реального объектива и т. д.

Перед фокусировкой производят поверку параллельности посадочной плоскости объективного кольца камеры плоскости прикладной рамки. Эту поверку выполняют двумя способами (рис. 21).

1 способ. Камеру кладут на поверочную плиту 2 (рис. 21, а) фокальной плоскостью (плоскостью прикладной рамки). На плиту устанавливают индикатор 1, ножка которого должна слегка упираться в посадочную плоскость объективного кольца. Перемещая

стойку индикатора по плите параллельно сторонам прикладной рамки следят за колебанием стрелки индикатора. В случае боль-

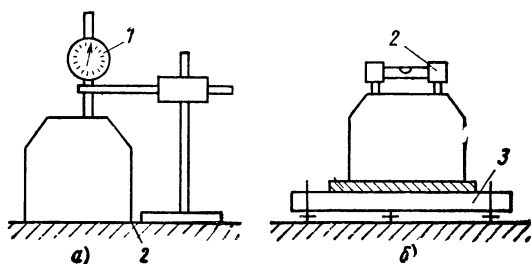


Рис. 21. Схемы контроля параллельности плоскости опорного кольца объектива и плоскости прикладной рамки аэрокамеры

ших отклонений камеру устанавливают на планшайбе токарного станка и протачивают плоскость объективного кольца. После чего проверку повторяют.

2 способ. Контрольную плиту кладут на установку 3 с тремя подъемными винтами и выверяют по уровню 2 . После этого на плиту ставят камеру как и в первом способе, и на плоскость объективного кольца устанавливают уровень 3 в различных направлениях (рис. 21, б). Отклонения пузырька уровня указывают на степень параллельности плоскости объективного кольца плоскости прикладной рамки. Фокусировку объектива обычно выполняют в два этапа.

Вначале камеру устанавливают на оптической скамье перед коллиматором, в фокусе которого установлена мира. Приложив к плоскости прикладной рамки матовое стекло, через лупу с увеличением $6\times$ рассматривают изображение миры. Перемещая объектив вдоль оптической оси, добиваются резкого изображения миры. (Измеряют задний отрезок объектива). Затем производят фотосъемку миры широкоугольного коллиматора или местности при двух положениях камеры (при повороте камеры на 180° вокруг оптической оси). По качеству негатива определяют наилучшую плоскость установки. Если резкость на краях негатива лучше, чем в центре, то объектив необходимо удалить от плоскости прикладной рамки и наоборот. После этого снова производят фотографиче-

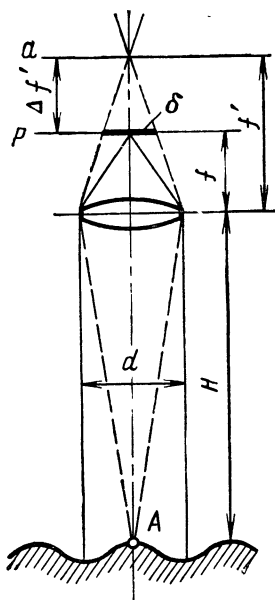


Рис. 22. Схема к расчету фокусировки аэрокамеры

рование, получив наилучшее изображение, резкое по всему негативу, окончательно укрепляют объектив.

Выясним, с какого расстояния H можно аэрокамеру считать отфокусированной на бесконечность (рис. 22).

Из геометрической оптики известно, что

$$\frac{1}{H} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{f}, \quad (49)$$

откуда

$$f' = \frac{fH}{H-f}.$$

Из рис. 22 следует, что

$$\frac{\delta}{f' - f} = \frac{d}{f'},$$

откуда

$$\delta = \frac{d(f' - f)}{f'}, \quad (50)$$

где δ — диаметр кружка нерезкости, возникшего в плоскости P вследствие того, что $H \neq \infty$.

Подставив в формулу (50) значение f' , получим

$$\delta = \frac{df^2}{fH}$$

или, так как $d:f=1:n$; $\delta = \frac{f^2}{Hn}$,

то

$$H = \frac{f^2}{n\delta}; \quad H_{\min} > \frac{f^2}{n\delta_{\max}}. \quad (51)$$

Исходя из максимально-допустимого значения величины δ , можно определить минимальное расстояние до предметов, начиная с которого изображение предметов будет достаточно резким. Так, например, если $\delta_{\max}=0,05$ мм, то для аэрокамеры с объективом «Руссар-29» получим $H_{\min}=14,4$ м, а для аэрофотоаппарата с $f'=500$ мм и $1:n=1:5$, $H_{\min}=1,0$ км. Следует помнить, что физически образование нерезкости при расфокусировке происходит сложнее, чем в рассмотренной геометрической схеме. Например, все объективы обладают «глубиной фокуса», т. е. областью, в пределах которой резкость практически не меняется. Для большинства объективов «глубина» равна

$$\left(\frac{1}{300} \div \frac{1}{500} \right) f'.$$

Рассмотрим случай несовпадения прикладной рамки с фокальной плоскостью.

Допустим, что плоскость a не совпадает с плоскостью P . Обозначим величину несовпадения через $\Delta f'$ и запишем

$$\frac{1}{H} + \frac{1}{f' + \Delta f'} = \frac{1}{f}, \quad (52)$$

откуда

$$\Delta f' = \frac{f}{\frac{H}{f} - 1}$$

или, так как отношение $\frac{H}{f}$ достаточно велико по сравнению с единицей и последняя без ущерба для точности может быть отброшена, то

$$\Delta f' = \frac{f^2}{H}. \quad (53)$$

Подставив в выражение (53) значение H из формулы (51), получим

$$\Delta f'_m = n\delta_{\max}.$$

При том же значении $\delta_{\max} = 0,05$ и $1:n = 1:6,8$ имеем $\Delta f' \approx 0,3$ мм. Такая малая величина $\Delta f'$ заставляет особенно осторожно подходить к фокусировке аэрокамеры.

Определение постоянных камер топографических аэрофотоаппаратов (АФА). Определение постоянных камер АФА сводится к нахождению элементов внутреннего ориентирования, т. е.

- а) фокусного расстояния аэрокамеры;
- б) фотограмметрической дисторсии.

Определение постоянных аэрокамер производят на специальных оптических скамьях (рис. 23), отъюстированных с помощью плоско-параллельной пластинки $в$.

Перед установкой аэрокамеры на скамью открывают затвор и устанавливают измерительную сетку (решетку) на прикладной рамке камеры по координатным меткам. Измерительная сетка (решетка) должна быть прокомпарирована.

Камеру устанавливают на скамье так, чтобы передняя узловая точка объектива находилась над центром вращения скамьи, визирная ось зрительной трубы a проходила через центр решетки, а последняя была бы перпендикулярна к указанной визирной оси. Установка аэрокамеры сопровождается наблюдением в зрительные трубы. Передняя узловая точка объектива регулируемыми перемещениями может быть приведена на ось вращения скамьи при наблюдении через зрительную трубу и объектив аэрокамеры какой-либо марки, установленной с противоположной стороны прикладной рамки перед объективом на расстоянии, примерно равным величине f' . Неподвижность изображения марки при небольших поворотах предметного столика свидетельствует о правильности центровки узловой точки объектива. После этого, наблюдая в трубу $б$ автоколлимационное изображение креста сетки, приводят плоскость

прикладной рамки в отвесное положение, перпендикулярное визирной оси автоколлимационной трубы *б*. Для уравнивания аэрокамеры на предметный столик устанавливают противовес *г*. Рассматривая через трубу *а* и объектив аэрокамеры решетку (сетку Готье), можно определить несовпадение креста сетки трубы с центром решетки.

Если при небольших поворотах наблюдается совпадение линий перекрестия измерительной сетки O_1 (рис. 24) с центрами координатных меток и несовпадение перекрестия сетки с крестом нитей трубы *б* (рис. 23), то это значит, что координатные метки установлены неправильно, т. е. главная точка *О* аэроснимка не определяется пересечением линий от координатных меток.

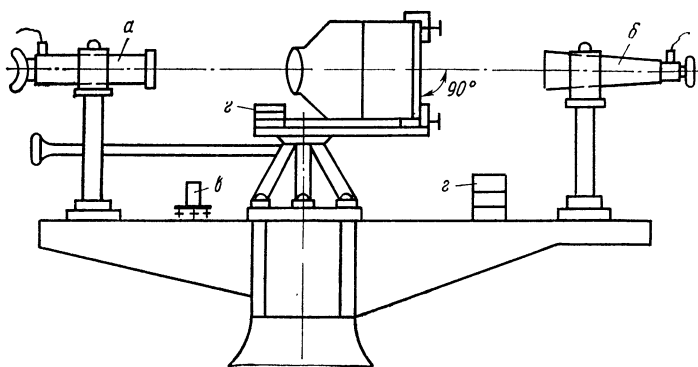


Рис. 23. Схема установки для определения постоянных камер аэрофотоаппаратов

Главной точкой аэроснимка называется основание перпендикуляра, опущенного из задней узловой точки объектива на плоскость прикладной рамки.

Установка координатных меток и определение положения главной точки снимка. Установку координатных меток производят следующим образом. Наблюдая в трубу *а* (рис. 23), предварительно ослабив закрепительные винты решетки, смещают ее так, чтобы центр решетки O_1 (рис. 24) совпадал с перекрестием трубы *а* (рис. 23). Затем наблюдают в трубу *б* и следят, чтобы автоколлимационное изображение креста нитей трубы совпадало бы с крестом трубы. После этого аэрокамеру снимают со скамьи и при помощи лупы 6^х (или лупы Польди) определяют отклонения решетки от координатных меток. Решетку снимают и координатные метки подпиливают или перемещают согласно замерам.

После этого опять укрепляют решетку на прикладной рамке по координатным меткам и устанавливают на скамью и снова определяют положение главной точки. Этот процесс повторяют до тех пор, пока отклонение главной точки снимка относительно координатных меток не будет соответствовать техническим условиям.

Определение фокусного расстояния камеры. После установки координатных меток и определения главной точки снимка определяют фокусное расстояние аэрокамеры. Для этого измеряют углы по зонам, соответствующие линейным отрезкам решетки, например, ± 10 мм, ± 20 мм и т. д. до координатных меток,

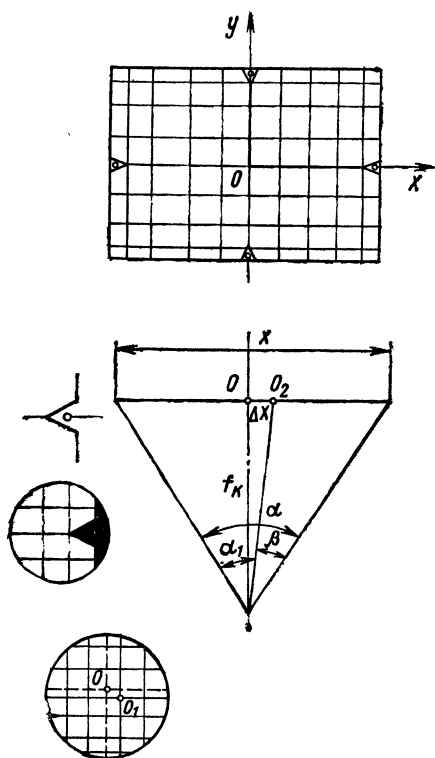


Рис. 24. Схема установки координатных меток

делая при этом не менее трех наведений на каждый штрих решетки Готье и соответствующие отсчеты по лимбу скамьи.

Фокусное расстояние определяют по формулам

$$f'_{K_1} = \frac{x}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}; \quad f'_{K_2} = \frac{y}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}; \quad f'_{K_{cp}} = \frac{f'_{K_1} + f'_{K_2}}{2},$$

где x и y — расстояния между симметричными зонами решетки Готье;

α — измеряемый угол.

За фокусное расстояние камеры принимается среднее арифметическое из всех фокусных расстояний, измеренных по зонам решетки Готье, если дисторсия объектива незначительна (порядка 0,01—0,015 мм на краю).

Допустимая ошибка в определении фокусного расстояния не должна превышать $\pm 0,02$ мм.

Определение фотограмметрической дисторсии. При определении дисторсии измерения ведут как по оси x , так и

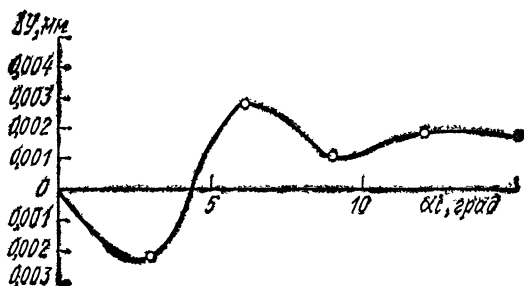


Рис. 25. График фотограмметрической дисторсии

по оси y плоскости прикладной рамки. Иногда измерения ведут по диагоналям последней.

По формулам

$$x' = f_{\text{кр}} \operatorname{tg} \alpha_i, \quad y' = f_{\text{кр}} \operatorname{tg} \alpha_i$$

определяют значения наблюдаемых интервалов решетки x' и y' . По разности между наблюдаемыми и истинными значениями интервалов решетки находят линейную величину дисторсии, выраженную в миллиметрах:

$$\Delta x = x' - x$$

$$\Delta y = y' - y,$$

где x и y — измеренные интервалы решетки.

Откладывая по оси абсцисс измеренные углы α_i , а по оси ординат величину линейной дисторсии Δy или Δx , строят кривую дисторсии (рис. 25).

Точность определения фокусного расстояния аэрокамеры. Если абсцисса x или ордината y имеют вполне точные значения или известны из компарирования, то точность определения $f_{\text{кр}}$ зависит от ошибок измерений углов α .

Возьмем основную формулу

$$f'_{\text{кр}} = x \operatorname{ctg} \alpha \quad (54)$$

и продифференцируем ее по α

$$df'_{\text{кр},\alpha} = -\frac{x}{\sin^2 \alpha} d\alpha. \quad (55)$$

Подставив в формулу (55) значение $x = f'_k \operatorname{tg} \alpha$, получим

$$df'_{k,\alpha} = - \frac{2f'_k}{\sin 2\alpha} d\alpha. \quad (56)$$

Тогда относительная средняя квадратическая ошибка будет равна

$$\frac{m_{f_k}}{f'_{k,\alpha}} = \pm \frac{2}{\rho'' \sin^2 \alpha} m'_\alpha. \quad (57)$$

Отсюда видно, что эта ошибка не зависит от величины f'_k . Средняя квадратическая ошибка m_α измерения угла α зависит от инструментальных ошибок скамьи и в значительной мере от каче-

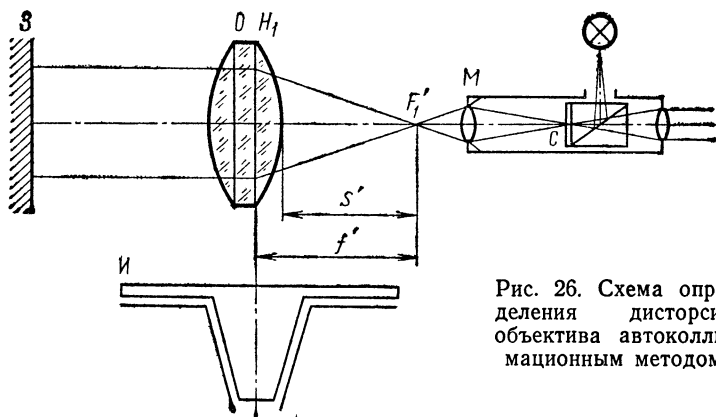


Рис. 26. Схема определения дисторсии объектива автоколлимационным методом

ства изображения, даваемого объективом испытуемой аэрокамеры. Фокусное расстояние аэрокамеры определяется тем точнее, чем больше угол α .

Определение дисторсии объектива автоколлимационным методом. Этот метод основан на измерении смещений изображения удаленной точки в поперечном направлении при поворотах объектива вокруг оси, лежащей в перпендикулярной к оптической оси плоскости и проходящей через узловую точку. При отсутствии дисторсии и вращении объектива на различные углы изображение остается неподвижным. Для определения смещений используется специальная оптическая скамья, основными частями которой являются: угломерный инструмент И, плоское зеркало З и автоколлимационный микроскоп М (рис. 26).

Испытуемый объектив О устанавливают задней узловой точкой над вертикальной осью угломерного инструмента. Для этого объектив перемещают вдоль салазок скамьи и, вращая его над осью угломерного инструмента, добиваются неподвижности положения автоколлимационного изображения сетки С в точке фокуса F' , рассматриваемого в микроскоп в виде светлого блика, отраженного от

зеркала 3. Вращают объектив вокруг вертикальной оси угломерного инструмента ступенчато на углы, например, через 5 или 10° в обе стороны до крайних участков поля зрения объектива, и наблюдают за положением фокуса.

Отклонения изображения от осевого положения измеряют при помощи сетки *С* автоколлимационного микроскопа *М*.

Величина смещения изображения

$$a = m_1 \tau, \quad (58)$$

где m_1 — число делений на сетке; τ — цена деления сетки.

Величина a связана с дисторсией Δy зависимостью

$$\Delta y = \frac{a}{4 \cos \gamma \beta_{об} \beta_{кол}}, \quad (59)$$

где γ — угол поворота объектива; $\beta_{об}$ — поперечное увеличение объектива микроскопа; $\beta_{кол}$ — поперечное увеличение коллективной линзы, стоящей перед сеткой (на рис. 26 не показана).

Если салазки оптической скамьи снабжены шкалой, по которой можно отсчитать расстояние от оси вращения угломерного инструмента до точки фокуса F' , то разность отсчетов составляет величину фокусного расстояния f' испытуемого объектива. Разность отсчетов при фокусировке микроскопа на заднюю поверхность объектива и на фокус определяет значение отрезка S' .

Фотографический способ определения фотографической дисторсии АФА. Фотографическое определение дисторсии аэрофотоаппаратов может быть выполнено на специальной скамье ЦНИИГАиК (рис. 27). Скамья состоит из двух частей. В верхней части находится вертикальный суппорт с устройством для установки АФА и поворота его вокруг вертикальной оси. На направляющих суппорта находится малая траверса с центральным автоколлиматором и двумя проекторами. В нижней части укреплен траверса с дугой, на которой расположены одиннадцать коллиматоров с марками, осветителями, теплофильтрами, светофильтрами. Регулировку освещения осуществляют оптическим клином с переменной плотностью. Коллиматоры установлены так, что их оси пересекаются в одной точке, с которой совмещают центр входного зрачка испытуемого объектива. Углы между осями коллиматоров устанавливают в зависимости от фокусного расстояния АФА и измеряют высокоточным угломерным инструментом.

Для обеспечения единого начального направления при измерении тангенциальной дисторсии на фотопластинке создается недисторзированное направление, которое реализуется путем впечатления двух меток со стороны подложки фотопластинки. Метки впечатываются с помощью двух проекторов, установленных на малой траверсе. Оси проекторов параллельны коллимационной плоскости угломерного инструмента, с которой совмещены оси коллиматоров. Последнее обеспечивает параллельность недисторзированного направления и измеряемого радиуса-вектора при любом азимутальном повороте аэрокамеры. Для сохранения единой системы координат при определении радиальной дисторсии вдоль различных радиусов-векторов служит верхний автоколлиматор и специальный трегер с кольцевым зеркалом, которое устанавливают строго параллельно плоскости прикладной рамки с точно-

стью порядка $10''$. При азимутальных поворотах камеры положение плоскости прикладной рамки фиксируется по автоколлимации от этого зеркала. При фотографической калибровке применяются специальные фотопластинки, политые панхроматической эмульсией. Толщина пластинок не менее 5 мм. В работе [2] рассматриваются основные требования, предъявляемые к отдельным конструктивным

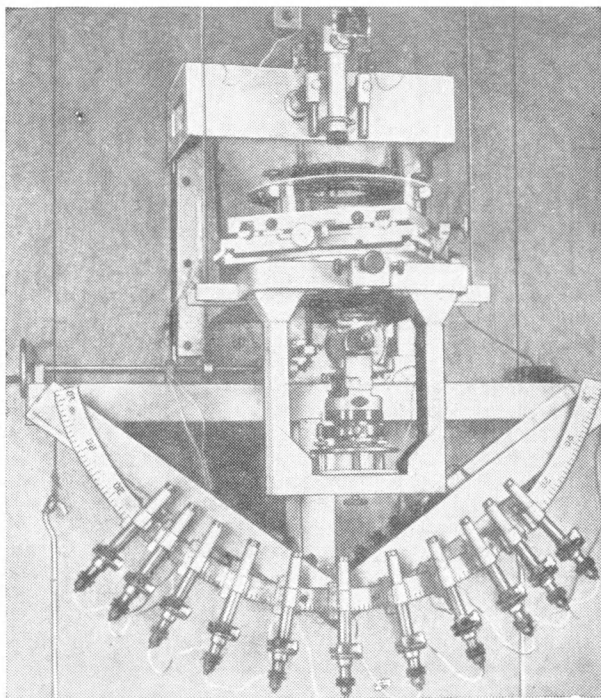


Рис. 27. Фотографическая скамья ЦНИИГАиК

узлам и элементам скамьи, на основании которых были выполнены соответствующие узлы прибора.

Исследования фотографической скамьи ЦНИИГАиК показали, что инструментальная ошибка ее не превосходит 1,2 мкм в радиальном направлении и 0,8 мкм — в тангенциальном. Процесс измерения дисторсии связан с тем или иным способом вычисления ее и элементов внутреннего ориентирования. В работе В. Г. Афремова (ЦНИИГАиК) проведен анализ существующих в настоящее время методик определения дисторсии, который показал, что в результате вычисления дисторсии по ним получают неполную дисторсию, представляющую собой при соответствующих измерениях разность между измеренными и вычисленными радиальными отрез-

ками, а некоторую ее часть, которая не содержит свойственной реальному объективу асимметрии радиальной дисторсии. Получается это потому, что асимметрия дисторсии исключается из результатов измерения в предположении, что она возникает в основном из-за ошибок измерения. Между тем эксперименты показывают, что асимметрия радиальной дисторсии, вызванная ошибками измерения, значительно меньше, чем асимметрия, обусловленная ошибками изготовления объектива. Отсюда следует, что объектом определения должна быть полная дисторсия, так как она обладает большим объемом информации и позволяет судить не только о геометрических свойствах объектива, но и о качестве его изготовления. Кроме того, недостатком существующих методов является отсутствие способов вычисления тангенциальной составляющей дисторсии, что в значительной степени снижает ценность получаемой информации. В работе В. Г. Афремова приводится вывод формул, позволяющих выполнять вычисления тангенциальной дисторсии, используя результаты измерения лишь радиальной дисторсии.

Вывод зависимости между тангенциальной дисторсией реального объектива и асимметрией его радиальной дисторсии основывается на работах Washer* и Brown**, в которых реальный децентрированный объектив заменяется моделью, состоящей из тонкой призмы, помещенной перед идеально центрированным объективом. При выводе формул (в отличие от Washer) ориентировка главного сечения призмы φ наряду с величиной угла преломления α и показателем преломления призмы n включается в число параметров модели, подлежащих определению по результатам измерений радиальной дисторсии. При выводе формул (в отличие от Brown) принималось лишь одно допущение, что члены разложения, пропорциональные квадрату весьма малого преломления угла призмы, равны нулю. Такой подход позволил не только получить формулы, более точно описывающие нерегулярную*** дисторсию при больших углах поля зрения, но и связать аналитически величины тангенциальной дисторсии с радиальной асимметрией. Последнее дает возможность определять тангенциальную дисторсию без ее прямого измерения.

Выражения для асимметрии радиальной дисторсии характеризуются следующими формулами:

$$D_r = f'_k \cos \varphi \{ (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) [\sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \operatorname{tg}^2 W} - 1] - (n - 1) \} \alpha; \quad (60)$$

$$D_t = f'_k \sin \varphi [\sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \operatorname{tg}^2 W} - n] \alpha, \quad (61)$$

где D_r — асимметрия полной радиальной дисторсии; D_t — тангенциальная дисторсия; α — преломляющий угол клина; f'_k — фокусное расстояние камеры; $2W$ — угол поля зрения объектива; φ — азимутальный угол, образованный измеряемым радиальным направлением с главным сечением клина.

* Washer F. E. Prismeffekt camera tipping and tangential distortion Photogrammetrie Engineering, V XXIII N 4, 1957.

** Brown D. Decentering distortion of lenses Photogrammetrie Engineering V XXXII, N 3, 1966.

*** Под нерегулярной понимается дисторсия, возникающая из-за дефектов изготовления объектива.

Формулы (61) и (62) позволяют найти соотношения между максимальными значениями величин D_r и D_t . Так, для $2\beta=90^\circ$, получим

$$\frac{D_r}{D_t} = 1 + \frac{\sqrt{2n^2 - 1} - 1}{\sqrt{2n^2 - 1} - n}. \quad (62)$$

Отсюда с достаточной точностью для практики можно считать, что $D_r \approx 3,4D_t$. Из выражения (62) можно установить обоснованный допуск на асимметрию радиальной дисторсии, исходя из допуска на тангенциальную составляющую.

Чтобы вычислить тангенциальную дисторсию достаточно измерить полную радиальную дисторсию и вычислить ее асимметрию, определить параметры призмы α и φ из следующих выражений:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{D_{rj}}{D_{ri}}; \quad (63)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{D_{ri}^2 + D_{rj}^2}}{f'_k \{ (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) [\sqrt{n^2 + (n^2 - 1) \operatorname{tg}^2 \beta} - 1] - (n - 1) \}}, \quad (64)$$

где D_{ri} и D_{rj} — асимметрия полной радиальной дисторсии двух точек, соответствующих равным полевым углам в пространстве предметов и лежащих на двух взаимно перпендикулярных направлениях i и j .

Анализ формул показывает, что изменение параметра n в пределах от 1,4 до 1,7 практически не приводит к изменению определяемых величин и может быть принят равным $\sqrt{2}$.

Приведенные формулы позволяют вычислить тангенциальную дисторсию по результатам измерений полной радиальной дисторсии. Это очень важно, так как применяемые на производстве оптические скамьи не имеют устройств для измерения тангенциальной составляющей дисторсии.

На рис. 28 изображен график тангенциальной дисторсии объектива Р-44 (камера № 1050) с $f'_k=100$ мм, где сплошной линией показана кривая, полученная для одной диагонали по измеренным значениям дисторсии и штриховой — по вычисленным.

О сдвиге эмульсии в процессе обработки негативов на пластинках. Вопросом выравнивания аэропленки в плоскость занимается с начала производства аэрофотоаппаратуры ряд научных и производственных организаций. За последнее время проведены конструктивные и технологические мероприятия, однако разрешить полностью задачу по выравниванию аэропленки в плоскость пока не удалось.

Достигнутая с использованием пневматических методов точность выравнивания аэропленки в лучших аэрофотоаппаратах составляет 0,02—0,03 мм [23]. Но кроме ошибок выравнивания аэропленки, на качество фотоизображения влияет также и сдвиг эмульсии в процессе обработки негативов.

Еще в 1940 г. автором были проведены исследования по вопросу сдвига эмульсии в процессе обработки негативов. Чтобы исключить влияние ошибок выравнивания аэроплёнки были отобраны 10 фототеодолитных пластинок (формат 13×18).

Фотоластинки широко используются в фотограмметрии (наземная стереофотограмметрическая съёмка, для изготовления диапозитивов), в картографии при репродуцировании оригиналов карт, а также для различных научных и исследовательских целей.

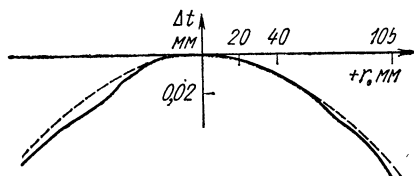


Рис. 28. График тангенциальной дисторсии объектива

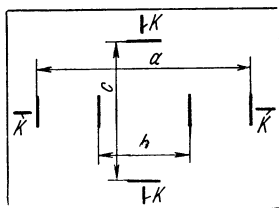


Рис. 29. Схема расположения штрихов (ласин) на эмульсионном слое фотоластинки

На каждой пластинке были нанесены лезвием безопасной бритвы (иглой) тонкие ласины шириной порядка 0,0015 мм (рис. 29). В углу каждой пластинки был проставлен номер. После этого были измерены расстояния между ласинами (a , b , c) на компараторе Аббе. Для ориентирования были нанесены ласины (легкие царапины) K по осям x и y .

Затем пластинки были подвергнуты химико-фотографической обработке (проявление, фиксирование, сушка). При этом сушку производили при вертикальном положении пластинок.

Так как в процессе обработки негатива эмульсионный слой набухает, то важно знать, что происходит при сушке негативов. Это и являлось задачей эксперимента.

После обработки пластинки подвергались измерениям. Результаты измерений размеров a , b , c были отличными от результатов измерений до обработки негативов. На каждой пластинке был обнаружен сдвиг эмульсии (деформация эмульсионного слоя). При этом установить какую-либо закономерность не представлялось возможным (табл. 2).

В марте—апреле 1966 г. автором были проведены аналогичные исследования. Также были отобраны 10 фотоластинок (формат 13×18). Эксперимент был повторен с той лишь разницей, что измерения производились на универсальном микроскопе Цейсса. Несмотря на то, что период между первым и вторым экспериментом составляет более 25 лет, результаты отклонений в размерах, характеризующих сдвиг эмульсии (деформации эмульсионного слоя) в процессе обработки негативов оказались почти такого же порядка (табл. 3).

Таблица 2

Расстояние между штрихами в мм									
№ пластинок	a			b			c		
	до проявления	после проявления	разность	до проявления	после проявления	разность	до проявления	после проявления	разность
	a	a'	a — a'	b	b'	b — b'	c	c'	c — c'
1	158,497	158,407	—0,09	33,107	33,104	—0,003	108,711	108,712	+0,001
2	158,486	158,474	—0,012	39,653	39,649	—0,004	111,918	111,906	—0,012
3	161,885	161,857	—0,028	44,320	44,317	—0,003	113,031	113,023	—0,008
4	162,292	162,276	—0,016	39,901	39,898	—0,003	112,517	112,500	—0,017
5	160,779	160,779	0,00	39,480	39,484	+0,004	112,018	112,033	+0,015
6	163,010	163,052	+0,042	39,663	39,657	—0,006	113,085	113,084	—0,001
7	162,644	162,644	0,00	39,611	39,591	—0,02	96,856	96,828	—0,027
8	163,359	163,368	+0,009	39,053	39,050	—0,003	111,003	110,988	—0,015
9	160,789	160,800	+0,011	39,589	39,595	+0,006	111,950	11,927	—0,023
10	163,789	163,806	+0,017	39,514	39,484	—0,03	112,521	112,552	—0,031

Примечание. Измерения проводились на компараторе Аббе 10—12 февраля 1940 г.

Таблица 3

№ пластинок	Расстояние между штрихами в мм									
	a			b			c			разность $c - c'$
	до прояв- ления	после про- явления	разность $a - a'$	до проявления	после прояв- ления	разность $b - b'$	до проявления	после прояв- ления		
									a	
1	149,663	149,651	-0,012	69,393	69,383	-0,010	104,126	104,115	-0,011	
2	149,836	149,837	+0,001	81,054	81,0526	-0,014	101,865	101,864	-0,001	
3	151,021	151,020	-0,001	69,756	69,748	-0,008	102,300	102,291	-0,009	
4	153,150	153,152	+0,002	66,044	66,028	-0,016	103,214	103,209	-0,005	
5	155,298	155,294	-0,004	58,705	58,717	+0,008	104,940	104,930	-0,010	
6	156,894	156,883	-0,011	65,443	65,449	+0,006	104,643	104,625	-0,018	
7	153,030	153,014	-0,016	69,211	69,209	-0,002	104,050	104,040	-0,010	
8	156,122	156,137	+0,015	6,527	66,510	-0,017	106,506	106,506	0,00	
9	155,389	155,395	+0,006	64,010	63,986	0,024	104,287	104,276	-0,011	
10	157,287	157,290	+0,003	63,480	63,391	-0,089	105,773	105,772	-0,001	

Примечание. Изменения проводились на универсальном микроскопе 22/III—1966 г. и 26/IV—1966 г.

Примечание. Изменения проводились на универсальном микроскопе 22/III—1966 г. и 26/IV—1966 г.

В последнее время ряд организаций проводили исследования деформаций эмульсионного слоя фотопластинок, возникающих после химико-фотографической обработки. Однако при этом использовались другие способы. Один из них заключается в фотографировании миры или сетки с известными координатами и измерениями координат негатива с последующим сравнением результатов измерений координат негатива с координатами миры или сетки. Этот способ имеет следующие недостатки.

1. При фотографировании миры или сетки неизвестно положение эмульсионного слоя до химико-фотографической обработки.

2. Погрешность объектива (дисторсия) неизбежно войдет в измерение координат негатива.

Другой способ заключается в том, что мира или сетка с известными координатами накладывается на поверхность эмульсионного слоя. Таким образом, осуществляется контактная печать. При этом также неизвестно положение эмульсионного слоя перед обработкой негатива; кроме того, имеются определенные трудности в обеспечении надежного контакта. Поэтому способ непосредственного измерения деформаций эмульсионного слоя, предложенный автором, является наиболее перспективным.

Указанным способом можно измерить деформации эмульсионного слоя на пленке при условии выравнивания пленки в плоскости при помощи одного и того же прижимного стекла как до химико-фотографической обработки, так и после. Пленку с нанесенными рисками (ласинами) укладывают на столике универсального микроскопа, прижимают стеклом. Затем производят измерения расстояний между нанесенными на пленке рисками, после чего выполняют химико-фотографическую обработку пленки (сушку следует производить при горизонтальном положении пленки). После обработки измерения расстояний между рисками на негативе выполняют так же, как и до обработки пленки. Следует следить за тем, чтобы прижимное стекло занимало то же положение относительно пленки, как и до обработки негатива.

Полученные результаты измерений расстояний между рисками на негативе после химико-фотографической обработки сравнивают с результатами измерений до обработки.

При исследовании деформаций эмульсионного слоя фотопластинок в ЦНИИГАиК (см. статью «Деформация эмульсионного слоя фотопластинок», авторы В. Г. Афремов, С. В. Кнорозов, В. Н. Лавров, А. Н. Успенский, Ю. М. Фомин, «Геодезия и картография», 1966, № 11) копирование образцов (рис. 30) проводили контактным способом в вакуумной копировальной раме при рассеянном свете (в качестве рассеивателя в дополнение к матовому стеклу было использовано пять слоев плотной белой бумаги). Химико-фотографическую обработку образцов выполняли в стандартных условиях. Чтобы выявить влияние способа сушки, два образца сушили в вертикальном положении и два в горизонтальном.

Величины деформаций на образцах, сушившихся в вертикальном положении, оказались в 1,5 раза большими, поэтому остальные восемь образцов сушили в горизонтальном положении. Отрезки на эталонах и копиях измеряли на горизонтальном компараторе ИЗА-2 со средней квадратической ошибкой для эталона $m_{эт} = \pm 0,6$ мкм, для образца $m_{об} = \pm 0,7$ мкм.

Деформация эмульсионного слоя фотопластинок определялась как разность отрезков, измеренных на образце и на эталоне.

Из данных табл. 4, в которой приведены средние квадратические значения μ деформаций эмульсионного слоя фотопластинок, следует, что в среднем деформации эмульсионного слоя фотопластинок составляют 2,0 мкм при расстоянии между точками наблюдений как 10 мм, так и 2 мм, и носят случайный характер.

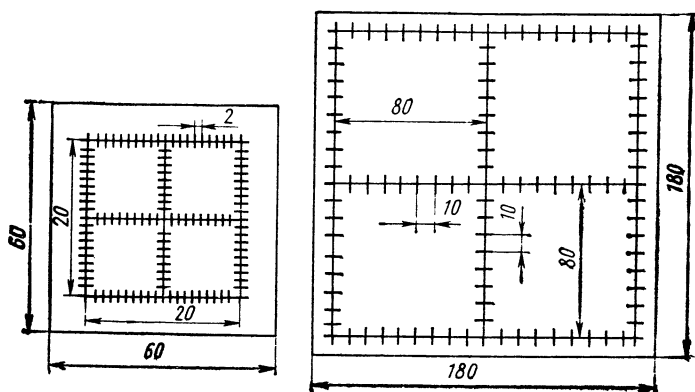


Рис. 30. Расположение точек на эталонах

Полученные результаты показали, что фотопластины нельзя использовать в качестве «посредника» при изучении местных деформаций аэропленок и что деформацию эмульсионного слоя фото-

Таблица 4

Параметр	Формат копий									
	180×180 мм (отрезки длиной 10 мм)						60×60 мм (отрезки длиной 2 мм)			
№ эмульсии	4330	4288	4262	4262	4288					
№ копии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\pm \mu$ в мкм	1,9	1,7	2,0	1,7	2,6	2,4	1,5	2,7	1,4	1,2

пластинок, используемых для точных фотограмметрических измерений, необходимо исследовать более тщательно. Дальнейшие исследования показали.

1. Средние квадратические значения местных деформаций эмульсионного слоя в зависимости от сорта фотопластинок могут до-

стигать $\pm 2,0$ мкм при предельных значениях 6—7 мкм. Чем тоньше эмульсионный слой, тем меньше величины деформаций.

2. Местные деформации в зоне 1—2 см от края для отечественных фотопластинок в 1,5 раза больше, чем в центре. При выполнении точных измерений по фотопластинкам точки наблюдений следует располагать не ближе 2 см от края.

3. Местные деформации эмульсионного слоя для копий, сушка которых производится в вертикальном положении, заметно больше, чем при сушке в горизонтальном положении. Поэтому сушить фотопластинки следует в горизонтальном положении.

В заключение необходимо отметить, что проведенные работы автора по исследованию сдвига эмульсии в процессе обработки негативов на пластинках показали случайный характер деформаций эмульсионного слоя, что и подтверждается последними исследованиями в ЦНИИГАиК.

21. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АВТОКОЛЛИМАЦИИ ПРИ ЮСТИРОВОЧНЫХ ПРОЦЕССАХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Метод автоколлимации основан на свойстве плоского зеркала и заключается в следующем.

В фокальной плоскости объектива коллиматора помещают освещенную точку k (щель или сетку нитей) (рис. 31).

Пучок лучей, вышедший из этой точки, после преломления в объективе идет параллельным пучком. Если на пути этого пучка поместить плоское зеркало, перпендикулярное визирной оси коллиматора, то после отражения от зеркала лучи пойдут обратно по тому же пути и сойдутся в той же точке k . Но если зеркало наклонить на угол α , то лучи, отразившись под углом 2α , после прохождения через объектив пересекутся в точке k' , в которой и дадут изображение точки k .

Если в фокальной плоскости коллиматора поместить шкалу, то зная фокусное расстояние объектива f' , легко вычислить угол 2α :

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{kk'}{f'}. \quad (65)$$

Так как зеркало стоит в параллельном пучке лучей, то расстояние между зеркалом и коллиматором может быть различным. Таким образом, этот способ может быть применен при установке призм, пластинок в оптических системах приборов, при установке параллельных передвижений салазков, кареток компараторов и т. д. Автоколлиматоры (трубы с автоколлимационными окулярами) встречаются двух типов, в зависимости от конструкции автоколлимационного окуляра:

а) с освещенной сеткой нитей в центре поля зрения автоколлиматора;

б) с освещенной щелью или маркой вне центра поля зрения автоколлиматора.

В случае, когда освещенная щель или марка находится вне центра поля зрения, т. е. на определенном расстоянии от оптической оси объектива автоколлиматора, лучи выходят из объектива

тоже параллельными, но наклоненными к оптической оси под углом β (рис. 32). Угол β находится из соотношения

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{ok}{f'},$$

где ok — расстояние освещенной точки от оптической оси.

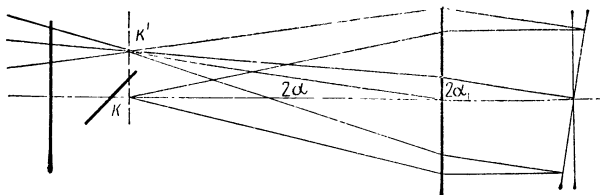


Рис. 31. Оптическая схема автоколлиматора

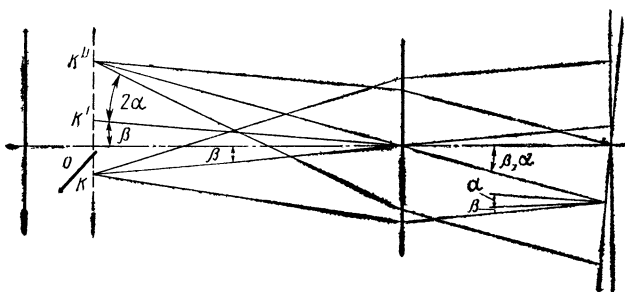


Рис. 32. Оптическая схема автоколлиматора

После отражения от поверхности зеркала лучи войдут под тем же углом β в объектив и соберутся в точке k' по другую сторону оси. Очевидно, если вместо освещенной точки мы имеем освещенную щель или марку, то отраженное изображение их в фокальной плоскости объектива будет обратным.

Если зеркало повернуть на угол α , то отраженные лучи, наклоненные к оптической оси под углом $\beta + 2\alpha$, пересекутся в точке k'' , положение которой определится из уравнения

$$\operatorname{tg} (\beta + 2\alpha) = \frac{ok''}{f'} = \frac{ok' + k'k''}{f'}; \quad (66)$$

для малых углов α и β получим следующее выражение:

$$\beta + 2\alpha = \frac{ok'}{f'} + \frac{k'k''}{f'}.$$

Так как $\beta \approx \frac{ok}{f'}$ и $ok = ok'$,

то, вычитая из обеих частей β , получим $2\alpha = \frac{k'k''}{f'}$

или

$$k'k'' = 2\alpha f'. \quad (67)$$

Эта формула показывает, что линейное смещение изображения в фокальной плоскости объектива пропорционально удвоенному углу поворота зеркала и фокусному расстоянию объектива автоколлиматора. Автоколлиматоры и автоколлимационные приборы находят широкое применение не только в процессах юстировки приборов, установки деталей и т. д., но и в производстве оптических деталей.

В оптическом производстве чаще всего встречаются автоколлимационные приборы для измерения углов призм, развертывающихся в плоско-параллельную пластинку. Точнее, при помощи автоколлиматора, у которого в фокальной плоскости объектива имеется шкала, оцифрованная в угловых единицах, измеряют отклонения в углах призм. В сложных призмах, в которых луч претерпевает несколько отражений, зачастую задается допуск на отклонение луча, проходящего через выходную грань призмы, от расчетного направления. В таком случае также удобен контроль при помощи автоколлиматора.

Примеры применения метода автоколлимации при установке призм в оптических системах. Метод автоколлимации применяют при юстировке различных оптических приборов, содержащих призмы и системы плоских зеркал. Поэтому приведем примеры применения метода автоколлимации только в юстировке оптических систем узлов теодолита ОТ-02 и прецизионного стереометра СМ-4.

Установка призм в подставке теодолита ОТ-02. Установка призм при помощи автоколлиматора во многом облегчает приведение изображения объекта (штрихов вертикального лимба) в поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 33). Процесс юстировки допускает изменение положения призм, пластинок, клиньев и т. д., тем самым компенсируя небольшие отклонения в углах призм, клиньев и т. д. Однако при наличии пирамидальности у призм устранить ее влияние трудно, а подчас и невозможно.

Ошибкой пирамидальности призмы называют угол между ребром пересечения двух граней и плоскостью третьей грани. Это происходит тогда, когда одна из граней призмы оказывается непараллельной линии пересечения (ребру) между двумя другими гранями, т. е. призма обращается в пирамиду (рис. 34).

Предположим, что ошибка пирамидальности мала. Обозначив высоту пирамиды h , величину пирамидальности можно выразить для каждой из граней призмы следующими соотношениями:

$$\alpha = \frac{h_a}{h}; \quad \beta = \frac{h_b}{h}; \quad \gamma = \frac{h_c}{h}.$$

Исходя из формулы для площади треугольника, можно связать величины пирамидальности для каждой из граней:

$$S = \frac{1}{2} h_a a = \frac{1}{2} h_b b = \frac{1}{2} h_c c,$$

где через h_a , h_b и h_c обозначены высоты, перпендикулярные перечисленным сторонам a , b и c .

Умножив площадь треугольника на отношение $2:h$, будем иметь

$$\frac{2S}{h} = \frac{h_a}{h} a = \frac{h_b}{h} b = \frac{h_c}{h} c = \alpha\alpha = b\beta = c\gamma,$$

так называемый инвариант пирамидальности, впервые полученный В. Н. Чуриловским.

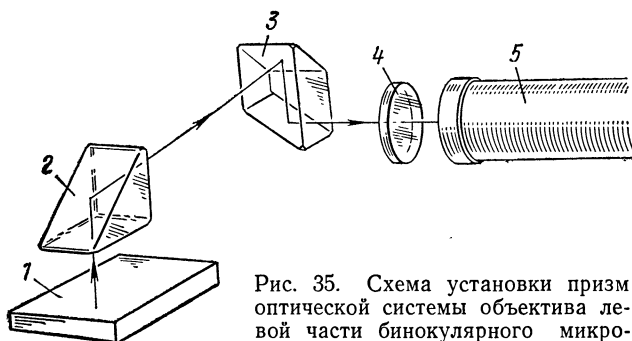


Рис. 35. Схема установки призм оптической системы объектива левой части бинокулярного микроскопа СМ-4:

1 — плоскопараллельная пластинка; 2 — входная призма объектива микроскопа; 3 — поворотной-сдвигающей призма; 4 — плоскопараллельная пластинка в оправе объектива микроскопа; 5 — автоколлиматор

Если ошибка пирамидальности имеет большую величину, т. е. равна или больше чем допуск на отклонение в углах призмы, то такую призму установить в сложной оптической системе невозможно.

Призмы, у которых ошибка пирамидальности составляет величину, равную $1/2$ допуска на отклонение в углах призмы, могут быть установлены в сходящихся пучках. К призмам, устанавливаемым в параллельных пучках, предъявляются более жесткие требования по пирамидальности, так как влияние ее устранить юстировкой не представляется возможным.

Из рис. 33 очевиден принцип установки, сдвигающей призмы 1 и призмы переключения лимбов 4. Задача состоит в том, чтобы установить эти призмы по отношению посадочного места лагера оптического микрометра, на которое кладется плоскопараллельная пластинка 3. При этом установку призмы переключения лимбов производят с помощью прокладок под призму в своей оправе, а установку сдвигающей призмы 1 осуществляют в основном разворотом в своей оправе.

Установка призм оптической системы объектива микроскопа прецизионного стереометра СМ-4. На рис. 35 изображена схема установки призм оптической системы объектива левой части бинокулярного микроскопа. По та-

кой же схеме выполняют установку призм оптической системы объектива правой части бинокулярного микроскопа.

Корпус с оптическими системами объективов микроскопов устанавливают на контрольной плите. Рядом с ним устанавливают автоколлиматор 5. В оправы объективов бинокулярного микроскопа устанавливают плоско-параллельные пластинки 4.

Под входную призму на контрольную плиту кладут плоскопараллельное стекло 1. Наблюдая в автоколлиматор 5, устанавливают призмы так, чтобы блики от плоскопараллельного стекла, входной призмы, поворотной-сдвигающей и плоскопараллельной пластинки, помещенной в оправе объектива микроскопа, совпадали.

При этом сначала устанавливают поворотную-сдвигающую призму 3 так, чтобы блики от плоскопараллельной пластинки 4 и от входной грани призмы 3 совпадали.

После этого устанавливают узел с входной призмой 2 и производят юстировку входной призмы путем наклона ее при помощи подкладок и разворота тубуса с призмой 2.

Затем, когда призмы установлены, из оправы объектива удаляют плоско-параллельную пластинку и устанавливают объектив микроскопа.

22. ВЛИЯНИЕ ОШИБОК УСТАНОВКИ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ПРИЗМ И СИСТЕМ ПЛОСКИХ ЗЕРКАЛ НА СМЕЩЕНИЕ И ПОВОРОТ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ

В ряде оптических приборов, например, в спектральных, фотограмметрических, астрономических, дальномерах, стереотрубах и других применяют отражательные призмы и системы плоских зеркал разнообразных типов. Основные задачи, которые можно решить при помощи отражательных призм и систем плоских зеркал в различных оптических приборах, следующие: а) изменение направления оптической оси; б) перевертывание изображения; в) увод визирной линии; г) сокращение габаритных размеров прибора за счет многократного отражения света; д) перенос изображения в предназначенное для него по конструкции место.

При разработке и производстве оптических приборов, в оптических системах которых применяются отражательные призмы или системы плоских зеркал, необходимо знать о влиянии ошибок изготовления и установки зеркал на свойства прибора.

Вопрос о влиянии ошибок изготовления призм был в значительной мере выяснен благодаря работам А. И. Тудоровского; вопрос же о влиянии неточной установки был решен только в некоторых частных случаях. В работе И. В. Лебедева (Лебедев И. В. О влиянии установки отражательных призм и систем плоских зеркал на смещение и поворот изображения в оптических приборах, 1951 г.) излагается исследование общих закономерностей и зависимостей между вращением и перемещением призмы или зеркала и соответствующими смещением и поворотом изображения.

И. В. Лебедев, используя методы матричной алгебры и теории изометрического преобразования, показал, что эти закономерности выявились только при общем рассмотрении действия призм и зеркал. Им также разработана общая классификация отражательных призм и систем плоских зеркал по их действию. В последнее

Эти работы содержат большой материал. Мы остановимся лишь на отдельных примерах установки призм и плоских зеркал в широко известных оптических приборах.

Примеры и графики приведены из работ И. В. Лебедева и Г. В. Погарева [17].

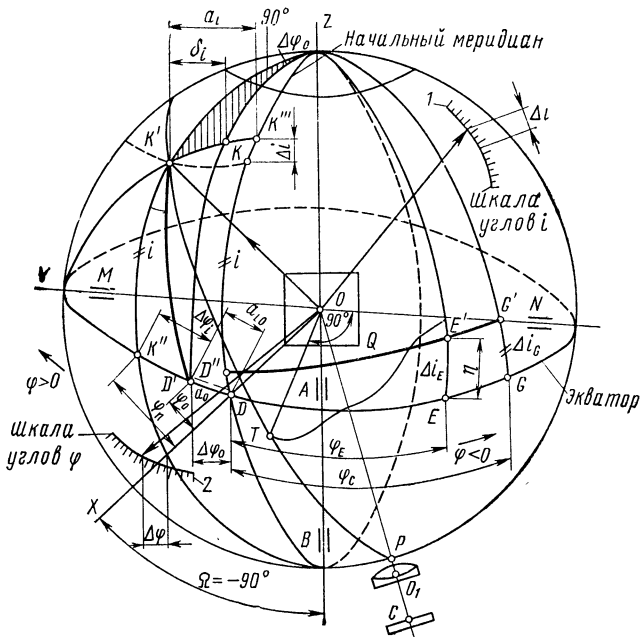


Рис. 36. Зависимость увода визирной оси от вертикальной и горизонтальной плоскостей

Увод визирной оси прибора. В перископах и прицелах изменение угла i визирования производят в вертикальной плоскости от горизонта — ось X и вертикали — ось Z (см. рис. 41).

В большинстве приборов, например, стереотрубах, панорамах, бус-солях и теодолитах визирные углы изменяются и в горизонтальной плоскости на величину ϕ относительно оси X (рис. 36).

Вертикальные и горизонтальные углы отклонения визирной оси отсчитывают по лимбам 1 и 2. Для соответствия этих углов истинным углам на местности необходимо, чтобы визирный луч при наводке на предмет перемещался в пространстве объектов в плоскостях, проходящих через меридианы и параллели, в частности по эк-

ватору (плоскость XY) и начальному меридиану (плоскость XZ).

В реальной оптической системе прибора вследствие неточности при изготовлении деталей и погрешностей сборки прибора, визирный луч выходит из указанных плоскостей. Так, например, при наводке на точку D горизонта (рис. 36) при $i=0$ и $\varphi=0$ визирный луч может прийти в точку D' , а при наводке на точку K —в точку K' .

Величины отклонений KK' и DD' истинных точек визирования K' и D' от точек наводки K и D , взятых по дугам большого круга в сферической системе координат, называют уводом визирной оси от меридианной (вертикальной) плоскости. Аналогично может возникнуть и увод визирной оси от горизонтальной плоскости, например, для точек D , D'' , E , E' и G , G' .

Величина увода от меридианной плоскости определяется отрезками дуги большого круга, проходящего через точку визирования, например, K' . Один из них, отрезок δ_i , характеризует увод визирной оси от меридиана, проходящего через точку D' ; другой отрезок a_i определяет увод от начального меридиана; для экватора (точка D') имеем отрезок a_0 .

При уводе от меридианной плоскости при визировании в точку D экватора ($i=0$) появляется ошибка горизонтальных углов $\Delta\varphi_0$. В общем виде при визировании в точку K увод от меридианной плоскости дает две ошибки: в горизонтальном $\Delta\varphi$ и в вертикальном Δi углах.

Ошибка Δi вертикального угла представляет собой разность углов $i' - i$, где i —истинное значение угла визирования, взятое от экватора по меридиану, проходящему через фактическую точку наводки K' , а i' —угол, отсчитанный по лимбу и взятый по дуге начального меридиана. Отрезок $K'K$ является частью широтного круга. Ошибка горизонтального угла $\Delta\varphi_i$ определяется как разность углов φ_0 и φ_n и в данном случае (при $\varphi_n > \varphi_0$) должна быть меньше нуля (положительный отсчет горизонтальных углов берется по часовой стрелке).

Величина увода визирной оси от горизонта η берется по меридиану, проходящему через фактическую точку визирования, например E' или G' . Она может быть взята или от экватора, или как разность ошибок углов Δi , которые возникают при уводе. В этом случае (рис. 36) имеем $\eta = \Delta i_E - \Delta i_G$. Подобно тому, как при уводе визирной оси от меридиана возникают ошибки Δi и $\Delta\varphi$, так при уводе от горизонта помимо ошибки Δi возникает ошибка отсчета $\Delta\varphi$ угла φ , взятого по лимбу, вместо фактического угла φ' .

Из рис. 36 по формуле сферической тригонометрии следует

$$\cos \varphi' = \cos \eta \cdot \cos \varphi, \quad (68)$$

где $\varphi' = \varphi + \Delta\varphi$.

Г. В. Погарев показал, что

$$\Delta\varphi \approx \frac{\eta^2}{2} \operatorname{ctg} \varphi. \quad (69)$$

Обычно углы φ достаточно большие, а η невелико, поэтому $\Delta\varphi$ —величина малая, которой можно пренебречь.

Чтобы не возникали уводы визирной оси, необходимо соблюдать следующие условия:

1) ось MN вращения входного зеркала (призмы) должна быть горизонтальна (совпадать с осью Y);

2) визирная ось O_1C прибора должна быть вертикальна (совпадать с осью Z) и совпадать с осью AB вращения прибора;

3) нормаль OT к зеркалу (плоскость Q) должна быть перпендикулярна оси MN вращения зеркала;

4) для приборов (перископы, прицелы), у которых углы i отсчитываются от вертикали (ось Z), а визирная ось O_1C' составляет с вертикалью угол $\Omega \neq 90^\circ$, недопустим поворот оси MN вращения призмы в горизонтальной плоскости относительно оси Y . В этом же случае визирная ось O_1C' прибора должна находиться в вертикальной плоскости XOZ .

В процессе сборки и юстировки представляют интерес: 1) значения уводов a_i , δ_i и η ; 2) ошибки измеряемых углов Δi и $\Delta \varphi$ при отсчете по лимбам; 3) вид траектории визирного луча при вращении зеркала в зависимости от значений различных деюстировок прибора.

Все эти вопросы освещены в работах И. В. Лебедева, Г. В. Скворцова [19] и наиболее глубоко в работах Г. В. Погарева [17].

Из рис. 36 можно получить важные зависимости

$$\Delta \varphi_i = - \frac{\delta_i}{\cos i}; \quad (70)$$

$$\delta_i = a_i - a_0 \cos i; \quad (71)$$

$$\Delta \varphi_i = a_0 - \frac{a_i}{\cos i}. \quad (72)$$

На рис. 36 угол i отсчитывается от плоскости горизонта, с которой визирная ось прибора составляет угол $\Omega = -90^\circ$. Положение визирной оси в пространстве предметов OK' после отражения ее (в обратном ходе лучей) от зеркала определяют по закону отражения.

Это значит, что отрезки O_1O , OK' и OT (нормаль к зеркалу) находятся в одной плоскости, а дуга PT равна дуге TK' .

Клиновидность защитного стекла. Если прибор типа перископического визиера имеет защитное стекло, обладающее клиновидностью, то при вертикальной наводке визирной линии появятся ошибки отсчета вертикальных углов и увод визирной линии вследствие изменения угла падения визирной линии на защитное стекло.

Расчет величины ошибки показывает, что ошибка вертикального угла обусловлена только той частью клиновидности, которая проектируется на плоскость визирования, а увод — той частью, которая проектируется на перпендикуляр к плоскости визирования. Влияние клиновидности оказалось, таким образом, разделенным.

Зависимость ошибок от клиновидности приведена (по данным И. В. Лебедева) на рис. 37 и 38.

Ошибка клиновидности защитного стекла может вызывать на крайних углах визирования ошибку вертикального угла, в 3—5 раз превышающую проекцию клиновидности. Влияние клиновидности на увод линии визирования более слабое и на крайних углах достигает самой величины клиновидности.

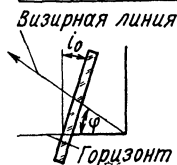
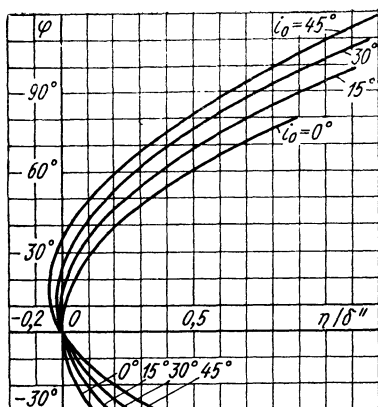


Рис. 37. Зависимость увода визирной линии от клиновидности и наклона защитного стекла:

η — увод визирной линии; δ'' — проекция клиновидности защитного стекла на перпендикуляр к плоскости визирования; φ — вертикальный угол визирной линии; i_0 — наклон защитного стекла к вертикали

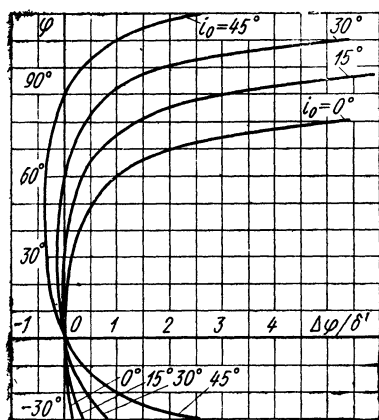


Рис. 38. Зависимость ошибки вертикального угла от клиновидности и наклона защитного стекла:

$\Delta\varphi$ — ошибка вертикального угла визирной линии; δ' — проекция клиновидности защитного стекла на плоскость визирования; φ — вертикальный угол визирной линии; i_0 — наклон защитного стекла к вертикали

Уводы визирной оси в панораме. В панораме помимо головной призмы имеется призма Дове, вращающаяся как и головная вокруг вертикальной оси Z для устранения наклона изображения. Она называется компенсационной. К рассмотренным ранее ошибкам визирного зеркала в панораме добавляются ошибки, вносимые деюстировками призмы Дове, а также неточностью ее изготовления.

В панораме призма Дове установлена перед объективом в параллельном ходе лучей. Поэтому на точность отсчетов углов визирования оказывают влияние только угловые перемещения призмы Дове и ошибки в ее углах:

- а) наклон (угол β) оси вращения AB призмы Дове к вертикальной оси Z вращения головной призмы (рис. 39, а);
- б) непараллельность (угол α) отражающей грани DE призмы Дове оси ее вращения AB (рис. 39, б);
- в) наклон (угол γ) оси O_1C визира относительно оси AB вращения головной призмы (рис. 39, в);
- г) разность значений углов 45° призмы Дове (рис. 39, г);
- д) пирамидальность призмы Дове.

Наклон оси вращения AB призмы Дове к вертикальной оси Z вращения головной призмы (угол β). Пусть на рис. 39, а ось AB вращения призмы Дове совпадает с осью визира O_1C панорамы (для упрощения окулярная часть панорамы развернута, как и крышеобразная призма, представленная в виде приведенной к воздуху пластинки H) и наклонена вместе с нею к оси Z (совпадающей с осью вращения головной призмы) в плоскости чертежа XOZ на угол β (дуга S). При неподвижной головной призме данная деюстировка представляет собой ошибку наклона визирной оси q_{XOZ} (см. рис. 40, а), которая в данном случае обозначена через S .

При повороте головной призмы на угол φ получаем случай, представленный на рис. 40, в, где вектор q_S дает две переменные составляющие:

$$S_{YOZ} = q_S \sin \varphi$$

и продольную

$$S_{XOZ} = q_S \cos \varphi.$$

Продольная составляющая будет давать увод η визирной оси от горизонта, который при наклоне S в произвольно ориентированной плоскости определяется по формуле

$$\eta_S = S [\cos (\varphi_2 - \varphi_S) - \cos (\varphi_1 - \varphi_S)], \quad (73)$$

где φ_1 и φ_2 — текущие углы поворота головной призмы.

Как и в перископе, будем иметь увод визирной оси от меридиана

$$\delta_S = S (1 - \cos i) \sin \varphi, \quad (74)$$

ошибку угла i , определяемую по формуле

$$\Delta i_K = \frac{a_{iK}^2}{2} \operatorname{tg} i, \quad (75)$$

и ошибку азимутального угла

$$\Delta\varphi_S = S \sin(\varphi - \varphi_S). \quad (76)$$

Вертикальность оси вращения призмы Дове обеспечивается установкой нижнего корпуса панорамы на горизонтальную корзину

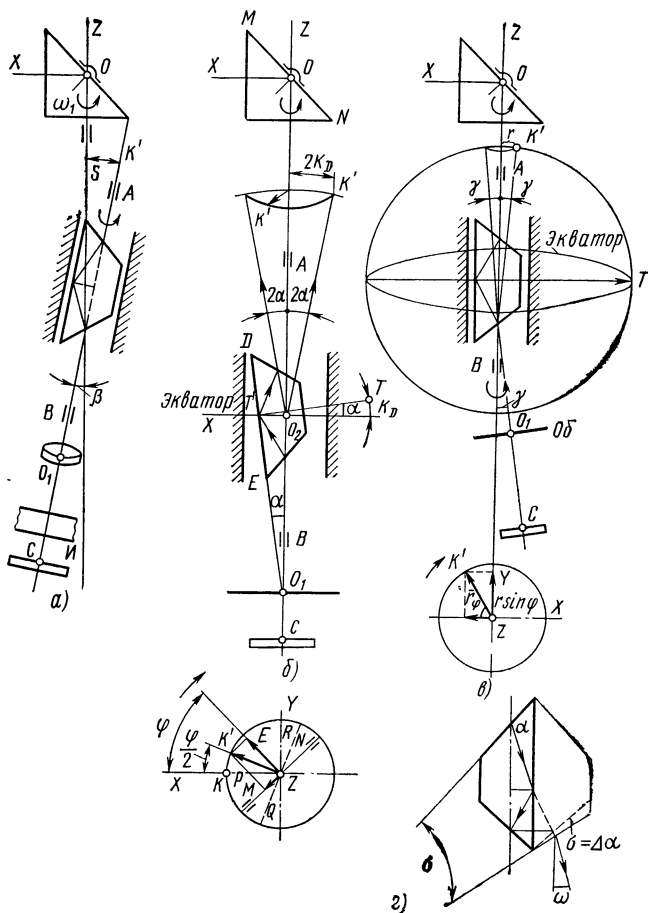


Рис. 39. Уводы визирной оси в панораме

при помощи специально расточенной базы и правильной выбранными технологическими допусками на механические детали, соединяющие оправу призмы Дове с нижним корпусом.

Непараллельность отражающей грани DE призмы Дове оси ее вращения (угол α). Из

рис. 39, б следует, что при наклоне гипотенузы DE призмы на угол α к оси AB ее вращения визирный луч будет описывать конус с вершиной в точке O_2 и углом 2α . При этом нормаль к отражающей грани призмы повернется на угол α по отношению к экватору в сферической системе координат и отсечет дугу K_D в плоскости большого круга.

Сравнивая рис. 39, б с рис. 41, видим, что данная деюстировка призмы Дове является коллимационной.

Поскольку визирный луч отклонится в сферической системе координат на угол $2K_D$, то очевидно, что геометрическое место точек K' визирного луча образует на сфере малый круг с радиусом $2K_D$ относительно оси Z .

Известно, что для выравнивания изображения в панораме при вращении головной призмы на угол φ призма Дове поворачивается на угол $\varphi/2$. Положение грани головной призмы MH при ее повороте на угол φ от начального меридиана на XZ и положение отражающей грани RQ призмы Дове показаны в нижней части рис. 39, б. Вектор $\overline{ZK'}$ показывает отклонение следа K' визирной оси на сфере от оси Z . Он отстает от нормали K отражающей грани головного зеркала на угол $\varphi/2$.

Очевидно, при вращении головной призмы визирный луч будет падать на нее под разными углами q (рис. 40).

Разложив вектор $\overline{ZK'}$ по направлению нормали ZE к головной призме и по нормали к ней, получим две переменные составляющие EZ и ZP .

Боковая составляющая

$$ZP = 2K_D \sin \frac{\varphi}{2} \quad (77)$$

дает увод от вертикали

$$\delta_k = 2K_D (1 - \cos i) \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (78)$$

Продольная составляющая

$$EZ = 2K_D \cos \frac{\varphi}{2}, \quad (79)$$

как и выше, увод от горизонта

$$\eta_k = 2K_D \left(\cos \frac{\varphi_2}{2} - \cos \frac{\varphi_1}{2} \right), \quad (80)$$

где φ_2 и φ_1 — текущие углы поворота визирной призмы.

Ошибка азимутального угла для точек на горизонте

$$\Delta\varphi_k = 2K_D \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (81)$$

Ошибка вертикального угла может быть вычислена по формуле

$$\Delta i_q = \frac{q^2 \operatorname{tg} i}{2},$$

в которой угол q (дуга q_s на рис. 40) должен быть заменен углом K (дугой K_D на рис. 39, б).

Важно отметить, что формулы (80) и (81) для η_k и $\Delta\varphi_k$ не-
схожи с формулами (73) и (76) для случая наклона оси призмы
Дове (рис. 39, а), поскольку в одном случае обе призмы синхронно
вращаются, а в другом случае призма Дове неподвижна. Вследст-
вие этого данные ошибки не могут быть взаимно скомпенсиро-
ваны.

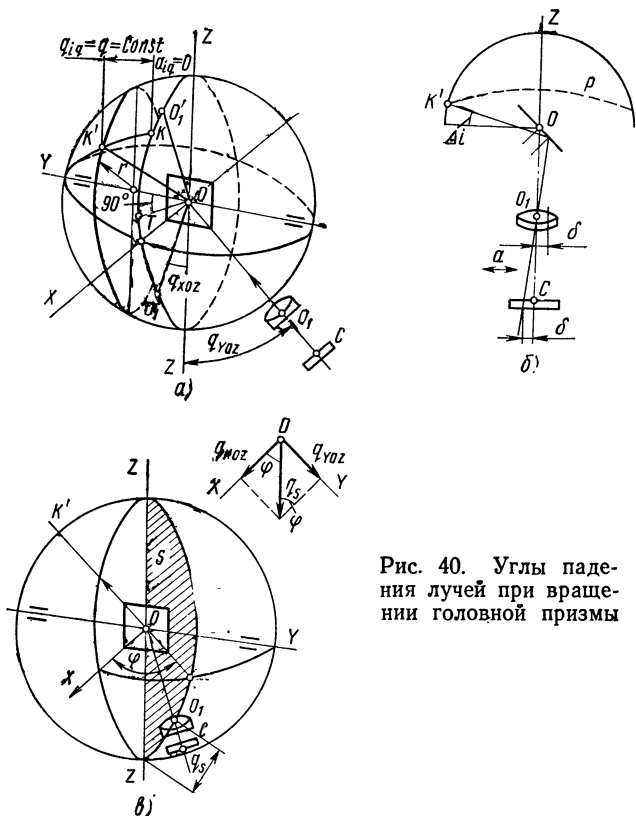


Рис. 40. Углы паде-
ния лучей при враще-
нии головной призмы

Коллимационную ошибку устраняют путем разворота призмы в
оправе на специальном юстировочном приборе (см. рис. 42).

Наклон оси O_1C визира к оси AB вращения
призмы Дове. В этом случае (рис. 39, в) нормаль T к отра-
жающей грани призмы Дове при ее вращении находится в плос-
кости экватора.

Очевидно, что визирный луч после призмы Дове описывает ко-
нус с углом 2γ при вершине. Траекторией точки K' (рис. 41) яв-
ляется окружность с радиусом r . Из принципа работы призмы Дове
ясно, что визирный луч вращается с угловой скоростью, в 2 раза

большей скорости вращения призмы Дове и совпадающей со скоростью вращения головной призмы.

Таким образом, визирный луч синхронно вращается вместе с головной призмой, а наклон оси r есть известный угол q (рис. 40), имеющий постоянное значение. При наклоне оси в произвольной плоскости, повернутой относительно плоскости XOZ на угол φ , вектор \bar{r} даст, как и для случая q , составляющую $r \sin \varphi$. Эту ошибку устраняют сдвигом призмы с крышей.

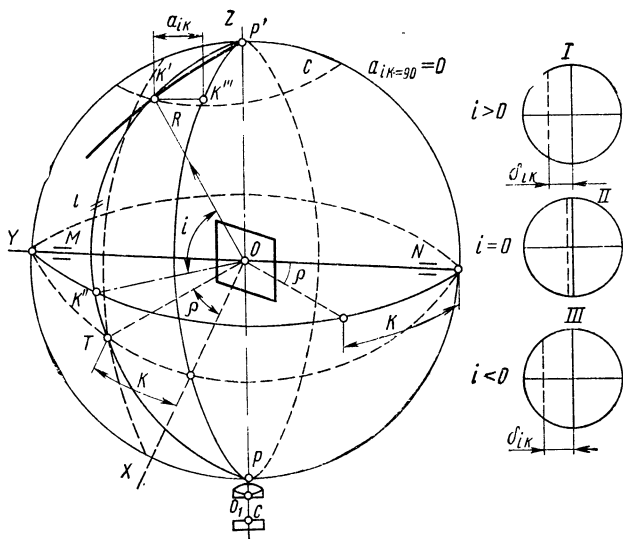


Рис. 41. Зависимость траектории точки K' от поворота зеркала вокруг оси Z

Разность значений углов 45° призмы Дове. Из рис. 39, г следует, что в этом случае призма становится клиновидной — угол σ , отклоняя визирный луч на дополнительный и постоянный угол ω в той же плоскости, в которой возникает коллимационная ошибка. Поэтому эти ошибки могут быть скомпенсированы.

Пирамидальность призмы Дове. Пирамидальность π призмы Дове отклоняет визирный луч на постоянный угол в плоскости, нормальной плоскости главного сечения призмы. Поэтому ликвидировать эту погрешность можно лишь только заменой призмы (ошибка не компенсируется).

Юстировка призмы Дове. 1. Коллиматор $f' = 270$ мм и зрительную трубку l с увеличением $4-6\times$ устанавливают так, чтобы их перекрестия совпали при наблюдении в окуляр трубки. При этом визирные оси коллиматора и трубки параллельны друг другу (рис. 42).

2. Устанавливают в лагеры 3 столика 2 испытуемый узел (оправу с призмой Дове) так, чтобы гипотенузная отражающая грань призмы была внизу.

3. Перемещением столика 2 устанавливают узел так, чтобы изображение перекрестия сетки коллиматора вновь совпало с перекрестием сетки зрительной трубки.

4. Поворачивают призму на 180° , при этом изображение сетки коллиматора повернется на 360° . Определив примерно величину

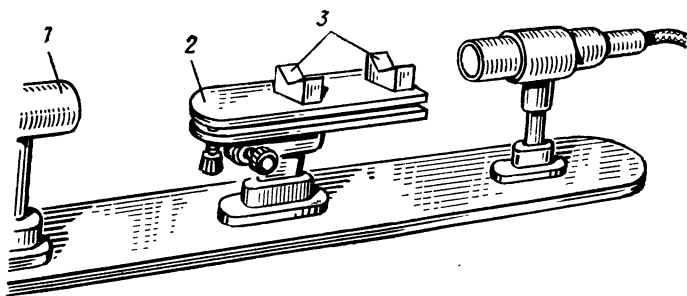


Рис. 42. Схема прибора для юстировки призмы Дове в своей оправе

смещения изображения перекрестия сетки коллиматора относительно перекрестия сетки зрительной трубки, половину погрешности исправляют юстировочными винтами оправы призмы, оставшуюся погрешность устраняют перемещением столика 2. Вновь поворачивают призму на 180° , вторично проверяют смещение и при необходимости исправляют указанным способом до положения, когда при вращении призмы смещения перекрестия не происходит. Аналогично проверяют положение призмы в горизонтальном направлении при повороте ее на 90° .

Юстировку можно выполнить с точностью до половины штриха сетки коллиматора. При толщине сетки 0,02; $f' = 270$ мм, угловая величина сетки равна $15''$.

Таким образом, точность юстировки составит $7'',5$.

При взаимодействии ошибок установки и изготовления призмы Дове изображение в поле зрения описывает кривую типа кардиоиды (в общем случае кривую типа улитки Паскаля).

КОНТРОЛЬНО-ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРИБОРЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Контрольно-юстировочные приборы применяют для контроля и юстировки оптических приборов и их узлов.

Разнообразие конструкций контрольно-юстировочных приборов вызвано качественным различием параметров, которые требуется определить или измерить у испытуемого прибора.

Определение конструктивных элементов оптических систем, а также испытание оптических систем производят с целью определения основных параметров, характеризующих свойства оптического прибора.

23. ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

К одним из основных параметров оптических приборов относятся:

1. Разрешающая способность и качество изображения, определяющие апертуру и коррекции аберраций.

2. Увеличение.

3. Поле зрения, влияющее на сложность системы, т. е. на число компонентов.

4. Светособирающая способность, влияющая на апертуру.

5. Спектральный диапазон, определяющий выбор материалов, а также коррекции хроматических аберраций.

Разрешающая способность. Разрешающей способностью оптической системы называется способность оптической системы формировать изображение, различая в объекте мелкие, близко расположенные одна от другой детали.

Разрешающая способность (разрешающая сила) определяется наименьшим расстоянием между двумя точками или линиями, видимыми раздельно, и оценивается для объектива зрительной трубы в угловой, а для фотообъектива и микроскопа — в линейной мере.

Разрешающая способность может быть присуща собственно прибору, если приемник излучения является фотоэлектрическим и отсутствуют проблемы, связанные с быстроедействием. Бывает, что ее требуется оценивать с учетом фотоэмульсии. Она может также относиться к подробностям формы в объекте или представлять собой спектроскопическое разрешение.

Понятия разрешающей способности, предельного разрешения и качества изображения применимы в основном к оптическим при-

борам с формированием изображения. Разрешающая способность совершенной оптической системы ограничивается дифракцией света.

Дифракция, в основе которой лежит волновая природа света, нарушает прямолинейное распространение света и создает сложное распределение освещенности в плоскости изображения. В результате этого точка изображается в виде круглого пятна, окруженного большим числом темных и светлых дифракционных колец с постепенно убывающей яркостью. Отклонение дифрагированного

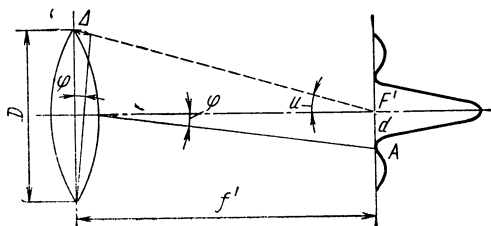


Рис. 43. Влияние дифракции на разрешающую способность оптической системы

фронта волны от первичного волнового фронта, идущего от бесконечно удаленного предмета на угол φ с разностью хода Δ , равной $1,22\lambda$, показано на рис. 43.

Освещенность в точках дифракционного пятна с увеличением разности хода Δ от 0 до $1,22\lambda$ будет изменяться от максимума в точке F' до нуля в точке A , ограниченное темным кольцом с радиусом $d = f'\varphi$, где f' — фокусное расстояние объектива и φ — угол отклонения, выраженный в радианах.

Теоретическую разрешающую силу идеального объектива определяют по формуле

$$\varphi = \frac{\Delta}{D} = \frac{1,22\lambda}{D}, \quad (82)$$

т. е. разрешающая сила зависит от диаметра действующего отверстия объектива и длины волны света λ .

В угловой мере при $\lambda = 555$ нм

$$\varphi'' = \frac{140''}{D}. \quad (83)$$

Радиус дифракционного пятна

$$d = \frac{1,22}{D} f' = \frac{0,61\lambda}{u}. \quad (84)$$

В линейной мере при $\lambda = 555$ нм радиус дифракционного пятна

$$d = \frac{0,61}{u} = \frac{0,61 \cdot 0,555}{u} = \frac{0,34}{u} \text{ мкм},$$

где u — апертурный угол, выраженный в радианах.

Разрешающая способность объектива зрительной трубы. Опытным путем найдено, что разрешающая способность объективов зрительных труб высокого качества может быть определена по формуле

$$\varphi'' = \frac{120''}{D}. \quad (85)$$

Для того чтобы глаз мог полностью использовать разрешающую способность объектива зрительной трубы, ее видимое увеличение должно быть.

$$\Gamma = \frac{\varphi_{\text{гл}}''}{\varphi''} = \frac{60''}{\varphi''}, \quad (86)$$

где $\varphi_{\text{гл}}'' = 60''$ — разрешающая способность глаза;

φ'' — разрешающая способность объектива зрительной трубы.

Откуда получают полезное увеличение трубы [1]

$$\Gamma = \frac{1}{2} D, \quad (87)$$

равное половине диаметра ее объектива. Дальнейшее повышение увеличения зрительной трубы при сохранении величины D не будет способствовать повышению ее разрешающей силы.

В том случае, когда диаметр выходного зрачка трубы больше зрачка глаза, разрешающая сила объектива используется неполностью и определяется формулой

$$\varphi'' = \frac{60''}{\Gamma}.$$

Если полезное увеличение

$$\Gamma_{\text{п}} = \frac{D}{2\rho},$$

где 2ρ — диаметр зрачка глаза, то из формулы (87) находим

$$\Gamma = \rho\Gamma_{\text{п}},$$

т. е. разрешающее увеличение Γ равно произведению радиуса зрачка глаза на полезное увеличение $\Gamma_{\text{п}}$.

Определение разрешающей силы объектива зрительной трубы выполняется на оптической скамье с длиннофокусным коллиматором известного фокусного расстояния объектива f'_k . Угловую величину ширины штриха l любого элемента мира для используемого объектива, коллиматора вычисляют по формуле

$$\varphi_{\text{ш}}'' = \frac{l}{f'_k} 206\,265. \quad (88)$$

Разрешающая способность объектива микроскопа. Разрешающую способность объектива микроскопа выражают в линейной мере и определяют наименьшим расстоянием d между двумя самосветящимися точками

$$d = \frac{0,61\lambda}{u}, \quad (89)$$

где d — радиус дифракционного кольца, равный $f'\varphi$;
 здесь f' — фокусное расстояние объектива;
 φ — угол отклонения, выраженный в радианах;
 λ — 0,000555 мм;

u — апертурный угол, равный $\frac{D}{2f'}$;

здесь D — диаметр действующего отверстия объектива в мм.
 Для несамосветящихся объектов К. Михель дает предел разрешения, определяемый по формуле [15]

$$d = \frac{3\lambda}{4A}, \quad (90)$$

где A — числовая апертура, равная произведению показателя преломления n среды между объективом и предметом на $\sin u$.

При наблюдении периодической структуры наименьшее расстояние d согласно теории Аббе [21], находится в зависимости от апертуры объектива и апертуры освещающего пучка лучей (конденсора) и определяется формулой

$$d = \frac{\lambda}{A + A_k},$$

где A_k — числовая апертура конденсора.

Если апертура объектива равна апертуре конденсора, то разрешающая способность микроскопа достигает максимума

$$d = \frac{\lambda}{2A}. \quad (91)$$

Если у микроскопа нет конденсора, то разрешающая способность будет определяться формулой

$$d = \frac{\lambda}{A}. \quad (92)$$

Из формул (89) и (92) следует, что чем короче длина волны света и больше апертура объектива, тем выше разрешающая способность микроскопа.

Разрешающая способность фотографического объектива определяется в линейной мере, числом штрихов или линий, раздельно видимых в интервале 1 мм по формуле

$$N_1 = \frac{1}{d} = \frac{1}{\varphi'' f' \sin 1''}, \quad (93)$$

но так как

$$\varphi'' = \frac{140''}{D},$$

то

$$N_1 = \frac{D \cdot 206\,265}{140 f'} = \frac{1475}{K}, \quad (94)$$

где $K = \frac{f'}{D}$ — величина обратная относительному отверстию объектива. Эта формула служит для оценки разрешающей силы совершенных объективов в центре поля.

При контроле разрешающей силы фотографических объективов, помимо визуального наблюдения изображения штрихов миры, применяют метод исследования фотоснимка изображения миры.

Качество изображения оптической системы. Под качеством изображения оптической системы прибора понимают способность системы правильно воспроизводить изображения предметов с возможной полнотой передачи всех деталей, контраста и геометрического подобия изображения.

При правильной абберационной коррекции системы качество изображения оптического прибора зависит от точности обработки оптических деталей, показателей качества оптического стекла, а также сборки и юстировки оптической системы прибора. Для оценки качества изображения оптических систем существуют различные методы, которые можно разделить на две группы: геометрические и волновые (физические).

При применении геометрических методов (Гартмана, Линника, Папиянца и др.) стремятся исследовать линейные или угловые абберации и разрешающую способность системы.

С применением физических методов (Майкельсона, Тваймана, Ленувеля, Вейзеля и др.) получают волновые абберации — отклонения волнового фронта от сферического и распределение освещенности в дифракционной картине. Кроме того, в настоящее время предложены объективные методы оценки качества изображения: по распределению освещенности в картине дифракционного изображения точечного источника света (функция распределения или импульсная функция), по изображению полуплоскости (переходная функция) с последующим сравнением с расчетным распределением освещенности безабберационной системы и, наконец, по частотно-контрастной характеристике, называемой функцией передачи контраста, или просто передаточной функцией.

Метод передаточной функции является наиболее объективным, он получил большое развитие и в ряде случаев нашел практическое применение.

Увеличение. Увеличение и поле зрения являются гауссовыми параметрами оптической системы; их нужно определять исходя из ряда соображений, основанных на понимании того, что требуется для применения прибора, практически возможно при допустимой степени сложности оптической системы и физически значимо.

Так, для микроскопа существует максимально возможное увеличение, которое зависит от предельной разрешающей способности, осуществимой в объективах микроскопов с высокой числовой апертурой; возможности конструирования таких объективов определяют достижимое поле зрения.

Фотообъективы с постоянным фокусным расстоянием обычно хорошо работают при увеличении в пределах от нуля (фокус в бесконечности) до 1/10. В этом диапазоне поправка на абберации достаточна стабильна. В теодолитах увеличение зрительных труб определяется потребностью в уверенном распознавании ориентиров (сигналы опорных пунктов, штрихи нивелирных реек и т. д.).

Увеличение микроскопа. Микроскоп применяют

для рассмотрения близких и малых предметов в значительно увеличенном масштабе. Объектив является главной составной частью микроскопа, характеризующей его оптические свойства: увеличение, апертуру, разрешающую способность и ортоскопичность изображения предмета.

Линейное увеличение объектива микроскопа определяют по формуле

$$\beta = - \frac{\Delta}{f'_1},$$

где f'_1 — фокусное расстояние объектива;

Δ — оптический интервал.

Действительное и перевернутое изображение, построенное объективом микроскопа, увеличивается окуляром в $\bar{\Gamma}_0$ раз. Отсюда полное видимое увеличение микроскопа Γ будет равно

$$\Gamma = \beta \bar{\Gamma}_0$$

или

$$\Gamma = - \frac{\Delta 250}{f'_1 f_2},$$

где $\bar{\Gamma}_0$ — увеличение окуляра, найденное при условии, что предмет рассматривается на расстоянии 250 мм; f_2 — фокусное расстояние окуляра.

Знак минус в формуле показывает, что изображение перевернутое.

Если изображение предмета находится на расстоянии больше или меньше 250 мм, то увеличение микроскопа определяется по формуле

$$\Gamma = \frac{y' \cdot 250}{y D_1},$$

где y и y' — величина предмета и его изображения; D_1 — расстояние от глаза до изображения предмета.

При условии полного использования разрешающей способности микроскопа глазом наблюдателя получают так называемое полезное увеличение $\bar{\Gamma}_n$ микроскопа, вычисляемое по формуле

$$\bar{\Gamma}_n = \frac{\varphi \cdot 250 \cdot 10^3}{d},$$

где d — разрешающая способность микроскопа; φ — разрешающая способность глаза, которая должна быть принята равной $3'$ и выражена в радианах $\varphi \approx 0,001$ рад.

Увеличение зрительной трубы. Из геометрической оптики известно, что линейное или поперечное увеличение зрительной трубы выражается формулой

$$\beta = \frac{y'}{y} = - \frac{f_2}{f'_1},$$

где y и y' — линейные размеры предмета и изображения; f_2 и f'_1 — фокусные расстояния окуляра и объектива.

Отношение $\frac{f_2}{f'_1}$ можно заменить отношением диаметра выходного $2a'$ и входного $2a$ зрачков трубы

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f_2}{f'_1} = \frac{2a'}{2a}.$$

Кроме линейного или поперечного, продольного и углового увеличения, зрительная труба имеет так называемое видимое увеличение Γ , определяемое отношением тангенсов углов ω' и ω , под которыми рассматриваются изображение объекта и сам объект соответственно через трубу и невооруженным глазом.

Так как объект находится на большом расстоянии от трубы, то видимое увеличение практически становится равным угловому увеличению и определяется выражением

$$\Gamma = \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega}.$$

Так как

$$\gamma = -\frac{f'_1}{f_2} = -\frac{1}{\beta},$$

то подставив в эту формулу значение β , получим

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{y'}{y} = \frac{f'_1}{f_2} = \frac{2a}{2a'}.$$

Продольное увеличение зрительной трубы

$$\alpha = \frac{1}{\gamma^2}.$$

Соотношение, связывающее все три увеличения, выражается формулой $\alpha\gamma = \beta$ (для системы в воздухе).

Поле зрения оптических систем. Реальные оптические системы, в противоположность идеальным системам, не могут дать совершенные изображения сколько угодно больших частей пространства; пучки лучей, проходящие через эти системы, заполняют телесные углы тоже только сравнительно небольшой величины. Для получения хороших изображений пространство, пронизываемое лучами, ограничивают диафрагмами, для того чтобы размеры изображаемого пространства и апертурные углы пучков лучей держались в границах, определяемых для каждой системы специальным расчетом и заданными техническими требованиями.

Кроме этого, отдельные элементы оптических систем ограничены в своих размерах; например, объективы в зрительных трубах, в биноклях заключаются в металлические оправы, которые также могут ограничивать поперечные размеры пучков, проникающих в прибор.

Поле зрения зрительной трубы. Полем зрения зрительной трубы называется часть пространства предметов, изображение которой рассматривается в трубу. Под истинным полем зрения понимают угол 2ω , под которым из центра входного зрачка

трубы виден диаметр диафрагмы поля зрения, расположенной в общей фокальной плоскости объектива и окуляра.

Под видимым полем зрения понимают угол $2\omega'$, под которым виден диаметр диафрагмы поля зрения из центра выходного зрачка трубы. При этом входное и выходное окна — изображения диафрагмы поля зрения в пространстве предметов и в пространстве изображения находятся в бесконечности.

Величина истинного и видимого поля зрения зрительной трубы в угловой мере определяется выражениями

$$2 \operatorname{tg} \omega = \frac{d_1}{f'_1}; \quad (94a)$$

$$2 \operatorname{tg} \omega' = \frac{d_1}{f'_2}, \quad (94б)$$

где d_1 — диаметр диафрагмы поля зрения;

f'_1 и f'_2 — фокусные расстояния объектива и окуляры трубы.

Разделив выражение (94a) на выражение (94б), получим формулу для углового увеличения трубы

$$\gamma = \frac{2 \operatorname{tg} \omega'}{2 \operatorname{tg} \omega} = \frac{f'_1}{f'_2},$$

откуда

$$2 \operatorname{tg} \omega = \frac{2 \operatorname{tg} \omega'}{\gamma},$$

т. е. истинное поле зрения трубы равно видимому полю зрения, деленному на угловое увеличение.

Поле зрения микроскопа. Поле зрения микроскопа определяется в линейной мере и значительно реже в угловой.

В микроскопе диафрагму поля зрения устанавливают в фокальной плоскости окуляра.

У микроскопа различают три поля зрения: линейное в предметной плоскости, окулярное, видимое в фокальной плоскости окуляра и поле зрения в пространстве изображения, образуемое при проектировании полевой диафрагмы на экран — матовое стекло или на фотопластинку. Каждое из перечисленных полей зрения определяется в линейной мере.

Поле зрения в предметной плоскости вычисляют по формуле

$$L = n\tau,$$

где n — число делений шкалы, видимых по диаметру поля; τ — цена деления шкалы в миллиметрах.

Окулярное поле зрения отличается от поля зрения в предметной плоскости только размером, оно всегда больше его.

Окулярное поле зрения измеряют в фокальной плоскости окуляра при помощи винтового окуляр-микрометра, цена деления которого τ_1 должна быть известна.

Окулярное поле зрения $L_{ок}$ находят по формуле

$$L_{ок} = m\tau_1,$$

где m — отсчет по шкале и барабану окуляр-микрометра.

Отношение $L_{ок}$ к L составит увеличение объектива микроскопа

$$\beta = \frac{L_{ок}}{L}.$$

При известном увеличении объектива микроскопа окулярное поле зрения определяют из выражения

$$L_{ок} = \beta L.$$

Поле зрения микроскопа в пространстве изображения L_z , рассматриваемое на экране, определяется промером линейкой диаметра круга или диагонали изображения в случае ограничения экрана рамкой.

В угловой мере поле зрения микроскопа определяют при измерении увеличения микроскопа рисовальным прибором по формуле

$$2 \operatorname{tg} W = \frac{y'}{D_1},$$

где y' — величина изображения по полю, спроектированного на экран; D_1 — расстояние от экрана до глаза наблюдателя.

Поле зрения фотографического объектива. Поле зрения фотографического объектива определяется в угловой мере.

Поскольку кадр фотоснимка имеет квадратную или прямоугольную форму, то угол поля зрения составляет отношение диагонали квадрата или прямоугольника к фокусному расстоянию объектива:

$$2 \operatorname{tg} W = \frac{d_2}{f'},$$

где d_2 — наибольшая диагональ кадра в мм; f' — фокусное расстояние объектива в мм..

Светособирающая способность. Этот параметр относится к различным гауссовым свойствам оптической системы [26].

Например, в фотообъективе, применяемое для съемки протяженных объектов, этот параметр зависит от отношения апертур.

У объектива, предназначенного для фотографирования точечных объектов, скорость съемки зависит от площади входного зрачка объектива, если разрешающая способность ограничена фотоэмульсией. У монохроматора, используемого в качестве составной части спектрофотометра с источником непрерывного света и фотоэлектрическим приемником, светособирающая способность зависит от полезной площади призмы или решетки и от угловой дисперсии, но никак не связана с отношениями апертур объективов коллиматора и трубы. Светособирающую способность обычно определяют как расчетный параметр, исходя из характеристик источников и приемников, которые предполагается использовать, и требуемой скорости получения информации от прибора.

Спектральный диапазон. Этот параметр также определяется источниками и приемниками, подлежащими использованию, а если он задан, то по нему можно определить ряд расчетных параметров, а именно, тип используемых покрытий, возможные виды оптических материалов, степень коррекции хроматической аберрации,

возможную необходимость работы в специальной газовой среде или в вакууме и величины допусков на монохроматические аберрации (последние — в виде минимальной длины волны) [26].

Краткие сведения о контрольно-юстировочных приборах. Процесс юстировки сопровождается контролем изделий и определением конструктивных элементов оптических систем.

Как указано ранее, несмотря на большое количество и разнообразие оптических приборов, их можно подразделить на 9—10 групп, в соответствии с характером их оптических систем: зрительные трубы, микроскопы, фото и киноаппараты и т. д. Поэтому относительно небольшое количество контрольно-юстировочных приборов общего назначения наряду со специальными юстировочными приборами обеспечивают процессы юстировки всех оптических приборов. К контрольно-юстировочным приборам общего назначения относятся:

1. Зрительные трубы.
2. Коллиматоры.
3. Автоколлимационные трубы.
4. Оптические скамьи «Аскания», «Гартмана», ОСК-2, ОСК-3 и др.
5. Гониометры.
6. Толщешеры.
7. Динаметры.
8. Прибор Юдина.
9. Апертометр Аббе.
10. Уровни.
11. Вспомогательные оптические детали.
12. Оптические скамьи для юстировки аэрофотокамер.
13. Различные измерительные инструменты.

24. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБКИ

Для повышения общего увеличения системы, а также при юстировке стереофотограмметрических приборов применяют зрительные трубы с $f' = 100$ мм и увеличением порядка $4\times$.

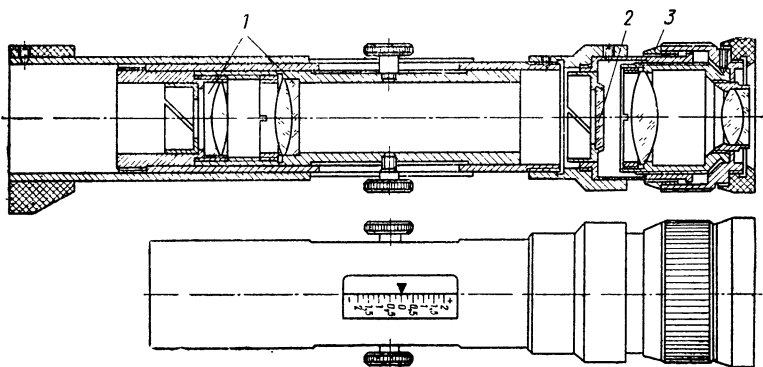


Рис. 44. Диоптрийная трубка

Диоптрийная трубка применяется в основном для установки нулевого деления диоптрийной шкалы окуляра, а также для определения параллакса в диоптриях со стороны окуляра прибора. Диоптрийная трубка представляет собой телескопическую систему с увеличением $4\times$ и состоит из объектива 1, сетки 2 и окуляра 3 ($f_{об} = 80$ мм; $f'_{ок} = 20$ мм; $\Gamma_{ок} = 12,5\times$) (рис. 44).

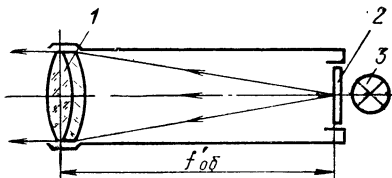
Окуляр имеет диоптрийную наводку в пределах ± 5 дптр для установки на резкость изображения сетки по глазу наблюдателя. Установка дополнительного объектива 1 превращает диоптрийную трубку в микроскоп-динаметр для измерения размеров зрачков выхода и удаления зрачка выхода от наружной поверхности окуляра [16].

25. КОЛЛИМАТОР

Коллиматором называется оптическая система объектива, в фокусе которой помещена мира или сетка (рис. 45).

Поскольку изображение освещенной миры или сетки находится в бесконечности, то коллиматором имитируется удаленный предмет.

Рис. 45. Схема коллиматора:
1 — объектив; 2 — сетка или мира;
3 — источник света



Коллиматором может служить любая зрительная трубка с сеткой, установленная на бесконечность; при этом со стороны окуляра устанавливается источник света.

Некоторые коллиматоры имеют револьверное устройство, в котором находится сетка, мира и окуляр.

Для определения разрешающей способности оптических систем в фокусе коллиматора помещают миру.

Мира представляет собой испытательную таблицу (рис. 46, а), в которой расстояние между штрихами меняется по определенному закону. Мира состоит из 25 групп, каждая из них состоит из четырех квадратов (рис. 46, б), в которых нанесены штрихи в четырех направлениях. В каждой мире ширина штрихов при переходе от группы № 1 к группе № 25 убывает на 6%.

Как на радиальной, так и на штриховой мире ширина штрихов равна осевому расстоянию между двумя соседними темными или светлыми штрихами.

Угловая величина штриха любой группы миры определяется по формуле (88).

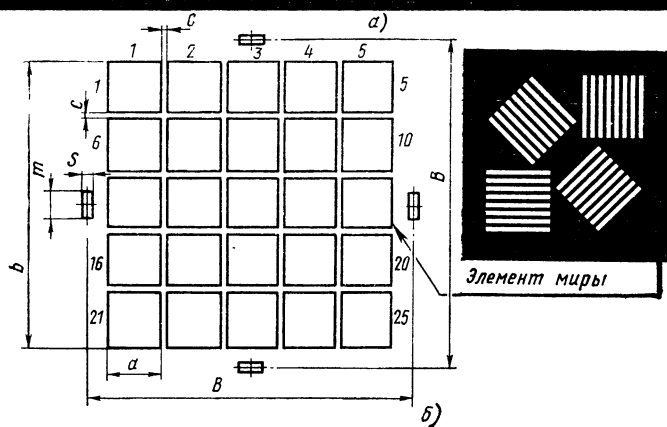
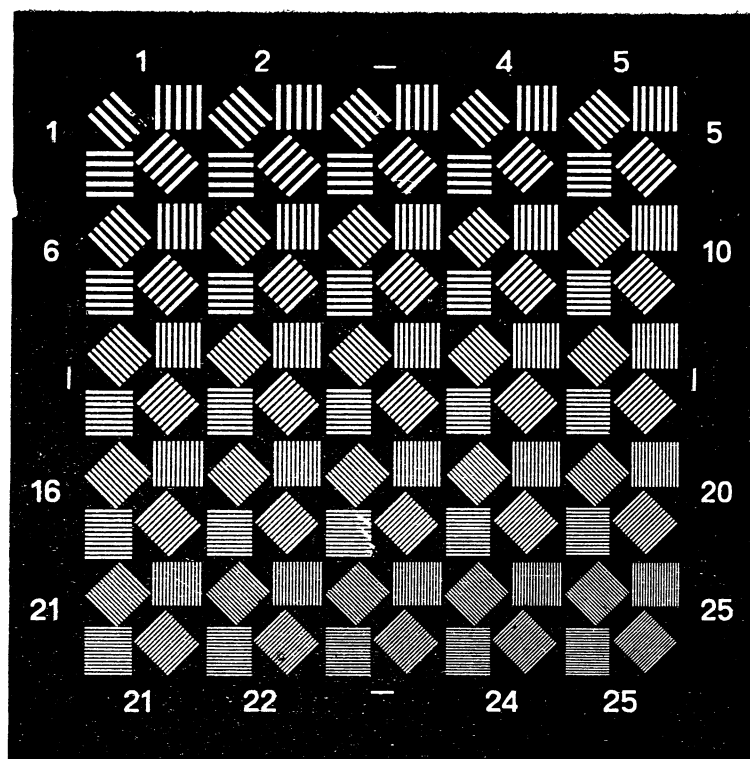


Рис 46. Миры и ее элементы

26. ШИРОКОУГОЛЬНЫЕ КОЛЛИМАТОРЫ

Широкоугольные коллиматоры применяют для проверки угла поля зрения приборов, отсчетов и мертвых ходов механизмов при небольших углах визирования и других измерений.

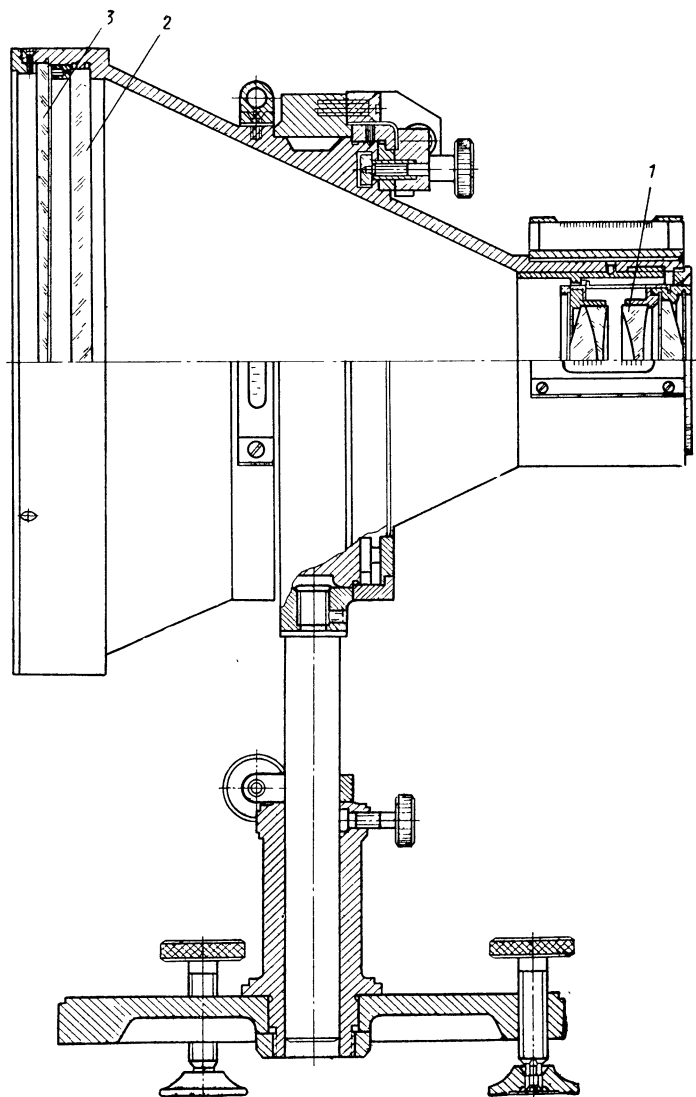


Рис. 47. Широкоугольный коллиматор

Широкоугольный коллиматор, схема которого показана на рис. 47, имеет объектив «Индустар» И-51: $2\beta=45^\circ$; $f'=210$ мм; относительное отверстие 1:4,5.

Коллиматор состоит из объектива 1, сетки 2 и защитного стекла 3.

Имеются широкоугольные коллиматоры с $f'_k=600$ мм, которые служат для окончательной проверки аэрокамер по снимкам мира, расположенной в фокусе коллиматора.

27. АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫЕ ТРУБЫ

Автоколлимационная труба — зрительная труба с автоколлимационным окуляром.

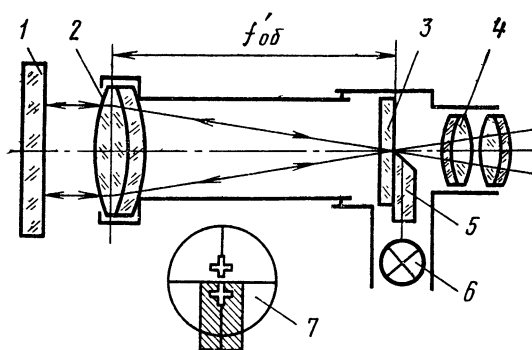


Рис. 48. Автоколлиматор с освещенной сеткой вне центра поля зрения:

1 — зеркало; 2 — объектив; 3 — сетка; 4 — окуляр; 5 — призма подсветки; 6 — источник света; 7 — поле зрения окуляра

Автоколлиматоры (трубы в автоколлимационном окуляре) встречаются в основном двух типов, в зависимости от конструкции автоколлимационного окуляра:

а) с освещенной целью или маркой вне центра поля зрения (окуляр Аббе), рис. 48;

б) с освещенной сеткой нитей в центре поля зрения (окуляр Гаусса), рис. 49.

Когда при наблюдениях желательно иметь большие увеличения, пользуются улучшенным окуляром Гаусса (рис. 50).

Он отличается тем, что в нем между крестом нитей M и окуляром помещаются две одинаковые линзы O_1 и O_2 . Так как крест нитей располагается в фокусе линзы O_1 , то эта дополнительная система переносит изображение креста нитей в точку F с отношением 1:1,

где это изображение и наблюдается в окуляре. Зеркало располагается в параллельном пучке лучей между линзами O_1 и O_2 под углом 45° к оптической оси трубы. Освещение производят при помощи третьей линзы O_3 , в фокусе которой помещают лампочку.

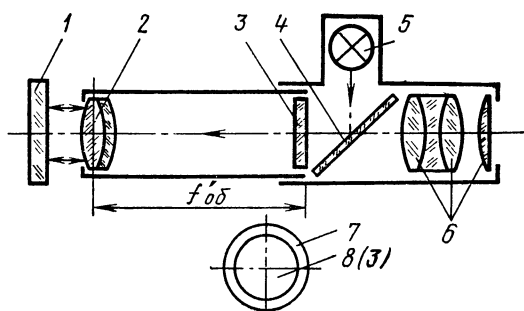


Рис. 49. Автоколлиматор с освещенной сеткой в центре поле зрения:

1 — зеркало; 2 — объектив; 3 — сетка; 4 — полупрозрачная плоскопараллельная пластинка; 5 — источник света; 6 — окуляр; 7 — диафрагма; 8 (3) — сетка нитей

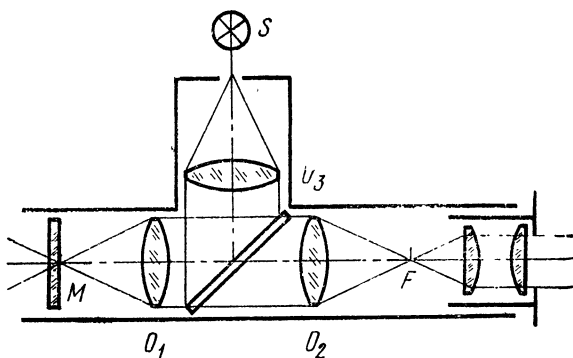


Рис. 50. Улучшенный окуляр Гаусса

28. ДИНАМЕТРЫ

Динаметр применяют для измерения размеров выходных зрачков оптических приборов, а также удаления зрачка выхода от последней поверхности окуляра (рис. 51).

Динаметр представляет собой ахроматическую лупу I , в фокусе которой установлена сетка 8 . Шкала сетки 8 имеет 100 делений с

ценой деления 0,1 мм. В задней фокальной плоскости лупы находится диафрагма 4 с малым отверстием. Оправа 6 сетки закреплена в тубусе 2. Многозаходная резьба 3 служит для установки лупы на резкость шкалы по глазу наблюдателя, тубус 2 вставляют

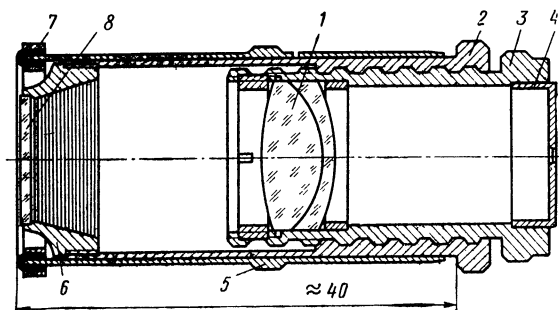


Рис. 51. Динаметр

в тубус 5 с резиновым упорным кольцом 7. Положение тубуса 5 определяют по миллиметровой шкале, нанесенной на поверхности тубуса. Этой шкалой пользуются для измерения удаления выходного зрачка. Предел измерения составляет до 30 мм.

29. ПРИБОР ЮДИНА

Прибор Юдина (рис. 52) предназначен для определения увеличения микроскопа, для чего его устанавливают на окуляр микроскопа. Этот прибор представляет собой телескопическую систему, состоящую из двух окуляров типа Рамсдена равного фокусного расстояния, в фокальной плоскости которых установлена шкала P с ценой деления 0,5 мм. Первый служит в качестве объектива, второй — в качестве окуляра. Увеличение системы равно (-1) . Фокусное расстояние окуляра равно 21,5 мм, поэтому его увеличение равно

$$\Gamma_{\text{ок}} = \frac{250}{f'_{\text{ок}}} = 11,6\times.$$

При измерении устанавливают окуляр по глазу на резкое изображение штрихов шкалы P , а затем, наблюдая через прибор и микроскоп, фокусируют последний на шкалу объект-микрометра с ценой деления 0,01 мм, помещенную на предметный столик микроскопа. Добиваются такого положения, когда одинаково хорошо будут видны изображения штрихов обеих шкал без параллакса. Выбирают некоторый интервал y' по кале прибора Юдина с числом делений n и подсчитывают укладывающиеся в нем деления n шкалы объект-микрометра с интервалом y .

Зная цену деления шкал τ_p и τ_o прибора Юдина и объект-микрометра, определяют размеры изображения $y' = n\tau_p$ и предмета $y = n\tau_o$. Подставляя значения y и y' в формулу

$$\Gamma_m = \Gamma_{ок} \frac{y'}{y},$$

вычисляют увеличение микроскопа.

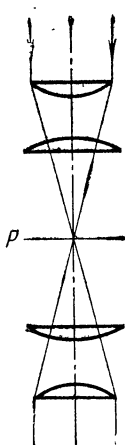
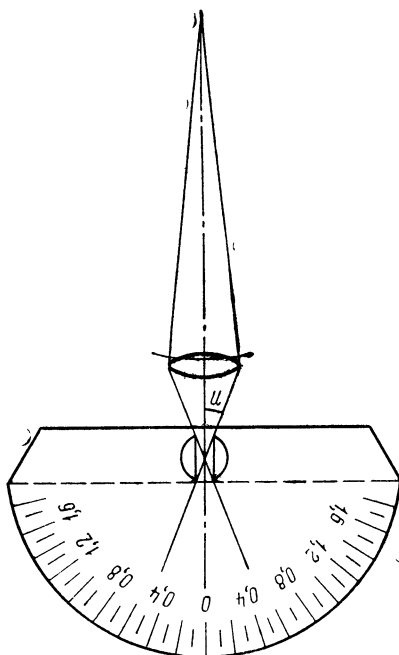


Рис. 52.
Прибор
Юдина

Рис. 53. →
Апертометр
Аббе



30. АПЕРТОМЕТР АББЕ

Апертометр Аббе служит для определения числовой апертуры микроскопа (рис. 53).

Числовая апертура является основным критерием разрешающей силы и освещенности изображения микроскопа (см. п. 23)

$$A = n \sin u. \quad (95)$$

Для объектива микроскопа, находящегося в воздухе $n=1$, поэтому

$$A = \sin u.$$

Чем больше числовая апертура, тем выше разрешающая сила микроскопа.

Апертометр Аббе представляет собой полукруглую, укрепленную в металлическую оправу пластинку толщиной около 12 мм со срезан-

ным краем по диаметру под углом 45° . На верхней поверхности пластинки имеются две круговые шкалы, щель и награвирован n_D стекла пластинки. Щель шириной около 0,8 мм находится в середине серебряного кружка, расположенного в центре круга и над срезом пластинки. Она служит для центровки и правильной установки объектива микроскопа. По круглому краю апертметра перемещаются две металлические пластинки с остриями в виде стрелок (индексов).

При измерениях числовой аперттуры апертметр устанавливают на предметный столик микроскопа. Наблюдая в окуляр, устанавливают щель апертметра центрично по отношению к объективу микроскопа. Удаляют окуляр из тубуса микроскопа и ведут наблюдение через объектив микроскопа, установив его так, чтобы изображения концов стрелок были видны. Разводят стрелки в стороны до момента касания их концов противоположных краев поля зрения. При таком положении по индексам пластинок по первой шкале апертметра берут два отсчета. Полусумма отсчетов дает искомую величину числовой аперттуры A .

Контроль определения числовой аперттуры A можно провести вычислением по формуле

$$A = \frac{a' \bar{\Gamma}}{250}, \quad (96)$$

где a' — радиус выходного зрачка; $\bar{\Gamma}$ — увеличение микроскопа (см. книгу В. А. Афанасьева «Оптические измерения», 1961 г.).

31. ВЫСОКОТОЧНЫЙ ГОНИОМЕТР Г-1

Высокоточные гониометры до последнего времени в СССР не выпускались. На заводах оптико-механической промышленности до сих пор используются высокоточные гониометры-спектрометры зарубежных фирм Аскания и Цейсс старых выпусков.

Отечественные гониометры-спектрометры ГС-1 и ГС-2 еще не выпускаются в требуемом количестве.

Кроме этого, указанные гониометры представляют собой очень сложные и дорогие приборы.

В 1968 г. автором была предложена конструкция высокоточного гониометра Г-1 на базе триангуляционного теодолита ТГ2/6. В 1969 г. изготовлен опытный образец гониометра Г-1.

Исследования этого гониометра в лаборатории завода показали высокую точность измерения углов.

Гониометр Г-1 (рис. 54) предназначен для измерения углов между плоскими полированными гранями различных деталей. В оптическом производстве гониометр Г-1 может быть использован для измерения углов и пирамидальности призм. Измерения углов на гониометре Г-1 осуществляются бесконтактным методом по лимбу с помощью автоколлиматора.

Основные параметры гониометра

Диаметр свободного отверстия объектива автоколлиматора	60 мм
Разрешающая способность объектива	2", 15
Фокусное расстояние объектива	520 мм

Увеличение микроскоп-микрометра	49×
Поле зрения микроскопа 3,1 мм, что соответствует по лимбу	1°37 9,56 мм
Удаление зрачка выхода	
Барaban микрометра разделен на 60 частей, 2,5 оборотам винта соответствует перемещение биссектора нитей на одно деление лимба	2"
Цена деления барабана микрометра	220 мм
Диаметр лимба	5'
Цена деления лимба	± 1"
Погрешность прибора	

Гониометр Г-1 состоит из трегера, на котором укреплены вертикальная ось прибора и стойка с автоколлиматором алидадной части,

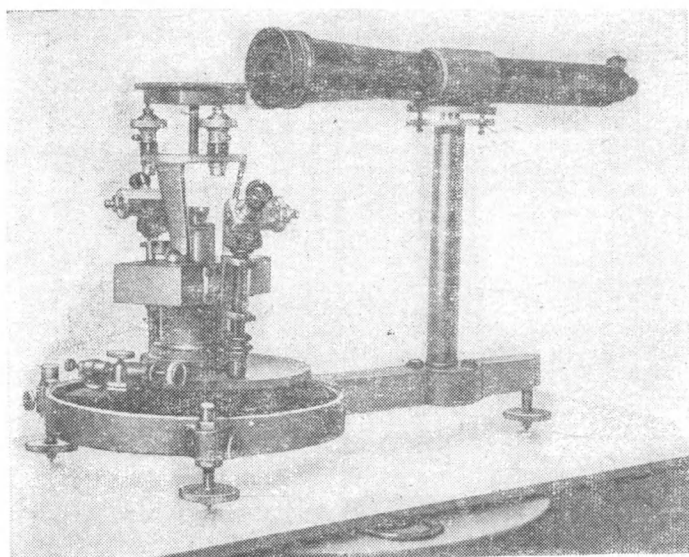


Рис. 54. Высокоточный гониометр Г-1

где находятся два микроскоп-микрометра для отсчета по лимбу и подставка для столика гониометра.

Трегер имеет три подъемных винта, с помощью которых вертикальная ось прибора приводится в отвесное положение по накладному уровню с ценой деления 10", устанавливаемому на алидадной части. В кольцо трегера смонтированы переключатель и штепсель. В верхней части кольца закреплено основание с вертикальной осью прибора.

Вокруг основания вертикальной оси вращаются хомут и тормоз алидадной части гониометра.

В опытном образце гониометра Г-1 имеется один тормоз. При последующих изготовлении можно укрепить второй тормоз для удобства в работе на приборе.

Вертикальная ось прибора коническая, регулируемая. На ней вращается втулка (бакса), которая опирается на шаровую поверхность вертикальной оси посредством регулировочного приспособления. Шаровой конец вертикальной оси упирается в коническую часть промежуточной подушки этого приспособления.

На коническом уступе основания оси расположен лимб, представляющий собой бронзовый диск с ребрами жесткости. Для нанесения делений лимба завальцована полоска серебра. Цена делений лимба 5'. Кроме того, имеются дополнительные деления через 1°, нанесенные на конусной части бронзового диска для приближенной установки. Поскольку лимб не закреплен на конической части основания оси, то его можно поворачивать относительно алидадной части. Подставка для столика гониометра закреплена на алидадной части прибора. Конструкция этой подставки позволяет пользоваться регулировочным приспособлением системы вертикальной оси гониометра. На подставке устанавливается столик гониометра, имеющий три подъемных винта и связанный с подставкой посредством пружины. Автоколлиматор гониометра представляет собой зрительную трубу с автоколлимационным окуляром.

На корпусе трубы имеется специальный винт, при помощи которого закрепляют окулярное колено.

Автоколлиматор закрепляют на стойке посредством специальной оправы на корпусе трубы, имеющей закрепительные и юстировочные винты.

В поле зрения автоколлимационного окуляра находится светящийся вертикальный биссектор с горизонтальным светящимся штрихом, благодаря чему повышается точность совмещения их с автоколлимационными изображениями.

Погрешности нанесения штрихов лимба не превышают 1".

Таким образом, мощный автоколлиматор, позволяющий с большой точностью визировать и совмещать биссектор с его автоколлимационным изображением, лимб с погрешностью нанесения штрихов до 1", высокоточная осевая система позволили получить среднюю квадратическую ошибку измерения угла призмы одним приемом на 12 частях лимба, равную $\pm 0''{,}7$.

Юстировка гониометра. Юстировка гониометра состоит из установки автоколлиматора на бесконечность, приведения оси вращения алидадной части в отвесное положение и юстировки автоколлиматора относительно вертикальной оси алидадной части прибора.

Установка автоколлиматора на бесконечность. Установку выполняют при помощи плоского зеркала, имеющего наружное отражающее покрытие (алюминирование). Зеркало прикладывают к оправе объектива автоколлиматора. Наблюдая в окуляр автоколлимационное изображение светящегося биссектора, устанавливают его резкость, перемещая окулярное колено. После этого окулярное колено закрепляют посредством винта.

Приведение вертикальной оси гониометра в отвесное положение. Для приведения вертикальной оси гониометра в отвесное положение необходимо иметь накладной уровень с ценой деления 10".

Проверку выполняют следующим образом: на алидадную часть устанавливают накладной уровень в направлении двух подъемных

винтов трегера. Действуя этими подъемными винтами, приводят пузырек уровня на середину. Затем алидадную часть гониометра поворачивают на 180° . В случае перемещения пузырька уровня с середины половину погрешности устраняют винтами трегера и вторую половину — исправительным винтом уровня. Проверку продолжают до тех пор, пока пузырек уровня не будет перемещаться с середины ампулы при вращении алидадной части на 180° . После этого вращаем алидадную часть накладной уровень устанавливают в направлении третьего винта трегера и этим винтом пузырек уровня приводят на середину. На этом установка вертикальной оси гониометра заканчивается.

Юстировка автоколлиматора. Эта основная юстировка гониометра имеет целью установить визирную ось автоколлиматора перпендикулярно оси вращения прибора. Для этого на столик гониометра помещают плоско-параллельную пластинку и устанавливают ее так, чтобы плоскости пластинки были перпендикулярны визирной оси автоколлиматора.

Процесс установки сводится к следующему. Наблюдая в автоколлиматор отраженное изображение светящегося биссектора от первой плоскости пластинки, совмещают его с биссектором при помощи винтов столика. Затем столик гониометра с пластинкой поворачивают на 180° и наблюдают автоколлимационное изображение от второй плоскости пластинки.

Если наблюдается несовпадение биссектора с его автоколлимационным изображением, то исправление производят следующим образом: половину несовпадения выбирают винтами столика, а половину — исправительными винтами автоколлиматора.

Эту проверку выполняют до тех пор, пока автоколлимационное изображение светящегося биссектора от обеих плоскостей пластинки не совместится с биссектором автоколлимационного окуляра.

32. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ И ПРИБОРЫ

При юстировке оптических приборов применяют различные оптические детали: призмы, плоско-параллельные пластинки, линзы и набор диоптрийных стекол. Наибольшее распространение при этом получили прямоугольные призмы, пентапризмы и ромбические призмы. Плоско-параллельные пластинки в большинстве случаев используются при установке систем призм и плоских зеркал автоколлимационным методом.

Кроме этого, в процессе юстировки используют различные измерительные инструменты: глубиномеры, индикаторы, миниметры, проверочные и контрольные плиты и т. д. В процессах юстировки ряда оптических приборов, например, геодезических, астрономических, АФА и фотограмметрических используются теодолиты, нивелиры, а также различные коллиматорные установки. Иногда находят применение теодолиты с автоколлимационным окуляром, например, при юстировке фотограмметрических приборов, а также при определении дисторсии в аэрокамерах.

ЮСТИРОВКА ЗРИТЕЛЬНЫХ ТРУБ, МИКРОСКОПОВ И ФОТОАППАРАТОВ

33. СБОРКА И ЮСТИРОВКА ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

Поскольку юстировка зрительной трубы с внешней фокусировкой не вызывает трудностей, то рассмотрим юстировочный процесс зрительной трубы с внутренней фокусировкой. Как указано выше, основными процессами при юстировке оптической системы зрительной трубы является:

- а) юстировка оптической системы объектива;
- б) центрирование оптической системы объектива;
- в) установка сетки нитей и диоптрийного кольца;
- г) устранение зрительного параллакса.

Рассмотрим в качестве примера юстировку трубы теодолита ОТ-02 (рис. 55). Процесс юстировки телеобъектива (пяти линз) системы зрительной трубы заключается в тщательном центрировании и точной установке линз собственно объектива (первые три линзы 1, 2, 3, рис. 55) на заданном расстоянии одной от другой. Установка воздушных промежутков между линзами собственно объектива по оси системы приводит к соответственному положению кардинальных точек данной системы. В оправу объектива вставляют линзу 3 (рис. 56, а), промежуточное кольцо 5, линзу 2 и измеряют толщину D_2 по оси объектива: измерение выполняют на сферометре ИЗС-46, на прецизионном толщимере, длиномере или универсальном микроскопе. Зная толщину линз 2 и 3, можно вычислить воздушный промежуток $b_2 = D_2 - (d_2 + d_3)$. Расчетный воздушный промежуток, равный 4,946 мм, получают проточкой кольца 5, а d_2 , d_3 и D_2 измеряют с точностью 0,002 мм (рис. 56, а).

Если значение b_2 меньше, чем 4,946, то кольцо 5 заменяют и вновь измеряют. Процесс продолжают до тех пор, пока значение b_2 не будет отличаться от расчетного не более, чем на 0,005 мм. Установив воздушный промежуток между линзами 2 и 3, линзы вынимают из оправы и приступают к установке воздушного промежутка b_1 (рис. 56, б). В оправу объектива вставляют промежуточное кольцо 5, линзу 2, промежуточное кольцо 4 и линзу 1.

Измеряют величину D_1 и вычисляют величину воздушного промежутка $b_1 = D_1 - (d_1 + d_2)$. Расчетный воздушный промежуток, равный $1,22 \pm 0,02$, получают проточкой посадочного места кольца 4 под линзу 1. D_1 , d_1 и d_2 измеряют с точностью до 0,005 мм. При соответствии измеренных значений воздушных промежутков с расчетными достигается хорошее качество изображения.

Когда линзы установлены, оправу с собранным собственно объективом навинчивают на корпус трубы. Трубу при помощи подставки

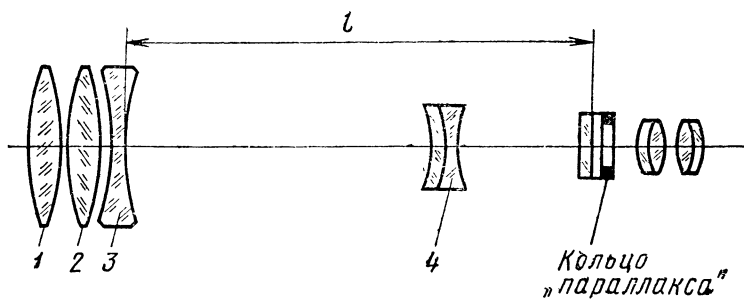


Рис. 55. Оптическая схема зрительной трубы

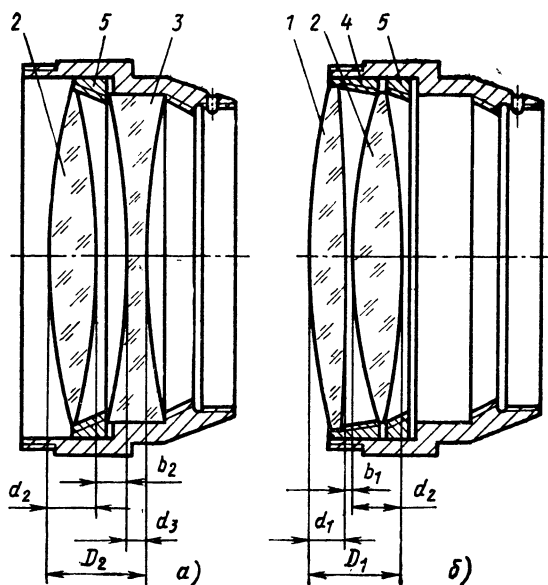


Рис. 56. Схема установки линз собственно объектива трубы теодолита ОТ-02

устанавливают на оптической скамье. Наблюдая в трубу изображение точки, расположенной в фокусе коллиматора оптической скамьи, приступают к центрированию оптической системы зрительной трубы вращением линз собственно объектива относительно друг друга. При перифокусировании изображение точки должно превращаться в правильную окружность. Если детали изготовлены в пределах допуска, то при центрировании можно добиться хороших результатов [7].

В том случае, когда не удается добиться хорошей центровки оптической системы зрительной трубы путем вращения линз собственно объектива, приступают к центрированию фокусирующего компонента 4 объектива (рис. 55).

Оправа фокусирующего компонента имеет три резьбовых отверстия под резьбовой сухарик, который соединяется с кремальберным тубусом.

Эти отверстия расположены по окружности под углом 120° . Изменяя положение оправы путем разворота на 120° , добиваются наилучшего центрирования. После центрирования оптической системы зрительной трубы в фокусе коллиматора устанавливают миру. Наблюдая в трубу через коллиматор, определяют разрешающую способность объектива зрительной трубы, которая в центре поля зрения должна быть не более $2''{,}5$. Изображение, даваемое объективом трубы, должно быть резким в пределах $2/3$ поля зрения, а движение фокусирующего компонента 4 объектива — плавным.

Установку вертикального штриха сетки в трубе теодолита производят по отвесу, а диоптрийное кольцо устанавливают при помощи диоптрийной трубки.

Наблюдая в трубу через коллиматор миру, определяют параллакс между сеткой нитей трубы и штрихами мира. Если параллакс имеет место, то изменяют расстояние l за счет удаления сетки нитей от последней поверхности собственно объектива путем подточки кольца «параллакса», находящегося в оправе сетки нитей. После этого вновь устанавливают трубу перед коллиматором оптической скамьи и проверяют на «параллакс» (см. книгу Б. С. Гришина «Высокоточные оптические теодолиты», 1954 г.).

34. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОЙ ТРУБЫ СВЕТОДАЛЬНОМЕРА «КРИСТАЛЛ»

Светодальномер «Кристалл» является измерительным прибором с визуальной регистрацией, где благодаря совмещенной передающей и приемной оптической системе установлен один конденсатор Керра, выполняющий роль модулятора и демодулятора светового потока.

Светодальномер предназначен для измерения линий на местности длиной от 100 до 5000 м при удовлетворительной видимости, отсутствии колебаний изображения и осадков.

Оптическая система трубы светодальномера состоит из зеркально-линзового телеобъектива и телескопической системы (рис. 57). Зеркально-линзовый телеобъектив 8 состоит из плоско-параллельной пластинки *a*, зеркала *b* и зеркально-линзового компонента *в*. Зеркально-линзовый компонент *в* состоит из плоско-выпуклой и двояковогнутой линз, склеенных между собой. Плоскость положительной линзы посеребрена. Зеркально-линзовый компонент приклеивают плоской, отражающей поверхностью к плоско-параллельной пластинке *a*. При этом

оптическая ось компонента *в* должна строго совпадать с осью посадочного диаметра плоско-параллельной пластинки *а*.

Между зеркально-линзовым объективом и телескопической системой установлена четвертеволновая пластинка 7.

Телескопическая система состоит из объектива 6, конденсатора Керра 5, первого объектива оборачивающей системы 4, биполяризатора 3, второго объектива оборачивающей системы 10, сетки 11 и окуляра 12.

Объектив 6 является фокусирующим компонентом всей оптической системы трубы. Сетка 11 представляет собой плоско-вогнутую линзу, на плоской стороне которой нанесено перекрестие. Сетку 11 устанавливают сферической поверхностью к окуляру.

Свет от источника 1 проходит через конденсор 2, биполяризатор 3, первый объектив оборачивающей системы 4, конденсор Керра 5, объектив 6, четвертеволновую пластинку 7, попадает в зеркально-линзовую систему на компонент *в*, преломившись, отразившись и вновь преломившись в компоненте *в* пучок света, отразившись от зеркала *б* и пройдя плоско-параллельную пластинку *а*, направляется на отражатель 9. После отражения свет вновь пройдет зеркально-линзовую систему и через четвертеволновую пластинку 7 попадет в объектив 6 телескопической системы. В обратном ходе лучи света из объектива 6, пройдя конденсор Керра 5, первый объектив оборачивающей системы 4, биполяризатор 3, второй объектив оборачивающей системы 10 попадают на сетку 11, где строится изображение, которое и рассматривается через окуляр 12.

Юстировка оптической системы зеркально-линзовой трубы. Юстировка оптической системы трубы состоит из:

- 1) юстировки оптической системы зеркально-линзового телескопического объектива;
- 2) юстировки телескопической системы трубы;
- 3) общей юстировки трубы светодальномера.

Юстировка оптической системы зеркально-лин-

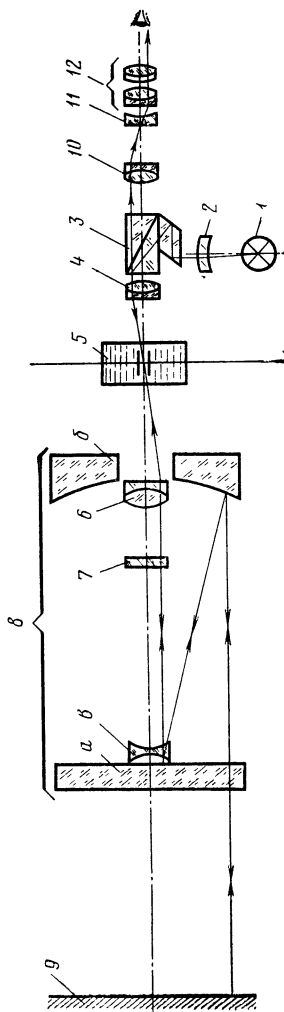


Рис. 57. Оптическая схема зеркально-линзовой трубы

зового телеобъектива. Перед сборкой зеркально-линзового телеобъектива тщательно контролируют детали и особенно склейку линзы *в* с плоско-параллельной пластинкой *а*. Линза *в* должна быть в центре пластинки *а*.

Юстировку зеркально-линзового телеобъектива выполняют на оптической скамье. Вначале устанавливают воздушный промежуток по оси системы между поверхностью зеркально-линзового компонента *в* и зеркалом *б*.

Зеркально-линзовый телеобъектив устанавливают перед коллиматором оптической скамьи.

Через диоптрийную трубку и испытуемый объектив рассматривают миру, помещенную в фокусе коллиматора оптической скамьи.

Путем перемещения зеркала *б* вдоль оси системы зеркально-линзового телеобъектива добиваются резкого изображения миры. В заводской практике установка воздушного промежутка выполняется при помощи юстировочного приспособления, представляющего собой оправу зеркально-линзового телеобъектива, в которой зеркало *б* может перемещаться вдоль оптической оси. Установив воздушный промежуток как указано выше, измеряют его (расчетная величина воздушного промежутка — 162,466 мм) и по результатам измерения подшлифовывают (подрезают) оправу зеркально-линзового телеобъектива. Собранный зеркально-линзовый телеобъектив устанавливают на оптической скамье. После этого приступают к центрированию оптической системы зеркально-линзового телеобъектива. В фокусе коллиматора оптической скамьи устанавливают точечную диафрагму. Наблюдая в диоптрийную трубку через испытуемый объектив изображение точки, выполняют центрирование оптической системы испытуемого объектива. Центрирование достигается путем вращения зеркала *б* вокруг своей оси, а также путем вращения плоско-параллельной пластинки *а* с зеркально-линзовым компонентом *в* вокруг оси системы.

В случае, когда не удается добиться хорошего центрирования, можно рекомендовать два пути исправления. Первый заключается в проверке и переклейке компонента *в* на пластинке *а*. После чего следует повторное центрирование на оптической скамье.

Второй путь сводится к проверке косины зеркала *б* относительно цилиндрической образующей его диаметра и замене зеркала *б* в случае большой косины. Центрирование считается законченным, если изображение точки, помещенной в фокусе коллиматора оптической скамьи, будет четким и при перефокусировке перейдет в правильную окружность с интерференционными кольцами.

Юстировка телескопической системы трубы. Вначале телескопическую систему собирают без конденсатора Керра 5 и биполяризатора 3.

В корпусе трубы устанавливают узел оборачивающей системы (4, 10) и объектив 6, сетку 11 и окуляр 12.

После этого корпус трубы телескопической системы устанавливают перед коллиматором оптической скамьи. Прежде всего, перемещая объектив 6 вдоль оси, фокусируют его на изображение миры, установленной в фокусе объектива коллиматора оптической скамьи, а также определяют качество изображения и разрешающую способность. Затем в фокусе коллиматора скамьи устанавливают точечную диафрагму. Наблюдая в окуляр 12, определяют качество центрирования оптической системы трубы. В случае плохого каче-

ства изображения точки, его исправляют за счет вращения объектива 6 в своей оправе.

Затем устанавливают биполяризатор 3 с конденсором 2 и лампочкой 1.

Процесс установки биполяризатора 3 выполняют на юстировочной скамье.

Юстировочная скамья состоит из станины, на которой укреплен стойка с трипельпризмой в оправе. Конструкция стойки позволяет перемещать трипельпризму по вертикали и разворачивать ее по горизонту.

Перед трипельпризмой на специальной подставке укрепляют корпус с телескопической системой.

Наблюдая в окуляр 12 отраженное изображение волоска лампочки 1 от трипельпризмы, приступают к установке биполяризатора 3.

Установку выполняют за счет перемещения биполяризатора вдоль оси трубы и также путем разворота его вместе с оправой. При этом можно использовать небольшое перемещение лампочки 1.

При условии, когда отраженное изображение лампочки 1 от трипельпризмы находится в центре поля зрения трубы, установка биполяризатора может считаться законченной. После этого в корпусе трубы устанавливается четвертеволновая пластинка 7. Установку пластинки 7 выполняют путем вращения ее вместе с оправой вокруг оптической оси трубы при помощи юстировочных винтов.

Наблюдая в окуляр 12 и вращая пластинку 7, добиваются такого положения, когда отраженный блик от трипельпризмы будет иметь минимальную освещенность. В этот момент оправку пластинки 7 стопорят. При этом расход юстировочных винтов должен быть примерно одинаков в обе стороны.

Общая юстировка трубы светодальномера. Конденсатор Керра крепится за верхний вертикальный отросток ко дну стакана (в стакане помещается оправка с зеркально-линзовым объективом).

На наружную сторону дна стакана крепят при помощи П-образной скобы корпус телескопической системы. Собрав трубу, укрепляют ее на корпусе светодальномера. Установив прибор на оптической скамье, приступают к юстировке конденсатора Керра 5.

Юстировку конденсатора Керра выполняют при помощи юстировочных винтов оправы конденсатора, которые дают возможность перемещать его в плоскости, перпендикулярной оптической оси трубы, а также осуществлять вращение его вокруг своей вертикальной оси.

Наблюдая в окуляр 12, устанавливают конденсатор Керра так, чтобы перекрестие сетки 11 находилось между пластинками конденсатора.

После этого окончательно определяют качество изображения и разрешающую способность всей оптической системы трубы светодальномера по mire, установленной в фокусе коллиматора оптической скамьи.

35. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МИКРОСКОПА

Инструментальный микроскоп широко применяют в промышленности и особенно в машиностроении. Инструментальный микроскоп служит для измерения элементов профиля наружных резьб, режущих инструментов, углов, конусов, линейных и угловых размеров различных шаблонов и т. д.

Указанный прибор является наиболее интересным и типичным для группы оптических измерительных приборов этого класса.

О конструкции и сборке инструментального микроскопа довольно подробно изложено в технической литературе [25]. Поэтому рассмотрим вопросы, связанные с юстировкой оптической системы микроскопа.

Оптическая система инструментального микроскопа достаточно сложна по устройству, она состоит из оптических систем:

- а) микроскопа;
- б) револьверной головки;
- в) проекционного устройства.

Вначале приступают к установке микроскопа на кронштейне относительно плоскости движения стола. При этом блок призм системы Малафеева-Порро должен быть установлен, как указано ниже.

Установка микроскопа на кронштейне (рис. 58). Для проверки перпендикулярности визирной оси микроскопа плоскости (движения) стола на предметное стекло 1 (рис. 58, а) устанавливают плоскопараллельную пластинку 2, на которой нанесено перекрестие.

Наблюдая в окуляр микроскопа, совмещают перемещением предметного стола перекрестие окулярной сетки с изображением перекрестия на пластинке 2. Затем на пластинку 2 кладут плоскопараллельное стекло 3 толщиной 40 мм и поднимают тубус микроскопа на высоту, при которой перекрестие пластинки 2 будет также резко видно.

Смещение изображения перекрестия пластинки 2 относительно перекрестия окулярной сетки не должно превышать 0,01 мм на 10 мм высоты подъема тубуса.

Неперпендикулярность визирной оси микроскопа плоскости предметного стекла при перемещении стола в продольном направлении устраняют путем наклона микроскопа (рис. 58, б), используя зазор между винтами и отверстиями шпонки в кронштейне.

Для этого предварительно нужно отвернуть три винта 1 (рис. 59), крепящие фланец 2 к каретке 3, и ослабив винты шпонки 4, несколько наклонить ее. В случае необходимости зазор немного увеличивают, рассверлив отверстия и немного распиливают шпоночную канавку. При наклоне тубуса в поперечном направлении исправление ведут при помощи прокладок, помещаемых под две верхние или нижние опорные поверхности фланца 2 (рис. 59).

Юстировка оптической системы микроскопа. Оптическая система микроскопа (рис. 60) состоит из осветительной системы, оптической системы объектива микроскопа, передающей системы призм (система Малафеева-Порро) и оптической системы окулярной штриховой головки.

Пучок света от лампы 1 (рис. 60, а), пройдя через зеленый светофильтр 2 (или матовое стекло 1а) и ирисовую диафрагму 3,

падает на призму 4. Пройдя призму и конденсор 5, пучок освещает предметное стекло 6, на котором (или над которым) располагаются контролируемые детали. Далее пучок света входит в объектив микроскопа 7, пройдя систему призм 8, а также защитное стекло тубуса 9 и защитное стекло окулярной головки 10 падает на штриховую сетку 11, где и рассматривается изображение предмета (детали), даваемое объективом 7 через окуляр 12. Освещение поля зрения отсчетного микроскопа окулярной штриховой головки осуществляется при помощи зеркала 13, отразившись от которого пучок

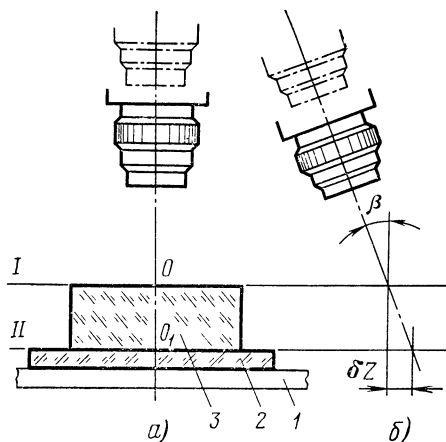


Рис. 58. Схема установки микроскопа на кронштейне

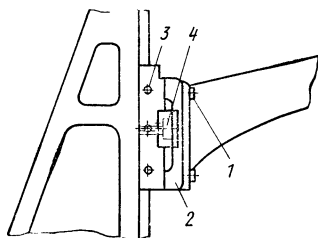


Рис. 59. Крепление микроскопа на кронштейне

лучей проходит матовое стекло и зеленый светофильтр 14, служащий также защитным стеклом и освещает градусную шкалу 15. Изображение штрихов лимба 15, даваемое объективом отсчетного микроскопа 16, получают в плоскости минутной шкалы 17 и рассматривают через окуляр 18. Юстировку оптической системы микроскопа следует начинать с установки блока призм 8 (система Малафеева-Порро). Для этого снимают окулярную головку, а также объектив микроскопа 7 и на его посадочном месте укрепляют плоско-параллельную пластинку.

Наблюдая в автоколлиматор блики от защитного стекла 9, грани призм блока и от плоско-параллельной пластинки добиваются такого положения, чтобы они совпали путем перемещения блока призм 8. После этого снимают плоско-параллельную пластинку и устанавливают объектив 7.

Юстировка осветительной системы. Осветительная система микроскопа состоит из лампы 1, зеленого светофильтра 2 (или матового стекла 1а), призмы 4 и конденсора 5.

Правильность положения осветительной системы определяется совпадением оптических осей осветительной системы и объектива микроскопа. Проверка может быть осуществлена при помощи лупы

с увеличением порядка $4\times$. Для этого, держа лупу в руке перед окуляром, фокусируют перемещением ее вдоль оси окуляра на изображения диафрагмы 3 и диафрагмы 7a. Затем, наблюдая в

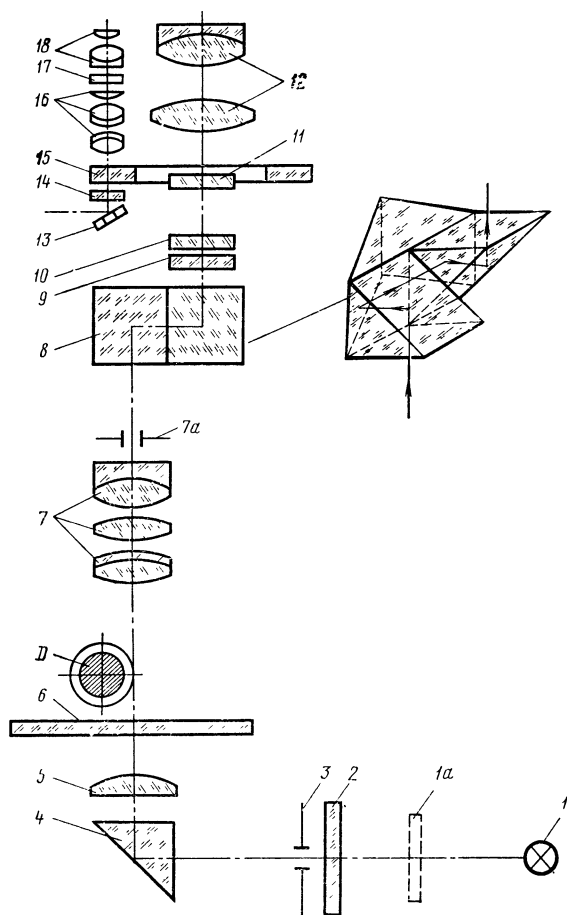


Рис. 60. Оптическая схема инструментального микроскопа

окуляр через лупу, изменяют диаметр диафрагмы 3 так, чтобы его изображение было несколько меньше изображения диаметра диафрагмы 7a (выходное отверстие объектива микроскопа) и определяют взаимное расположение этих отверстий. Последние должны быть

концентричны. В случае неконцентричности указанных отверстий ведут исправления. В направлении поперечного хода каретки микроскопа производят юстировку осветительной системы поворотом тубуса осветительной системы с конденсором 5. Для этого ослабляют четыре винта, скрепляющие тубус, и, наблюдая в микроскоп, поворачивают тубус вокруг оси в пределах зазора между винтами и отверстиями в ту или другую сторону до тех пор, пока не добиваются концентричности отверстий диафрагм.

В направлении продольного хода салазок юстировку производят наклоном тубуса в вертикальной плоскости при помощи введения прокладок под торец тубуса.

Юстировка окулярной штриховой головки (рис. 61). 1. *Установка окулярной сетки.* При нулевом показании по угломерной шкале соответствующие штрихи сетки должны быть параллельны продольному ходу салазок (рис. 62).

Проверку производят при помощи решетки Готье (рис. 62, а, б) или при помощи лекального угольника. Угломерную шкалу устанавливают на 0, 90, 180 или 270°. Решетку кладут на стол микроскопа и ориентируют параллельно продольному ходу салазок. При правильном положении головки штриховые риски окулярной сетки будут параллельны (рис. 62, а) изображениям горизонтальных и вертикальных штрихов решетки.

Исправление производится следующим образом: открепив стопорный винт 2 и зажимной винт 1 (рис. 61) устраняют непараллельность штрихов окулярной сетки продольному ходу салазок вращением винта 3. Одновременно с этой проверкой проверяют и положение точки перекрестия штриховой пластины (сетки) относительно оси ее вращения. Совмещают перекрестие сетки с перекрестием решетки. Поворачивая окулярную сетку на полный оборот, следят за положением креста нитей сетки относительно перекрестия решетки. При вращении окулярной сетки перекрестие ее не должно сходить с перекрестия решетки (рис. 62, б). Исправление ведут, сняв крышку с окуляром, четырьмя винтами окулярной сетки. Предварительно определяют направление, в котором нужно сместить штриховую пластинку (сетку), затем слегка отвертывают один винт и ввертывают противоположный ему винт, смещая пластину (сетку) на величину, равную половине величины эксцентриситета. Поставив крышку с окуляром на место (но не закрепляя ее винтами), повторяют проверку. При необходимости юстировку производят вновь.

2. *Устранение несовпадения центра градусной шкалы (лимба) с центром вращения окулярной сетки.* Центрирование лимба проверяют по изображению решетки Готье. Поворачивая градусную шкалу (лимб), совмещают последовательно штриховые линии окулярной сетки с изображениями штрихов решетки. Отсчеты по лимбу должны быть соответственно 0, 90, 180, 270° (рис. 63). При этом для проверки можно использовать лекальный угольник. Отклонения не должны превышать 1'. Для устранения этого дефекта определяют направление, в котором нужно сместить градусную шкалу (лимб), после чего смещают лимб, освободив винты его оправы. Исправление ведется также, как и при установке сетки, т.е. отвертывая один винт, ввертывают противоположный, одновременно контролируют несовмещение по показаниям градусной шкалы (лимба).

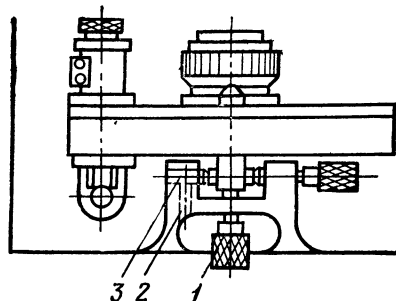
Перед юстировкой нужно снять крышку с окуляром и ослабить три винта, крепящие установочное кольцо градусной шкалы на оправе с зубчатым ободом.

Юстировка отсчетного микроскопа (рис. 64). Юстировка отсчетного микроскопа состоит из:

1) установки минутной шкалы;

2) устранения параллакса;

3) устранения рена.



Минутная шкала не должна быть заметно (на глаз) наклонена по отношению к градусной шкале (лимбу) (рис. 64, а).

Отвернув четыре винта, снимают крышку 1 (рис. 64, б) и с помощью шпильки, вставленной в одно из отверстий кольца 2, слегка отвертывают его. После этого той же шпилькой перемещают оправу 3 минутной шкалы. Наблюдая в окуляр отсчетного микроскопа, устанавливают штрихи минутной шкалы параллельно

Рис. 61. Окулярная штриховая головка

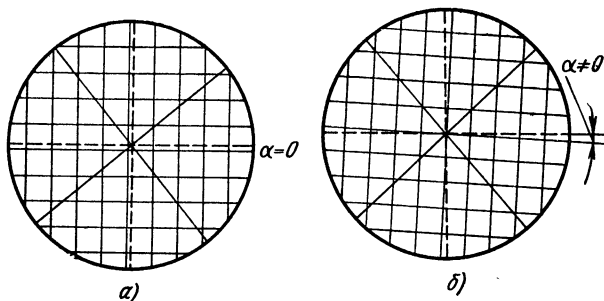


Рис. 62. Решетка Готье в поле зрения микроскопа

штрихам градусной шкалы (рис. 64, в) (лимба). Закрепив оправу минутной шкалы кольцом 2, снова проверяют ее положение.

Параллакс между штрихами минутной и градусной шкал устраняют путем перемещения отсчетного микроскопа вдоль его оптической оси относительно градусной шкалы (лимба).

Отвернув стопорный винт 4 (рис. 64, б) и окуляр 5, отвертывают кольцо 6, крепящее тубус отсчетного микроскопа. После этого ввертывают окуляр в микроскоп и фокусируют его на минутную шкалу. Чтобы определить направление перемещения микроскопа (поднять или опустить), вращают окуляр на резкость изображения градусной шкалы, и если резкость улучшается при вывертывании

окуляра, то микроскоп необходимо поднять; в противном случае микроскоп нужно опустить.

Чтобы поднять микроскоп, нужно подложить под тубус еще одно кольцо соответствующей толщины дополнительно к кольцу 6. Если требуется опустить микроскоп, то высоту кольца 6 нужно уменьшить, проточив и шлифуя его торец. После подгонки колец и юстировки микроскопа параллакс между изображениями минутной и градусной шкал не должен превышать 0,5 толщины штриха минутной шкалы.

Соответствие действительного увеличения отсчетного микроскопа расчетному определяют следующим образом: один из штрихов градусной шкалы (рис. 64, в) совмещают с нулевым штрихом минутной шкалы. При этом соседний штрих градусной шкалы должен совместиться с другим крайним штрихом минутной шкалы. Если этот штрих не доходит до крайнего штриха (положение I), то увеличение микроскопа меньше нормального, т. е. действительное увеличение меньше расчетного.

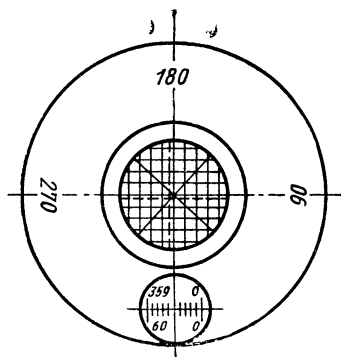


Рис. 63. Устранение эксцентриситета градусной шкалы

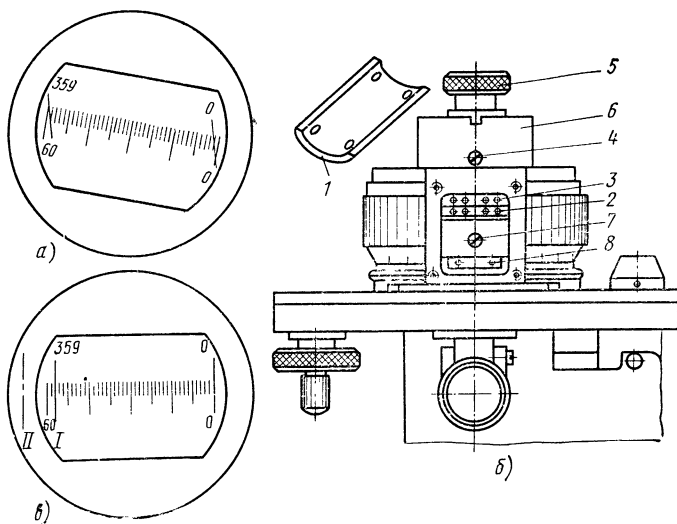


Рис. 64. Отсчетный микроскоп штриховой головки

При положении *II* штриха градусной шкалы увеличение микроскопа больше нормального. Если увеличение отсчетного микроскопа меньше нормального, то длину тубуса нужно увеличить, т.е. удалить объектив от минутной шкалы, и наоборот, тубус нужно уменьшить, если увеличение микроскопа больше нормального. При устранении рена требуется отвернуть стопорный винт 7 (рис. 64, б), затем шпилькой, вставленной в отверстие оправы объектива 8, вывернуть его (положение *I*) и ввернуть (положение *II*). Наблюдая в окуляр 5, производят юстировку до полного совмещения крайних штрихов градусной и минутной шкал. Плавное перемещение окуляра достигается промывкой бензином и смазкой резьбы окуляра ланолином. После юстировки револьверной головки и оптической системы проекционного устройства следует окончательно выполнить проверки основного микроскопа, т.е. осветительной системы, а также рена и параллакса.

36. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МИКРОСКОПА К УСТАНОВКЕ РЕНТГЕНОВСКОГО МИКРОАНАЛИЗАТОРА

Микроскоп предназначен для наблюдения образца в рентгеновском микроанализаторе и определения места на образце, по которому ведется электронная бомбардировка.

Микроскоп, схема оптической системы которого представлена на рис. 65, представляет собой схему сложного микроскопа по Аббе.

Оптическая система микроскопа состоит из трех основных частей:

- 1) оптической системы зеркально-линзового объектива микроскопа;
- 2) телескопической системы с ахроматическим объективом и окуляром Гюйгенса;
- 3) осветительной системы.

Основные данные оптической системы микроскопа

Увеличение микроскопа	450×
Апертура	0,5
Линейное поле зрения	0,25 мм
Увеличение окуляра	15×
Диаметр выходного зрачка	0,54 мм
Удаление выходного зрачка	10,6 мм

Ход лучей в системе микроскопа. Свет от лампочки 7 (рис. 65), пройдя щель диафрагмы 6, попадает на объектив-конденсор 5. Из объектива конденсора 5 свет выходит параллельным пучком. Отразившись от полупрозрачного зеркала 4, свет, пройдя антибликовую пластинку 8 и отразившись от зеркала 9, попадает в систему зеркально-линзового объектива 10. Пройдя систему зеркально-линзового объектива, пучок света освещает предмет 11.

Изображение предмета 11 зеркально-линзовый объектив 10 передает через зеркало 9, антибликовую пластинку 8 и полупрозрачное зеркало 4 в ахроматический объектив 3 телескопической системы микроскопа, в фокусе которого на сетке 2 строится изображение предмета 11, которое и рассматривается через окуляр 1.

Юстировка прибора. Юстировка сложных оптических систем приборов обычно производится в два этапа:

1) юстировка и испытание отдельных сборочных единиц прибора, содержащих оптические детали;

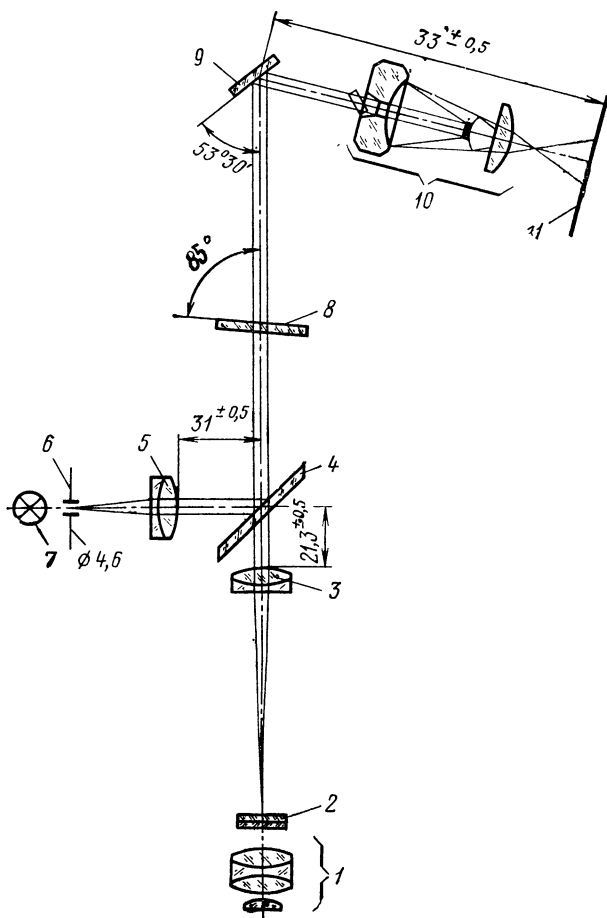


Рис. 65. Схема оптической системы микроскопа к установке рентгеновского микроанализатора

2) общая юстировка и испытание оптической системы прибора в целом.

Юстировка отдельных сборочных единиц прибора позволяет значительно упростить общую юстировку.

Собираются и юстируются отдельно следующие сборочные единицы:

- а) объектива-конденсора;
- б) полупрозрачного зеркала;
- в) телескопической системы;
- г) зеркально-линзового объектива.

Юстировка оптической системы объектива-конденсора. Юстировка оптической системы объектива-конденсора заключается в установке диафрагмы 6 (рис. 65) в фокальной плоскости конденсора 5.

Юстировку выполняют с помощью зрительной трубы с $f' = 250$ мм.

Узел объектива-конденсора устанавливают перед зрительной трубой с выдвинутой окулярной частью.

Наблюдая в трубу, фокусируют на резкое изображение диафрагмы 6 и определяют по шкале окулярного колена трубы величину перефокусировки Δ от положения бесконечности

$$a = \Delta \left(\frac{f'_{\text{исп.об.}}}{f'_{\text{об.зр.тр.}}} \right)^2.$$

По этой формуле находят величину a , на которую необходимо переместить объектив-конденсор 5 вдоль оси относительно диафрагмы 6. После перемещения объектива-конденсора диафрагма 6 будет находиться в его фокальной плоскости. Из объектива-конденсора 5 свет от лампочки 7 будет выходить параллельным пучком. Расчетное расстояние f' объектива-конденсора равно $77 \pm 0,05$ мм. После установки объектив-конденсор стопорят в корпусе трубы.

Юстировка узла полупрозрачного зеркала. Перед установкой полупрозрачного зеркала 4 в прибор его контролируют на разрешающую способность и на фокусность. Проверку разрешающей способности на диаметре 22 мм выполняют на коллиматорной установке с $f' = 750$ мм (рис. 66).

Предел разрешения полупрозрачного зеркала на диаметре 22 мм должен быть равен $6'',3$.

Проверку на фокусность полупрозрачного зеркала 3 (рис. 66) выполняют на той же установке. При этом фокусность зеркала должна быть не менее 80 м.

Юстировка полупрозрачного зеркала 4 (рис. 65) заключается в установке его так, чтобы оси объектива-конденсора 5 и телескопической системы совпадали с точностью 0,1 мм. Это достигается применением юстировочных приспособлений с зеркалами, в центре которых находятся перекрестия, и автоколлиматора*.

Посадочные места юстировочных приспособлений должны быть выполнены с точностью $\pm 0,03$ мм относительно центров перекрестий.

Вначале совмещают перекрестия автоколлиматора и первого зеркала. Таким образом, достигается совмещение осей автоколлиматора и корпуса микроскопа. После этого оправу с первым зеркалом снимают и через полупрозрачное зеркало 4 (рис. 65) наблюдают изображение перекрестия на втором зеркале, оправу которого надевают на корпус объектива-конденсора 5.

* В данном случае под автоколлиматором понимается телескопический микроскоп с автоколлимационным окуляром.

Если изображение перекрестия второго зеркала не совпадает с перекрестием автоколлиматора, то перемещением полупрозрачного зеркала 4 добиваются совмещения перекрестий.

Полупрозрачное зеркало 4 перемещают путем подрезки торца втулки, в которой оно закреплено или введением прокладки под втулку зеркала 4. При этом можно пользоваться небольшим разворотом втулки полупрозрачного зеркала 4. При совпадении изображения перекрестия второго зеркала с перекрестием автоколлиматора втулку полупрозрачного зеркала 4 окончательно закрепляют.

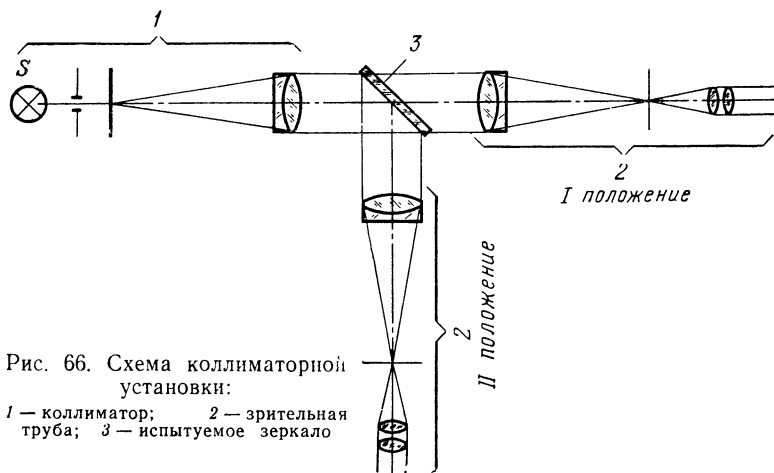


Рис. 66. Схема коллиматорной установки:

1 — коллиматор; 2 — зрительная труба; 3 — испытуемое зеркало

Юстировка узла телескопической системы. Юстировка телескопической системы заключается в установке сетки 2 относительно ахроматического объектива 3 так, чтобы при установке на бесконечность по миру, заключенной в фокусе коллиматора ($f'_k = 400 \div 500$ мм), между изображениями штрихов мира и сеткой телескопической системы не было параллакса. При наличии параллакса исправление ведут за счет перемещения сетки 2 (подкладки под оправу или подрезки оправы). Окуляр при этом должен быть установлен на ноль диоптрий.

После устранения параллакса определяется качество изображения, даваемое ахроматическим объективом 3 (см. рис. 65).

Юстировка узла зеркально-линзового объектива. Зеркально-линзовый объектив 10 (рис. 65) совместно с ахроматической системой позволяет получить большое увеличение микроскопа с хорошим качеством изображения. Между тем, технологические трудности изготовления, сборки и юстировки зеркально-линзовой системы пока ограничивают их широкое использование.

В данной системе зеркально-линзового объектива основные трудности юстировки заключаются в центрировании оптической системы объектива. У большинства зеркально-линзовых систем линзовая часть служит для компенсации монохроматических aberrаций ее зеркаль-

ной части. В соответствии с этим линзовую часть системы можно назвать аберрационным компенсатором.

Зеркально-линзовый объектив (рис. 67) состоит из сферического зеркала 2, компенсатора 1 и наклонной пластинки 3.

Компенсатор 1 завальцовывают непосредственно в корпусе. При этом корпус закрепляют в патроне станка поверхностью $\varnothing 26,5$. После этого проверяют посадочное место компенсатора. Затем устанавливают компенсатор, проверяют на биение и завальцовывают.

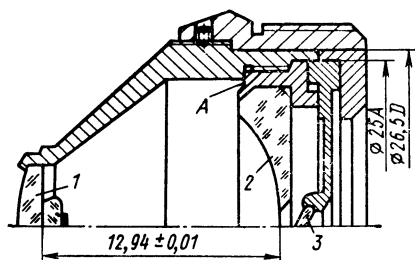


Рис. 67. Схема зеркально-линзового объектива

Установка сферического зеркала 2 представляет наиболее трудоемкий процесс. Центр зеркала должен находиться на оптической оси системы. Это достигается точным изготовлением зеркала ($N=1$; $\Delta N=0,2$; $C=0,01$), а также деталей, входящих в сборку.

Эксцентриситет $\varnothing 25 A$ оправ сферического зеркала 2 и наклонной пластинки 3, а также $\varnothing 26,5 D$ корпуса компенсатора 2 относительно оси сферического зеркала не должен превышать 0,005 мм.

Высокие требования, предъявляемые к изготовлению сферического зеркала 2, а также к сборке зеркально-линзового объектива вызваны необходимостью хорошей центрировки оптической системы, регламентирующей высокое качество изображения.

Торец A оправы зеркала должен быть перпендикулярен поверхности $\varnothing 25 A$ оправы.

В процессе юстировки необходимо выдержать размер $12,94 \pm 0,01$ мм между компенсатором и зеркалом. Это достигается подрезкой торца A оправы с зеркалом в приспособлении, позволяющем установить зеркало с оправой так, чтобы биение было не более 0,0025 мм.

Наклонная пластинка 3 должна быть установлена под углом 84° к оси зеркально-линзового объектива. При этой величине угла блики от зеркала минимальны. Это достигается точным изготовлением оправы, т.е. посадочное место под пластинку 3 протачивают на приспособлении, обеспечивающем наклон оси диаметра под пластинку по отношению к торцу $\varnothing 25 A$ оправы под углом 6° .

Общая юстировка микроскопа. Общая юстировка микроскопа представляет собой процесс приведения всей системы микроскопа в рабочее состояние, при котором все основные технические данные будут соответствовать техническим условиям на прибор.

Сборку и юстировку микроскопа выполняют в следующем порядке.

1. Собранную и проверенную сборочную единицу объектива-конденсора ввинчивают в корпус микроскопа. При этом выдерживают размер $31 \pm 0,5$ мм от поверхности объектива-конденсора 5 (см. рис. 65) до оси микроскопа. Проверку осуществляют при помощи глубиномера с агатовым наконечником. После установки сборочную единицу объектива конденсора закрепляют при помощи стопорного винта.

2. Телескопическую систему выставляют относительно полупрозрачной пластинки 4 так, чтобы выдержать размер $21,3 \pm 0,5$ мм. Для этого телескопическую систему ввинчивают в корпус микроскопа. Проверку осуществляют при помощи глубиномера с агатовым наконечником.

3. Зеркало 9 устанавливают под углом $52^\circ 30'$ к оси микроскопа. При этом выдерживают размер $33 \pm 0,5$ мм от зеркала до плоскости предмета. Установку зеркала выполняют за счет его поворота в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

4. Установку зеркально-линзового объектива относительно зеркала 9 и предмета выполняют при помощи четырех винтов, расположенных под углом 90° друг к другу. Действуя этими винтами, центрируют сборочную единицу зеркально-линзового объектива так, чтобы его оптическая ось совместилась с оптической осью микроскопа.

Фокусировку микроскопа выполняют за счет перемещения зеркально-линзового объектива вдоль своей оптической оси до получения резкого изображения предмета.

После этого определяют предел разрешения и качество изображения по мере, помещенной в плоскости предмета.

При соответствии основных данных (например, увеличение апертуры, диаметр и положение выходного зрачка и др.) техническим условиям, микроскоп пригоден к работе.

37. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ФОТОАППАРАТА ТИПА «ЗЕНИТ»

На рис. 68 представлена схема оптической системы фотоаппарата.

Оптическая система фотоаппарата типа «Зенит» содержит в себе две оптические системы: 1) объектива; 2) телескопического устройства.

Объективы представляют собой различные оптические системы. Работа с фотоаппаратом предусматривается со сменными объективами. Кроме этого, сборка и юстировка объективов фотоаппаратов рассматривается отдельно. Поэтому остановимся на рассмотрении вопросов, связанных с юстировкой телескопического устройства и юстировкой оптической системы фотоаппарата в целом.

Телескопическое устройство состоит из фотообъектива 3 (рис. 68), зеркала 7, линзы 5, пентапризмы 2 и сложного окуляра 1. Телескопическое устройство по существу представляет собой зрительную трубу, в которой сеткой служит матовая плоскость линзы 5 (фокальная плоскость). Матовая плоскость линзы 5 находится на та-

ком же расстоянии от точки 6 на оси, как и плоскость прикладной рамки 8 фотокамеры, к которой прижимается пленка. Таким образом, наводя на резкость предмета объектив камеры (при опущенном зеркале 7), тем самым фокусируют его на плоскость прикладной рамки. В момент съемки зеркало 7 поднимается в положении 4. Юстировка оптической системы фотоаппарата типа «Зенит» состоит из: установки объектива 3, установки зеркала 7 и юстировки оптической системы окуляра.

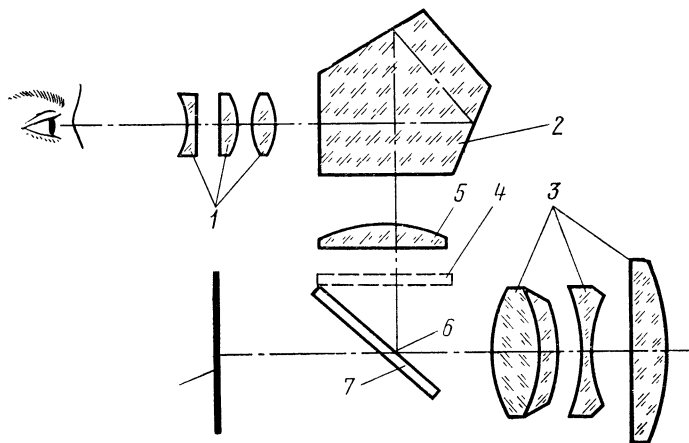


Рис. 68. Оптическая схема фотоаппарата типа «Зенит»

Установка объектива. Перед установкой объектива производится проверка параллельности плоскостей прикладной рамки и опорного кольца объектива (посадочной плоскости). Эту проверку можно выполнить двумя способами: 1) при помощи глубиномера; 2) методом автоколлимации.

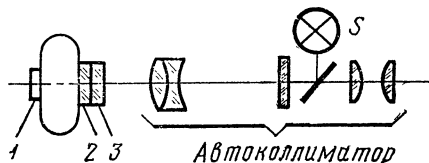
Первый способ заключается в том, что на прикладной рамке укрепляется плоско-параллельная пластинка и камеру кладут на контрольную плиту. После этого глубиномером измеряют отклонения в различных направлениях. Исправление ведут за счет введения прокладок под опорное кольцо. Опорное кольцо объектива крепится к камере четырьмя винтами. Поэтому один из винтов удаляют, а остальные несколько отвертывают. После этого устанавливают прокладку в $\frac{1}{4}$ длины окружности. Опорное кольцо объектива укрепляют и проверку повторяют. Исправление ведут до тех пор, пока плоскость опорного кольца не будет параллельна плоскости прикладной рамки.

При втором способе (рис. 69) к прикладной рамке и к опорному кольцу объектива прикрепляют плоскопараллельные пластинки. Наблюдают через автоколлиматор, определяют величину и направление наклона. Исправление производят так же, как и при первом способе. Эту проверку выполняют для установки основного (штатного) объектива с известным задним отрезком. Установка объектива со-

проводится проверкой качества изображения на оптической скамье или при помощи коллиматора. Камеру с объективом устанавливают перед объективом коллиматора. На прикладной рамке камеры укрепляют матовое стекло. Наблюдая через лупу 6^х изображение мира, заключенной в фокусе коллиматора на матовом стекле, определяют правильность установки объектива камеры и качество изображения. В случае неправильной установки (изображение нерезкое) положение исправляют за счет подшлифовки опорного кольца или за счет общей прокладки под опорное кольцо объектива. При установке дополнительных объективов в случае отклонений

Рис. 69. Схема установки для проверки параллельности плоскости объективного кольца плоскости прикладной рамки методом автоколлимации:

1 — плоскопараллельная пластинка; 2 — опорное кольцо объектива; 3 — плоскопараллельная пластинка



задних отрезков, исправление за счет опорного кольца вести не следует, так как при этом нарушается установка основного (штатного) объектива. Исправление ведут следующим образом: если требуется увеличить расстояние между объективом и прикладной рамкой, то из оправы объектива вывинчивают блок с оптическими компонентами и под его опорную плоскость подкладывают прокладки. Если требуется уменьшить расстояние между объективом и прикладной рамкой, прокладки удаляют из-под плоскости тубуса. После исправления тубус вставляют в оправу объектива и плотно до отказа заворачивают резьбовым кольцом. При закреплении тубуса резьбовым кольцом следует следить за тем, чтобы точка на диафрагменном кольце правильно показывала установку свободного отверстия объектива. При правильной установке блока окончательно заворачивают стопорный винт тубуса.

Юстировка оптической системы окуляра телескопического устройства. Оптическая система окуляра телескопического устройства состоит из линзы, пентапризмы и окуляра. Плоскость линзы имеет матовую поверхность.

Юстировка оптической системы окуляра состоит из установки пентапризмы и линзы.

Установка пентапризмы может быть осуществлена методом автоколлимации. Для этого вместо линзы и окуляра, укрепляют на их посадочных плоскостях плоскопараллельные пластинки и при помощи автоколлиматора устанавливают пентапризму так, чтобы входная и выходная грани призмы были бы перпендикулярны как к оптической оси окуляра, так и к оптической оси линзы. Установку линзы производят на оптической скамье или перед коллиматором, в фокусе которого установлена мира. Если изображение мира нерезкое, то его исправляют перемещением линзы вдоль ее оси.

Общая юстировка оптической системы фотоаппарата типа «Зенит». Целью общей юстировки является достижение такого положения, при котором изображение объекта, даваемое объективом

было бы одновременно резким и четким как на плоской (матовой) поверхности линзы 5 (рис. 68), так и на негативном материале 8. Для этого необходимо установить линзу 5 и зеркало 7.

Камеру устанавливают перед объективом коллиматора, в фокусе которого помещена мира (или на местности с удаленными объектами). На прикладной рамке камеры укрепляют матовое стекло. Рассматривая через лупу изображение мира на матовом стекле, укрепленном на прикладной рамке, оценивают качество изображения. После этого опускают зеркало и рассматривают изображение мира через окуляр 1.

Если изображение не резкое, то изменяют положения линзы 5. Приведение же изображения в центр поля зрения окуляра достигается установкой зеркала 7. При этом следует иметь в виду, что устройства установки зеркала в рабочее положение в фотоаппаратах типа «Зенит» различны.

Например, в фотоаппарате «Зенит-С» установка зеркала осуществляется при помощи канатика и лебедки, находящейся в нижней части камеры, а в фотоаппарате «Зенит» зеркало устанавливается при помощи фигурного эксцентрика в верхней части камеры около шкалы установки скоростей.

38. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ФОТОАППАРАТА ТИПА «КИЕВ»

В фотоаппарате «Киев-4» в качестве основного объектива применяется «Юпитер-8м», который отличается от «Юпитера-8» точной фиксацией диафрагменных обозначений. В качестве сменных объективов применяют объективы «Орион-15», «Юпитер-3», «Юпитер-9», «Юпитер-11» и «Юпитер-12».

Наводка на резкость осуществляется по оптическому дальномеру, а также по шкалам расстояний и глубины резкости.

Визирование производится по оптическому видоискателю, который совмещен с дальномером.

Затвор — шторный, имеет восемь автоматических выдержек от $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{1.250}$ с, а также выдержки B и D .

В аппарате имеется вделанный автоматический спуск с предварительным ходом 10—15 с и синхрустройство для вспышки электронной лампы. Поскольку вопросы, связанные с установкой объектива в камеру, рассмотрены выше, остановимся на вопросах, касающихся юстировки оптической системы дальмера.

Дальномер в фотоаппарате типа «Киев» значительно отличается от дальномеров в фотоаппаратах типа «ФЭД» или «Зоркий», так как помимо того, что он соединен в одно поле зрения с видоискателем, он имеет еще и непосредственное соединение с тубусом оправы объектива, благодаря чему обеспечивается точность наводки объектива и сокращается возможность некоторых отклонений при появлении деформации механизмов.

Видоискатель-дальномер фотоаппарата «Киев» состоит из светоделительного блока призм, оптического компенсатора и телескопического устройства (рис. 70). Светоделительный блок дальмера состоит из двух призм 3 и 12. Место склейки имеет полупрозрачный зеркальный слой. Оптический компенсатор состоит из двух линз:

плоско-выпуклой 7, укрепленной на подвижном кронштейне 9, и плоско-вогнутой 8, укрепленной неподвижно в металлической оправе. Перемещение кронштейна 9 по окружности, определяемой кривизной линзы 8, обуславливает изменение угла прохождения пучка лучей света. Движение кронштейна 9 осуществляется системой зубчатой передачи. В момент вращения зубчатого колеса 6 вращается зубчатое колесо 5 и, поворачивая червячный тубус 4, производит

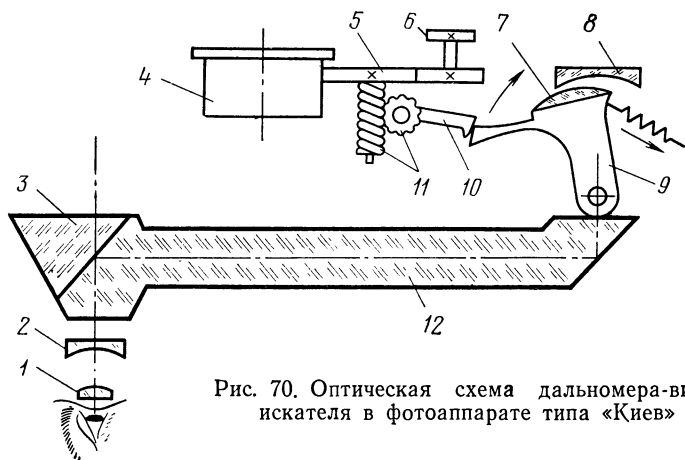


Рис. 70. Оптическая схема дальномера-видоискателя в фотоаппарате типа «Киев»

фокусировку объектива. Одновременно через редуктор 11 при помощи рычага 10 осуществляется смещение кронштейна 9, что и устанавливает, соответственно фокусировке объектива, одинаковые показатели расстояния до объекта по дальномеру.

Телескопический видоискатель состоит из двух линз: отрицательной 2 и положительной 1. Он смонтирован так, что в его поле зрения находится и поле зрения дальномера. Такая конструкция дальномера с совмещенным видоискателем обеспечивает вполне точное фокусирование и надежность в работе.

Если при наводке объектива на бесконечность видны два изображения в дальномере, то это указывает, что возникла разъюстировка. Чтобы дальномер показывал правильно, необходимо совместить изображения двух точек так, чтобы они сливались в одно изображение при наводке на бесконечность.

Для этого необходимо отделить тубус 4 оправы от зубчатых колес дальномерного механизма. Освобожденный от тубуса механизм дальномера устанавливают так, чтобы изображения слились и имели точное общее очертание. Затем червячную оправу тубуса устанавливают на показатель ~, после чего тубус оправы соединяют с зубчатым колесом 5 дальномера. При этом необходимо следить за тем, чтобы не нарушить установленные показатели. Проверку повторяют до устранения дефекта. Проверку работы дальномера можно выполнить путем рассматривания изображения объекта через дальномер и через объектив камеры на матовом стекле, укрепленном на прикладной рамке при помощи лупы с увеличением 6х.

Исправление можно осуществить при помощи винта на подвижном кронштейне 9. Перед юстировкой этот винт ослабляют на пол-оборота и смещают линзу 7 в нужную сторону до получения при наводке на бесконечность четкого контура. Затем винт затягивают и проверяют работу дальномера.

39. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ФОТОАППАРАТА ТИПА «ЗОРКИЙ»

Из фотоаппаратов типа «Зоркий» наиболее широкое распространение получила модель «Зоркий-4».

Фотоаппарат «Зоркий-4» по сравнению, например, с аппаратом «Зоркий-3с» имеет некоторые изменения в конструкции дальномера и корпуса фотоаппарата, вследствие чего разборка фотоаппарата производится в другом порядке.

Фотоаппарат «Зоркий-4» представляет собой малоформатный фотоаппарат на 35 мм пленку. Размер кадра $2,4 \times 3,6$ см. Число кадров — 36. Объектив «Юпитер-8» 2/50, сменные объективы с фокусными расстояниями от 20 до 135 мм.

Затвор — шторный, с выдержкой В, $1 \div 1/1000$ с, автоспуском и синхрорегулятором.

Оптический видоискатель объединен с дальномером и имеет диоптрийную наводку. Дальномер сопряжен с объективом.

Так как вопросы, связанные с установкой объектива в камере, рассмотрены выше, остановимся на вопросах, касающихся юстировки оптической системы дальномера.

На рис. 71 изображена принципиальная схема дальномера. Оптическая система видоискателя-дальномера фотоаппарата «Зоркий» состоит из полупрозрачного зеркала 1, призмы 6, клина 5. Кроме этого, впереди и за полупрозрачным зеркалом 1 также имеются защитные стекла, которые вместе с полупрозрачным зеркалом составляют систему видоискателя.

Между полупрозрачным зеркалом 1 и призмой 6 помещается диафрагма. Призма 6 — качающаяся. При наклоне призмы 6 изображения в поле зрения видоискателя перемещаются друг относительно друга. В момент, соответствующий измеряемому расстоянию, изображения должны быть совмещены друг с другом. Поворот призмы 6 производится посредством системы рычагов, на одном из которых находится кулачок 4, соприкасающийся с оправой тубуса объектива 3. Кроме этого, имеется винт регулировки 2.

Юстировку дальномера в заводских условиях производят на дистанционных коллиматорах, в которых помещены миры на расстояниях, соответствующих диапазону расстояний от 1 м до ∞ , или устройства со шкалой, деления которой также соответствуют диапазону расстояний от 1 м до ∞ .

Юстировку дальномера можно выполнить и на местности с разбивкой дистанции на 1, 2, 4 м.

Юстировка дальномера должна устранить расстройство его на высоте и дальности при установке на 1, 2, 4 м и бесконечность. Устранение смещения по вертикали достигается разворотом клина 5. Для этого необходимо свинтить декоративное кольцо, после чего при помощи специальных щипцов с медными губками повернуть оправу клина по мере совмещения изображения в дальномере по вертикали. Если при наводке объектива фотоаппарата на бесконеч-

ность видны два изображения в дальномере, то это указывает на разъюстировку. Чтобы дальномер показывал правильно, необходимо совместить изображения двух точек так, чтобы они сливались в одно изображение при наводке на бесконечность. Для этого необходимо вывинтить винт у кадрового окошечка. Затем берут тонкую, хорошо заправленную отвертку и вводят в отверстие, из которого удален винт. Отвертка должна попасть в шлиц регулировочного винта 2. Поворачивая отвертку вправо и влево, следят за тем, чтобы видимые изображения совместились. Совместив изображения в положении на бесконечность, наводкой объектива проверяют правильность показания дальномера и на близкие расстояния.

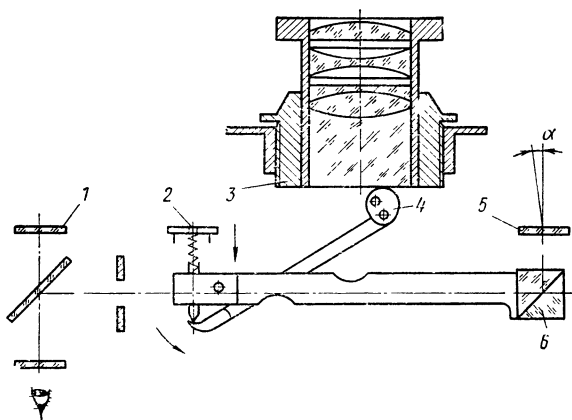


Рис. 71. Оптическая схема дальномера в фотоаппарате «Зоркий»

Если на близкие расстояния дальномер не дает точных показаний, то юстировку производят за счет смещения кулачка 4.

Смещение кулачка выполняют следующим образом. Сначала вывинчивают объектив из камеры. При этом проверяют, достаточно ли плотно сидит кулачок на своей оси.

При наличии стопорного винта на кулачке, стопорный винт вывинчивают примерно на два оборота. После этого приступают к юстировке. Кулачок смещается в ту или другую сторону при помощи специального ключа или при помощи плоскогубцев с окантовкой из красной меди. После юстировки винчивают фотообъектив и проверяют показания дальномера.

Для окончательной и более точной юстировки дальномера можно снова при помощи отвертки через отверстие у кадрового окошечка подъюстировать дальномер регулировочным винтом 2. После окончательной проверки работы дальномера винт у кадрового окошечка завинчивают.

После того как основной (штатный) объектив камеры будет установлен, производят поверку дальномера с метражом объектива. Фотоаппарат устанавливают перед объективом коллиматора, в фокусе которого помещена мира (или на местности с удаленными

объектами). На прикладной рамке камеры укрепляют матовое стекло. Рассматривая через лупу изображение мира на матовом стекле, укрепленном на прикладной рамке, оценивают качество изображения. После этого наблюдают изображение мира через видоискатель дальномера. Если при этом изображение мира будет двоиться, то выполняют юстировку дальномера по установленному объективу камеры.

При подгонке и юстировке сменных объективов ни в коем случае нельзя касаться опорного кольца на камере. Юстировку сменных объективов производят путем удаления или добавления юстировочных прокладок, которые помещают между опорной плоскостью блока внутри оправы объектива.

40. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ МАЛОФОРМАТНОЙ ФОТОКАМЕРЫ

Фотограмметрические приборы до последнего времени имели сравнительно небольшое применение в народном хозяйстве СССР.

Они применялись в основном только в геодезической службе и в военном деле.

В последнее время приборы для стереофото съемки разных конструкций стали внедряться в различных областях науки и техники, а также в ряде областей промышленности.

Группой авторов в 1959—1961 гг. были разработаны стереофото-приборы для целей криминалистики.

В процессе работы на этих приборах и при исследованиях было установлено, что новые стереофотоприборы, отличающиеся от существующих тем, что в результате съемки на 35 мм фотопленку получается нераздельная стереопара с размерами каждого кадра 16×19 мм, могут успешно применяться в медицине, биологии, металлургии и т. д.

Рассмотрим оптическую систему стереоскопической малоформатной фотокамеры и методы ее юстировки.

Основные технические данные

1. Базис съемки — 85 мм.

2. Камера должна обеспечивать зарядку фотопленкой длиной 4 м, рассчитанной на 200 стереопар с размером каждого кадра стереопары 16×19 мм.

3. Объективы типа ОФ-28п, $f' = 28$ мм, $1 : 4,5$, $2\beta = 55^\circ$.

При этом объективы не должны отличаться по фокусному расстоянию более, чем на 0,3 мм.

4. Оба объектива стереокамеры имеют одновременное перемещение как в направлении их оптических осей, так и в направлении базиса съемки.

5. Камера обеспечивает стереосъемку с дистанции от 400 мм до ∞ .

При этом оба изображения, даваемые объективами, представляются согласованную стереопару, обеспечивающую нормальный стереоэффект и пригодную для стереоизмерений.

6. В корпусе стереокамеры размещается затвор на два объектива со шкалой экспозиций от $1/5$ до $1/100$ с и стереовидоискатель с механизмом для установки глазного базиса в пределах 56—72 мм.

7. Стереокамера портативна и имеет вес 0,8 кг.

Оптическая схема и ход лучей (рис. 72). Оптическая система стереофотоаппарата состоит из двух частей:

- 1) оптической системы стереокамеры;
- 2) оптической системы стереовидоискателя.

Оптическая система стереокамеры состоит из двух входных призм 4 и 5, двух объективов 1 и 2, призмы *a*, заменяющей собой два зеркала, расположенных под углом 90° и прикладной рамки 7,

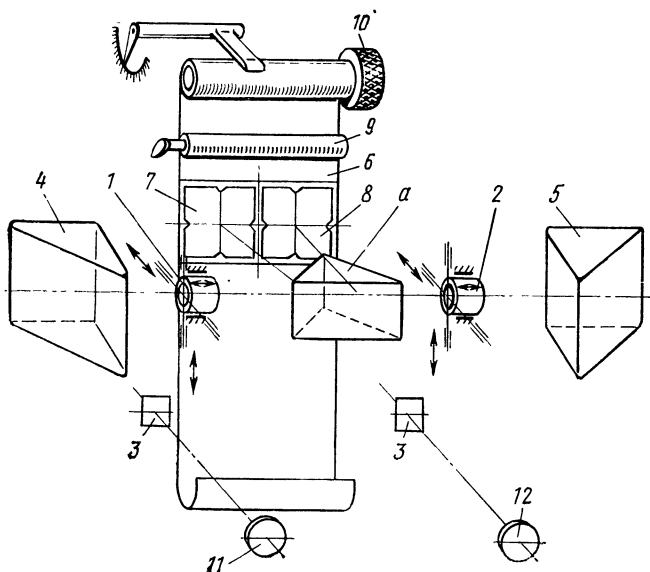


Рис. 72. Оптическая схема стереоскопической малоформатной фотокамеры

находящейся в фокальной плоскости аппарата, где проходит фото- пленка.

Фотопленка проходит прикладную рамку 7 с координатными метками 8, мерный валик 9 и наматывается на приемную катушку 10. Скольжение фотопленки по рамке при перемотке происходит за пределами фотоизображения. Выравнивание пленки выполняют путем прижима ее к прикладной рамке кадрового окна при помощи пружинящей крышки камеры. Лучи от освещенного объекта проходят входные призмы 4 и 5 и попадают в объективы 1 и 2. Пройдя объективы, лучи попадают на соответствующие грани призмы *a*. Отразившись от граней призмы *a*, лучи попадают на фотопленку 6, на которой получаются два изображения, даваемые объективами с размерами каждого кадра 16×19 мм.

Оптическая система стереовидоискателя состоит из двух труб 11 и 12 с параллельными оптическими осями, содержащих одинаковые передние линзы 3. В аппарате имеется механизм для изменения рас-

стояния между трубами 11 и 12, тем самым становится возможным установить базис глаз в пределах от 56 до 72 мм. Увеличение стереовидоискателя — 0,4^х, без диоптрийной поправки по глазу.

Юстировка стереофотоаппарата. 1. Юстировка стереокамеры. Сначала приступают к установке призм относительно плоскости прикладной рамки.

К прикладной рамке прикрепляется зеркало с внешним отражающим покрытием. Затем устанавливают в камере призмы 4 (рис. 72), а и 5. Камеру устанавливают на контрольной плите. Параллельно камере укрепляют шлифованный металлический брус. После этого

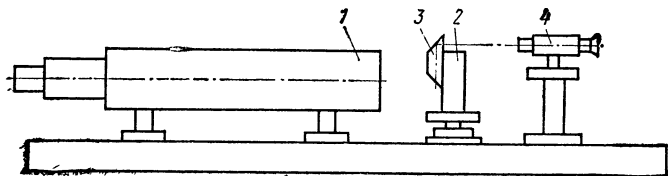


Рис. 73. Схема установки объективов в стереокамере на оптической скамье

устанавливают автоколлиматор, прижимая его основание к брусу, и наводят на входную грань призмы 4. Наблюдая в автоколлиматор блики от призмы 4, от грани призмы а и зеркала, укрепленного на прикладной рамке камеры, приступают к установке призм 4 и а.

Юстировку производят до тех пор, пока блики от призмы 4 и а, а также от зеркала на прикладной рамке не совместятся.

Затем перемещают по брусу автоколлиматор, наводят на входную призму 5 и устанавливают ее согласно бликам от призмы а и зеркала на прикладной рамке. При этом юстировка идет только за счет перемещения призмы 5 во избежание нарушения уже установленной левой части, т. е. призм 4 и а. После этого устанавливают объективы 1 и 2.

Объективы 1 и 2 предварительно проверяют на фокусное расстояние. Разность фокусных расстояний объективов 1 и 2 не должна превышать 0,3 мм.

Установку объективов в камере производят на оптической скамье или перед коллиматором с $f'=1000$ мм $D=100$ мм. На прикладной рамке укрепляют матовое стекло и смещающую призму. Камеру устанавливают перед коллиматором оптической скамьи ОСК-2 (рис. 73).

Наблюдая через микроскоп 4 скамьи и смещающую призму 3, изображение мира коллиматора скамьи ОСК-2, даваемое объективом 1 камеры в плоскости прикладной рамки, фокусируют объектив 1 камеры на резкое изображение мира.

После этого фокусируют объектив 2 камеры на резкое изображение мира в плоскости прикладной рамки (фокальная плоскость).

При фокусировании на бесконечность оправы объективов должны занимать крайнее положение в клиновом механизме для того, чтобы при совместном перемещении объективов по направляющим клинового механизма было бы возможно фокусировать на объекты на

расстоянии 0,3—0,4 м. Перемещаясь в клиновом механизме, оси объектов образуют угол конвергенции, что обеспечивает сохранение при перефокусировании объективов резкости и стопроцентное перекрытие полей изображения обоих объективов.

После установки объективов в камере на оптической скамье приступают к фотографированию объектов, расположенных в бесконечности и на близких расстояниях от камеры. Это необходимо для градуировки шкалы расстояний клинового механизма. Фотографирование выполняют на местности с разбивкой расстояний от 0,3 до 20 м.

Расположение объектов далее 20 м будет соответствовать для данной системы объективов бесконечности.

При наличии дистанционного коллиматора фотографирование производят по мирам, установленным в дистанционном коллиматоре. На этом юстировка стереокамеры заканчивается.

2. Юстировка стереовидоискателя. Юстировку выполняют на оптической скамье ОСК-2. Камеру устанавливают перед коллиматором, в фокусе которого помещена мира.

Трубы стереовидоискателя устанавливают на резкое изображение миры.

При этом необходимо добиться такого положения, чтобы параллакс отсутствовал как в отдельно взятой трубе, так и при визировании обоими глазами.

После этого проверяют работу механизма изменения глазного базиса, который должен обеспечить диапазон изменения расстояния между осями труб в пределах 56—72 мм.

После юстировки оптической системы стереофотоаппарата приступают к тарировке затвора, который должен обеспечить величины экспозиций от 1/5 до 1/100 с в соответствии со значениями по шкале экспозиций.

По окончании юстировки и окончательной сборки стереофотоаппарата его подвергают испытанию на засвет. Для этого заряжают аппарат пленкой и устанавливают перед мощным источником света, например перед лампой 500 Вт.

Через 10 мин воздействия света аппарат поворачивают на другую сторону.

ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

41. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В последнее время выпускается значительное количество различных фотограмметрических приборов как в нашей стране, так и за рубежом.

Рассматривая существующие фотограмметрические приборы, следует заметить, что в ряде приборов применяют узлы с аналогичными оптическими системами.

Оптические системы узлов фотограмметрических приборов по их назначению можно подразделить на следующие группы:

- 1) отсчетные системы;
- 2) системы для проектирования снимков;
- 3) системы для стереоскопического наблюдения снимков.

Отсчетные оптические системы. В качестве отсчетной оптической системы в фотограмметрических приборах широко используют лупы и простые микроскопы. Эти системы применяют для отсчета по шкалам и лимбам фотограмметрических приборов.

Очень часто в отсчетной системе применяют оптическую систему бинокля. На рис. 74 показана схема микроскопа, установленного на стереокомпараторе СК-3 для производства отсчетов по шкале 2 (ось y).

Объектив 5, оборачивающая система 6 и окуляр 7 представляют собой оптическую систему бинокля, которая скреплена с неподвижной бинокулярной головкой прибора.

Верньер 1, зеркало 3 и объектив микроскопа 4 в процессе измерений перемещаются. В этом случае мы имеем систему микроскопа по Аббе, т. е. систему, состоящую из объектива и телескопической системы бинокля. Между этими системами проходит параллельный пучок лучей.

Отсчетные оптические системы должны обеспечивать отчетливое изображение шкал прибора.

В отношении дисторсии и астигматизма в таких системах высоких требований не предъявляется.

Оптическая система для проектирования снимков. Эти оптические системы предназначены для проектирования снимков на различного рода экраны. Основной частью в этих системах является объектив (нормальный, широкоугольный или сверхширокоугольный). В этих системах через объектив одновременно проектируется весь снимок, поэтому объектив должен быть хорошо исправлен в отношении различного рода аберраций.

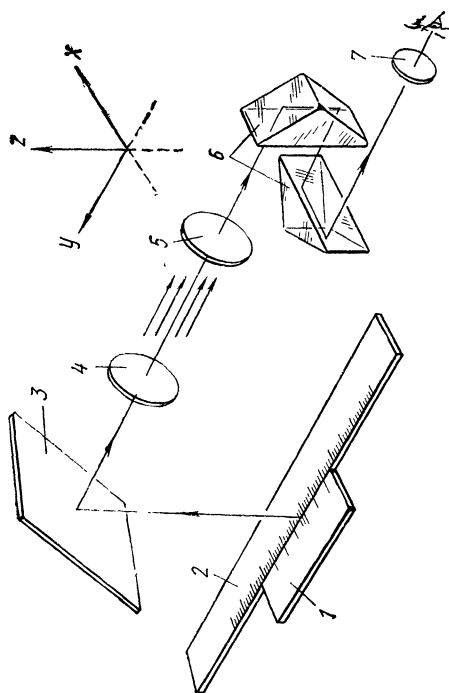


Рис. 74. Оптическая схема отсчетного микроскопа стереокомпаратора СК-3

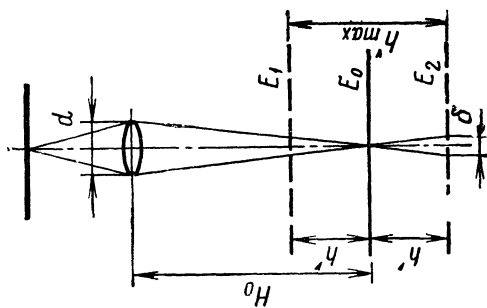


Рис. 75. Схема проектирующей камеры мультиплекса

К системам этой группы относятся оптические системы фото-трансформаторов, проектирующих камер мультимплекса, фотоуменьшителя УФУ-2 и др.

Все эти оптические системы строят изображения, повернутые на 180° . Снимки в фототрансформаторах освещают с помощью эллиптических зеркал или конденсоров.

Увеличение изображения в фототрансформаторах колеблется: в ФТМ — от 0,7 до 2,5 \times , в ФТБ — от 0,7 до 5 \times .

В фотоуменьшителе УФУ-2 плоскость снимка, главная оптическая плоскость объектива и плоскость прикладной рамки установлены параллельно друг другу. Освещение снимка осуществляется с помощью эллиптического зеркала.

Мультимплексы разделяются на проекторы с нормальным углом ($2\beta=60^\circ$), широкоугольные ($2\beta=100^\circ$), сверхширокоугольные ($2\beta=120^\circ$).

В проектирующих камерах мультимплекса фокусные расстояния камеры больше фокусного расстояния объектива. В зависимости от типа мультимплекса плоскость оптического сопряжения находится на различных расстояниях от передней узловой точки объектива.

В мультимплексах с нормальным углом плоскость оптического сопряжения находится на расстоянии 350 мм от передней узловой точки объектива, в широкоугольных — 300 мм, сверхширокоугольных — 250 мм. Так как при работе на приборе экран измерительного столика перемещается по высоте, то при положениях экрана E_1 и E_2 (рис. 75) наблюдаются кружки нерезкости δ .

Определим диапазон перемещения измерительного столика, при котором диаметр кружка нерезкости не превышает определенной величины.

Из рис. 75 следует, что

$$h' = H_0 \frac{\delta}{d},$$

где d — диаметр отверстия объектива проектирующей камеры;
 H_0 — расстояние от передней узловой точки объектива до плоскости оптического сопряжения.

Полный диапазон перемещения вверх (E_1) и вниз (E_2) будет равен $2h'$, т. е.

$$h'_{\max} = 2H_0 \frac{\delta}{d}.$$

Таким образом, максимальная величина превышения на местности, когда можно наблюдать стереоскопическую модель на приборе при соблюдении определенной величины диаметра кружка нерезкости будет определяться из равенства

$$h_{\max} = 2H \frac{\delta}{d} \text{ (в метрах)}, \quad (97)$$

где H — высота фотографирования.

Так как наблюдение снимков на мультимплексе производят невооруженным глазом, то величину диаметра кружка нерезкости практически можно допустить равной 0,2 мм.

Объективы проектирующих камер мультиплекса имеют диаметр действующего отверстия $d \approx 2$ мм. Подставляя эти значения в формулу (97), имеем

$$h_{\max} = \frac{1}{5} H. \quad (98)$$

Таким образом, на мультиплексе можно обрабатывать снимки при диаметре кружка нерезкости, равном 0,2 мм, когда в пределах рабочей площади стереопары превышения не превосходят одной пятой высоты фотографирования. Такой диапазон перемещения столика практически является вполне достаточным. Проектирующие камеры мультиплекса используются как для проектирования отдельных снимков, так и для стереоскопического рассматривания снимков в пределах одной и нескольких стереоскопических пар.

Увеличение оптической системы мультиплекса β равно

$$\beta = \frac{H_0}{f'_\Pi}, \quad (99)$$

где H_0 — расстояние от передней узловой точки объектива до плоскости оптического сопряжения; f'_Π — фокусное расстояние проектирующей камеры мультиплекса.

Так как при наблюдении модели расстояние от объектива до экрана измерительного столика изменяется, то в определенных пределах будет изменяться и увеличение β . Что же касается увеличения изображения оригинального снимка, получаемого на экране измерительного столика, то его можно получить следующим образом.

Обозначим знаменатели масштабов снимка m_c , диапозитива m_d и модели m_m .

Тогда

$$m_d = m_c \frac{f'_\kappa}{f'_\Pi}, \quad (100)$$

где f'_κ — фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата.

Знаменатель масштаба модели равен $m_m = m_d \frac{f'_\Pi}{H_0}$

или

$$m_m = m_c \frac{f'_\kappa}{H_0}. \quad (101)$$

Обозначив увеличение оригинального снимка на экране столика мультиплекса через V' , получим

$$V' = \frac{m_c}{m_m} = \frac{H_0}{f'_\kappa}. \quad (102)$$

Например, для широкоугольного мультиплекса, предназначенного для обработки аэроснимков с $f'_\kappa = 100$ мм имеем

$$V' = \frac{300}{100} = 3^\times.$$

Оптические системы для стереоскопического наблюдения снимков. Для совместного стереоскопического рассматривания снимков используются разнообразные оптические системы. Стереоскопические наблюдения снимков могут производиться и невооруженными глазами.

Под стереоскопизмом понимается свойство человеческих глаз ощущать предметы в глубину, или иначе говоря, способность на

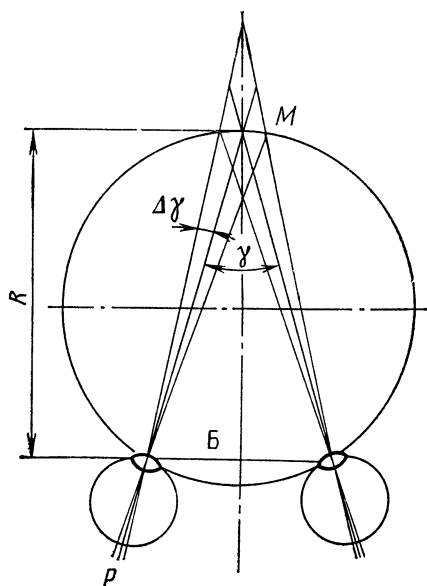


Рис. 76. Схема стереоскопического зрения

основании непосредственного зрительного восприятия оценивать расстояния до различных предметов.

Под стереоскопическим зрением понимается наблюдение предмета обоими глазами, которые при этом автоматически поворачиваются таким образом, что высокочувствительные элементы сетчаток оказываются расположенными на визирных осях глаз.

Предметы, расположенные на местности вне точек фиксации, проектируются в стороне от углублений; если расстояние до этих предметов не равно расстоянию до точек фиксации, то величина смещения изображений их в левом и правом глазах не одинакова и разности смещений, или как их называют параллаксы, вызывают представление пространственного расположения предметов.

Наименьшая разность углов $\Delta\gamma$ (рис. 76), образуемых пересечением направлений на точку фиксации и другие наблюдаемые точки, при которой ощущается разность расстояний до точек простран-

ва, называется разрешающей способностью стереоскопического зрения.

Если принять, что предельная величина разности стереоскопических параллаксов $\Delta\gamma = 10''$, то для базиса $B = 65$ мм максимальное расстояние R_{\max} , при котором прекращается стереоскопическое восприятие по глубине, найдем по формуле

$$R_{\max} = \frac{B}{\Delta\gamma} = \frac{65 \cdot 206\,265}{10''} = 1340 \text{ м.}$$

Величина R_{\max} , равная 1340 м, называется радиусом стереоскопического зрения.

При наблюдении удаленных предметов далее, чем 1340 м, угол конвергенции γ равен нулю.

При стереоскопическом рассматривании снимков невооруженным глазом нарушается соответствие между аккомодацией и конвергенцией, так как снимки располагаются на расстоянии наилучшего зрения (250 мм для нормального глаза) и, следовательно, состояние аккомодации соответствует этому конечному расстоянию, а зрительные оси глаз устанавливаются параллельно, что соответствует рассматриванию предметов, находящихся в бесконечности. Это несоответствие между аккомодацией и конвергенцией глаз вызывает значительные трудности при стереоскопическом рассматривании снимков невооруженными глазами.

Отдельным наблюдателям даже при значительном напряжении глаз не удается получить стереоскопический эффект.

Для устранения несоответствия между аккомодацией глаз, а также для рассматривания снимков с нужным увеличением применяют оптические системы.

Простейшей оптической системой для стереоскопического рассматривания снимков является зеркально-линзовый стереоскоп.

Рассмотрим более сложные оптические системы, широко используемые в фотограмметрических приборах для совместного стереоскопического рассматривания снимков и измерительных марок с определенным увеличением. На рис. 77 представлена оптическая система правой части бинокулярного микроскопа стереокомпаратора СК-3.

Оптическая система бинокулярного микроскопа СК-3 состоит из неподвижной и подвижной частей. В процессе измерений по направлению оси x перемещаются снимки, а по направлению оси y — подвижная часть бинокулярного микроскопа.

Подвижная часть оптической системы бинокулярного микроскопа представляет собой две аналогичные оптические системы объективов. Неподвижная часть представляет собой бинокулярную головку, состоящую из двух оптических систем зрительных труб. Ход лучей в правой части аналогичен ходу лучей в левой части бинокулярного микроскопа. Поэтому рассмотрим ход лучей в правой части бинокулярного микроскопа стереокомпаратора СК-3.

Лучи от снимка 1 (рис. 77) проходят призму 2 и попадают на объектив 3. Объектив 3 через призму 4 строит изображение рассматриваемых частей снимка 1 в плоскости марки, нанесенной на плоскопараллельной пластинке 5. Лучи после прохождения через компоненты второго объектива оборачивающей системы 6 и 8 и прямоугольной призмы 7 идут в направлении оси y параллельным пучком. Объектив 9, принимая параллельный пучок лучей строит через

призмы 10 и 11 изображение в фокальной плоскости окуляра 12. Благодаря тому, что между компонентом второго объектива 8 и объективом 9 лучи идут параллельным пучком, при различных положениях подвижной части увеличение системы остается постоянным.

Призмы 2, 4, 7, 10 и 11 служат для изменения направления лучей. Для приведения измерительных марок на визирную ось име-

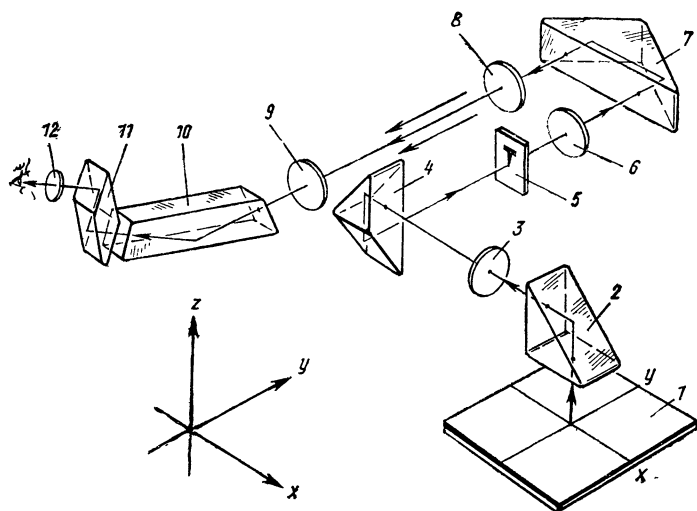


Рис. 77. Оптическая схема правой части бинокулярного микроскопа стереокомпаратора СК-3

ются устройства, позволяющие перемещать марки в направлениях осей x и z прибора. При работе на приборе для отдельных наблюдателей возникает необходимость изменить положение одной марки относительно другой. Поэтому правая марка без снятия кожуха с помощью специальных винтов может быть смещена по направлению осей x и z .

Резкость марки устанавливают вращением окуляра, а резкость изображения снимка — вращением тубуса объектива 3. Система бинокулярного микроскопа дает прямое изображение с увеличением $3\times$. Площадь рассматриваемой части снимка представляет собой круг диаметром 46 мм. Измерительные марки можно было бы расположить в фокальных плоскостях окуляров, тогда из-за неточного перемещения подвижной части происходили бы смещения изображений рассматриваемых частей снимка относительно марки. Кроме того, при расположении марки в фокальной плоскости объектива 3 также практически не сказываются искажения, вносимые последующими оптическими деталями, так как они одновременно искажают изображения снимка и марки.

На рис. 78 представлена оптическая система левой части бинокулярного микроскопа прецизионного стереометра Ф. В. Дробышева (модели СМ-3 и СМ-4). Также, как и у стереокомпаратора СК-3, оптическая система бинокулярного микроскопа состоит из неподвижной и подвижной частей.

В отличие от стереокомпаратора СК-3 в прецизионном стереометре марки расположены в фокальных плоскостях объективов бинокулярной головки.

Неподвижной частью является бинокулярная головка, состоящая из двух оптических систем зрительных труб.

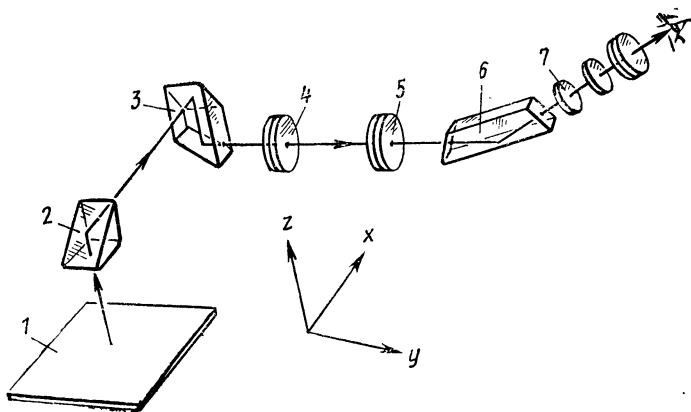


Рис. 78. Оптическая схема левой части бинокулярного микроскопа прецизионного стереометра СМ-4

Подвижная часть состоит из двух аналогичных оптических систем объективов (бинокулярный коллиматор). Рассмотрим ход лучей в левой части бинокулярного микроскопа, так как оптические системы как левой, так и правой части бинокулярного микроскопа аналогичны.

Лучи от снимка 1 (рис. 78) проходят призму 2 и призму 3 и попадают на объектив 4. Так как объектив 4 отфокусирован на плоскость снимка 1, то из него выходит параллельный пучок лучей, который затем входит в объектив 5 зрительной трубы бинокулярной головки. Далее пучок лучей, пройдя призму 6, попадает на плоскопараллельную пластинку 7, на которой нанесена марка. В плоскости марки строится изображение рассматриваемых частей снимка 1.

Благодаря тому, что между объективом микроскопа 4 и объективом зрительной трубы лучи идут параллельным пучком, при различных расстояниях между ними увеличение системы не изменяется, а также не изменяется качество изображения снимка или решетки Готье. Марки, нанесенные на пластинках 7 и помещенные в фокальных плоскостях объективов бинокулярной головки, служат для стереоскопических измерений аэроснимков.

Увеличение оптической системы бинокулярного микроскопа прецизионного стереометра СМ-3 (СМ-4) равно $3,8\times$. Так как марки нанесены на плоско-параллельных пластинках, помещенных в фокальных плоскостях зрительных труб бинокулярной головки, являющейся неподвижной частью бинокулярного микроскопа, то к направляющему подвижной части, несущей коробку с коллиматорами (опти-

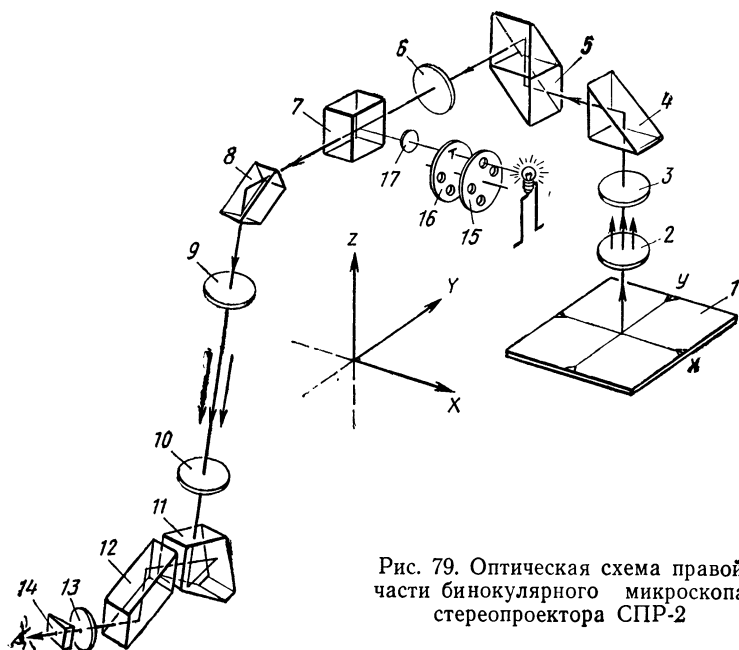


Рис. 79. Оптическая схема правой части бинокулярного микроскопа стереопроектора СРР-2

ческими системами объективов бинокулярного микроскопа) предъявляются высокие требования. При перемещении коробки с коллиматорами по оси y на всю длину допускается смещение марки с линии решетки Готье не более 0,02 мм.

На рис. 79 представлена правая часть оптической системы стереопроектора СРР-2. Оптическая система стереопроектора состоит из сложного бинокулярного микроскопа, две части которого расположены симметрично относительно вертикальной плоскости YZ прибора. В этом приборе оптическая система является неподвижной, а перемещаются каретки снимков по направлению осей X и Y прибора.

В стереопроекторе СРР-2 преобразование плановых снимков в горизонтальные осуществляется не наклоном снимков, а с помощью

коррекционных механизмов. Под действием коррекционного механизма перемещается каретка, несущая объектив 2 по направлениям осей X и Y прибора. Коррекционный механизм устроен так, что при наблюдении любой точки снимка каретка с объективом 2 смещается на величины, соответствующие тем искажениям, которые обусловлены наклоном снимка, и тем самым плановый снимок преобразуется в горизонтальный.

Таким образом, снимки в приборе всегда занимают горизонтальное положение и с помощью оптической системы рассматриваются по частям.

Оптическая система сложного микроскопа состоит из:

- 1) оптической системы объектива микроскопа;
- 2) сложной передающей системы;
- 3) оптической системы светящихся марок;
- 4) оптической системы зрительной трубы.

Объектив микроскопа 2 (см. рис. 79) отстоит от снимка 1 на расстоянии, равном фокусному расстоянию объектива, благодаря чему в неподвижный объектив 3 передающей системы поступает параллельный пучок лучей.

Передающая система состоит из объектива 3, призм 4 и 5 (комбинация из двух прямоугольных призм), коллектива 6, кубической призмы 7, призмы 8 и объектива 9.

Оптическая система светящихся марок состоит из объектива 17, диска 16 с марками, диска 15 со светофильтрами и лампочки.

Оптическая система зрительной трубы состоит из объектива 10, пентапризмы 11, ромбической призмы 12, окуляра 13.

Оптический клин 14 служит для перемещений изображения аэро-снимка и визирной марки в небольших пределах, что необходимо для устранения зрительного параллакса и изменения угла конвергенции зрительных осей глаз.

Лучи от снимка 1, пройдя объектив микроскопа 2, падают параллельным пучком на объектив 3 передающей системы, который строит изображение рассматриваемых частей снимка перед коллективом 6; изменение направления пучка лучей осуществляется призмой 4 и сложной призмой 5.

После коллектива 6 пучок лучей от изображения снимка проходит кубическую призму 7. Плоскость одной из гипотенузных граней призм имеет 15%-ное покрытие серебром для включения в оптическую систему микроскопа светящихся марок, нанесенных на стеклянном диске 16, изображение которых передается при помощи объектива 17 через кубическую призму 7.

Плоскость диска 16, обращенная к кубической призме, покрыта непрозрачным слоем. На этой плоскости выгравированы три кольцеобразные марки разной величины и одна Т-образная марка. Поворотом диска 16 в оптическую систему микроскопа может быть включена одна из этих марок. Между диском с марками и электрической лампочкой, освещающей марки, установлен диск 15, в который вмонтированы цветные фильтры (белый, зеленый, красный). Поворотом диска 15, каждой марке можно придать различную окраску. Лучи от светящейся марки проходят объектив 17, далее входят в кубическую призму 7 и отразившись от гипотенузной грани, проходят в направлении пучков лучей, идущих от изображения снимка. Таким образом, объектив 17 строит изображение светящейся марки в той плоскости, в которой объективом 3 построено изображение снимка. Выравнивание яркостей изображений снимка и марок осу-

ществляется с помощью реостатов. После прохождения кубической призмы 7 и призмы 8 пучки лучей падают на второй объектив передающей системы и выходят из него параллельным пучком. Далее пучок лучей падает на объектив 10 зрительной трубы с оборачивающей системой призм 11 и 12. Объектив 10 строит в фокальной плоскости изображения снимка и марки, которое рассматривается через окуляр 13. Оптическая система левой части бинокулярного микроскопа аналогична правой части, поэтому описание ее опускаем.

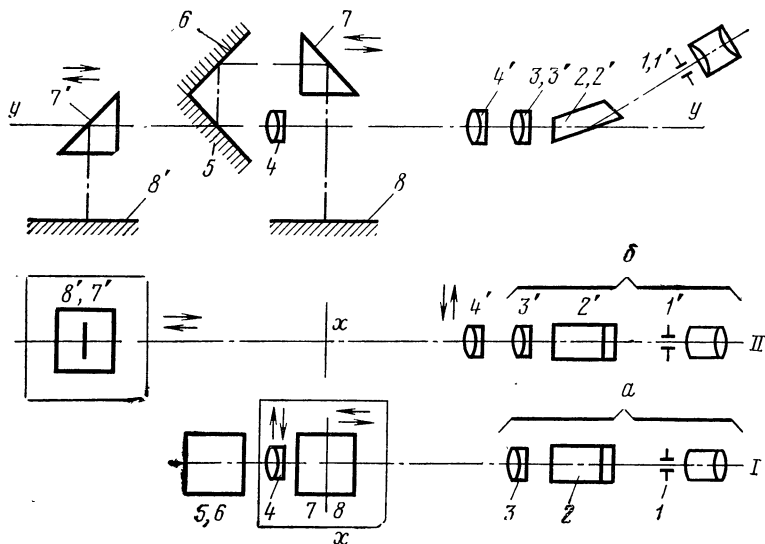


Рис. 80. Оптическая схема бинокулярного микроскопа стереографа СД-1м

Оптическая система микроскопа стереопроектора СПР-2 дает прямое изображение.

В комплект прибора входят два сменных окуляра, которые обеспечивают 7 и 10 \times увеличения системы. При 7 \times увеличении площадь одновременно рассматриваемой части снимка представляется кругом диаметром 32 мм, а при 10 \times — диаметром 22 мм.

Оптическая система прибора разбирается на две сборочные единицы. Одна сборочная единица включает в себя объективы с передающими системами, другая — бинокулярную головку со зрительными трубами.

На рис. 80 представлена схема оптической системы бинокулярного микроскопа стереографа СД-1м Дробышева.

Оптическая система бинокулярного микроскопа состоит из двух систем I и II сложных микроскопов (левого и правого).

Оптическая система I микроскопа состоит из оптической системы объектива микроскопа 4 и зрительной трубы a. Оптическая система

объектива состоит из объектива 4, двух зеркал 5, 6 и призмы 7.

Оптическая система зрительной трубы *a* состоит из объектива 3, призмы 2, сетки 1 и окуляра.

Оптическая система II микроскопа состоит из оптической системы объектива микроскопа 4' и зрительной трубы б.

Оптическая система объектива состоит из объектива 4' и призмы 7'. Оптическая система зрительной трубы б состоит из объектива 3', призмы 2', сетки 1' и окуляра.

Поскольку бинокулярный микроскоп состоит из двух сложных микроскопов, то ход лучей рассмотрим отдельно; вначале в микроскопе I, а затем в микроскопе II.

Лучи от освещенного аэроснимка 8 (рис. 80) попадают на призму 7, после чего, пройдя систему зеркал (6, 5), входят в объектив 4. Так как объектив 4 отфокусирован на плоскость аэроснимка, то из него выходит параллельный пучок лучей, который попадает в объектив 3 зрительной трубы *a*.

Дальнейший ход лучей идет в системе зрительной трубы *a*. Лучи, пройдя призму 2, собираются на сетке 1, где строится изображение части аэроснимка, рассматриваемое через окуляр.

В микроскопе II лучи от аэроснимка 8', пройдя призму 7', попадают в объектив микроскопа 4'. Также как и в микроскопе I, между объективом 4' и объективом зрительной трубы 3' проходит параллельный пучок лучей. Далее пучок проходит в системе зрительной трубы б так же, как и в зрительной трубе *a*.

Фокусирование микроскопов на плоскости аэроснимков выполняется путем перемещения вдоль оси *y* прибора объективов микроскопов 4 и 4' при помощи винтов, расположенных под окулярами бинокулярной головки.

42. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БИНОКУЛЯРНОГО МИКРОСКОПА ПРЕЦИЗИОННОГО СТЕРЕОМЕТРА СМ-4 (СМ-3)

Оптическая система бинокулярного микроскопа состоит из двух одинаковых сложных микроскопов (см. рис. 78).

Схема микроскопа фактически построена по предложенному Аббе принципу разделения микроскопа (см. рис. 9).

Изображение, даваемое объективом микроскопа, расположено в бесконечности и рассматривается в зрительную трубу. Объектив зрительной трубы в этом случае носит название тубусной линзы.

Юстировка оптической системы бинокулярного коллиматора. Прежде чем приступить к юстировке, производят проверку посадочных плоскостей оптической коробки под объективы коллиматоров. В оправы вместо объективов вставляют плоско-параллельные пластинки диаметром 22 мм.

Оптическую коробку устанавливают на контрольной плите рядом с автоколлиматором. Приложив к оправам объективов плоско-параллельное стекло диаметром 90 мм, наблюдают в автоколлиматор, тем самым проверяют параллельность посадочных плоскостей под объективы коллиматоров.

В случае отклонения от параллельности более 3' исправляют погрешность путем подпиловки или шабровки посадочных мест под объективы. Причем припиливать или шабрить нужно ту посадочную плоскость из двух, которая имеет большее отклонение в угле 90° между этими плоскостями и основанием оптической коробки.

После этого в корпус с помощью автоколлиматора устанавливают блоки смещающих призм 3 (см. рис. 78) таким образом, чтобы блики от выходных граней этих призм, а также от плоско-параллельных пластинок диаметром 22 мм совпадали.

В случае отклонения от параллельности более 3' исправляют погрешность путем разворота оправ призм 3 и подпилковки корпуса. Установку входной призмы 2 микроскопа выполняют также с помощью автоколлиматора. Вначале устанавливают выходную грань призм 2 так, чтобы блик от нее совпадал с бликами от граней смещающей призмы 3.

Исправление погрешностей производят за счет подпилковки оправы призмы.

Установку входной грани призмы 2 выполняют таким образом, чтобы она была параллельна основанию оптической коробки с точностью порядка 3'. Погрешность исправляют разворотом головки вокруг оси трубы коллиматора.

Юстировка бинокулярной головки. Оптическая система бинокулярной головки состоит из двух одинаковых телескопических систем (см. рис. 78).

Вначале проверяют посадочные места под объективы бинокулярной головки. Для этого в оправы вместо объективов 5 вставляют плоско-параллельные пластинки диаметром 22 мм и при помощи автоколлиматора ведут проверку параллельности посадочных плоскостей. Исправление идет за счет припиловки или шабровки той посадочной плоскости, которая имеет больший перекося. После этого устанавливают призмы 6 также автоколлимационным методом. Рассматривая автоколлимационные изображения от поверхностей плоскопараллельных пластинок и от входных граней призм 6, определяют отклонения от их параллельности. Исправляют разворотом призм 6, а также подпилковкой их посадочных плоскостей. При этом при подпилковке или шабровке посадочных плоскостей под призмы 6 необходимо сохранить их правильное положение относительно плоскости основания корпуса бинокулярной головки (без перекося).

Затем проверяют автоколлимационным методом положение выходных граней призм 6 относительно плоскопараллельных пластинок 7, на которых нанесены Т-образные марки.

В случае отклонения от параллельности более 5' исправляют погрешность подпилковкой посадочного места в корпусе бинокулярной коробки под оправу марок. Установку марок выполняют таким образом, чтобы линия, соединяющая марки, была бы параллельна нижней стороне крышки коробки.

После этого в бинокулярную головку устанавливают объективы и окуляры.

Для установки зрительных труб на бесконечность бинокулярную головку устанавливают перед коллиматором оптической скамьи, в фокусе которого помещается «точка». Наблюдая в каждую трубу по очереди, устанавливают их объективы так, чтобы не было параллакса между изображением светящейся точки коллиматора и марками, помещенными в фокальных плоскостях объективов бинокулярной головки.

После установки труб на бесконечность оправы объективов закрепляют стопорными винтами.

Юстировка бинокулярного микроскопа. Вначале монтируют на мостике прибора бинокулярный коллиматор. Вдоль оси xx прибора натягивают нить над центрами кассет.

На основную каретку укрепляют зрительную трубу с увеличением 4—5[×]. Перемещая зрительную трубу от одного объектива к другому вдоль оси *xx*, наблюдают за тем, чтобы перекрестие сетки зрительной трубки не сходило с изображения нити, натянутой вдоль прибора. Если имеет место отклонение, то погрешность устраняют путем разворота оптической коробки (корпуса объективов коллиматоров) на мостике. Наклоном оправ призм 2 (см. рис. 78) добиваются того, чтобы оптические оси объективов бинокулярного микроскопа 4 проходили бы через перекрестия покровных стекол на кассетах прибора. После этого снимают зрительную трубку и устанавливают бинокулярную головку.

Разворотом бинокулярной головки, а также призмы 2 добиваются совпадения изображения креста левой кассеты с маркой. В случае отклонения изображения натянутой нити от марки по оси *yy*, его исправляют разворотом призмы 2 или оптической коробки. Затем приступают к проверке всей системы бинокулярного микроскопа. На кассетах прибора укрепляют решетки Готье.

Наблюдая в бинокулярный микроскоп, устраняют зрительный параллакс между изображениями штрихов решетки Готье и марками путем перемещения объективов бинокулярного микроскопа вдоль их осей.

Причинами параллакса могут быть: неперпендикулярность визирной оси микроскопа к плоскости решетки Готье, а также плохая установка на бесконечность зрительных труб бинокулярной головки.

Общая юстировка стереометра СМ-4 (СМ-3). К юстировке стереометра СМ-4 приступают тогда, когда выполнены юстировки и проверки отдельных узлов и сборок прибора. На рабочем столе устанавливают станину по уровню тремя подъемными винтами, после чего для большей устойчивости необходимо вывинтить вспомогательные винты до соприкосновения с подкладками.

Затем устанавливают предварительно мостик с бинокулярным микроскопом так, чтобы направляющие мостика были перпендикулярны направляющим станины. Проверку выполняют по решеткам Готье, укрепленным на кассетах прибора.

43. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БИНОКУЛЯРНОГО МИКРОСКОПА СТЕРЕОПРОЕКТОРА СПР-2

Стереопроектор СПР-2 представляет собой фотограмметрический прибор и предназначен для составления и обновления топографических карт по аэроснимкам.

Он может быть использован также для построения фотограмметрических сетей.

Прибор рассчитан на обработку плановых аэроснимков (диапозитивов) формата 18×18 и меньше.

Аэроснимки большого формата перед обработкой на этом приборе уменьшаются.

На приборе можно обрабатывать аэроснимки, полученные с аэрофотоаппарата, имеющего объектив любого фокусного расстояния.

Стереопроектор СПР-2 является прибором стационарного типа. Для перевозки он требует разборки. Сборка и юстировка прибора на месте работы должна выполняться специалистом, хорошо знающим конструкцию прибора и его оптическую схему.

Вес прибора около 700 кг. Габаритные размеры $104 \times 120 \times 190$ см. Прибор устанавливают на прочный пол или фундамент в сухом и чистом помещении.

Стереопроектор СПР-2 является прибором, в котором связи проектирующих лучей по аэроснимкам P_1 и P_2 (рис. 81) образуются с помощью рычагов L_1 и L_2 . Рычаги проходят через муфты скользящих шарниров S_1 и S_2 . Точки пересечения осей каждого из этих шарниров являются центрами проектирования аэроснимков.

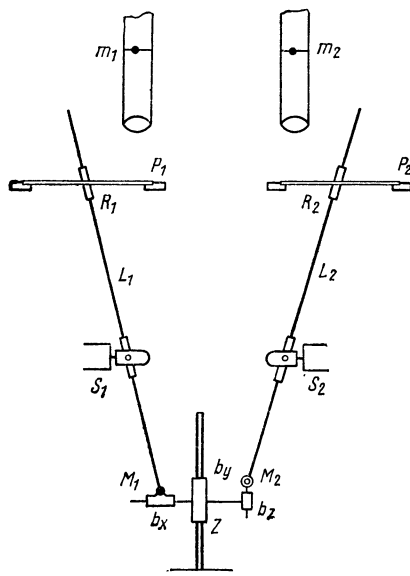


Рис. 81. Схема прибора СПР-2

Верхние концы рычагов проходят через муфты скользящих шарниров R_1 и R_2 , укрепленных на каретках, на которых помещают аэроснимки. Нижние концы рычагов вращаются вокруг шарниров M_1 и M_2 , укрепленных на базисной каретке.

Базисная каретка состоит из двух частей — нижней и верхней. Нижняя часть базисной каретки перемещается по горизонтальным направляющим, а ее верхняя часть, несущая нижние шарниры рычагов, кроме того, — по вертикальной направляющей относительно нижней части. Направляющие базисной каретки определяют прямоугольную систему координат $xuyz$ прибора. Перемещения базисной каретки приводят к поворотам рычагов L_1 и L_2 вокруг центров скользящих шарниров S_1 и S_2 , чем вызываются перемещения кареток аэроснимков по взаимно перпендикулярным направляющим в плоскости, параллельной плоскости xu прибора. Расстояние от центров шарниров S_1 и S_2 до плоскости, в которой перемещаются центры верхних шарниров R_1 и R_2 , соответствуют фокусным рас-

стояниям камер прибора, поэтому в дальнейшем будем называть эти расстояния — фокусными расстояниями камер прибора.

Связь между положением рычага и точкой аэроснимка устанавливается при помощи визирного луча. Каждому положению рычага должно соответствовать вполне определенное положение визирного луча относительно аэроснимка. Визирование производится при помощи оптической системы, представляющей собой сложный бинокулярный микроскоп с визирными марками m_1 и m_2 . В стереопроекторе СПР-2 установка длины базиса и его ориентирование, т.е. установка величин b_x , b_y и b_z производится путем перемещения шарниров M_1 и M_2 (см. рис. 81) относительно базисной каретки. Влияние же углов наклона аэроснимков, в отличие от других приборов такого типа учитывается не путем наклона камер прибора, а при помощи специальных механизмов, так называемых коррекционных механизмов. Наличие таких механизмов позволяет располагать аэроснимки на приборе в одной плоскости. Такое устройство прибора позволяет строго решать задачу построения модели при преобразованных связках проектирующих лучей, а следовательно, и обрабатывать аэроснимки с любым фокусным расстоянием.

Принцип действия коррекционного механизма основан на свойствах точки нулевых искажений аэроснимка, состоящих в том, что углы при этой точке в плоскости наклонного аэроснимка равны соответствующим углам в плоскости горизонтального аэроснимка, полученного из той же точки фотографирования, и в том, что разность расстояний на горизонтальном и наклонном аэроснимках между точкой нулевых искажений и любой другой точкой аэроснимка определяется зависимостью

$$\delta = r_0 - r = \frac{rr_0}{f_K} \sin \varphi, \quad (103)$$

где r — расстояние между точкой нулевых искажений и любой другой точкой наклонного аэроснимка; r_0 — соответствующее расстояние на горизонтальном аэроснимке; f_K — фокусное расстояние аэрокамеры; φ — угол наклона аэроснимка по данному направлению.

Благодаря применению коррекционных механизмов в положении всех наблюдаемых точек наклонных аэроснимков автоматически вводятся по направлению к точке нулевых искажений поправки δ , что в геометрическом смысле равносильно трансформированию аэроснимков. Модель местности, создаваемая в стереопроекторе СПР-2 в общем случае является преобразованной, так как преобразованными являются связки проектирующих лучей. Ортогональная проекция этой модели получается такой же, как и проекция модели подобной поверхности местности. Отличие состоит только в том, что вертикальный масштаб преобразованной модели не равен горизонтальному (рис. 82). Отношение вертикального масштаба к горизонтальному, равное отношению фокусного расстояния камеры прибора к фокусному расстоянию аэроснимков, называется коэффициентом преобразования связок. Для указанного выше строгого решения задачи необходимо, чтобы помимо правильной установки коррекционных механизмов, при наблюдении точки надир соответствующий рычаг прибора L_1 или L_2 был в отвесном положении, а при наблюдении точки нулевых искажений поправка δ равнялась нулю, что соответствует отвесному положению стержней данного коррек-

ционного механизма. В связи с этим стереопроектор СПР-2 имеет специальное устройство для децентрации аэроснимков и коррекционных механизмов.

Юстировка оптической системы бинокулярного микроскопа стереопроектора СПР-2. Бинокулярный микроскоп СПР-2 состоит из двух аналогичных сложных микроскопов (левого и правого).

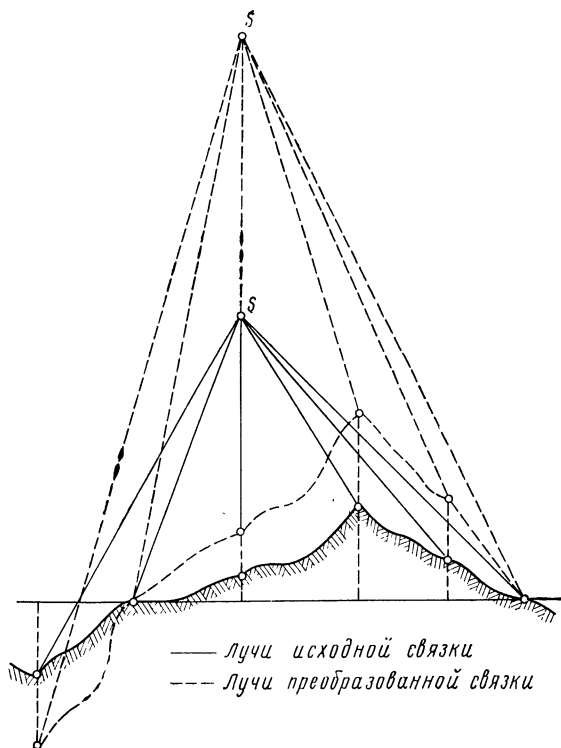


Рис. 82. Схема модели местности

Каждый из сложных микроскопов состоит из оптической системы объектива микроскопа, сложной передающей системы, оптической системы светящихся марок и оптической системы зрительной трубы (см. рис. 79).

Юстировка бинокулярного микроскопа включает в себя:

- 1) юстировку оптической системы бинокулярной головки;
- 2) юстировку оптических систем светящихся марок;
- 3) юстировку передающих оптических систем микроскопов;
- 4) установку объективов микроскопов;
- 5) общую юстировку бинокулярного микроскопа.

Юстировка бинокулярной головки. Прежде всего проверяют параллельность посадочных поверхностей под объективы

бинокулярной головки. Корпус бинокулярной головки устанавливают на контрольной плите. Затем на контрольную плиту устанавливают автоколлиматор так, чтобы объектив автоколлиматора был обращен к оправе объектива зрительной трубы бинокулярной головки.

В оправках объективов укрепляют плоско-параллельные пластинки, размеры которых равны по диаметру и толщине объективам бинокулярной головки. Позади автоколлиматора укрепляют на контрольной плите шлифовальный стальной брус, благодаря которому можно перемещать автоколлиматор от одного корпуса зрительной трубы к другому при сохранении параллельности положений оси автоколлиматора. Наблюдая автоколлимационное изображение от плоско-параллельной пластинки, помещенной в оправу объектива зрительной трубы и совместив изображение перекрестия с перекрестием автоколлиматора, перемещают автоколлиматор к плоско-параллельной пластинке, помещенной в оправу объектива другой зрительной трубы. В случае отклонения автоколлимационного изображения погрешность исправляют за счет изменения положения оправы объектива в корпусе бинокулярной головки. Проверку повторяют до тех пор, пока при перемещении автоколлиматора по брусу от оправы объектива одной зрительной трубы к другой автоколлимационные изображения перекрестия не будут сходиться с перекрестием автоколлиматора.

После этого в корпусе бинокулярной головки предварительно устанавливаются призмы 11 и 12 (см. рис. 79). В оправках окуляров укрепляют плоско-параллельные пластинки, размеры которых равны диаметрам окуляров бинокулярной головки. Корпус бинокулярной головки с оптическими деталями вновь устанавливают перед автоколлиматором на контрольной плите.

Затем приступают к установке призм 11 и 12.

Наблюдая в автоколлиматор блики от граней призм 11 и 12, а также от плоско-параллельных пластинок, установленных в оправках объективов и окуляров, определяют отклонения бликов призм 11 и 12 от блика, отраженного от плоско-параллельной пластинки, помещенной в оправу объектива.

Так как посадочное место под призму 12 обрабатывается с достаточной точностью, то юстировку ведут в основном за счет изменения положения призмы 11.

Если блики от плоско-параллельных пластинок, помещенных в оправках объектива и окуляра, а также и от граней призм 11 и 12 будут совпадать, то можно считать, что призмы 11 и 12 установлены правильно.

После этого вынимают из оправ объектива и окуляра зрительной трубы плоско-параллельные пластинки и устанавливают объектив и окуляр. Также устанавливают призмы 11 и 12 другой зрительной трубы бинокулярной головки.

Дальнейшие юстировки оптических систем бинокулярной головки выполняют на оптической скамье, например, ОСК-2 или при помощи двойного коллиматора, расстояние между оптическими осями которого равно расстоянию между оптическими осями бинокулярной головки. Объективы бинокулярной головки, прежде чем установить их в корпус бинокулярной головки, должны быть отцентрированы в своих оправках. Центрирование объективов выполняют на оптической скамье или при помощи коллиматора, в фокусе которого помещают точку (диафрагму с малым отверстием).

Рассматривая при помощи микроскопа скамьи изображение точки, даваемое испытуемым объективом, судят о качестве центрирования. Если при перефокусировке изображение точки не переходит в правильный круг с интерференционной картиной, то следует путем вращения линз в оправе объектива относительно друг друга, а в случае склеенного объектива вращением его относительно оправы добиваться такого положения, когда изображение точки при перефокусировке переходит в правильный круг с интерференционной картиной.

После этого в фокусе коллиматора скамьи помещают миру и определяют разрешающую способность и качество изображения испытуемого объектива.

Установив бинокулярную головку перед коллиматором, приступают к установке зрительных труб на бесконечность.

Наблюдая через зрительную трубу бинокулярной головки миру, заключенную в фокусе коллиматора, фокусируют трубу на резкость изображения мира, тем самым устанавливая трубу на бесконечность. Также устанавливают и другую трубу бинокулярной головки. Центрирование оптической системы зрительной трубы бинокулярной головки выполняют следующим образом. Так как в зрительных трубах бинокулярной головки отсутствуют марки (сетки), то на объектив 10 (см. рис. 79) и окуляр 13 укрепляют диафрагмы с диаметром отверстия 2 мм.

Рассматривая через окуляр положение изображения входного зрачка относительно выходного, определяют направление и величину смещения зрачков. Исправление ведут за счет изменения положения пента-призмы 11. Затем определяют предел разрешения и качество изображения зрительной трубы.

Также выполняют центрирование оптической системы и другой зрительной трубы бинокулярной головки. Визирные оси обеих зрительных труб при этом должны быть параллельны и выходные зрачки должны быть на одном уровне.

Установку призм 12 и 11 можно выполнить и при помощи индикатора согласно посадочным местам призм, объектива и окуляра. Корпус бинокулярной головки устанавливают на контрольной плите. Рядом с корпусом располагают стойку с индикатором.

Ножка индикатора последовательно упирается в посадочные места объективов и окуляров, а также призм 12 и 11, при этом производят соответствующие отсчеты и определяют непараллельности соответствующих посадочных мест под оптические детали одной зрительной трубы относительно другой. Исправление выполняют за счет припиловки и шабровки посадочных мест под призмы 12 и 11, а также за счет перемещения оправ объективов и окуляров в соответствующих крышках корпуса, где они закреплены. На этом заканчивается юстировка оптической системы бинокулярной головки.

Юстировка осветительной системы марок микроскопа. Юстировку осветительной системы марок выполняют при помощи микроскопа, имеющего в фокальной плоскости перекрестие сетки нитей, а также перекрестие на предметном столике микроскопа. Вначале совмещают изображение перекрестия предметного столика с перекрестием сетки микроскопа. Затем устанавливают узел осветительной системы только с одним объективом 17 так, чтобы изображение перекрестия на предметном столике совпадало с перекрестием нитей микроскопа. Таким образом, ось объек-

тива 17 совмещают с оптической осью микроскопа. После этого устанавливают диск 16 с марками так, чтобы при его вращении (смене марок) марки не сходили с изображения перекрестия предметного столика микроскопа. Затем устанавливается диск 15 со светофильтрами.

Также выполняют юстировку осветительной системы марок и другого микроскопа. Поворотом диска 16 в оптическую систему микроскопа может быть включена любая из четырех марок. Объектив 17 рассчитан так, чтобы действительное изображение светящейся марки совпадало с действительным изображением аэроснимка.

Для того чтобы марка была резко видна, необходимо выключить освещение снимков и отрегулировать окуляры так, чтобы изображение марки не двоилось и не было ореола. Если после этого изображение аэроснимков будет нерезким, то фокусируют объективом микроскопа 3.

Юстировка передающей системы микроскопа. Вначале устанавливают призмы 4 и 5.

На контрольной плите размещают корпус с блоком призм 4 и 5. Вместо объектива 3, в его оправе укрепляют плоско-параллельную пластинку, равную по размеру и допуску на диаметр объективу 3. Призмы 4 и 5 устанавливают при помощи автоколлиматора. Наблюдая в автоколлиматор автоколлимационные изображения от плоско-параллельной пластинки и от граней призм 4 и 5, устанавливают призмы 4 и 5 так, чтобы блики от граней призм 4 и 5, а также от плоско-параллельной пластинки совпадали. После установки призм 4 и 5 плоско-параллельную пластинку вынимают из оправы объектива 3 и вместо нее устанавливают объектив 3. Перед установкой в прибор объектив 3, а также объективы 9 и 2 центрируют в своих оправках, проверяют их фокусные расстояния и определяют разрешающую способность.

Установку призм 4 и 5 можно осуществить на контрольной плите при помощи индикатора при тщательном изготовлении оправ и посадочных мест под призмы 4 и 5, при этом используют юстировочные винты в оправках. После этого предварительно устанавливают коллектив 6, кубическую призму 7 с корпусом осветительной системы марок, призму 8 и объектив 9. В дальнейшем юстировку передающих систем микроскопов проводят в сборе с бинокулярной головкой. Со стороны объектива 3 укрепляют коллиматор.

Наблюдая в зрительную трубу бинокулярной головки через передающую систему (объектив 9, призма 8, кубическая призма 7, коллектив 6, призмы 5 и 4, объектив 3) перекрестие в фокусе коллиматора, находят положение сопряженной точки обоих объективов 3 и 9.

Включив освещение марок, перемещают кубическую призму 7 вместе с блоком освещенной системы и тем самым добиваются такого положения, когда светящаяся марка будет в плоскости сопряженной точки (в фокусе объектива 9). Центрирование объективов 3 и 9, а также коллектива 6 выполняют следующим образом. У коллектива 6 укрепляют диафрагму с отверстием 2 мм. Наблюдая в зрительную трубу бинокулярной головки изображение перекрестия коллиматора, укрепленного перед объективом 3, добиваются совмещения светящейся марки с перекрестием коллиматора за счет перемещения призмы 8.

Также выполняют юстировку передающей системы и другого микроскопа.

Общая юстировка бинокулярного микроскопа. На приборе СПР-2 устанавливают оптические системы обоих микроскопов, входящих в общую оптическую систему бинокулярного микроскопа.

После этого устанавливают объективы микроскопов 2 в оправках на объективных каретках.

Перемещая объективы 2 вдоль их оптических осей, добиваются резкого изображения штрихов решеток Готье, расположенных в плоскости аэроснимков.

Параллакс между светящимися марками и штрихами решеток Готье устраняют перемещением объективов 2 вдоль их осей.

Увеличение каждого микроскопа при сменных окулярах должно быть $7-10\times$ с допуском $\pm 5\%$.

Разность увеличений микроскопов не должна превышать 5% .

В случае, когда разность увеличения микроскопов превышает 5% , следует изменить увеличение одного из двух микроскопов. Изменение увеличения сложного микроскопа может быть осуществлено переменной положения объектива 9 с последующим перемещением кубической призмы 7 вместе с блоком осветительной системы марок. Увеличения объективов осветительной системы марок 15 должны быть одинаковы в пределах $\pm 5\%$.

Данные объективы заранее проверяют и комплектуют на каждый прибор.

44. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БИНОКУЛЯРНОГО МИКРОСКОПА СТЕРЕОГРАФА ДРОБЫШЕВА СД-1м

Стереограф СД-1м предназначен для составления по аэроснимкам топографических карт является одним из приборов универсального метода высотной аэросъемки.

Для работы на приборе используются оригиналы-негативы формата 180×180 мм или контактные диапозитивы, изготовленные на стекле.

Прибор основан на непосредственной механической пространственной засечке с преобразованными связками проектирующих лучей и поэтому приспособлен для обработки плановых аэроснимков при фокусных расстояниях аэросъемочной камеры от 55 до 200 мм.

Углы наклона аэроснимка могут достигать: при $f'_k = 55$ мм — до $\pm 2^\circ$; при $f'_k = 70$ мм — до $\pm 2^\circ,5$; при $f'_k = 100$ мм — до $\pm 3^\circ$; при $f'_k = 200$ мм — до $1^\circ,5$.

Разность высот точек в пределах отдельных стереопар может достигать $0,3 H$, где H — высота фотографирования над средней плоскостью стереопары.

Соотношение масштабов обрабатываемых аэроснимков карты находится в пределах $0,5-2,0$. Наивыгоднейший масштаб геометрической модели местности, создаваемой на приборе, составляет $1,1-1,2$ от масштаба залета.

Дальнейшее изменение масштаба модели и приведение его к масштабу составляемого плана осуществляют с помощью пантографа. Прибор СД-1м является прибором стационарного типа. Для перевозки он требует разборки. Сборка и юстировка на месте работы

должны выполняться специалистом, хорошо знающим конструкцию прибора и его оптическую схему. Вес прибора — 400 кг. Габаритные размеры $135 \times 105 \times 125$ см.

На рис. 83 представлено сечение проектирующей связки плоскостью главного вертикала. Здесь P — наклонный, T — горизонталь-

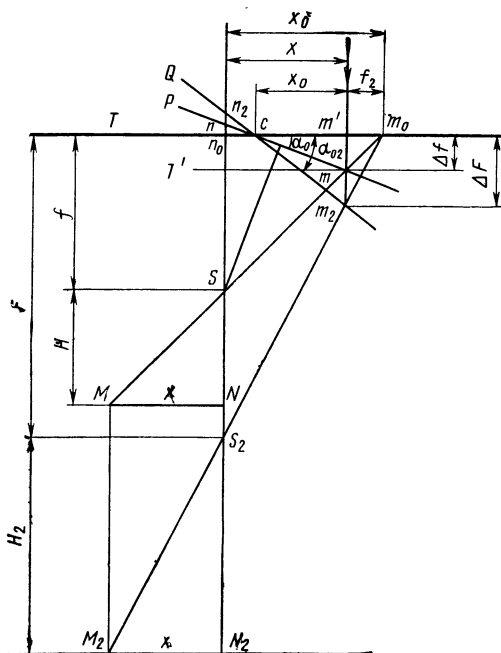


Рис. 83. Схема сечения проектирующей связки плоскостью главного вертикала

ный аэроснимки, полученные из центра проектирования S камерой, имеющей фокусное расстояние $Sn_0 = f'_k$.

Выбрав за начало отсчета абсцисс точку надира и считая, что m принадлежит какой-то горизонтальной плоскости T' , отстоящей от T на величину $f'_k - \Delta f'$, найдем, что

$$x_0 = x \frac{f'_k}{f'_k - \Delta f'} \quad (104)$$

или

$$\delta_x = x_0 \frac{\Delta f'}{f'_k}, \quad (105)$$

откуда следует, что задача трансформирования может быть сведена к простому масштабному преобразованию с переменным коэффициентом увеличения. Такое масштабное преобразование легко осуществимо как с нормальными, так и с нарушенными связками. При выборе на надирном луче nSN нового центра проектирования S_2 так, чтобы $n_0S_2=F$, трансформированное изображение отрезка n_0m_0 в новой связке должно отстоять от S_2 на расстоянии

$$H_2 = \frac{F}{f_k'} H = K_a H, \quad (106)$$

где K_a — коэффициент аффинности.

Восстановив теперь в точке m перпендикуляр к плоскости T и продолжив его до пересечения в m_2 с проектирующим лучом S_2m_0 , найдем, что

$$\delta x = x_0 \frac{\Delta F}{F} \quad (107)$$

и

$$\Delta F = \frac{F}{f_k} \Delta f = K_a \Delta f, \quad (108)$$

но

$$\Delta f = x_c \operatorname{tg} \alpha_0, \quad (109)$$

поэтому

$$\Delta F = x_c K_a \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (110)$$

Поправка ΔF определяется линейным законом, поэтому она может строиться коррекционной плоскостью Q , наклоненной около точки C на угол α_{02} , определяющийся зависимостью

$$\operatorname{tg} \alpha_{02} = K_a \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (111)$$

Приведенные положения сохраняются не только для отрезков главной вертикали, но и для произвольно направленных радиусов векторов, проведенных из точки надира.

В частности, по направлению осей x и y углы наклона аэроснимка и плоскости должны соответственно быть равны α ; ω и

$$\alpha_2 = K_a \alpha; \quad \omega_2 = K_a \omega.$$

Следовательно, для решения задачи в приборе необходимо:

1) применить аэроснимок, наклоненный вокруг точки S радиусом f_k на его истинные углы α и ω . (В стереографе СД-1м вместо углов наклона α и ω аэроснимков вводятся линейные децентрации Δx и Δy);

2) применить коррекционную плоскость, децентрированную в точку нулевых искажений и наклоненную на углы α_2 , ω_2 ;

3) применить наблюдение точек аэроснимка визирной системой по отвесно расположенному направлению, проходящему через точку сопряжения пространственного прецизионного стержня с коррекционной плоскостью.

В модели местности, созданной по паре снимков, вертикальный $1:M_v$ и горизонтальный $1:M_h$ масштабы будут различными, причем

$$M_v:M_h = 1:K_a. \quad (112)$$

Фокусное расстояние стереографа $F=130$ мм, поэтому при обработке аэроснимков, полученных камерами с фокусными расстояниями 55, 70 или 100 мм, вертикальный масштаб будет крупнее горизонтального, а при $f'_k=200$ мм — наоборот.

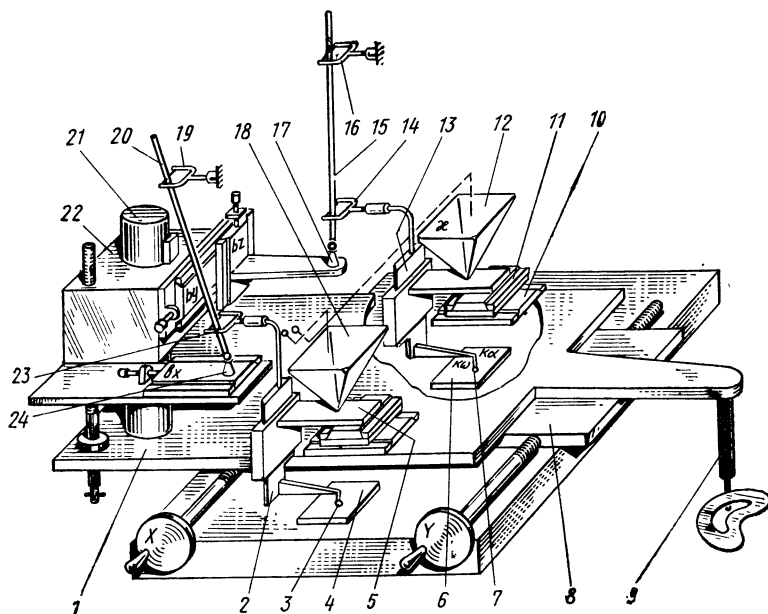


Рис. 84. Схема прибора СД-1м

Станина прибора (рис. 84) поддерживает две каретки 1 и 8 (X и Y), осуществляющие соответствующие координатные движения. Третье пространственное координатное движение Z отнесено к базисному устройству 22. Изменение базисного устройства по высоте производится при помощи ножного штурвала по направляющей 21. Суппорты базисной системы b_x и b_z несут на себе шарообразные опоры 24 и 17, на которые опираются прецизионные рычаги 20 и 15, осуществляющие засечку. В верхней части прибора неподвижно укреплены карданы 19 и 16, точки пересечения осей которых служат центрами проектирования. Пара нижних карданов 23 и 14 связана со снимкодержателями 18 и 12. Снимкодержатели расположены на дифференциальных каретках. Отрезки между кар-

данами 19 и 23 или 16 и 14 (при вертикальном положении соответствующих прецизионных рычагов) равняются фокусному расстоянию прибора F , а расстояния между верхними карданами и шаровыми опорами 24 и 17 на суппортах b_x и b_z представляют собой высоты фотографирования в масштабе построенной модели.

Дифференциальные каретки вносят поправки к абсциссам и координатам наблюдаемых точек. Каретки 10 (δ_x) покоятся на горизонтальных направляющих, закрепленных на координатной каретке прибора. На каретках δ_x размещены вторые дифференциальные каретки 11 (δ_y), на которых находятся снимкодержатели. Таким образом, снимкодержатели участвуют как в паре основных координатных движений, так и в дифференциальных движениях. К дифференциальным кареткам δ_y с помощью связок 5 жестко прикреплены направляющие каретки 2 и 13 приращений фокусных расстояний ΔF . Каретки ΔF сверху соединены с нижними карданами 23 и 14 проектирующих рычагов, а снизу они опираются шаровыми шпинделями 3 и 7 на коррекционные плоскости 4 и 6. Коррекционные плоскости могут поворачиваться вокруг своих центральных точек на углы $K\alpha$ и $K\omega$. Если придать плоскости какие-то наклоны и перемещать координатные каретки X и Y , то шпиндели 3 и 7, двигаясь по плоскости, будут поднимать или опускать каретки ΔF . В результате нижние карданы будут скользить вдоль проектирующих рычагов и приведут к смещению дифференциальных кареток со снимкодержателями относительно координатных кареток прибора на величины приращений δ_x и δ_y . Таким образом, при построении точками 24 и 17 трансформированных координат проектирующие рычаги сдвинут снимкодержатель на величины, равные перспективным искажениям отрезков x , y , и поставят их в положение правильной засечки. Установленные в кассетах негативы (или диапозитивы) рассматривают через оптическую систему, укрепленную в верхней части прибора. Для масштаба построенной модели 1:1 карандашное устройство 9, укрепленное на каретке абсцисс, вычерчивает план местности. Для изменения масштаба модели в больших пределах к каретке абсцисс присоединяют пантограф.

Биноккулярный микроскоп состоит из двух сложных оптических систем микроскопов I и II (левого и правого). Микроскоп I отличается от микроскопа II оптической системой объектива, а зрительные трубы аналогичны и смонтированы в одну биноккулярную головку. Юстировка биноклярного микроскопа состоит из: 1) юстировки биноклярной головки; 2) юстировки оптических систем объективов микроскопов I и II; 3) общей юстировки биноклярного микроскопа.

Юстировка биноклярной головки. Оптическая система биноклярной головки состоит из двух одинаковых телескопических систем (см. рис. 80).

Вначале проверяют посадочные места под объективы биноклярной головки. Для этого узел биноклярной головки устанавливают на контрольной плите.

В оправы объективов вместо объективов 3, 3' вставляют плоскопараллельные пластинки с диаметрами, равными диаметрам объективов. Затем на контрольной плите устанавливают автоколлиматор так, чтобы его основание соприкасалось с параллельным бруском, укрепленным на контрольной плите. Наблюдая через автоколлиматор отклонение автоколлимационного изображения от пло-

ско-параллельной пластинки, помещенной в оправе объектива 3, перемещают автоколлиматор по бруску к другой плоскопараллельной пластинке, расположенной в оправе объектива 3', и так же определяют отклонение автоколлимационного изображения.

Исправление неточности идет за счет припиловки или шабрения посадочной плоскости того объектива, которая имеет больший перекося. После этого устанавливаются призмы 2—2', также автоколлимационным методом.

Рассматривая автоколлимационные изображения от поверхностей плоско-параллельных пластинок в оправе объективов 3 и 3' и от входных граней призм 2 и 2', определяют отклонение от параллельности. Исправляют непараллельность разворотом призм 2 и 2', а также подпиловкой их посадочных плоскостей. При этом в процессе подпиловки или шабровки посадочных плоскостей под призмы 2 и 2', необходимо сохранить их правильное положение относительно плоскости основания узла бинокулярной головки (без перекося). После этого проверяют автоколлимационным методом положение плоско-параллельных пластинок 1 и 1', на которых нанесены марки относительно выходных граней призм 2 и 2'.

В случае отклонения от параллельности более 3' исправляют путем подпиловки посадочного места под оправы марок.

Установку марок выполняют так, чтобы линия, соединяющая марки, была бы параллельна плоскости основания узла бинокулярной головки.

Затем в бинокулярную головку устанавливают объективы и окуляры. Зрительные трубы бинокулярной головки устанавливают на бесконечность следующим образом.

Бинокулярную головку устанавливают перед коллиматором оптической скамьи, в фокусе которого помещают «точку». Наблюдая в каждую трубу, по очереди устанавливают их объективы так, чтобы не было параллакса между изображением светящейся точки коллиматора и марками, помещенными в фокальных плоскостях объективов бинокулярной головки.

После установки на бесконечность при отсутствии параллакса оправы объективов бинокулярной головки закрепляют стопорными винтами.

Юстировка оптических систем объективов микроскопов I и II. Юстировка оптических систем объективов микроскопов начинается с установкой призмы 7 (см. рис. 80), системы зеркал 5, 6 и призмы 7'. Основание бинокулярного микроскопа устанавливают на приспособление. Приспособление представляет собой плиту, на которой имеются две стеклянные пластинки с марками, координаты которых соответствуют координатам перекрестий на кассетах стереографа. Вначале устанавливают призму 7 и систему зеркал 5, 6, которые входят в оптическую систему объектива микроскопа I.

В оправу объектива 4 устанавливают плоско-параллельную пластинку. При помощи автоколлиматора добиваются совмещения бликов от плоско-параллельной пластинки, зеркал 5, 6, призмы 7 и стекла приспособления. После этой установки плоско-параллельную пластинку вынимают и устанавливают объектив 4. Затем приступают к установке призмы 7' и объектива 4', входящих в систему микроскопа II.

Вместо объектива 4' устанавливают плоско-параллельную пластинку. При помощи автоколлиматора добиваются совмещения бли-

ков от плоско-параллельной пластинки, призмы 4' и стекла приспособления. После этой установки плоско-параллельную пластинку вынимают и устанавливают объектив 4'. На этом юстировка оптических систем объективов микроскопов I и II заканчивается.

Общая юстировка бинокулярного микроскопа СД-1м. На основание бинокулярного микроскопа, находящегося на приспособлении, устанавливают бинокулярную головку. Вначале приступают к юстировке микроскопа I (левый). Перемещая объектив 4, фокусируют на резкость изображения перекрестия левого стекла приспособления. Затем перемещая марку, совмещают ее с изображением перекрестия приспособления. После этого приступают к юстировке микроскопа II.

Перемещая объектив 4', фокусируют на резкость изображения перекрестия правого стекла приспособления. Затем перемещая марку, совмещают ее с изображением перекрестия приспособления.

Следующий этап юстировки предусматривает общую юстировку бинокулярного микроскопа непосредственно на приборе при нулевых значениях на параллактических винтах кассет прибора.

Поверки и регулировки узлов стереографа, а также прибора в целом описаны в работе К. С. Сергеева «Стереограф СД-3», изд-во «Недра», Москва, 1966 г.

45. ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТИРУЮЩЕГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ФОТОТЕОДОЛИТНОЙ КАМЕРЫ «ГЕОДЕЗИЯ»

Оптическая система ориентирующего приспособления состоит из оптической системы зрительной трубы и оптической системы микроскопа лимба.

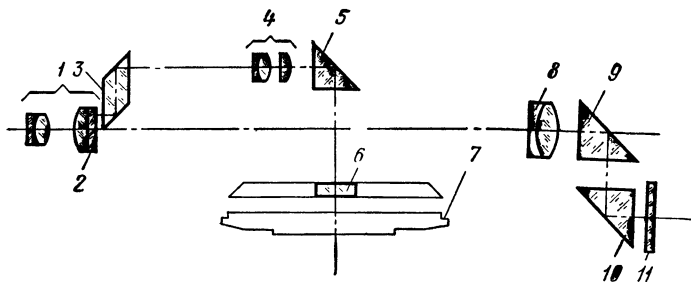


Рис. 85. Оптическая схема ориентирующего приспособления фототеодолитной камеры «Геодезия»

Оптическая система зрительной трубы. Указанная система состоит из окуляра 1, сетки нитей 2, объектива 8 и перископической головки, состоящей из призмы 9, призмы 10 и защитного стекла 11 (рис. 85).

Пучок лучей, пройдя защитное стекло 11, попадает на призму 10. Призма 10 крепится в оправе, имеющей горизонтальную ось

вращения, на которой укреплен диск с делениями. Таким образом, осуществляется наклон визирного луча в пределах $\pm 10^\circ$.

Выйдя из призмы 10, пучок лучей входит в неподвижную призму 9, пройдя которую попадает в объектив зрительной трубы 8. Объектив 8 строит изображение на сетке нитей 2, расположенной в его фокальной плоскости. Изображение рассматривается через окуляр 1. Окуляр 1 является общим как для зрительной трубы, так и для микроскопа лимба. При этом в нижней части поля зрения окуляра рассматривается изображение, даваемое объективом 8 зрительной трубы, а в верхней части поля зрения — изображение противоположных штрихов лимба, даваемое объективом 4 микроскопа лимба (рис. 86).

Оптическая система микроскопа лимба. Эта оптическая система состоит из алидадных призм 6 (рис. 85), призмы 5, объектива микроскопа 4, смежающей призмы 3, сетки нитей 2 и окуляра 1.

Лучи от освещенных штрихов лимба 7, пройдя алидадные призмы 6, попадают на призму 5. После призмы 5 пучок лучей входит в объектив 4 микроскопа, который через призму 3 строит изображение противоположных штрихов лимба в верхней части сетки нитей, где они и рассматриваются через окуляр 1.

Юстировка оптической системы ориентирующего приспособления. Поскольку оптическая система ориентирующего приспособления фототеодолитной камеры состоит из двух различных оптических систем, то вначале выполняют юстировку оптической системы зрительной трубы, а затем юстировку оптической системы микроскопа лимба.

Юстировка оптической системы зрительной трубы. Камеру устанавливают на оптическую скамью перед коллиматором, в фокусе которого помещена «точка». Со зрительной трубы снимают перископическую головку.

Окуляр устанавливают на резкое изображение сетки нитей. Фокусируя объективом зрительной трубы, наводят на резкое изображение «точки», проверяют качество центрирования объектива трубы.

Центрирование объектива трубы выполняют путем вращения его в своей оправе. Объектив считается отцентрированным, если при фокусировке изображение «точки» переходит в правильную окружность с интерференционными кольцами. После этого в фокусе коллиматора помещают миру и определяют разрешающую способность объектива зрительной трубы. Разрешающая способность в центре поля зрения должна быть порядка 7".

Для определения возможности визирования на близкие расстояния наводят трубу на рейку, расположенную в 7—10 м от камеры. В обоих случаях, т.е. при фокусировании на бесконечность и на близкие расстояния, регулирующий штифт объектива зрительной трубы не должен доходить до упора, по крайней мере на 3 мм.

Сетку нитей зрительной трубы устанавливают по отвесу, находящемуся в 10 м от камеры. Открыв регулирующий штифт объектива, фокусируют на отвес. Ось вращения камеры при помощи уровней приводят в отвесное положение. Добившись резкого изоб-

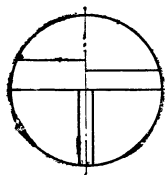


Рис. 86. Поле зрения ориентирующего приспособления

ражения отвеса, объектив трубы закрепляют и устанавливают сетку нитей по отвесу.

Юстировка перископической головки состоит из установки перископической головки, юстировки неподвижной призмы 9 и установки места нуля перископической головки.

Установку перископической головки выполняют следующим образом. На отвесе делают две отметки. Одну отметку укрепляют на двойной высоте инструмента [под высотой инструмента понимают расстояние от пола до оси вращения призмы 10 (рис. 85) ориентирующего приспособления]. Вторая отметка должна находиться около пола. Зрительную трубу направляют на отвес. Визируя на одну из отметок на отвесе и вращая призму 10, наблюдают, проходит ли биссектор трубы через вторую отметку, если это условие выполнено, то перископическая головка установлена правильно. В противном случае она поворачивается на половину смещения перекрестия сетки нитей с отвеса и поверку повторяют вновь до исправления погрешности (см. п. 22). После этого приступают к юстировке неподвижной призмы 9. Неправильное положение призмы 9 вносит следующую ошибку. При вращении входной призмы 10 биссектор перемещается не по отвесу, а по некоторой дуге. Поэтому, наведя на одну из отметок отвеса и вращая призму 10, видим, что отвес вначале все более и более удаляется от биссектора, а затем приближается к нему и совпадает в момент визирования на другую отметку. Эту ошибку устраняют путем небольшого разворота призмы 9 на горизонтальной площадке перископической головки, вводя в оправу призмы подкладки (см. п. 22).

При юстировке неподвижной призмы 9 может нарушиться юстировка головки, поэтому предыдущую поверку следует повторить.

Установка места нуля перископической головки сводится к тому, чтобы при горизонтальном положении визирной линии (передняя грань входной призмы 10 отвесна) отсчет по диску головки составлял нуль.

В 10—15 м от камеры, на высоте инструмента устанавливают метку. Если позволяют условия работы, можно метку нанести в виде креста на белой бумаге, прикрепив его к стене. Камеру устанавливают по уровням, после чего визируют трубой ориентирующего приспособления на метку и ставят диск перископической головки в нулевое положение.

Перекрестие креста при этом должно находиться на горизонтальной нити сетки (линия раздела поля зрения трубы и микроскопа, ориентирующего приспособления).

При установке места нуля перископической головки можно также пользоваться нивелирной рейкой, на которой должна быть отметка (отсчет) высоты инструмента.

Юстировка оптической системы микроскопа лимба. Окуляр устанавливают по глазу на резкое изображение сетки нитей. Затем перемещают объектив 4 микроскопа до тех пор, пока штрихи лимба не будут отчетливо видны в окуляр. При этом оправка объектива 4 микроскопа должна находиться приблизительно в среднем положении резбовой части тубуса. Получив резкое изображение штрихов лимба в поле зрения микроскопа, приступают к юстировке алидадных призм 6.

Юстировка алидадных призм сводится к следующему.

Необходимо добиться резкой линии раздела противоположных

концов лимба (линия совмещения противоположных штрихов лимба).

При этом могут быть два случая:

а) штрихи накладываются друг на друга (рис. 87, а) и резкая линия раздела отсутствует;

б) штрихи имеют разрыв (изображаются два конца лимба, разделенных щелью, рис. 87, б).

В первом случае растачивается лимб с тем расчетом, чтобы оставить запас для юстировки (примерно 0,5 мм, видимые в поле зрения микроскопа).

Второй случай может получиться только в результате переточки лимба, так как в поле зрения микроскопа совмещаются внутренние концы противоположных штрихов лимба, а внутренний диаметр лимба изготовлен с большим размером.

Если щель небольшая, то следует изменить положение алидадных призм, придав им небольшой наклон при помощи подкладок (например, из ватмана).

В результате неправильного крепления алидадных призм может получиться вторичное изображение штрихов на противоположном поле (рис. 87, в). Исправляется путем наклона призм в поперечном направлении при помощи подкладок под гнезда призм, или распиливания гнезда (оправы) при неправильном его изготовлении.

После того, как установлены алидадные призмы, приступают к юстировке поворотной призмы 5 (см. рис. 85). Юстировка заключается в том, что изображение совмещенных штрихов лимба приводят на середину поля зрения микроскопа (линия совмещения штрихов должна быть над биссектором зрительной трубы).

Также изменением положения призмы 5 добиваются исправления перекоса штрихов.

Юстировка выполняется при помощи подкладок (станиоль, ватман), а также при помощи юстировочных винтов.

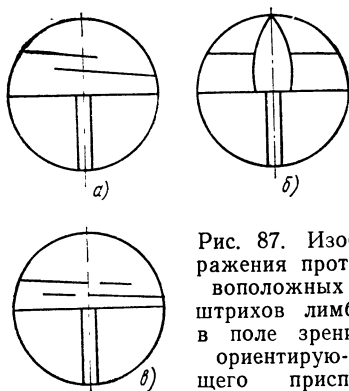


Рис. 87. Изображения противоположных штрихов лимба в поле зрения ориентирующего приспособления

46. ЮСТИРОВКА БОЛЬШОГО СВЕТОДАЛЬНОМЕРА ЦНИИГАиК

Большой светодальномер ЭОД-1 (электрооптический дальномер, 1 модель) предназначен для измерения линий на местности длиной 5—25 км, а в условиях хорошей видимости — до 30 км. Измерения выполняются в темное время суток при температуре воздуха от 0 до +35°. Для завершения программы измерений на пункте, как исключение, можно допускать измерение при отрицательной температуре, но не ниже —5°. При этом необходима прямая оптическая

видимость между конечными точками измеряемой линии. Точность измерения линий порядка $\pm(1,5+2 \cdot 10^{-6} D)$ см.

Для измерения расстояний на одном конце линии устанавливают прямо-передающую часть дальномера, а на другом — отражатель. Пучок света, посланный передающей оптической системой, отразившись от отражателя, попадает в приемную оптическую систему. Измерение расстояний основано на определении времени прохождения световым сигналом измеряемого расстояния D дважды.

Очевидно, что при этих условиях

$$D = \frac{1}{2} v_c \tau_d,$$

где v_c — скорость распространения света в момент измерения; τ_d — время прохождения светом двойного расстояния.

Предполагается, что v_c известно с достаточной точностью. Время τ_d измеряют косвенно, так как точность измерения малых промежутков времени прямыми методами не удовлетворяет требованиям геодезического производства. Косвенное измерение времени распространения света основано на известном методе, примененном в 1849 г. Физо для измерения скорости света.

Интенсивность посылаемого передающей оптической системой дальномера света модулируется высокой частотой по тому же закону, что и модулирующее высокочастотное напряжение. Фаза модуляции света, прошедшего удвоенное измеряемое расстояние, сравнивается с фазой модуляции посылаемого света (фазой опорного сигнала).

В светодальномере ЭОД-1 путем изменения частоты модуляции и времени задержки опорного сигнала разность фаз, пришедших с дистанции светового и опорного сигналов приводится к постоянной величине 90 или 270°.

Для получения значения скорости света v_c в момент измерения в реальных условиях атмосферы необходимо в значение скорости света для вакуума ввести поправки на плотность воздуха, т. е. на температуру, давление и влажность воздуха.

Найденная величина D является значением расстояния между исходными точками прямо-передающего блока светодальномера и отражателя по наклонной линии. Для получения геодезического расстояния необходимо ввести соответствующие поправки.

В комплект светодальномера входят: прямо-передающий блок, частотомер, блок питания, подставка прямо-передающего блока, штатив подставки, один (или несколько) отражатель с подставкой, барабан с кабелем и две электростанции.

Кроме того, в комплект входит запасное и вспомогательное имущество. При транспортировке все части светодальномера помещают в укладочные ящики. Ящики для прямо-передающего блока снабжены амортизаторами.

Важнейшей сборочной единицей светодальномера является приемопередающий блок, а также отражатель, в которых укреплены оптические детали оптической системы светодальномера.

Юстировка оптической системы светодальномера ЭОД-1. Оптическая схема ЭОД-1 (рис. 88) представляет собой сложную оптическую систему, состоящую из следующих деталей и оптических систем: а) теплофильтра 1; б) оптической системы конденсора 2, 3; в) ячейки Керра 4, 5, 6; г) оптической системы передачи сигнала 8,

10, 7; д) оптической системы приема сигнала 11, 12, 13; е) светопровода 16; ж) оптической системы конденсора 18, 19; з) ФЭУ-17; и) оптической системы визира приемной системы 15, 20, 21, 22, 23, 24; к) оптической системы калибровочной линии 25, 26, 27, 28, 29,

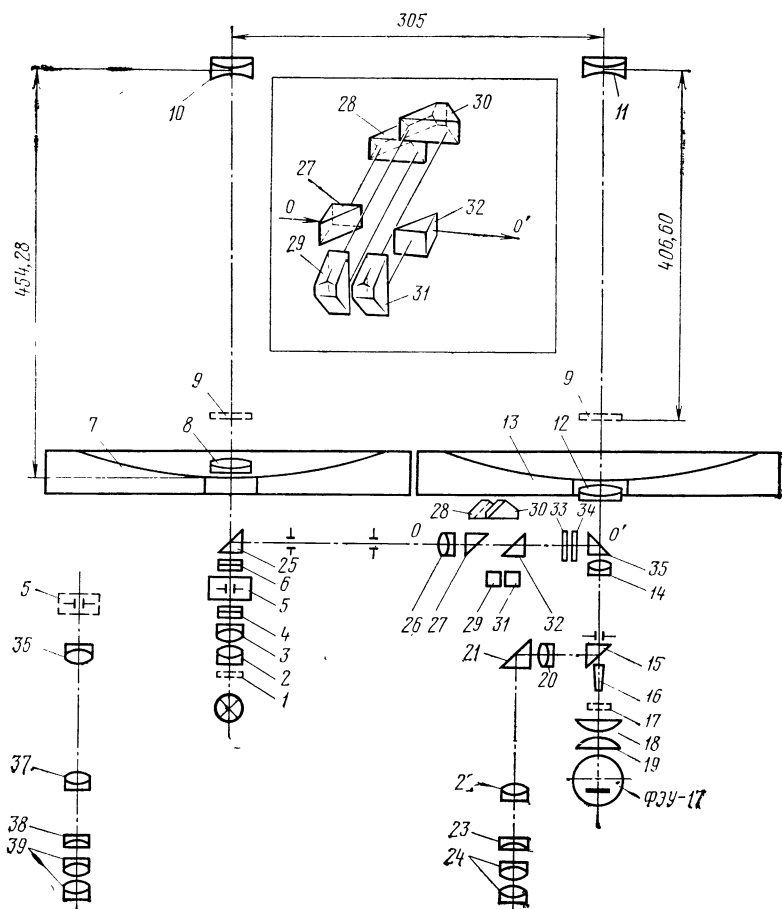


Рис. 88. Оптическая схема приемно-передающего блока светодаль-номера ЭОД-1

30, 31, 32, 35; л) объектива 14; м) оптической системы визира передающей системы 36, 37, 38, 39; н) юстировочной линзы 9; о) светофильтра 17; п) фильтров 33, 34.

Узел модулятора состоит из оправы, в которой помещается конденсатор Керра 5 (рис. 88), два поляроида 4, 6 и источник света

с конденсором 2, 3. Оправа конденсатора Керра крепится на устройстве, обеспечивающем ему пять степеней свободы. Шестая степень свободы — поворот конденсатора Керра вокруг оптической оси системы — достигается путем поворота конденсатора в оправе.

В оправе конденсатор крепится путем прижима его накладкой через пробковые прокладки. Поляроиды, закрепленные в металлических оправках, на которых рисками отмечено направление оси поляроида, крепятся в детали, поворачивающейся вокруг оси таким образом, что оба поляроида можно ввести или вывести из светового пучка. При выведенных поляроидах из передающей системы выходит более значительный поток, что облегчает наведение прибора на отражатель. Деталь поворачивается при помощи рукоятки. Поворот ограничивается регулируемым упором. Поляроиды устанавливаются так, чтобы угол между осями равнялся $90^\circ \pm 1'$ (практически наибольшему затемнению) и $45^\circ \pm 1'$ между осями и плоскостью, параллельной плоскости электродов конденсатора Керра; последняя должна быть вертикальной.

Источник света (лампа накаливания типа СЦ-70) помещают в кожухе, снабженном коническим наконечником.

В коническом наконечнике находится конденсор 2, 3. Устройство кожуха обеспечивает возможность юстировки лампы. Кожух с лампой входит своим конусом в коническое гнездо, скрепленное с консолью, и поворотом рычага закрепляется в нем. В это же коническое гнездо может быть вставлен визир передающей системы, превращающий передающую оптическую систему в зрительную трубу с увеличением около 46^х. Этот визир представляет собой микроскоп, в предметной плоскости которого находится центр затора между пластинками конденсатора Керра, совмещенного с фокусом передающей оптической системы. Визир используется при наведении прибора на отражатель и при юстировке конденсатора Керра или передающей оптической системы.

Визирное устройство приемной части состоит из подвижной 15 и неподвижной 21 (рис. 88) призм и линзовой системы, подобной системе визира передающей части. Подвижная призма 15 поворотом рычага может быть введена в световой пучок, после чего приемная оптическая система превращается в зрительную трубу с увеличением 57,6^х.

В предметной плоскости визира, совпадающей с фокусом приемной зеркально-линзовой системы, находится раздвижная диафрагма, служащая для ограничения действия фона на фотоумножитель ФЭУ-17. При работе ее размеры уменьшают вращением головки регулировочного винта, насколько это возможно по условиям измерения, так как колебания атмосферы, качание сигнала и другие причины могут при очень малом отверстии выводить из него световой блик. В световом пучке помещен прозрачный диск 17, на который нанесен слой переменной плотности «серый клин». При его повороте ручкой, выведенной на панель управления, световой поток изменяется по интенсивности от нуля до максимума. Положение указателя на шкале против цифры «100» соответствует наибольшему пропусканию света, а против «0» — наименьшему.

Если выведена подвижная призма 15, световой поток поступает в светопровод 16 — усеченный конус из оптического кварца. Из светопровода свет выходит через сечение меньшего диаметра. В кожухе фотоумножителя помещена двухлинзовая система 18, 19, ко-

торая проектирует вышедший из светопровода свет на фотокатод ФЭУ-17. Линзы установлены так, чтобы изображение торца светопровода на фотокатоде было порядка 2,5 мм. Панель, в которую вставлен ФЭУ, может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях для того, чтобы можно было поместить световое пятно на наиболее чувствительное место фотокатода. Вертикальное перемещение фотоумножителя контролируется по шкале. Кожух с крышкой закрывает светопровод и диафрагму, что обеспечивает защиту фотоумножителя от посторонних засветок. В кожух ввинчен влагопоглощающий силикагельный патрон.

Калибровочная оптическая линия представляет собой комбинацию из двух призм 25, 27 полного внутреннего отражения и четырех подвижных трипельпризм 28, 29, 30, 31. Поворотом ручки в световой пучок вводят призмы полного внутреннего отражения 25, 35. Одна из них 25 перехватывает пучок, выходящий из ячейки Керра, и направляет его через вспомогательный объектив 26, делающий пучок параллельным, на калибровочную линзию. Другая призма 35 через второй объектив 14 направляет свет, вышедший из оптической линии, на светопровод 16 или в приемный визир. На пути света помещают шибер с вставленным в него серым фильтром, плотность которого подбирают таким образом, чтобы световой сигнал, попадающий на ФЭУ-17, имел интенсивность того же порядка, как и рабочий сигнал при измерениях. Перемещая ручкой на панели управления подвижные трипельпризмы, можно менять длину линии, а по шкале, имеющейся над ручкой — измерять это перемещение в сантиметрах.

При юстировке прибора на оправы объективов 8, 12 может быть навинчена вспомогательная линза 9, благодаря которой через визиры можно рассматривать изображение зеркала или сфокусировать изображение зазора конденсатора Керра на экран. При измерениях на оправу объектива 12 приемной части навинчивают бленду, защищающую фотоумножитель от боковой засветки и снижающую влияние фона.

В светодальномере применяют мозаичные зеркально-линзовые отражатели.

В зеркально-линзовом отражателе использовано свойство системы, состоящей из объектива и помещенного в его фокальной плоскости перпендикулярно оптической оси плоского зеркала, посылать обратно упавший на нее параллельный пучок света. Конструктивно отражатель состоит из семи блоков и подставки. Каждый блок представляет собой шестигранную призму, на одном конце которой укреплены 19 объективов, а на другом — 19 плоских зеркал. Крепление зеркал обеспечивает возможность их юстировки.

В блоке, который скрепляется с подставкой, одно из зеркал съемное. На его место можно поместить либо окуляр, образующий вместе с объективом отражателя зрительную трубу, служащую для наводки отражателя на светодальномер, либо лампочку. Зажженная лампа облегчает наведение светодальномера на отражатель. При измерениях, в зависимости от расстояния и условий видимости, могут быть использованы либо все семь блоков, сочленяющихся друг с другом, либо часть их. Отражатель может устанавливаться и на штативе. Наводка должна быть не грубее 10'.

Юстировка отражателя заключается в установке плоских зеркал в фокальных плоскостях соответствующих объективов. В заводских

условиях установку зеркал производят автоколлимационным методом при помощи автоколлиматора.

При эксплуатации необходимо контролировать наклоны зеркал. Это выполняется следующим образом.

На объектив накладывают круглую диафрагму с отверстием диаметром 3 мм, совпадающим с оптической осью объектива. Боковую стенку отражателя снимают и диафрагму подсвечивают изнутри. Через отверстие в диафрагме наблюдают в соответствующем зеркальце изображение этого отверстия.

Оно должны быть центрично с самим отверстием. В случае нецентричности центрируют его, пользуясь винтами, находящимися под задней крышкой.

Положение лампочки также должно быть тщательно отъюстировано. При юстировке используют зрительную трубу, установленную на бесконечность. Лампочку юстируют так, чтобы ее нить была отчетливо видна в центре пучка.

Юстировка оптической системы прямо-передающего блока выполняется в следующей последовательности.

1. Юстировка оптической системы визира передающей части светодальномера. Оптическая система визира состоит из объектива 36, 37 (рис. 88), сетки 38 и окуляра 39. Сетка 38 представляет собой плоско-вогнутую линзу с $R = 12,8$ мм.

Юстировку производят обычным способом: выдерживают воздушный промежуток (100 мм), центрируют объектив 36, 37. Сетку 38 центрируют на станке при помощи специальной оправы. После этого визир устанавливают перед коллиматором, где производят его установку на бесконечность без параллакса.

2. Юстировка оптической системы визира приемной части светодальномера. Оптическая система визира состоит из призмы 15 (рис. 88), первого компонента объектива 20, призмы 21, второго компонента объектива 22, сетки 23 и окуляра 24.

Сетка 23 представляет собой плоско-вогнутую линзу и центрируется на станке при помощи специальной оправы.

Юстировка визира начинается с установки призмы 15, 21 и сетки 23. Установка призм 15, 21 и сетки производится при помощи автоколлиматора так, чтобы блики от граней призм и плоской поверхности сетки 23 совпали. После этого устанавливают компоненты объектива 20 и 22, окуляр 24. Окончательную юстировку визира выполняют перед коллиматором: устанавливают воздушный промежуток между компонентами объектива 20, 22, центрируют объектив 20, 22, устанавливают визир на бесконечность без параллакса.

3. Юстировка оптической системы передачи сигнала (передающая система). Вначале устанавливают ферму с зеркально-линзовыми компонентами 10, 11 (рис. 89) * на место в корпусе прямо-передающего блока. При этом необходимо следить за посадкой конусов и шаровых наконечников, а также проверить работу юстировочных устройств фермы.

После этого устанавливают держатель зеркально-линзового компонента 10 параллельно торцу плунжера (рис. 89).

* На рис. 88, 89, 90, 92, 93, 94 — позиции общие.

На держатель компонента 10 (оправу) надевают крышку с перекрестием (вырезано на дне крышки). Зеркально-линзовые компоненты 10, 11 вместе с оправами могут совершать перемещение вдоль оси и наклоны вокруг горизонтальной оси посредством юстировочных устройств.

При установке держателей зеркально-линзовых компонентов 10, 11 необходимо следить за их наклоном.

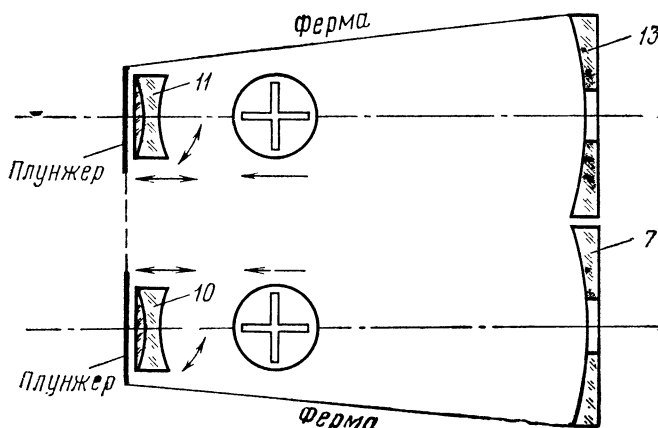


Рис. 89. Схема установки ферм с зеркально-линзовыми компонентами

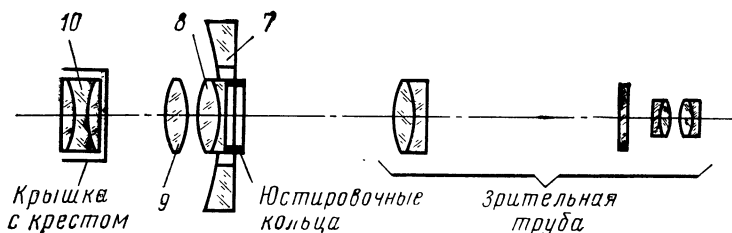


Рис. 90. Схема центрировки зеркально-линзового компонента 10 и установки объектива 8

Вынув из-под объектива 8 (рис. 88) передающей части юстировочные кольца и сняв ячейку Керра 5 и поляриды 4, 6, ввертывают объектив 8 до упора (рис. 90).

После этого навинчивают юстировочную линзу 9, предварительно проверив качество центрировки линзы 9 в своей оправе. Снимают конусное гнездо, в которое вставляют источник света и визир

(рис. 90). Со стороны визира перед прибором устанавливают зрительную трубу с сеткой (в виде перекрестия). При этом может быть использован нивелир НБ-2 на штативе. Нивелир устанавливают на расстоянии приблизительно 5 м от прибора.

Прибор и нивелир устанавливают по уровню. Наблюдая в трубу нивелира, рассматривают изображения креста на крышке, укрепленной на держателе компонента 10. Изображение перекрестия на крышке должно быть приведено на оптическую ось объектива 8.

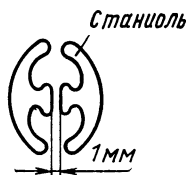


Рис. 91. Форма станиолевых пластинок между плоскопараллельными пластинками

Центрировку осуществляют путем перемещения зеркально-линзового компонента 10.

После этого в прибор устанавливают поляроиды и конусное гнездо с визиром.

Наблюдая в трубу нивелира, устанавливают конусное гнездо, оправы поляроидов относительно оптической оси объектива 8 так, чтобы изображение перекрестия на крышке зеркально-линзового компонента 10 совпадало с перекрестием сетки визира 38 (рис. 88) и с перекрестием сетки нивелира.

Изображения оправы объектива 8, оправ поляроидов наружного и внутреннего диаметров конуса должны быть концентричны.

Исправление ведут путем изменения толщины прокладок и вертикального перемещения стойки конусного гнезда, а также в меньшей степени за счет наклона конусного гнезда. Установку ячейки Керра производят следующим образом.

Вместо ячейки Керра устанавливают две склеенные плоско-параллельные пластинки, между которыми помещены станиолевые пластинки с промежутками в 1 мм (рис. 91).

Размеры склеенных плоско-параллельных пластинок должны соответствовать размерам ячейки Керра.

Установка их заключается в том, чтобы зазор между станиолевыми пластинками (1 мм) был бы симметричен относительно перекрестия сетки визира без параллакса.

После этого вместо плоско-параллельных пластинок устанавливают ячейку Керра.

Ячейка Керра должна быть установлена точно по центру сетки визира.

Для установки оптической системы объектива 8 (рис. 88) передающей части светодальномера снимают форму с зеркально-линзовым компонентом 10. Перед прибором устанавливают коллиматор. После этого, перемещая объектив 8 вдоль его оптической оси, добиваются установки оптической системы объектива 8 на бесконечность. Затем устанавливают ферму с зеркально-линзовым компонентом 10, юстировочную линзу 9, производят проверку центрировки оптической системы передающей части светодальномера. Наибольшее смещение перекрестия на крышке линзового компонента 10 относительно сетки визира исправляют путем подвижки сетки визира.

4. Юстировка оптической системы приема сигнала (приемная система). Установив ферму с зеркально-линзовыми компонентами 10, 11 на место в корпусе приемопередающего блока, устанавливают держатель зеркально-линзового

компонента 11 параллельно торцу плунжера (рис. 89). На держатель компонента 11 (оправу) надевают крышку с перекрестием (вырезано на дне крышки). Вынув из-под объектива 12 (рис. 88) приемной части юстировочные кольца, ввинчивают объектив 12 до упора.

Закрепляют на месте раздвижную диафрагму перед призмой 15 (рис. 92). Фокусируют компонент объектива 20 на срез раздвижной диафрагмы так, чтобы изображение среза диафрагмы находилось на сетке 23. Объектив 12 (рис. 88) устанавливается при помощи автоколлиматора и микроскопа с увеличением $10\times$.

Коллиматор устанавливают перед объективом 12 (рис. 93). Микроскоп устанавливают за раздвижной диафрагмой. Микроскоп фокусируют на диафрагму. После этого, наблюдая в микроскоп, перемещают объектив 12 до положения, при котором будет резко видна сетка коллиматора. Таким образом, раздвижная диафрагма будет в фокусе объектива 12.

Параллельность оптических осей передающей и приемной систем светодальномера достигается следующим образом (рис. 94).

На расстоянии 25—50 м от прибора устанавливают экран, на котором наносят перекрестия (толщина штрихов 1,5—2 мм). Расстояние между перекрестиями должно быть равным $305 \pm 0,1$ мм. При этом вместо перекрестий на экране могут быть отверстия (диафрагмы диаметром порядка 0,2—0,3 мм), освещенные за экраном. По перекрестиям на экране устанавливают параллельность оптических осей передающей и приемной систем светодальномера. Сняв ферму, сначала совмещают перекрестие визира передающей части с левым перекрестием на экране (светящейся точкой). Затем подвижное плато раздвижной диафрагмы перемещают так, чтобы отверстие диафрагмы (самое малое) совпало с правым перекрестием на экране (светящейся точкой).

В этом положении плато закрепляют. После этого наблюдают в микроскоп с увеличением $10\times$, сфокусированный на раздвижную диафрагму. При этом центр отверстия раздвижной диафрагмы должен совпадать с осью светопровода.

Для установки визира приемной части прежде всего необходимо совместить изображение центра раздвижной диафрагмы с перекрестием сетки визира 23 (см. рис. 92). Это осуществляется путем поворота призмы 21. Небольшое смещение исправляют подвижной сеткой 23.

В случае расфокусировки изображения раздвижной диафрагмы исправление вносят путем перемещения компонента объектива 20 вдоль его оптической оси.

После этого следует проверка параллельности по перекрестиям на экране оптических осей передающей и приемной систем.

Для юстировки больших зеркал 7,13 (см. рис. 89) зеркала приемной и передающей оптических систем должны быть отцентрированы, т. е. центры сфер зеркал должны находиться на главных оптических осях систем.

В заводских условиях юстировку больших зеркал выполняют по экрану (с светящимися точками), расположенному от прибора на расстоянии 25 м. Расстояние между светящимися точками на экране должно быть равным 305 мм.

Сначала устанавливают зеркально-линзовые компоненты 10, 11 (см. рис. 89). Установку зеркально-линзовых компонентов 10, 11 выполняют при помощи микроскопа с увеличением $10\times$, укрепленным

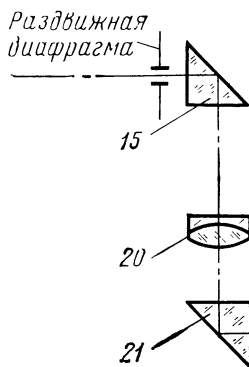


Рис. 92. Оптическая схема визира приемной системы

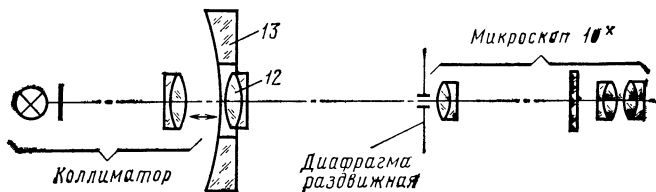


Рис. 93. Установка объектива 12 приемной системы

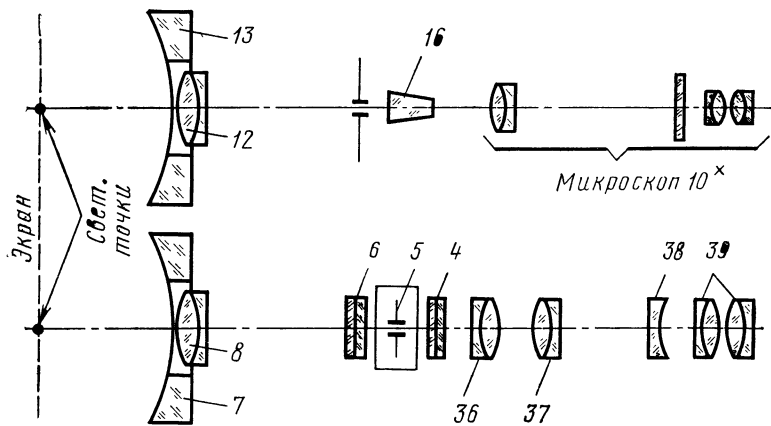


Рис. 94. Схема установки параллельности оптических осей передающей и приемной систем

на штативе. При установленной юстировочной линзе 9 фокусируют микроскоп через объектив 8 (см. рис. 88) на зеркально-линзовый компонент 10 (при снятой крышке с перекрестием).

Действиями юстировочного устройства зеркально-линзового компонента 10 (см. рис. 89) добиваются, чтобы изображение фермы было центрично оправе компонента 10. Аналогично юстируют зеркально-линзовый компонент 11 приемной системы.

После этого прибор направляют на экран со светящимися точками. Снимают юстировочные линзы 9.

При предварительной наводке прибора перед светящимися точками экрана последовательно помещают фонарик. При помощи юстировочных винтов изменяют положение больших зеркал 7, 13 до тех пор, пока в центре поля зрения микроскопа не будет изображения фонарика. После этого большие зеркала юстируют по светящимся точкам на экране так, чтобы изображения точек совпали с перекрестием микроскопа.

Сняв ферму, проверяют, не сместились ли изображения светящихся точек с визирных осей передающей и приемной систем.

Окончательно большие зеркала 7, 13 юстируют в полевых условиях с визирами прибора по удаленной точке (например, по лампочке отражателя), расположенной в 5—6 км от прибора, так как юстировка по экрану, расположенному в 25 м от прибора, является недостаточно точной.

Юстировку оптической системы калибровочной линзы начинают с установки призм 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, (рис. 88) при помощи автоколлиматора. При этом блики от входных и выходных граней этих призм должны совпадать. Кроме этого, производится контроль при перемещении трипельпризм. Юстировка заканчивается в том случае, когда при перемещении трипельпризм не произойдет отклонения бликов от их граней. После этого устанавливают объектив 26 так, чтобы в его фокусе находились электроды конденсатора Керра. В этом случае из объектива 26 выходит параллельный пучок света, который направляется в оптическую систему калибровочной линии. При этом контроль осуществляется при помощи зрительной трубы, установленной на бесконечность.

Дальнейший процесс юстировки заключается в установке призмы 35 и объектива 14 так, чтобы направить из призмы 32 пучок света через призму 35 в объектив 14, который строит изображение электродов конденсатора Керра в плоскости раздвижной диафрагмы.

После раздвижной диафрагмы пучок света может быть направлен посредством подвижной призмы 15 в визир приемной системы или на светопровод 16.

Установка призмы 35 и объектива 14 осуществляется при помощи микроскопа с увеличением 10^х так, чтобы изображение электродов конденсатора Керра было бы в плоскости раздвижной диафрагмы перед призмой 15.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗРИТЕЛЬНЫХ ТРУБ

47. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗРИТЕЛЬНЫХ ТРУБ НА АБЕРРАЦИИ

Исследования оптических систем зрительных труб на аберрации проводят в целях контроля качества реальной системы по сравнению с расчетными данными, что является особенно важным при создании новых конструкций зрительных труб. При этом определяют качество изготовления оптических деталей, сборки и юстировки зрительной трубы.

Точность измерения углов на пунктах триангуляции при помощи высокоточных теодолитов во многом зависит от качества зрительных труб.

Качество зрительной трубы определяется: диаметром входного и выходного зрачков оптической системы, разрешающей силой объектива, устранением аберраций, а также качеством центрировки оптической системы зрительной трубы. Ошибки измерений, зависящие от зрительной трубы, в основном определяются точностью визирования. Однако при этом точность наведения биссектора сетки нитей на сигнал зависит от увеличения трубы, от разрешающей силы трубы и глаза наблюдателя. Вопросы, связанные с разрешающей силой труб, а также с точностью визирования достаточно широко освещены в литературе. При этом необходимо отметить, что эти вопросы еще нельзя считать полностью изученными.

Важнейшими факторами, определяющими недостатки оптических систем, являются ошибки, которые возникают в результате недостаточно совершенной обработки поверхностей оптических деталей и неоднородности стекла, а также аберраций происходящих от сферической формы поверхностей и от монохроматичности света — сферической и хроматической аберраций.

Исследования оптических систем зрительных труб на разрешающую силу по мере и определение качества центрировки систем объектива трубы по освещенной точке в фокусе коллиматора не дают полного представления об оптических качествах реальной системы. Поэтому при выпуске высокоточных теодолитов с новыми конструкциями зрительных труб необходимо провести исследования на аберрации их оптических систем.

Способы для исследования оптических систем на аберрации можно разделить на две группы: к первой относятся способы, в основу которых положены законы геометрической оптики, вторые основаны на волновой природе света. При исследовании оптической системы способами первой группы следят за изменением положения точки изображения, а при исследовании способами второй группы — за

отступлением действительной волновой поверхности от сферической, образованной идеальной системой. Определение и качественная оценка aberrаций способами, основанными на законах геометрической оптики менее трудосмки и не требуют сложной аппаратуры, вполне обеспечивая достаточную точность.

Автором были проведены исследования оптических систем зрительных труб на aberrации следующих высокоточных теодолитов: Т-3 Вильда, ТВО-1 и ТТ 2/6.

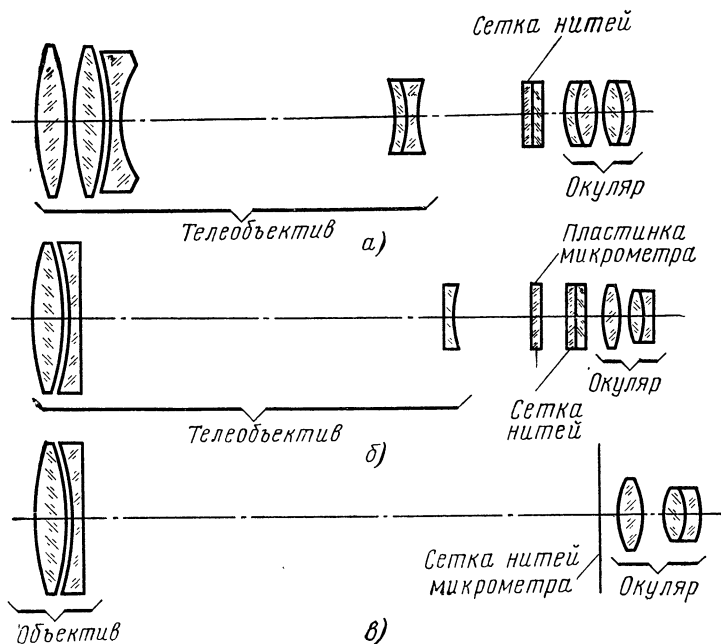


Рис. 95. Схемы оптических систем зрительных труб:

а — оптическая схема зрительной трубы теодолита Вильда; б — оптическая схема зрительной трубы теодолита ТВО-1; в — оптическая схема зрительной трубы теодолита ТТ2/6

Схемы оптических систем зрительных труб представлены на рис. 95.

Исследования проводились по методу ГОИ, который представляет собой усовершенствованный визуальный метод Гартмана, основанный на исследовании явления интерференции от дифракционного света, образуемого узкой щелью. При этом интерференция имеет вспомогательное значение и служит для более точного определения места положения фокуса испытуемого объектива. В отличие от метода Вейцеля (применения двух отверстий) по методу ГОИ применяют диафрагму с двумя парами отверстий, расположенными симметрично относительно центра объектива коллиматора. Определение

аббераций оптической системы телеобъектива зрительной трубы теодолита Т-3 Вильда производили на оптической скамье Гартмана (МИИГАиК), а исследования оптических систем объективов зрительных труб теодолитов ТВО-1 и ТТ 2/6 — на оптической скамье ОСК-2. Так как оптическая скамья ОСК-2 по своей конструкции допускает возможность исследовать телеобъективы только по оси системы коллиматора, то исследования телеобъектива в наклонных пучках не проводили.

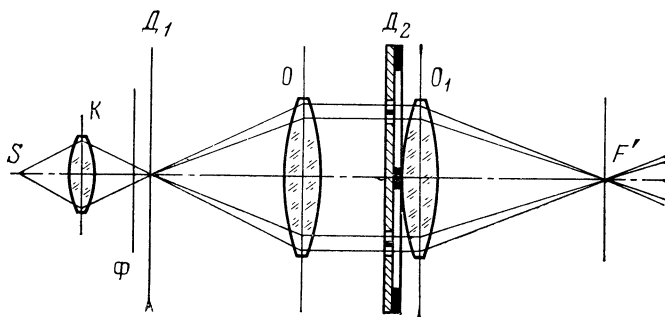


Рис. 96. Схема установки объектива на оптической скамье

Исследование объективов и телеобъективов зрительных труб на оптических скамьях может быть осуществлено прямым и обратным путем, т.е. при помощи микроскопа на каретке, перемещающейся от микрометрического винта, и соответствующих отсчетов и при помощи перемещений окулярной части коллиматора скамьи и отсчетов по нониусу.

При прямом методе получают непосредственно значения aberrаций объектива, при обратном же методе испытания ведут как бы для объектива коллиматора с последующими переходами к испытываемому объективу путем пересчета по формуле

$$\delta S'_h = A_0 \left(\frac{f'_h}{F'} \right)^2, \quad (113)$$

где $\delta S'_h$ — коэффициент aberrаций; A_0 — отсчет по нониусу коллиматора.

Схема установки объективов зрительных труб представлена на рис. 96.

В фокусе испытываемого объектива О устанавливают щелевую диафрагму D_1 с раздвижной щелью. Освещают пучком лучей от источника света S (точечная лампа) через конденсор К. Между конденсором и щелевой диафрагмой помещают соответствующий фильтр Ф.

Перед объективом коллиматора укрепляют зональную диафрагму D_2 . Конструкция этой диафрагмы проста и удобна в работе. На корпусе диафрагмы имеется щель шириной 2,5 мм и укреплен индекс (рис. 97). С корпусом диафрагмы скреплен диск, на котором про-

сверлены отверстия диаметром 1 мм с расстоянием между ними 2,5 мм. Пары отверстий расположены по спиралям Архимеда.

На диске также нанесены точки с цифрами, означающими номера зон. Вращая диск, можно открыть две пары отверстий любой зоны.

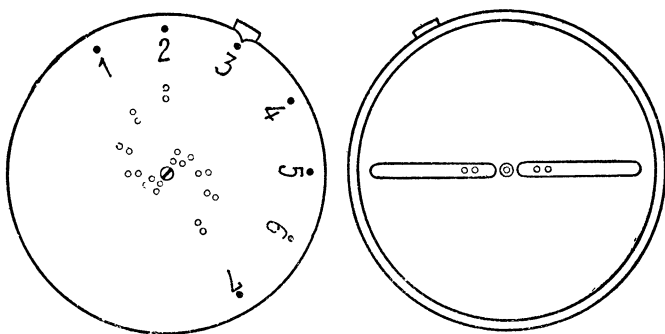


Рис. 97. Зональная диафрагма

Дифракционные лучи света от узкой щели диафрагмы D_1 , пройдя через испытуемый объектив O и две пары отверстий в зональной диафрагме, интерферируют в фокальной плоскости коллиматора оптической скамьи. Рассматривая изображение щели, наблюдают картину интерференционных полос, получаемую от двух пар отверстий соответствующей зоны диафрагмы D_2 . При этом в поле зрения коллиматора оптической скамьи имеем две яркие полосы и несколько менее ярких, расположенных симметрично относительно первых (рис. 98).

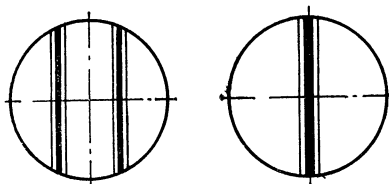


Рис. 98. Поле зрения коллиматора

При перемещении окулярной части коллиматора оптической скамьи интерференционные полосы от обеих пар отверстий сближаются и в фокусе объектива коллиматора F' накладываются друг на друга.

При установке испытуемой системы объектива зрительной трубы необходимо выполнить следующие условия.

1. Щель диафрагмы должна находиться на оптической оси коллиматора скамьи.

2. Оптическая ось испытуемого объектива или телеобъектива должна быть параллельна оптической оси коллиматора или совпадать с ней.

3. Передняя узловая точка испытуемого объектива должна находиться над осью вращения коллиматора, если испытание производится на скамье Гартмана, или над осью вращения основания ка-

ретки несущей микроскоп, если испытание производится на скамье Аскания. На скамье ОСК-2 это не имеет значения, так как в этом случае можно определять aberrации телеобъектива только по оси системы.

4. Щель диафрагмы должна находиться в фокусе испытуемого объектива.

Процесс измерения aberrаций обратным методом сводится к следующему:

а) в зональной диафрагме открывают две пары отверстий соответствующей зоны;

б) наблюдая в коллиматор скамьи и действуя кремальерой окулярной части коллиматора, совмещают интерференционные полосы;

в) после совмещения интерференционных полос делают отсчет по нониусу коллиматора скамьи.

Измерения выполняли по семи зонам через 4 мм, так как свободные отверстия испытуемых объективов зрительных труб порядка 60 мм.

На каждой зоне выполняли пять наведений. В таблицах A_0 является средним из пяти отсчетов по нониусу коллиматора. Для определения хроматической aberrации измерения проводили с различными фильтрами (желтыми, красными и синими). Астигматизм на оси измеряют желтым фильтром, причем когда щель вертикальна, то отверстия зональной диафрагмы горизонтальны, и наоборот, т.е. щель устанавливают в горизонтальное положение, а зональную диафрагму поворачивают на 90° в плоскости, перпендикулярной оси коллиматора. Для сравнения приведены табл. 5, 6 и 7 и графики aberrаций оптических систем объективов зрительных труб высокоточных теодолитов (рис. 99, 100, 101).

Анализируя результаты исследований оптических систем телеобъективов и объектива зрительных труб, можно сделать следующие выводы.

Т а б л и ц а 5

**Определение aberrаций телеобъектива зрительной трубы
теодолита Т-3 Вильда**

Зона в мм	Светофильтр желтый $\lambda = 586 \text{ нм}$		Светофильтр красный $\lambda = 640 \text{ нм}$		Светофильтр синий $\lambda = 494 \text{ нм}$	
	A_0	$\delta S'_H$	A_0	$\delta S'_H$	A_0	$\delta S'_H$
2	327,6	8,48	331,1	9,00	329,5	8,77
6	328,9	8,68	331,9	9,12	330,1	8,85
10	328,1	8,56	330,4	8,90	330,4	8,90
14	327,8	8,51	332,1	9,15	330,6	8,93
18	328,2	8,57	330,6	8,93	330,4	8,90
22	328,7	8,65	331,2	9,02	331,7	9,09
26	329,7	8,79	330,2	8,87	333,0	9,28

A_0 — средний из пяти отсчетов по нониусу коллиматора скамьи.

Таблица 6

**Определение aberrаций телеобъектива зрительной трубы
теодолита ТВО-1**

Зона в мм	Светофильтр желтый $\lambda = 560$ нм		Светофильтр красный $\lambda = 650$ нм		Светофильтр синий $\lambda = 420$ нм	
	A_0	$\delta S'_h$	A_0	$\delta S'_h$	o	$\delta S'_h$
4	11,0	1,10	10,9	1,09	11,7	1,17
8	11,5	1,15	11,2	1,12	11,2	1,12
12	11,4	1,14	12,4	1,24	10,9	1,09
16	11,5	1,15	12,7	1,27	11,0	1,10
20	11,5	1,15	13,0	1,30	11,6	1,16
24	11,8	1,18	13,6	1,36	12,1	1,21
28	12,0	1,20	13,4	1,34	12,8	1,28

$f' - \text{фокусное расстояние объектива} - 503,90 \left(\frac{f'}{F'} \right)^2 = 0,10$
 $F' - \text{фокусное расстояние объектива коллиматора ОСК-2} - 1596,22$

Таблица 7

**Определение aberrаций объектива зрительной трубы
теодолита ТТ 2/6**

Зона в мм	Светофильтр желтый $\lambda = 560$ нм		Светофильтр красный $\lambda = 650$ нм		Светофильтр синий $\lambda = 420$ нм	
	A_0	$\delta S'_h$	A_0	$\delta S'_h$	A_0	$\delta S'_h$
4	10,1	1,11	10,8	1,19	11,1	1,22
8	9,9	1,09	10,4	1,14	10,8	1,19
12	9,8	1,08	10,8	1,19	10,7	1,18
16	10,0	1,10	11,6	1,28	11,7	1,29
20	10,8	1,19	11,6	1,28	12,2	1,34
24	11,1	1,22	12,1	1,33	12,2	1,34
28	11,1	1,22	11,9	1,31	11,9	1,31

1. Телеобъектив зрительной трубы теодолита Т-3 Вильда имеет хроматическую aberrацию, несколько выходящую за пределы допустимой, сферическую в пределах допуска:

$$\left(\frac{f'}{F'} \right)^2 = \frac{524 \cdot 50}{(1596 \cdot 22)} = 0,11.$$

При рассмотрении мира, установленной в фокусе коллиматора, через эту трубу обнаруживается фиолетовый фон.

2. Телеобъектив зрительной трубы теодолита ТВО-1 имеет сферическую и хроматическую aberrации в пределах допуска. Однако при рассматривании мира наблюдается красноватый фон.

3. Объектив зрительной трубы теодолита ТТ 2/6 имеет высокое качество изображения — сферическая и хроматическая aberrации в пределах допуска. При рассматривании мира коллиматора через эту трубу не наблюдается каких-либо цветных фонов.

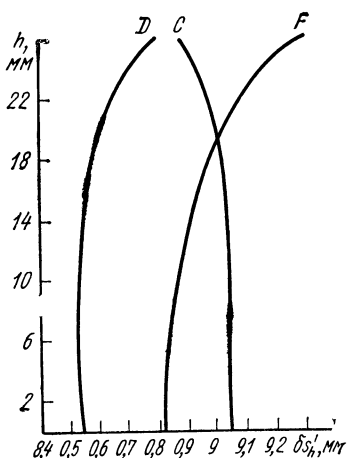


Рис. 99. График сферической aberrации телеобъектива зрительной трубы Вильда

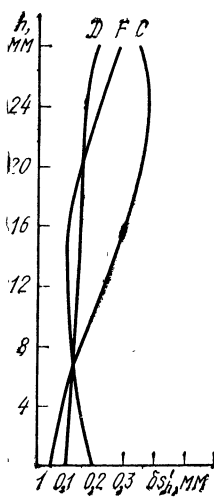


Рис. 100. График сферической aberrации телеобъектива зрительной трубы теодолита ТВО-1

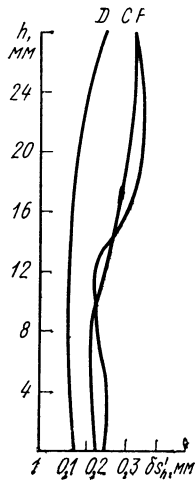


Рис. 101. График сферической aberrации объектива зрительной трубы теодолита ТТ 2/6

4. До последнего времени зрительные трубы с внутренней фокусировкой несколько уступали по качеству изображения в сравнении с трубами с внешней фокусировкой.

Это подтверждается и проведенными исследованиями.

Однако в последние годы в ГОИ разработана конструкция новой зрительной трубы с внутренней фокусировкой к высокоточному теодолиту Т-05 с высоким качеством изображения. Внедрение новой конструкции зрительной трубы с внутренней фокусировкой является важным фактором в развитии оптического приборостроения вообще и геодезического в частности, так как трубы с внутренней фокусировкой по всем другим параметрам (герметичность, меньшие габаритные размеры и т. д.) имеют преимущества в сравнении с трубами с внешней фокусировкой.

48. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАВИЛЬНОСТИ ХОДА ОПРАВЫ ФОКУСИРУЮЩЕЙ ЛИНЗЫ В ТРУБАХ С ВНУТРЕННЕЙ ФОКУСИРОВКОЙ

Проблема измерения смещения визирной оси в трубе с внутренней фокусировкой при перемещении оправы фокусирующей линзы до сих пор не решена.

Ряд организаций, а также отдельные специалисты работают над этой проблемой на протяжении 25—30 лет. Смещение визирной оси в трубах с внутренней фокусировкой при перемещении оправы фокусирующей линзы вносит погрешность в измерения, например, при производстве геодезических работ. В процессе нивелирования при передаче высоты через значительные препятствия или при нивелировании по большим железнодорожным мостам приходится допускать значительную разницу в расстояниях до рейки. В этих случаях неправильность хода фокусирующей линзы может внести погрешность в определении превышений. По этой причине для каждого высокоточного нивелира должно быть произведено исследование правильности хода фокусирующей линзы.

При привязке к опорным пунктам в триангуляции также встречаются условия, когда расстояния до пункта триангуляции и до опорного пункта различны. В этом случае также неправильность хода фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02 может внести погрешность в измерение угла.

В настоящее время все еще используется способ, применяемый в геодезических предприятиях, имеющий ряд недостатков (см. книгу И. И. Энтина и В. И. Синягиной «Высокоточный нивелир НВ», Геодезиздат, 1953). Исследования этим способом выполняются следующим образом: выбирают точку *C*, на которой радиусом 50 м описывают часть окружности (рис. 102).

На окружности отмечают точки: *A*, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, причем так, чтобы расстояния от точки *A* до точек 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, считаемые по хордам, равнялись соответственно 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 м. При выборе этих точек следует обратить внимание на то, чтобы рейка, устанавливаемая на них, была бы приблизительно одинаково и хорошо освещена при наблюдении ее из точек *C* и *A*.

В точках *A*, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 забивают колья с коваными гвоздями в их торцах. Головки гвоздей должны быть обточены по полусфере. Около точек *C* и *A* надо забить толстые колья для ножек штатива нивелира. Исследования следует выполнять в пасмурную погоду и преимущественно утром, чтобы свести к минимуму

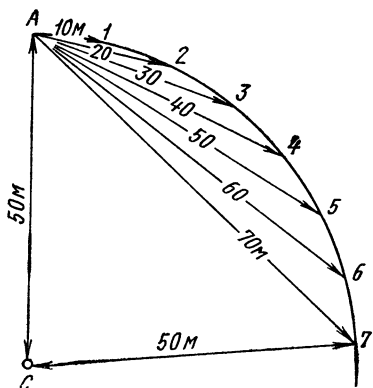


Рис. 102. Схема установки кольев на местности

искажения результатов исследования за счет изменений угла i нивелира, происходящих вследствие изменений температуры воздуха.

Исследования выполняют в следующем порядке. Выверенный нивелир помещают в точке C . Приведя ось его вращения в отвесное положение, производят отсчет по рейке, устанавливаемой последовательно в точках $A, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$. После этого выполняют такие же наблюдения при перемещении рейки в обратном направлении. Эти действия составляют один прием. Для уточнения результатов исследования таких приемов выполняют подряд три, изменяя от приема к приему высоту инструмента. Затем нивелир переносят в точку A , приводят его ось в отвесное положение, совмещая каждый раз изображения концов пузырька уровня, производят отсчеты по той же рейке, устанавливаемой последовательно на точках $1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$. Потом выполняют в обратном направлении. Таких приемов делают три, меняя от приема к приему высоту инструмента. Фокусировка трубы будет меняться при каждом переходе рейки на следующую точку. На этом полевая часть работы по исследованию правильности хода фокусирующей линзы трубы нивелира заканчивается. После этого следует обработать наблюдения.

К недостаткам этого способа можно отнести: а) способ может быть применен в полевых условиях; на заводах-изготовителях применение его затруднительно, а иногда и невозможно; б) выполнение исследований этим способом требует определенных условий как атмосферных, так и времени проведения; в) сложность и длительность выполнения полевых работ при исследовании; г) довольно сложная обработка наблюдений.

Сущность способа измерения непрямолинейности линии визирования зрительной трубы с фокусировкой заключается в том, что измеряемая труба последовательно визируется на мнимые изображения марок, расположенных в пространстве на одной прямой, практически на любом расстоянии от измеряемой трубы. Это достигается применением марки 2 (рис. 103) и установленного за ней плоского зеркала 3. Если зеркало перемещать параллельно себе, то изображение центра перекрестия неподвижно стоящей марки будет менять свое положение, но все время оставаться на прямой линии, являющейся перпендикуляром, проведенным из центра перекрестия марки к поверхности зеркала.

В данной установке перед маркой помещен объектив 1, благодаря этому перемещение зеркала от марки до половины фокусного расстояния объектива обеспечивает возможность получения мнимого изображения марки практически на любом расстоянии от объектива измеряемой трубы.

При отсутствии объектива установка занимала бы много места, так как расстояние от марки до зеркала равно половине расстояния от изображения марки до измеряемой трубы и не могло бы обеспечить измерения в случае больших расстояний.

На рис. 103 представлена схема установки, где 1 — объектив; 2 — марка (перекрестие нитей); 3 — плоское зеркало; 4 — автоколлиматор; 5 — проверяемая труба. Для обеспечения возможности перемещения центра изображения марки в пространстве по прямой линии необходимо, чтобы зеркало перемещалось параллельно самому себе. С целью исключения неточности направляющих, зеркало после каждого перемещения выставляют по неподвижному автоколлиматору 4. Проверяемую трубу 5 устанавливают перед объективом

1, последовательно визируют на мнимые изображения марки при различных положениях зеркала 3 и производят отсчеты по оптическому микрометру при совмещении изображения марки с перекрестием сетки трубы. Если проверяемая труба не имеет собственного микрометра, то можно использовать дополнительно оптический микрометр, который устанавливают перед объективом 1.

Точность установки зависит в основном от параллельности перемещения зеркала, которое выставляют по автоколлиматору в каждом отдельном положении.

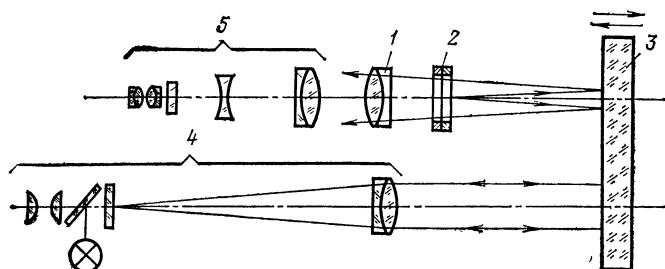


Рис. 103. Схема макета установки

Этот способ имеет следующие недостатки:

а) так как установка стационарная, то можно исследовать только отдельные трубы без инструмента;

б) на установке можно определить колебание визирной оси только в одном направлении (например, по вертикали);

в) операция измерения занимает много времени, так как каждый раз при перемещении зеркала его нужно точно выставлять по автоколлиматору;

г) при отсутствии оптического микрометра в проверяемой трубе установка отдельного оптического микрометра затруднительна и, кроме того, она может внести дополнительную погрешность в измерения;

д) погрешность измерения на этой установке также зависит от конструкции визирной марки и параметров измеряемой трубы.

Автором были проведены исследования колебаний фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02 при помощи прибора «Фюрунгш-прюфер» Цейсса, оптическая схема которого показана на рис. 104.

Перед этим прибором устанавливали теодолит ОТ-02 так, чтобы ось трубы теодолита была перпендикулярна оси прибора и объектив трубы теодолита был обращен к объективной части прибора.

Со стороны окуляра трубы теодолита укрепляли лампочку, освещающую сетку нитей трубы. После этого производили измерения.

При каждом обороте резьбой втулки оправы фокусирующей линзы теодолита определяли отклонения изображения сетки нитей как по вертикали, так и по горизонтали. Отсчеты выполняли по микрометрам прибора.

В процессе исследования не удалось произвести измерения колебаний фокусирующей линзы теодолита на всей длине ее хода, так

как диапазон работы этого прибора составляет 0,5—30 м, а труба теодолита ОТ-02 позволяет вести наблюдения от 5 до ∞.

Указанные выше способы исследования правильности хода фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой могут в той или другой степени точности ответить на вопрос — правильный или неправильный ход фокусирующей линзы?

Таким образом, проблема устранения этой погрешности или значительного уменьшения ее остается нерешенной. Так как фокусирующая линза укрепляется жестко в своей оправе, то источником погрешности является оправа.

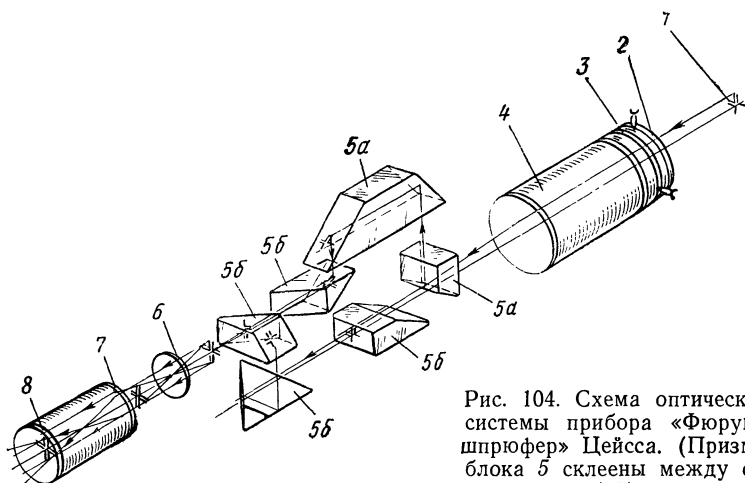


Рис. 104. Схема оптической системы прибора «Фюрунгшпрюфер» Цейсса. (Призмы блока 5 склеены между собой):

1 — марка; 2 — пластинка горизонтальных смещений; 3 — пластинка вертикальных смещений; 4 — объектив; 5a — призмы прямого изображения; 5б — призмы обратного изображения; 6 — отрицательная линза; 7 — объектив микроскопа; 8 — окуляр микроскопа

В результате исследований проблемы измерения колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе с внутренней фокусировкой автор разработал способ непосредственного измерения колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе с внутренней фокусировкой, заключающийся в следующем.

Готовую трубу или прибор устанавливают перед триангуляционным теодолитом ТТ 2/6, у которого в главной трубе вместо геодезического микрометра закрепляется автоколлимационный окуляр.

С испытуемой трубы снимают окуляр с сеткой нитей, вынимают оправу с фокусирующей линзой. Фокусирующую линзу вынимают из своей оправы, а вместо нее укрепляют плоско-параллельную пластинку, соответствующую по размерам и допускам на диаметр фокусирующей линзы (рис. 105).

Одна поверхность плоско-параллельной пластинки должна быть посеребрена или алюминирована. При установке пластинки поверхность, покрытая серебром или алюминием, должна быть обращена

к окуляру трубы. Труба или прибор устанавливается перед теодолитом ТТ 2/6 так, чтобы оси испытуемой трубы и главной трубы теодолита ТТ 2/6 были на одном уровне. Кроме того, испытуемая труба должна быть обращена к объективу трубы теодолита ТТ 2/6 окулярной частью. Главная труба теодолита ТТ 2/6 с автоколлимационным окуляром системы Гаусса представляет собой мощный автоколлиматор.

Оправу фокусирующей линзы с плоско-параллельной пластинкой устанавливают в одно из крайних положений и начинают измерения.

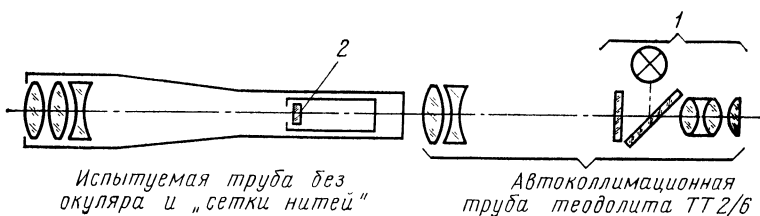


Рис. 105. Схема установки испытуемой трубы перед автоколлимационной трубой высокоточного теодолита:

1 — автоколлимационный окуляр; 2 — плоскопараллельная пластинка.

Предварительно наносят метки на корпусе трубы и на резьбовой трубке узла для фокусирующей линзы для отсчета оборотов резьбовой трубки.

Наблюдая в трубу теодолита ТТ 2/6 (автоколлиматор), добиваются совмещения автоколлимационного изображения сетки автоколлиматора от плоскопараллельной пластинки, помещенной в испытуемой трубе с сеткой автоколлиматора. После этого поворачивают резьбовую трубку на один оборот (или пол оборота) и наблюдают в автоколлиматор. Смещение автоколлимационного изображения сетки автоколлиматора измеряют посредством микроскопов по горизонтальному лимбу и вертикальному сектору теодолита ТТ 2/6.

Таким образом, можно измерять колебания оправы фокусирующей линзы как по вертикали, так и по горизонтали на всей длине хода оправы. При этом измерения ведут в прямом и обратном ходе. Очевидно, что в производстве геодезических, а также и других оптических приборов применение данного способа может осуществляться при изготовлении корпуса трубы и узла фокусирующей линзы в механических цехах для контроля хода оправы фокусирующей линзы в корпусе трубы. Таким образом, на сборку будут поступать комплекты трубы и узла фокусирующей линзы высокого качества, что безусловно обеспечит значительное повышение надежности работы этого узла в трубе теодолита.

Контроль правильности оправы фокусирующей линзы в корпусе трубы осуществляют аналогично, как и при исследовании готовой трубы. По данным измерений можно построить графики горизонтальных и вертикальных колебаний оправы фокусирующей линзы. По оси x откладывают перемещения оправы фокусирующей линзы (в оборотах или полуоборотах резьбовой трубки), а по оси y — колеба-

ния оправы в секундах. Применением этого способа сравнительно просто решается проблема уничтожения или значительного уменьшения погрешности в трубах с внутренней фокусировкой, вызываемой колебанием оправы фокусирующей линзы при ее перемещении в корпусе трубы. Этот способ позволяет использовать средства измерения (теодолит ТТ 2/6 с автоколлимационным окуляром), которые имеются в любых геодезических предприятиях, а также на

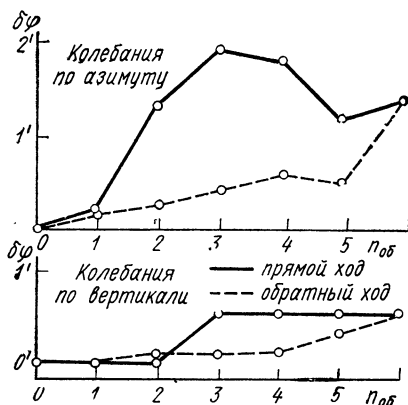


Рис. 106. График колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02, выпуска 1966 г.

заводе-изготовителе высокоточных геодезических инструментов. Кроме этого, данным способом можно производить исследования и контроль колебаний окулярного колена в трубах с внешней фокусировкой; только в этом случае плоскопараллельную пластинку с зеркальной поверхностью помещают вместо окуляра испытуемой трубы.

В настоящее время в паспортах на геодезические инструменты не указываются данные о правильности хода фокусирующей линзы, так как в заводских условиях нет средств измерения. Внедрение данного способа дает возможность контроля узла фокусирующей линзы, а также позволяет вносить данные и графики в паспорта приборов. Кроме этого, периодическая проверка геодезических инструментов на предприятиях с применением данного способа приведет к снижению брака в топографо-геодезическом производстве.

Автором были произведены исследования колебаний оправ фокусирующих линз ряда теодолитов ОТ-02.

Данные исследования представлены в табл. 8, 9, 10, 11, 12 и на графиках (рис. 106, 107, 108, 109, 110).

Закключение. В результате исследований колебаний оправы фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой можно наметить ряд мероприятий, выполнение которых во многом разрешит проблему уничтожения или значительного уменьшения погрешности,

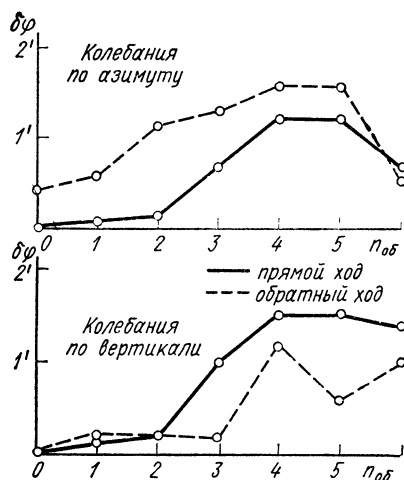


Рис. 107. График колесаний оправы фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02 № 483, выпуска 1966 г.

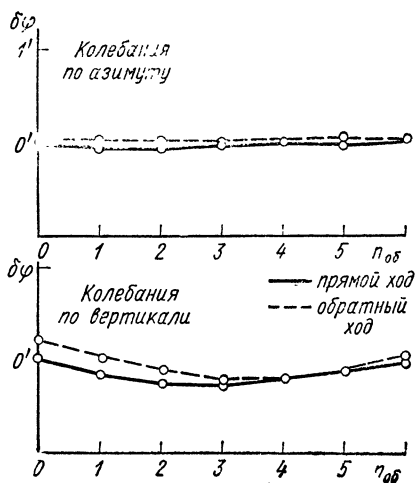


Рис. 108. График колесаний оправы фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02 № 11984, выпуска 1964 г.

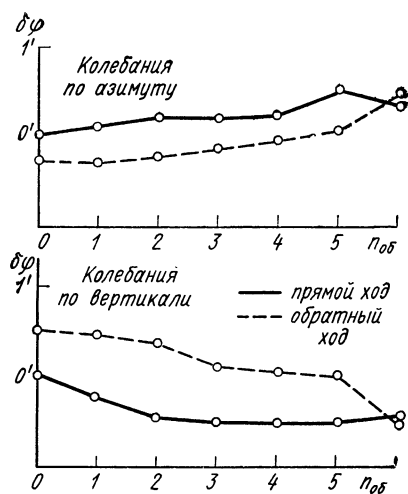


Рис. 109. График колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02 № 10608, выпуска 1963 г.

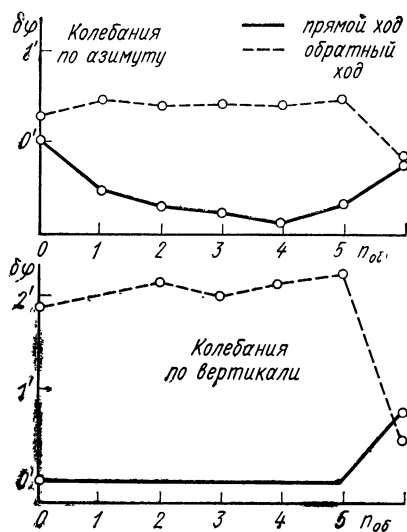


Рис. 110. График колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе теодолита ОТ-02 № 218, выпуска 1965 г.

Таблица 8

Теодолит ОТ-02 (1966 г.) 20.07.67 г.

Колебания по азимуту			Колебания по вертикали		
n _{об}	δφ в угловых секундах		n _{об}	δφ в угловых секундах	
	Прямой ход	Обратный ход		Прямой ход	Обратный ход
0	0	0	0	0	0
1	13	11	1	0	0
2	83	15	2	0	6
3	116	25,3	3	33	6
4	107	36	4	33	9
5	71	28	5	33	21
6	83	83	6	33	33

Примечания (к табл. 8—12):

где δφ — колебания оправы фокусирующей линзы, выраженные в секундах;

n_{об} — перемещение оправы фокусирующей линзы, выраженное в оборотах резьбовой трубки.

Таблица 9

Теодолит ОТ-02 № 483 (1966 г.) 17. 01. 68 г.

Колебания по азимуту			Колебания по вертикали		
n _{об}	δφ в угловых секундах		n _{об}	δφ в угловых секундах	
	Прямой ход	Обратный ход		Прямой ход	Обратный ход
0	0	25	0	0	0
1	4	34	1	9	13
2	7,2	66	2	12	12
3	40,5	77,5	3	60	10
4	72,5	94	4	90	69
5	72	93	5	90	33
6	40,5	33	6	83	60

вызываемой колебанием фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой. Такими мероприятиями могут быть следующие:

1) необходим контроль узла фокусирующей линзы при изготовлении на заводе с занесением в паспорт прибора цифровых данных и графиков колебаний оправы фокусирующей линзы;

2) на основании массового контроля могут быть установлены оптимальные допуски на колебания оправы фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой различных приборов;

3) в геодезических предприятиях надо организовать систематический контроль работы узла фокусирующей линзы в трубах с

Таблица 10

Теодолит ОТ-02 № 11984 (1964 г.) 17. 01. 68 г.

Колебания по азимуту			Колебания по вертикали		
n _{об}	δφ в угловых секундах		n _{об}	δφ в угловых секундах	
	Прямой ход	Обратный ход		Прямой ход	Обратный ход
0	0	2	0	0	+12
1	-1,3	1,8	1	-9	+3
2	-2,2	1,2	2	-15	-6
3	0	1	3	-15	-15
4	+1,3	2,6	4	-12	-12
5	+1	3,2	5	-6	-6
6	+2,6	2,6	6	0	+3

Таблица 11

Теодолит ОТ-02 № 10608 (1963 г.) 17. 01. 68 г.

Колебания по азимуту			Колебания по вертикали		
n _{об}	δφ в угловых секундах		n _{об}	δφ в угловых секундах	
	Прямой ход	Обратный ход		Прямой ход	Обратный ход
0	0	-16	0	0	+30
1	6	-17	1	-15	+27
2	12	-13	2	-22	+21
3	12	-9	3	-30	+6
4	29	+4,2	4	-30	+3
5	29	+4,2	5	-30	0
6	20	+27	6	-27	-30

внутренней фокусировкой геодезических инструментов после полевых работ и тем самым предотвратить брак в топографо-геодезическом производстве;

4) дальнейшие исследования данным способом могут представить материал, на основе которого могут возникнуть как конструкторские, так и технологические решения по улучшению узла фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой.

Исследования колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе с внутренней фокусировкой показали, что при перемещении оправы с фокусирующей линзой в корпусе трубы имеет место как смещение оси фокусирующей линзы параллельно оси трубы, так и наклон оси фокусирующей линзы. При этом установлено, что наклон оси фокусирующей линзы оказывает значительное влияние на смещение

Теодолит ОТ-02 № 218 (1965 г.) 17. 01. 68 г.

Колебания по азимуту			Колебания по вертикали		
№об	δφ в угловых секундах		№об	δφ в угловых секундах	
	Прямой ход	Обратный ход		Прямой ход	Обратный ход
0	0	+17	0	0	111
1	—33	+26	1	0	120
2	—41	+23	2	0	129
3	—46	+25	3	0	120
4	—53	+24,3	4	0	129
5	—40,5	+29	5	0	135
6	—13	—12	6	45	27

визирной оси трубы. Так как колебания оправы фокусирующей линзы происходят как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях, то и наклон оси фокусирующей линзы может иметь различные значения с каждым оборотом резьбовой трубки узла фокусирующей линзы. Рассмотрим зависимость между углами наклона пластинки в горизонтальной и вертикальной плоскостях при перемещении оправы в корпусе трубы (рис. 111).

Если плоскость зеркала, помещенного в оправе фокусирующей линзы перпендикулярна оптической оси автоколлимационной трубы теодолита ТТ 2/5, то автоколлимационное изображение сетки находится на перекрестии сетки автоколлимационного окуляра. При наклоне зеркала в вертикальной и горизонтальной плоскостях автоколлимационное изображение сетки будет смещено относительно перекрестия автоколлимационного окуляра.

Пусть (рис. 111) O — точка пересечения оси автоколлиматора HOH' с плоскостью зеркала, укрепленного в оправе фокусирующей линзы. Опишем из этой точки вспомогательную сферу. Пусть большой круг $NPN'P'$ этой сферы располагается перпендикулярно оси HOH' , а плоскость зеркала пересекается с поверхностью сферы по большому кругу $N_1GN_1'G'$.

Линия KO — линия пересечения плоскостей больших кругов. Пусть при этом положении плоскость зеркала в оправе фокусирующей линзы составляет угол θ с горизонтальной плоскостью $HPN'P'$.

Проведем через точку O линию, параллельную визирной оси автоколлиматора. Проекция этой линии на горизонтальную плоскость пусть займет положение OD , а на вертикальную — OL .

Обозначим угол между линиями OH' и OD через γ' , а угол между линиями OH' и OL — через φ' .

Очевидно, что углу γ' будет равен угол GOP , а углу φ' — угол NON_1 .

Для прямоугольного сферического треугольника GPK , угол в котором при вершине K обозначим через δ , можно написать

$$\cos(90^\circ - \theta) = \operatorname{ctg} \delta \operatorname{ctg}(90^\circ - \gamma') \quad (114)$$

фокусирующей линзы; R_0 — отсчет при горизонтальном положении визирной оси трубы теодолита.

Зависимость между φ' и γ' определяется следующим образом:

$$\begin{aligned}\varphi' &= \delta \cos \theta; \\ \gamma' &= \delta \sin \theta; \\ \delta &= \frac{\varphi'}{\cos \theta} = \frac{\gamma'}{\sin \theta}; \\ \varphi' &= \gamma' \operatorname{ctg} \theta\end{aligned}\quad (118)$$

при $\theta = 45^\circ$; $\varphi' = \gamma'$.

Следовательно, зависимость между углом φ' наклона в вертикальной плоскости и углом γ' наклона в горизонтальной плоскости связана с углом θ , образованного линией KO пересечения плоскостей больших кругов $NPN'P'$ и $N_1GN'_1$ G' и центром O .

Определение суммарной ошибки смещения визирной оси фокусирующей линзы. Известно, что угол смещения визирной оси в результате смещения оси фокусирующей линзы параллельно оси трубы определяют по формуле

$$\alpha = \frac{f' - f'_1}{f' f'_1} \varepsilon,$$

где f' — фокусное расстояние объектива;

f'_1 — фокусное расстояние собственно объектива;

ε — смещение оси фокусирующей линзы.

Определим угол смещения визирной оси в результате наклона оси фокусирующей линзы (рис. 112), где f'_2 — фокусное расстояние фокусирующей линзы; Z — смещение оси фокусирующей линзы вследствие наклона ее оси; φ — угол наклона оси фокусирующей линзы; d — толщина линзы по оси; $d_{\text{гл.п}}$ — расстояние между главными плоскостями линзы; r_1 и r_2 — радиусы линзы; n — показатель преломления:

$$Z = d_{\text{гл.п}} \sin \varphi; \quad (119)$$

$$S_{\text{H}} = -f'_2 \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_2}; \quad (120)$$

$$-S'_{\text{H}} = f'_2 \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_1}; \quad (121)$$

$$d_{\text{гл.п}} = d - (S_{\text{H}} + S'_{\text{H}}); \quad (122)$$

$$-f'_2 \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_2} + f'_2 \frac{n-1}{n} \frac{d}{r_1} = f'_2 \frac{(n-1)d}{n} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right);$$

$$d_{\text{гл.п}} = d - f'_2 \frac{(n-1)d}{n} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right); \quad (123)$$

$$Z = \left[d - f'_2 \frac{(n-1)d}{n} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right] \sin \varphi; \quad (124)$$

$$\sin \varphi = \frac{Z}{\left[d - f'_2 \frac{(n-1)d}{n} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right]}.$$

По малости угла

$$\varphi = \frac{Z}{d \left[1 - f'_2 \frac{n-1}{n} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right]}, \quad (125)$$

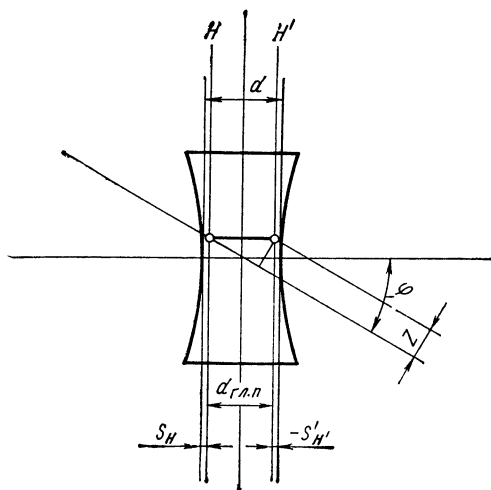


Рис. 112. К определению угла смещения визирной оси трубы в результате наклона оси фокусирующей линзы

при $n=1,5$

$$\varphi = \frac{Z}{d \left[1 - \frac{f'_2}{3} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right]}. \quad (126)$$

Исследования колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе с внутренней фокусировкой, а также приведенные формулы углов смещения α и φ показывают, что суммарный угол η смещения визирной оси при колебании фокусирующей линзы параллельно оси трубы и одновременно с ее наклоном определить трудно. Поэтому углы α и φ суммируются по правилу квадратного корня, т. е.

$$\eta = \sqrt{\alpha^2 + \varphi^2}. \quad (127)$$

Таким образом, суммарная ошибка смещения визирной оси трубы выразится углом η :

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{f' - f'_1}{f' f'_1} \varepsilon\right)^2 + \left(\frac{Z}{d \left[1 - \frac{f'_2}{3} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)\right]}\right)^2}. \quad (128)$$

В связи с исследованиями колебаний оправы фокусирующей линзы в трубе с внутренней фокусировкой представляет интерес рассмотреть вопросы, связанные с точностью визирования.

Точность визирования. Точность визирования (наведения) характеризуется средней квадратической ошибкой m_b на выбранный предмет. Величина m_b зрительной трубы зависит от формы объекта, его удаления от наблюдателя, фона, на котором он виден, его освещенности, состояния атмосферы, формы визирной марки и от «яркости» зрительной трубы.

Однако основными факторами, от которых зависит точность наведения, являются увеличение зрительной трубы, разрешающая способность трубы и глаза наблюдателя и от толщины штрихов сетки нитей трубы. В связи с большим количеством факторов, влияющих на точность наведения, вопрос о средней квадратической ошибке визирования до сих пор еще нельзя считать полностью выясненным.

Рассмотрим формулы средней квадратической ошибки наведения, предложенные разными авторами.

Если наведение на удаленный вытянутый объект производится путем совмещения двух его полуизображений (нониальное совмещение), величина средней квадратической ошибки наведения может быть определена по формуле

$$m_b \approx \frac{10''}{\Gamma'} \quad (129)$$

(Фриц Деймлик «Геодезическое инструментоведение», перевод с немецкого, изд. «Недра», М., 1970 г.).

Если же наведение осуществляется путем введения изображения объекта между двумя параллельными штрихами биссектора, то среднюю квадратическую ошибку наведения можно вычислить по формуле

$$m_b = \frac{C}{\Gamma' + \Gamma'_0}, \quad (130)$$

где Γ'_0 — увеличение зрительной трубы с таким же объективом, но с некоторым «условным» окуляром, имеющим фокусное расстояние, равное 10 мм;

$$\Gamma'_0 = \frac{f'_{об}}{10}.$$

При наблюдениях на открытом воздухе и благоприятных условиях видимости Гредель предлагает принимать $C=20''$, а Фогг — от $20''$ до $40''$.

По С. В. Елисеу средняя квадратическая ошибка наведения при помощи биссектора колеблется в пределах от $\frac{4''}{\Gamma'}$ до $\frac{26''}{\Gamma'}$, составляя в среднем

$$m_{\text{в}} \approx \frac{15''}{\Gamma'} . \quad (131)$$

Ф. Н. Красовский дает для величины наибольшей погрешности наведения при помощи биссектора значение

$$\frac{u}{18} + \Delta, \quad (132)$$

где u — расстояние между штрихами биссектора;

Δ — личная ошибка наблюдателя, которая зависит в основном от яркости объекта и от направления.

Эта ошибка может вызвать погрешность наведения (в угловой мере) до $1'',5$.

При визировании на предмет путем совмещения с ним вертикальной нити сетки на точность наведения влияет толщина d нити (штриха). Предельную величину ошибки совмещения штриха с выбранной точкой при этом можно принять равной

$$m_{\text{вmax}} = \frac{d}{f'_{\text{об}}} \rho'' . \quad (133)$$

При $d=7$ мк и $f_{\text{об}}=300$ мм эта ошибка составит около $5''$.

Таким образом, наведение на предмет при помощи биссектора может быть осуществлено точнее, чем путем совмещения с ним одного вертикального штриха сетки. В случае же наведения на светящуюся цель лучше пользоваться не биссектором, а одним вертикальным штрихом.

Рассмотренные формулы средней квадратической ошибки наведения, а также формулы предельной ошибки справедливы только в случае равноудаленных объектов от инструмента.

При визировании на объекты, расположенные на разных расстояниях приходится пользоваться фокусировкой.

При фокусировании возникает погрешность смещения визирной оси вследствие колебаний фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой или колебаний окулярного колена в трубах с внешней фокусировкой.

Следовательно, при визировании на объекты, расположенные на разных расстояниях, величина средней квадратической ошибки наведения будет изменяться в зависимости от расстояния до объекта. В формуле, предложенной С. В. Марфенко, для определения точности наведения, отражена зависимость средней квадратической ошибки наведения от расстояния до объекта

$$m_{\text{в}} = \frac{C}{\Gamma' \sqrt{S}} , \quad (134)$$

где S — расстояние визирования.

Однако погрешность наведения, вызванная смещением визирной оси, вследствие колебания фокусирующей линзы не пропорциональна

расстояниям от объектов до инструмента (см. «Исследования правильности хода оправы фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой», описанные выше). Поэтому в формуле для определения точности наведения на объекты, расположенные на разных расстояниях, должно быть отражено отклонение визирной оси трубы вследствие колебания фокусирующей линзы, которое определяется суммарным углом η .

Таким образом, формула для определения точности наведения при помощи биссектора в случае визирования на объекты, расположенные на разных расстояниях, может быть принята в следующем виде:

$$m_b = \frac{C}{\Gamma'} \sqrt{\eta}, \quad (135)$$

где $C = 20'' \div 40''$;

η — суммарный угол отклонения визирной оси вследствие колебания фокусирующей линзы при перемещении ее оправы в корпусе трубы на один оборот резьбовой втулки.

Из практики полевых исследований, а также исследований автора угол отклонения η визирной оси вследствие колебаний оправы фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой колеблется в пределах $16''$ — $25''$ при хорошем изготовлении узла фокусирующей линзы.

1. Афанасьев В. А. Оптические измерения. М., «Недра», 1968, 263 с.
2. Афремов В. Г. Зависимость между радиальной и тангенциальной составляющими дисторсии.—«Геодезия и картография», 1967, № 8.
3. Бардин А. Н. Технология оптического стекла. М., «Высшая школа», 1963, 518 с.
4. Бардин А. Н. Сборка и юстировка оптических приборов. Учебное пособие для ВУЗов М., «Высшая школа», 1968, 324 с.
5. Ведмидский А. М. Технология производства измерительных приборов. М., Машгиз, 1955, 386 с.
6. Гришин Б. С. Высокоточные оптические теодолиты. М., Геодезиздат, 2 изд., 1959, 147 с.
7. Гришин Б. С. Юстировка геодезических инструментов. М., Геодезиздат, 1962, 183 с.
8. Гришин Б. С. К вопросу качества зрительных труб для высокоточных теодолитов. Сб. научных трудов ВЗМИ, 1968.
9. Гукайло М. Я. Основные принципы конструирования оптических контрольно-юстировочных приборов. Москва—Киев, Машгиз, 1959, 124 с.
10. Дробышев Ф. В. Основы аэрофотосъемки и фотограмметрии. М., Геодезиздат, 1955, 226 с.
11. Елисеев С. В. Геодезические инструменты и приборы, М., «Недра», 1973, 390 с.
12. Кривовяз Л. М., Пуряев Д. Т., Знаменская М. А. Практика оптической измерительной лаборатории. М., «Машиностроение», 1974, 332 с.
13. Кругер М. Я., Панов В. А. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Изд. 2-е, Л., «Машиностроение», 1968, 760 с.
14. Корсаков В. С., Сошников Б. М. Технологические основы проектирования средств механизации и автоматизации сборочных процессов в приборостроении. М., «Машиностроение», 1971, 326 с.
15. Михель К. Основы теории микроскопа. М., Госиздат технико-теоретической литературы, 1955, 276 с.
16. Пер. А. Г. Производство оптико-механических приборов. М., Оборонгиз, 1959, 337 с.
17. Погарев Г. В. Юстировка оптических приборов. Л., «Машиностроение», 1968, 291 с.

18. **Русинов М. М.** Юстировка оптических приборов. М., «Недра», 1969, 326 с.
19. **Скворцов Г. Е.** О влиянии некоторых ошибок юстировки панорамических систем на точность измерения углов. Изд. ЛИТМО, вып. 19, 1966.
20. **Тяжелов С. С.** Оптические измерения. Л., Оборонгиз, 1939, 231 с.
21. **Тудоровский А. И.** Теория оптических приборов, ч. 1, 1948, ч. II, 1952, изд. АН СССР.
22. **Фефилов Б. В.** Прикладная оптика. М., Геодизиздат, 1947, 531 с.
23. **Шершень А. И.** Аэрофотосъемка. М., Геодизиздат, 1958, 334 с.
24. **Энтин Н. Н., Синягина В. И.** Высокоточный нивелир Н. Б. М., Геодизиздат, 1953, 118 с.
25. **Эрвайс А. В.** Юстировка и ремонт оптико-механических измерительных приборов. М., Машгиз, 1958, 458 с.

Предисловие	3
Глава I. Общие сведения о технологических процессах сборки и юстировки оптических приборов	5
1. Конструктивные и сборочные элементы приборов	6
2. Подготовка деталей к сборке	8
3. Основные операции и организационные формы сборок	8
4. Трудоемкость сборки	9
5. Юстировка оптических приборов	10
Глава II. Проектирование технологического процесса сборки оптических приборов	12
6. Структура технологического процесса сборки	12
7. Общие требования технологии сборки к конструкции	13
8. Общие принципы построения технологического процесса сборки	15
9. Конструктивные и технологические методы решения размерных цепей, ограничивающие пригонку деталей при сборке	16
Глава III. Типовые работы, связанные с процессом сборки оптических приборов	20
10. Промывка механических деталей	20
11. Чистка оптических деталей	20
12. Завальцовка оптических деталей	22
13. Выполнение разборных и неразборных соединений	23
14. Смазки, применяемые при сборке оптических приборов	24
15. Способы пригоночных работ	24
16. Герметизация оптических приборов	25
Глава IV. Теоретические основы юстировочных процессов некоторых оптических систем	27
17. Основные юстировочные процессы оптической системы зрительной трубы	27
18. Основные юстировочные процессы оптической системы микроскопа	34
19. Основные юстировочные процессы оптических систем микрометров	42
20. Основные юстировочные процессы и определение постоянных камер топографических аэрофотоаппаратов	56

21. Применение метода автоколлимации при юстировочных процессах оптических систем	73
22. Влияние ошибок установки отражательных призм и систем плоских зеркал на смещение и поворот изображения в оптических приборах	78
Глава V. Контрольно-юстировочные приборы общего назначения	89
23. Параметры оптических приборов	89
24. Зрительные трубки	98
25. Коллиматор	99
26. Широкоугольные коллиматоры	101
27. Автоколлимационные трубы	102
28. Динаметры	103
29. Прибор Юдина	104
30. Апертометр Аббе	105
31. Высокоточный гониометр Г-1	106
32. Вспомогательные оптические детали и приборы	109
Глава VI. Юстировка зрительных труб, микроскопов и фотоаппаратов	110
33. Сборка и юстировка зрительной трубы	110
34. Юстировка оптической системы зеркально-линзовой трубы светодальномера «Кристалл»	112
35. Юстировка оптической системы инструментального микроскопа	116
36. Юстировка оптической системы микроскопа к установке рентгеновского микроанализатора	122
37. Юстировка оптической системы фотоаппарата типа «Зенит»	127
38. Юстировка оптической системы фотоаппарата типа «Киев»	130
39. Юстировка оптической системы фотоаппарата типа «Зоркий»	132
40. Юстировка оптической системы стереоскопической малоформатной фотокамеры	134
Глава VII. Юстировка оптических систем фотограмметрических приборов	138
41. Оптические системы фотограмметрических приборов	138
42. Юстировка оптической системы бинокулярного микроскопа прецизионного стереометра СМ-4 (СМ-3)	149
43. Юстировка оптической системы бинокулярного микроскопа стереопроектора СПР-2	151
44. Юстировка оптической системы бинокулярного микроскопа стереографа Дробышева СД-1м	158
45. Юстировка оптической системы ориентирующего приспособления фототеодолитной камеры «Геодезия»	164
46. Юстировка большого светодальномера ЦНИИГАиК	167
Глава VIII. Исследование оптических систем зрительных труб	178
47. Исследование оптических систем зрительных труб на аберрации	178
48. Исследование правильности хода оправы фокусирующей линзы в трубах с внутренней фокусировкой	185
Список литературы	202
	205

Борис Степанович Г р и ш и н

**«ЮСТИРОВКА СЛОЖНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИБОРОВ»**

Редактор издательства *Л. К. Тучкова*
Технический редактор *Т. И. Андреева*
Корректор *И. М. Борейша*
Обложка художника *В. Б. Торгашова*

Сдано в набор 8/IX 1975 г.
Подписано к печати 18/II 1976 г. Т-00567
Формат 84×108^{1/32} Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 10,92 Уч.-изд. л. 14,0
Тираж 8.700 экз. Заказ 422 Цена 81 коп.

Издательство «Машиностроение»,
107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета
Министров СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ КНИГИ

Теория автоматического регулирования. Книга 3-я. *Теория нестационарных, нелинейных и самонастраивающихся систем автоматического регулирования.* Часть 1-я. 1969. 608 стр. (Техническая кибернетика. Инженерные монографии. Под ред. В. В. Солодовникова). 1 р. 25 к.

В данной книге изложены основы теории нестационарных систем как при детерминированных, так и при случайных воздействиях. Приведены методы анализа и синтеза этого класса систем, основанные на понятии обобщенных (ортогональных) спектров. Изложены также приближенные методы анализа нелинейных систем автоматического регулирования. Даны примеры расчета конкретных систем автоматического регулирования.

Теория автоматического регулирования. Книга 3-я. *Теория нестационарных, нелинейных и самонастраивающихся систем автоматического регулирования.* Часть 2-я. 1969. 368 стр. (Техническая кибернетика. Инженерные монографии. Под ред. В. В. Солодовникова).

В этой книге изложены основы теории релейных, экстремальных и самонастраивающихся систем автоматического регулирования. Специальный раздел посвящен теории систем, оптимальных по быстродействию, статистической динамике нелинейных систем, основанных на применении рядов Вольтерра и ортогональных спектров. В последнем разделе даны основы теории двух классов адаптивных систем: поисковых и аналитических самонастраивающихся.

***Эти книги можно приобрести во всех
магазинах, распространяющих техническую
литературу.***

ЮСТИРОВКА СЛОЖНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИБОРОВ»

Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Книга 1-я. *Измерительные устройства, преобразующие*

Книга состоит из двух разделов. В первом изложены основные понятия и даны определения теории измерительных устройств систем автоматического регулирования и управления. Рассмотрены принципы работы, конструктивные особенности, статические, динамические и точностные характеристики разнообразных измерительных устройств. Во втором разделе описаны основные типы преобразующих устройств, как входящих в состав измерительных устройств систем автоматики, так и используемых в качестве самостоятельных элементов в разнообразных технических устройствах.

Книга содержит сведения, необходимые для выбора, расчета элементов и устройств и динамической компоновки их с другими устройствами, входящими в систему.

Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Книга 2-я. *Усилительные устройства, корректирующие*

В данной книге, также состоящей из двух разделов, рассмотрены разнообразные усилительные и корректирующие элементы и устройства автоматики. Первый раздел посвящен электронным ламповым, полупроводниковым, магнитным, электромашинным, электро-механическим, гидравлическим, пневматическим и другим усилителям; второй — электрическим, электромеханическим, гидравлическим и пневматическим корректирующим устройствам. Эти сведения необходимы для выбора и разработки элементов и устройств на этапе проектирования систем регулирования и управления.

**ЭТИ КНИГИ МОЖНО ПРИОБРЕСТИ ВО ВСЕХ МАГАЗИНАХ,
РАСПРОСТРАНЯЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКУЮ ЛИТЕРАТУРУ**

В случае отсутствия книг в местных магазинах заказы направляйте по адресу: 103031, Москва, К-31, ул. Петровка, 15, магазин № 8 Москниги, отдел «Книга — почтой»

Союзкнига Издательство „Машиностроение“

81 коп.



«МАШИНОСТРОЕНИЕ»