

В. В. БАКАНОВА

# ГЕОДЕЗИЯ

*Допущено Министерством высшего  
и среднего специального образования СССР  
в качестве учебника  
для студентов оптических специальностей вузов*



МОСКВА «НЕДРА» 1980

**В. В. Баканова.** Геодезия. Учебник для вузов. — М.: Недра, 1980. 277 с.

В книге даются основные понятия геодезии как науки и ее значение для народного хозяйства; излагаются виды геодезических измерений, их методика, теория и устройство применяемых приборов; анализируются ошибки и оценивается точность результатов измерений; рассматриваются теоретические и практические вопросы создания геодезического обоснования и производства топографических съемок различными методами.

Книга предназначена для изучения курса геодезии студентами факультетов оптического приборостроения геодезических вузов и вузов с преподаванием геодезии, а также может быть использована инженерно-техническими работниками при производстве топографо-геодезических работ.

Табл. 29, ил. 122, список лит. — 70 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук В. А. КРУМЕЛИС, (Киевский ордена Трудового Красного знамени Инженерно-строительный институт) кафедра геодезии Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии.

Изучение геодезии на факультете оптического приборостроения преследует цель подготовки специалистов, знакомых с теоретическими и практическими основами геодезии, с устройством и назначением геодезических приборов, условиями их эксплуатации и методами геодезических измерений.

Программа курса составлена автором с учетом современного уровня развития геодезической науки и производства по принципу последовательного рассмотрения основных теоретических и практических вопросов, учитывая, что курсы высшей математики, физики и теории ошибок наблюдений с основами теории вероятностей студентами пройдены.

В учебнике рассмотрены современные геодезические приборы, используемые для создания геодезического обоснования и производства топографических съемок. Приборы классифицируются по действующим ГОСТам. Значительное место отведено исследованиям, поверкам и юстировкам приборов, описанию их конструктивных особенностей и технических характеристик.

Особое внимание уделено ошибкам, возникающим при производстве геодезических работ, с учетом точности применяемых приборов.

Подробное описание конструкций приборов и методов работы с ними направлено на совершенствование подготовки студентов в области изучения геодезических приборов.

Ограниченный объем учебника не позволил дать описание многих геодезических приборов, а также изложить вопросы исследования, поверок и методики работы с приборами с надлежащей полнотой.

Автор выражает искреннюю признательность заведующему кафедрой геодезии заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, докт. техн. наук проф. В. Д. Большакову, докт. техн. наук проф. Г. П. Левчуку, докт. техн. наук проф. М. С. Черемисину, канд. техн. наук доц. Ю. Б. Хвалько, канд. техн. наук ст. преподавателю А. В. Бойко и канд. техн. наук доц. Г. Б. Артамоновой за помощь, оказанную при работе над рукописью.

§ 1. ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗИИ

*Геодезия* \* — наука о методах геометрических измерений земной поверхности для изображения ее в виде планов и карт, определения фигуры и размеров Земли и решения различных инженерных задач.

Геодезические измерения производят на поверхности Земли, в земной атмосфере и космосе, а также в недрах Земли и на море с помощью геодезических и специальных приборов; изучению теории, конструкций, принципа действия и исследованиям геодезических приборов уделяется особое внимание.

Развитие геодезии тесно связано с другими науками: математикой, физикой, астрономией, географией, геологией, геоморфологией и др. Приборы для производства геодезических работ непрерывно совершенствуются с учетом достижений радиотехники, оптико-электроники, автоматики, телемеханики и вычислительной техники.

Многочисленность научных и практических задач, решаемых геодезией, привела к выделению ряда научных дисциплин.

Методы определения фигуры и размеров Земли и ее частей, горизонтальных и вертикальных деформаций земной коры, изучение внешнего гравитационного поля Земли; создание высокоточной астрономо-геодезической, гравиметрической и нивелирной сетей и использование их как основы топографических съемок и картографирования страны в целом — все это составляет предмет *высшей геодезии*.

Обработкой специальных измерений, получаемых с искусственных спутников Земли, межпланетных кораблей и орбитальных пилотируемых станций, занимается *космическая геодезия*.

Методы съемок земной поверхности изучает *топография*.

Выполнением топографо-геодезических и гравиметрических работ, связанных с картографированием морского дна и изучением природных ресурсов континентального шельфа, занимается *морская геодезия*.

Методы геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений, высокоточные инженерно-геодезические работы при наблюдениях за вертикальными и горизонтальными смещениями инженерных сооружений и технического оборудования составляют

\* «Геодезия» в переводе с греческого языка означает «землеразделение» (межевание).

предмет *прикладной геодезии*. В прикладной геодезии используют геодезические и фотограмметрические приборы, а также специальные высокоточные инженерно-геодезические приборы автоматического действия с дистанционной передачей результатов измерений.

Вопросы использования летательных аппаратов и различных видов съемочной техники (фотографической, телевизионной, радиолокационной, инфракрасной, лазерной и др.) для производства аэро- и космических съемок земной поверхности с целью создания планов и карт; исследование природных ресурсов Земли и Мирового океана, а также решение некоторых специальных задач изучает *аэросъемка*.

Обработкой, дешифрированием и различными измерениями по фото-, аэрофото- и космическим снимкам с целью составления планов и карт занимается *фотограмметрия*.

Развитие и совершенствование методов изображения сферической поверхности Земли на плоскости в виде карт; составление, редактирование и разработку новых типов карт и атласов, технологию производства карт рассматривает *картография*. Особое внимание уделяется применению новой техники в картосоставительских работах, их автоматизации и механизации, а также методам анализа карт с использованием вычислительной техники и автоматики, технологии издания карт, разработке и совершенствованию методов и способов воспроизведения оригиналов карт и печати.

Большое внимание в геодезии уделяется вопросам совершенствования математической обработки результатов геодезических измерений. Внедрение современных методов вычислений и вычислительной техники, использование электронных вычислительных машин позволяют улучшить процесс получения результатов геодезических измерений.

В геодезической практике широко используется современная техника: лазеры, радио- и светодальномеры, гироскопы, автоматические координатографы и др.

Совершенствование организации геодезических работ, повышение их эффективности и качества позволяют решать грандиозные задачи социалистического строительства в нашей стране.

## § 2. ЗНАЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Бурными темпами развивается народное хозяйство нашей Родины. Большое значение для развития народного хозяйства имеет геодезия. Непрерывный рост производительных сил немислим без геодезического и топографического обеспечения нужд производства.

Геодезия находит широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства: при разведке и добыче полезных ископаемых, строительстве промышленных и сельскохозяйствен-

ных предприятий, в дорожном и мелиоративном строительстве, речном и морском хозяйстве, в лесной промышленности и землеустройстве, науке и обороне страны и т. д.

Крупномасштабные съемки застроенных и незастроенных территорий, трассирование каналов, дорог и подземных сооружений, перенесение в натуру проектов зданий и сооружений, выполнение точных разбивочных работ при строительстве и монтаже мощных электростанций (гидротехнических, атомных, тепловых), высоконапорных плотин, мостовых сооружений, промышленно-заводских и городских комплексов, метрополитенов и тоннелей различного назначения, высотных зданий и башенных сооружений значительной высоты (телебашен, промышленных труб, градирен), уникальных кольцевых и линейных ускорителей, больших радиотелескопов — далеко не полный перечень инженерных геодезических работ.

Государственная астрономо-геодезическая сеть СССР используется для решения разнообразных научных и инженерно-технических задач народнохозяйственного и оборонного значения, в том числе для целей картографирования всей территории страны в различных масштабах.

Велика роль геодезии в освоении необъятных пространств нашей страны: природных ресурсов Сибири, Дальнего Востока, Казахстана, Европейского Севера, Центрального нечерноземного района.

Огромна роль геодезии в повышении обороноспособности страны. Современная армия не может обходиться без топографических карт различных масштабов. Особенно важно значение геодезии в обеспечении боевых действий ракетных войск, артиллерии, авиации и военно-морского флота.

Фотографирование и зондирование Земли, Луны и планет Солнечной системы производится с орбитальных космических станций, искусственных спутников Земли и межпланетных кораблей. Решение различных народнохозяйственных задач по исследованию природных ресурсов основано на принципах дистанционного зондирования. Зная отражающие свойства исследуемых объектов, можно определять различия в растительности, лесных породах, делать предположения о возможных залежах полезных ископаемых, составлять прогнозы природных явлений.

К настоящему времени с космических кораблей и орбитальных пилотируемых станций в интересах народного хозяйства сфотографированы миллионы квадратных километров территории СССР, что дало огромный экономический эффект.

Аэрофотосъемка используется не только в картографических целях, но и для выполнения геологических и геофизических разведок, гидрологических обследований, ледовых разведок, лесотаксационных работ, метеорологических исследований и др. Кроме фотосъемки с воздушных и космических носителей, большое значение имеют наземные съемки. Они служат для создания топогра-

фических карт и для решения специальных задач, связанных с определением координат при исследовании деформации инженерных сооружений, обмерах архитектурных сооружений и т. д.

### § 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Геодезия — наука, известная с древнейших времен. Еще задолго до нашей эры в Египте, Месопотамии, Китае и Греции геодезия играла важную роль в вопросах землепользования и инженерного строительства каналов, пирамид и т. д.

Использовались простейшие геодезические инструменты: горизонтальные и вертикальные угольники, сосуды с водой в качестве горизонтальных уровней и др.

Геодезия как наука складывалась и развивалась тысячелетиями.

Уже в древности геодезия решала не только практические задачи, но и чисто научные. Представления о форме Земли основывались на научных наблюдениях за явлениями природы. Пифагор и Аристотель считали Землю шарообразной; Эратосфен (276—194 гг. до н. э.) вычислил окружность Земли (около 40 000 км), что близко совпадает с современным значением.

В древности для измерения углов применяли астролябию, изобретенную греческим ученым Гиппархом (II век до н. э.).

Первое дошедшее до нас упоминание о геодезических измерениях в России относится к 1068 г., когда было измерено расстояние между городами Тамань и Керчь по льду Керченского пролива.

В 1598 г. составлена первая карта Московского государства «Большой чертеж» в масштабе 1 : 1 800 000. Много карт в России было составлено в XVII в., в том числе «Чертежная книга Сибири» (1701 г.), которая представляла собой русский географический атлас (23 карты).

В начале XVII в. голландский ученый Снелиусс предложил метод триангуляции для определения с высокой точностью значительных расстояний на местности.

Достижения в области математики и физики привели к изобретению зрительной трубы с сеткой нитей, верньера для отсчитывания по кругам и уровня, что способствовало более быстрому развитию геодезических работ.

К концу XVII столетия И. Ньютон на основе открытого им закона всемирного тяготения и Гюйгенс пришли к выводу, что Земля должна иметь форму шара, немного сплюснутого у полюсов. Поэтому перед геодезией была поставлена задача о проверке этого предположения путем определения фигуры и размеров Земли. Эта научная задача геодезии рассматривается и в настоящее время, так как Земля имеет весьма сложную форму.

В эпоху Петра I развитие получили промышленность и мореплавание, военное дело и торговля. Все это выдвинуло новые тре-

бования к геодезическим измерениям и картографированию. Начали выполняться первые топографические съемки на Дону и Иртыше, Камчатке и Курильских островах.

В 1739 г. был учрежден Географический департамент Академии наук во главе с М. В. Ломоносовым. В 1745 г. составлен «Атлас Всероссийской империи». Основаны первые учебные заведения для подготовки геодезистов. В 1779 г. создано землемерное училище, впоследствии преобразованное в Межевой институт (ныне МИИГАиК).

К первой половине XVIII в. относится начало изготовления в России геодезических приборов. Сначала в мастерской при Академии наук ремонтировали, а затем и изготавливали астрономические и геодезические приборы. Была организована мастерская военно-топографической службы, которая внесла существенный вклад в развитие отечественного геодезического приборостроения.

В XIX в. появляются угломерные приборы (теодолиты) с отсчетными устройствами: микроскопами и микрометрами, прибор для измерения расстояний подвесными проволоками (базисный прибор Едерина). Промышленное производство геодезических приборов в России значительно расширилось в конце XIX и начале XX вв.

Значительный вклад в составление топографических карт в России внес созданный в 1822 г. Корпус военных топографов. Им были произведены съемки в короткие сроки и на большую территорию Европейской части России, Крыма, Кавказа и Забайкалья.

Большой вклад в развитие геодезии внесли русские ученые: А. А. Тилло, Н. Я. Цингер, В. В. Витковский, Д. Д. Геденов; В. Я. Струве и др.

Подлинное развитие геодезии в России началось после победы Великой Октябрьской социалистической революции. Ленинский декрет от 15 марта 1919 г. ясно и точно определил цели и задачи советской геодезии и картографии; было учреждено Высшее геодезическое управление (ВГУ), основной задачей которого являлось сплошное картографирование всей страны для изучения ее территории в топографическом отношении в целях поднятия и развития производительных сил страны. ВГУ, впоследствии переименованное в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК), осуществляло научное и техническое руководство общегосударственными и ведомственными геодезическими работами для картографирования страны.

Молодое Советское государство получило в наследство от царской России несколько государственных и частных мастерских по ремонту геодезических приборов. Собственной промышленной базы геодезическое приборостроение не имело, поэтому пришлось заново создавать оптико-механическую промышленность и на ее основе — изготовление геодезических приборов. В 1918 г. была

создан Государственный оптический институт, заводы «Геодезия» и «Геофизика», которые начали серийно выпускать теодолиты.

Для руководства научными и исследовательскими работами геодезического направления в стране в 1928 г. создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэро съемки и картографии (ЦНИИГАиК), которому в 1978 г. присвоено имя Ф. Н. Красовского в честь 100-летия со дня рождения выдающегося ученого-геодезиста члена-корреспондента Академии наук СССР.

В 1938 г. Советский Союз полностью отказался от импорта геодезических приборов. За годы Советской власти геодезическая наука и аэрогеодезическое производство получили значительное развитие. На всю огромную территорию страны построены триангуляционные сети, проложены нивелирные ходы; для производства топографических съемок используется аэрофотосъемка.

К 1941 г. все топографо-геодезические работы оснащались советскими высокоточными, точными и техническими приборами.

Существенного развития геодезическое приборостроение достигло в послевоенный период. Были разработаны и серийно выпускались: теодолиты ОТ-10, ТБ-1, ТМ-1, ТТ-5, ТТ-4, ТОМ; нивелиры НВ-1, НА-1, НА-2, НЛ-3, НСМ-1; дальномерные насадки ДНБ, ДД-3, ДНТ и др. Появились высокоточные светодальномеры ЭОД, «Кварц», СВВ-1 и др.

В 60-е годы на смену традиционным геодезическим приборам стали поступать принципиально новые типы: кипрегели с номограммными устройствами КБ-1, КА-2; топографические светодальномеры СТ-61, СТ-66, КДГ, светодальномерная насадка ДНК, радиодальномеры РДГ и «Луч», теодолиты ОТМ-30, ОТШ; нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования НС-4; тахеометры ТА, ТН, ТВ; дальномерные насадки: ДН-04, ДНР-05, ДН-08, ДН-10 и дальномеры ДВ-20, ОТД и др.

В 70-е годы появились теодолиты Т2, 2Т2, Т5, 2Т5К, Т10, Т15, Т15К, Т30; кипрегель КН, тахеометр ТЭ, светодальномеры СМ-3, 2СМ-2 и др.

При создании современных геодезических приборов используются новейшие достижения науки и техники (интегральная микроэлектроника, лазеры, оптико-электронные приборы и др.). Разработки приборов направлены на повышение точности измерений, увеличение производительности труда. Все большее развитие получает автоматизация приборов.

В области геодезического приборостроения Советский Союз стоит на уровне современного развития науки и техники. Многие геодезические приборы заслуженно носят Государственный знак качества и находятся на уровне лучших мировых образцов, например теодолиты Т05, Т2, Т30, Т5К и др.

Большое значение для геодезических и картографических работ, изучения фигуры и размеров Земли имел запуск советских искусственных спутников Земли и космических кораблей.

В Советском Союзе решен вопрос подготовки кадров различной квалификации для обеспечения геодезического производства, геодезического приборостроения и проведения научных исследований.

Большая роль в развитии геодезической науки принадлежит советским ученым: Герою Социалистического Труда академику А. А. Михайлову, членам-корреспондентам Академии наук СССР Г. А. Авсюку, Ю. Д. Буланже, В. А. Магницкому, М. С. Молоденскому, Ф. Н. Красовскому, действительному члену Академии наук Узбекской ССР Г. Н. Черданцеву; заслуженным деятелям науки и техники РСФСР и профессорам: Н. М. Кислову, К. А. Цветкову, А. С. Чеботареву, М. Д. Соловьеву, Б. В. Фефилову, В. В. Данилову, Н. М. Алексапольскому, П. А. Кобозеву, М. К. Вентцелю, П. С. Закатову, М. С. Муравьеву, А. И. Мазмишвили, А. С. Скиридову, Н. А. Урмаеву, В. В. Попову, М. Д. Коншину, Н. Г. Келлю, А. Н. Лобанову, В. Д. Большакову, Н. Н. Лебедеву и др. и руководителям производства: С. Г. Судакову, А. Н. Баранову, Н. К. Мордасову и многим другим.

Существенный вклад в развитие советского геодезического приборостроения внесли Ф. В. Дробышев, М. М. Русинов, Д. В. Максотов, Ю. Г. Стодолкевич, В. А. Белицин, И. М. Монченко, Г. В. Романовский, С. В. Елисеев и многие другие.

#### § 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В СССР

Советскую общегосударственную топографо-геодезическую и картографическую службу возглавляет Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров СССР, которое организует и руководит производством топографо-геодезических работ в нашей стране. К системе ГУГК относятся предприятия и картографические фабрики, государственные институты инженерно-геодезических изысканий, союзные маркшейдерские тресты, расположенные в разных городах страны. В предприятиях и ведомственных организациях имеются полевые и камеральные подразделения, которые выполняют топографо-геодезические работы.

При ГУГК имеется Центральный картографический фонд, в котором сосредоточены все материалы картографо-геодезических работ, выполняемых на территории страны, и Управление государственного геодезического надзора (УГГН). Территориальные инспекции Госгеонадзора, подчиненные ГУГК, ведут учет и контроль топографо-геодезических работ, выполняемых предприятиями ГУГК и ведомственными организациями, систематизируют материалы, служащие исходными данными (каталоги координат и высот пунктов государственной геодезической сети).

Научные работы в области геодезии, аэрофотосъемки и картографии проводятся в ЦНИИГАиК, НИИПГ, Госцентре «Природа», а также на специальных кафедрах вузов.

ЦНИИГАиК является ведущим отраслевым научно-исследовательским центром, где решаются многие проблемы геодезического производства, разрабатываются и внедряются новые методы и приборы.

Научные проблемы в области прикладной геодезии решаются в научно-исследовательском институте прикладной геодезии (НИИПГ), расположенном в Новосибирске.

Топографо-геодезические работы по обеспечению изыскательских, проектных и строительных работ выполняются многочисленными ведомственными организациями с целью обслуживания отдельных отраслей народного хозяйства.

Подготовку геодезических кадров высшей квалификации в стране осуществляют два геодезических высших учебных заведения: Московский ордена Ленина институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК), Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (НИИГАиК) и геодезические факультеты в 21 вузе страны; 19 средних учебных заведений готовят техникумов.

Советская геодезическая служба является самой мощной в мире. Ею выполнены огромные работы по обеспечению территории страны пунктами государственной геодезической сети; завершено картографирование страны в масштабе 1 : 100 000, в большом объеме проводятся топографические съемки в масштабах 1 : 25 000 и 1 : 10 000, а также в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000. Высокие темпы производства съемочных работ и их высокое качество достигнуты благодаря внедрению и широкому использованию методов аэрофотосъемки.

За выдающиеся достижения в научно-исследовательской и производственной деятельности многие геодезисты удостоены высоких правительственных наград: орденов, медалей, Ленинских и Государственных премий. Док. техн. наук проф. Ф. В. Дробышев в 1970 г. за создание фотограмметрических приборов удостоен Ленинской премии в честь 100-летия со дня рождения В. И. Ленина. Проф. А. С. Дубовик — лауреат Ленинской и Государственной премий, крупные деятели производства В. А. Бешенов, И. М. Яцунский — лауреаты Ленинской премии, проф. М. С. Черемисин, доц. М. И. Аленко — лауреаты Государственных премий.

## § 5. ПОНЯТИЕ О ФОРМЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ

Поверхность Земли общей площадью 510 млн. км<sup>2</sup> состоит из Мирового океана (71 %) и суши (29 %). Так как суша занимает меньшую площадь, чем Мировой океан, то поверхность океана должна быть принята за фигуру Земли. Под общей фигурой Земли в геодезии понимают фигуру, ограниченную мысленно продолженной под сушей поверхностью морей и океанов, находящихся в спокойном состоянии. Такая замкнутая поверхность в каждой своей

точке перпендикулярна к отвесной линии, т. е. к направлению действия силы тяжести и, следовательно, всюду горизонтальна. Эта поверхность называется урвенной поверхностью Земли, или поверхностью геоида. Фигура геоида сложная и неправильная вследствие неравномерного распределения масс внутри Земли, которое влияет на положение отвесных линий; последнее не дает возможности пользоваться ею при геодезических и картографических расчетах и не позволяет установить ее форму и размеры, так как она

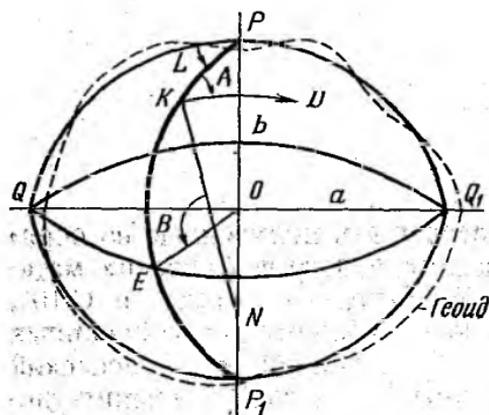


Рис. 1. Эллипсоид вращения

не выражается ни одной из известных в математике поверхностей. Поэтому необходимо было заменить поверхность геоида вспомогательной, наиболее близко подходящей к ней поверхностью. В первом приближении урвенную поверхность Земли можно заменить сферой определенного радиуса. Исследования показали, что наиболее близкой к геоиду математической поверхностью является эллипсоид вращения или сфероид, получающийся от

вращения эллипса  $PQ_1P_1Q$  (рис. 1) вокруг оси  $PP_1$  (называемой полярной осью).

Эллипсоид с определенными размерами и ориентировкой, на поверхность которого переносят результаты геодезических и картографических работ данной страны, называется референц-эллипсоидом \*. Этот эллипсоид может близко подходить к части геоида для данной территории, но в остальных частях отступает от него. Величины уклонений зависят от правильности выбора размеров эллипсоида, от ориентирования эллипсоида в теле Земли, от изменения кривизны поверхности геоида. Для изучения фигуры Земли в целом используется поверхность относимости в виде общего земного эллипсоида. Определение общего земного эллипсоида и изучение фигуры Земли связано с выполнением гравиметрической съемки и градусных измерений на всех континентах, связанных между собой и отнесенных к единой поверхности.

Размеры земного эллипсоида определяются длинами большой  $a$  и малой  $b$  полуосей и сжатием эллипсоида  $\alpha$ , которое вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{a-b}{a}. \quad (1)$$

Величины  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  могут быть определены посредством градусных измерений, которые позволяют вычислить длину дуги меридиана

\* От латинского слова referens — сообщающий.

диана в  $1^\circ$ . Зная длину градуса в различных местах меридиана, можно установить фигуру и размеры Земли.

Размеры земного эллипсоида определялись неоднократно учеными разных стран. До 1946 г. в СССР пользовались размерами, вычисленными в 1841 г. немецким астрономом Ф. В. Бесселем ( $a = 6\,377\,397$  м,  $b = 6\,356\,079$  м,  $\alpha = 1 : 299,2$ ). С 1946 г. постановлением правительства для геодезических и картографических работ в СССР утверждены данные референц-эллипсоида Ф. Н. Красовского с размерами:

$$a = 6\,378\,245 \text{ м,}$$

$$b = 6\,356\,863 \text{ м,}$$

$$\alpha = 1 : 298,3.$$

Размеры эллипсоида Ф. Н. Красовского, полученные из обработки геодезических, гравиметрических и астрономических материалов градусных измерений СССР, Западной Европы и США, являются наиболее обоснованными как по объему использованных материалов, так и по строгости их обработки. Ф. Н. Красовский и А. А. Изотов за определение размеров эллипсоида вращения удостоены Государственной премии. В СССР и ряде социалистических стран в качестве референц-эллипсоида принят эллипсоид Ф. Н. Красовского.

В 1960 г. проф. И. Д. Жонголовичем по результатам наблюдений за движением советских искусственных спутников Земли вычислено сжатие  $\alpha = 1 : 298,2$ , американским ученым И. Козаи в 1962 г. получено  $\alpha = 1 : 298,3$ . Эти данные близки к результатам, полученным Ф. Н. Красовским и А. А. Изотовым. Поэтому данные, полученные в 1940 г. советскими учеными, имеют международное значение.

Большие заслуги в изучении фигуры Земли принадлежат члену-корр. Академии наук СССР, лауреату Ленинской премии М. С. Молоденскому.

Положение точек Земли и направление линий на поверхности референц-эллипсоида в геодезии определяют геодезическими широтами, долготами и азимутами ( $B$ ,  $L$ ,  $A$ ).

Геодезическим азимутом  $A$  в точке  $K$  на точку  $D$ , находящуюся на поверхности эллипсоида, называется угол, составленный плоскостью меридиана, проходящего через точку  $K$ , и горизонтальной плоскостью  $DK$ .

Пусть точка  $K$  на поверхности эллипсоида спроектирована с физической поверхности Земли по нормали  $KN$  (см. рис. 1),  $PKP_1$  — плоскость геодезического меридиана, проходящего через точку  $K$ ,  $PQP_1$  — плоскость гринвичского меридиана.

Геодезической широтой точки  $K$  называется острый угол  $B$ , образованный нормалью  $KN$  к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора.

*Геодезической долготой* точки  $K$  называется двугранный угол  $QPE$  ( $L$ ), образованный плоскостью гринвичского меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку.

Геодезические широта, долгота и азимут связаны с нормалью к референц-эллипсоиду и с нормальными его плоскостями в данной точке.

Положения точек местности на уровенной поверхности определяются географическими координатами: широтой  $\varphi$ , долготой  $\lambda$  и азимутом  $A$ , связанными с отвесными линиями, т. е. с нормальными к геоиду и с вертикальными плоскостями.

Геодезические координаты отличаются от географических из-за отклонений поверхности геоида от поверхности референц-эллипсоида.

Изучение фигуры Земли ведется двумя способами: астрономо-геодезическим и гравиметрическим. *Астрономо-геодезический способ* основан на определении уклонов отвесных линий от нормали к эллипсоиду. Угол между направлением нормали к общему земному эллипсоиду и направлением отвесной линии (нормалью к геоиду) называется *абсолютным уклоном отвесной линии*. Угол между направлением нормали к принятому референц-эллипсоиду и отвесной линией в той же точке называется *относительным уклоном*. Зная геодезические координаты из вычислений триангуляции, а астрономические из непосредственных определений, можно вычислить относительные уклоны отвесных линий.

*Гравиметрический способ* основан на определении силы тяжести.

## § 6. МЕТОД ПРОЕКЦИЙ В ГЕОДЕЗИИ. КООРДИНАТЫ И ВЫСОТЫ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ

Для изображения на бумаге различных пространственных фигур и предметов используют метод проекций.

Положение точек, находящихся на физической поверхности Земли, проектируют на поверхность эллипсоида с помощью отвесных линий, принимаемых за нормали. В результате проектирования получаются прямоугольные (ортогональные) горизонтальные проекции точек. В геодезии такая проекция называется *горизонтальной*.

Для многих практических целей можно считать, что поверхности геоида и эллипсоида на каком-то участке совпадают, образуя уровенную (горизонтальную) поверхность  $P$  (рис. 2, а). Пусть  $P$  — часть уровенной поверхности Земли. Пространственный четырехугольник  $ABCD$ , расположенный на физической поверхности Земли, проектируют на поверхность  $P$  отвесными линиями. Точки  $a, b, c, d$ , в которых отвесные линии пересекают уровенную поверхность, называются *горизонтальными проекциями соответствующих точек земной поверхности*.

Задача определения положения точек сводится к нахождению горизонтальных проекций этих точек и их высот над уровенной

поверхностью. Горизонтальное положение точек определяется координатами: географическими (широтой  $\varphi$  и долготой  $\lambda$ ) и прямоугольными (абсциссами  $x$  и ординатами  $y$ ).

Если четырехугольник  $ABCD$  местности имеет небольшие размеры (рис. 2, б), то при проектировании его на уровенную поверхность  $P$  ее можно заменить горизонтальной плоскостью  $P$ . Линии проектирования  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$ ,  $Dd$  перпендикулярны к пло-

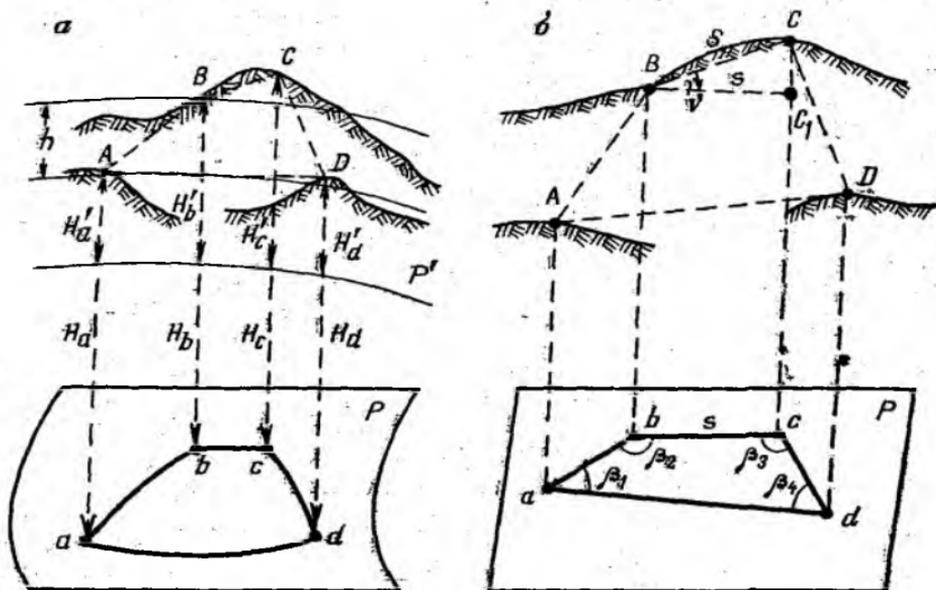


Рис. 2. Проектирование точек местности

кости  $P$ , стороны  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$  и  $da$  и углы между ними  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  являются горизонтальными проекциями соответствующих сторон и углов местности, а плоский четырехугольник  $abcd$  — горизонтальной проекцией четырехугольника  $ABCD$ , расположенного на физической поверхности Земли.

Горизонтальную проекцию  $abcd$  (см. рис. 2, б) четырехугольника местности  $ABCD$  можно построить на бумаге, если известны длины горизонтальных проекций  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$ ,  $da$  сторон и горизонтальные углы между ними. Непосредственно на местности можно измерить расстояния  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $DA$  и горизонтальные углы  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ . От измеренной линии  $BC = S$  на местности можно перейти к длине ее проекции на горизонтальную плоскость  $BC_1 = s$ . Длина ортогональной проекции линии местности на горизонтальную плоскость называется *горизонтальным продолжением* этой линии. Угол наклона линии  $v$  расположен в вертикальной плоскости между линией местности  $BC$  и ее проекцией на горизонтальную плоскость  $BC_1$ ; его можно измерить непосредственно. Из треугольника  $BCC_1$  горизонтальное продолжение линии местности определяют по формуле

$$s = S \cos v.$$

(2)

Расстояние от уровенной поверхности, проходящей через точку местности, до уровенной поверхности, принятой за начало счета, называется *высотой*. Числовое значение высоты точки называется *отметкой*.

Высоты, отсчитываемые от горизонтальной уровенной поверхности, называются *абсолютными* ( $H_a, H_b, H_c, H_d$ , см. рис. 2, а), а отнесенные к произвольной уровенной поверхности  $P'$  — *условными* ( $H'_a, H'_b, H'_c, H'_d$ ). От условных высот можно перейти к абсолютным, для чего нужно знать расстояние от уровенной поверхности, принятой за начало счета, до условной.

В СССР за начало счета абсолютных высот принимают нуль Кронштадтского футштока, т. е. уровень воды в Балтийском море, поэтому абсолютную систему высот называют Балтийской системой высот.

Если представить, что через точки  $A$  и  $B$  местности проходят уровенные поверхности, то разность высот точек  $Aa - Bb = h$  называется *превышением*. Зная превышение одной точки над другой и исходную высоту одной точки, можно определить высоту другой точки (*относительные* высоты).

### § 7. ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ЗЕМЛИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РАССТОЯНИЯ И ВЫСОТЫ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ

При изображении на бумаге поверхности всей Земли или значительной ее части необходимо учитывать, что по форме она близка к поверхности эллипсоида. Если в первом приближении считать, что Земля имеет форму шара, то радиус такого шара, по данным Ф. Н. Красовского, равен 6371,11 км.

При изображении небольших участков Земли часть уровенной поверхности можно принять за плоскость. Чтобы установить, при каких размерах участков можно не считаться с кривизной Земли, определим разность между длиной касательной  $A_1C_1 = s$  (рис. 3, а) и дуги  $AC = d$  с радиусом  $R$ . Касательная  $A_1C_1$  является горизонтальным положением линии,

$$\Delta S = s - d, \quad (3)$$

$$s = 2A_1B = 2BC_1 = 2R \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}.$$

Раскладывая  $\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}$  в ряд и ограничиваясь первыми двумя членами разложения, получим

$$s = 2R \left( \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon^3}{24} \right), \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  выражено в радианной мере.

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = \frac{\varepsilon}{2} + \frac{1}{3} \left( \frac{\varepsilon}{2} \right)^3 + \dots$$

Как центральный угол  $\varepsilon = \frac{d}{R}$   
или

$$d = \varepsilon R. \quad (5)$$

Подставив в выражение (3) значения (4) и (5), получим

$$\Delta S = \frac{d^2}{12R^2}. \quad (6)$$

Относительная ошибка

$$\frac{\Delta S}{d} = \frac{1}{12} \left( \frac{d}{R} \right)^2. \quad (7)$$

Подставив в формулу (7)  $d = 20$  км, получим относительную ошибку 1 : 1 200 000. При современной технике измерения расстояний наиболее высокая точность характеризуется относительной ошибкой 1 : 1 000 000. Поэтому при изображении участков местности, имеющих протяженность до 20 км и площадь до 400 км<sup>2</sup>, кривизну Земли можно не учитывать и часть уровенной поверхности таких размеров принимать за плоскость.

Предположим, что точки  $A$  и  $B$  местности (рис. 3, б) находятся на одной уровенной поверхности, тогда превышение между ними равно нулю. Если для определения превышения между этими точками принимать не уровенную поверхность, а горизонтальную линию  $S$ , касательную к уровенной поверхности в точке  $A$ , то точка  $B$  окажется ниже точки  $B_1$ , на величину  $p$ , которая называется поправкой за кривизну Земли на высоты точек. Из прямоугольного треугольника  $OAB_1$  можно найти

$$(R + p)^2 = R^2 + s^2$$

или

$$p = \frac{s^2}{2R + p}.$$

Так как поправка  $p$  во много раз меньше  $R$ , то в знаменателе ею можно пренебречь; тогда

$$p = \frac{s^2}{2R}. \quad (8)$$

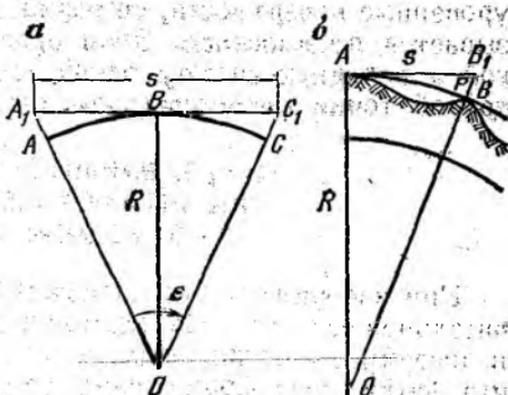


Рис. 3. Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния и высоты точек местности.

Приняв  $R = 6371$  км и выражая величины в метрах, получим  
$$p = (0,78 \cdot 10^{-7} \cdot s^2) \text{ м.}$$

Как показывают расчеты, при  $s = 300$  м поправка равна 1 см, поэтому при определении превышений между точками следует учитывать поправку за кривизну Земли в зависимости от расстояний и требуемой точности определения отметок точек.

## § 8. ПЛАН, КАРТА И ПРОФИЛЬ МЕСТНОСТИ. АЭРОФОТОСНИМОК

Из приведенного выше видно, что если изображаемый участок физической земной поверхности небольшой (в пределах площади круга диаметром не более 20 км), то соответствующую ему часть воображаемой уровенной поверхности можно принять за горизонтальную плоскость. При проектировании точек  $ABCD$  земной поверхности на горизонтальную плоскость  $P$  (см. рис. 2, б) получаем изображение  $abcd$ , подобное  $ABCD$  местности. При переходе к изображению на бумаге искажений не будет.

Уменьшенное и подобное изображение на бумаге горизонтальных проекций небольших участков местности называется *планом*.

Если участок местности большой, то его проектируют на уровенную поверхность, принимаемую за сферу. На рис. 2, а точки  $a, b, c, d$  — горизонтальные проекции точек  $A, B, C, D$  местности. Эту горизонтальную проекцию в уменьшенном виде изображают на бумаге в определенном масштабе. Сферическую поверхность развернуть на плоскость без искажений нельзя; ее изображают с помощью картографических проекций по определенным математическим законам.

Уменьшенное и искаженное вследствие влияния кривизны Земли изображение на бумаге горизонтальных проекций значительного участка местности, построенное в определенной картографической проекции, называется *картой*. Существуют различные картографические проекции, например равновеликие, при которых не искажаются площади, равноугольные, при которых сохраняются неискаженными углы.

Общее между планом и картой — это уменьшенное изображение на бумаге земной поверхности. Различие состоит в том, что при составлении карты по определенным законам проектируют большие участки местности на уровенную поверхность с искажениями за счет влияния кривизны Земли; на плане малые участки местности ортогонально проектируют на плоскость практически без искажений.

Кроме планового положения необходимо иметь и высоты точек, чтобы судить о рельефе местности.

Уменьшенное изображение вертикального разреза местности по заданному направлению называется *профилем*.

Аэрофотоснимок, используемый для создания планов и карт, представляет собой центральную проекцию, в которой лучи от точек местности проходят через одну точку — оптический центр объектива и в пересечении с картинной плоскостью в позитивном или негативном изображении образуют проекции точек. По сравнению с ортогональной проекцией точки аэрофотоснимка получаются несколько смещенными за счет влияния рельефа местности и угла наклона аэрофотоснимка. Поэтому для составления планов и карт необходимо произвести трансформирование аэрофотоснимков.

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ СССР

### § 9. ПОНЯТИЕ О ЗОНАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ ГАУССА

В СССР с 1928 г. введена специальная проекция для топографических карт, предложенная К. Ф. Гауссом. При помощи этой проекции получают плоские изображения отдельных участков уровенной поверхности Земли, ограниченные двумя меридианами. Такой участок называется зоной. Для карт в масштабе 1 : 10 000 и мельче разность долгот этих меридианов равна 6°. Таким образом, вся поверхность Земли разбивается на 60 зон. Средний меридиан в каждой зоне называется *осевым*.

Для установления связи между геодезическими координатами любой точки местности на эллипсоиде и прямоугольными координатами той же точки на плоскости применяют особый способ проектирования всего земного шара на плоскость по частям.

Сущность проекции можно представить, если каждую зону мысленно проектировать на плоскость отдельно при помощи цилиндра и при условии сохранения равенства углов на сфере и на цилиндре, а затем цилиндр развернуть на плоскость. В результате получается изображение данной зоны в проекции на плоскость. Такая проекция называется равноугольной поперечно-цилиндрической, так как она получается при помощи цилиндра, ось которого расположена поперек земной оси. Осевой меридиан зоны изображается прямой. Вся зона переходит со сферы на плоскость в расширенном виде; длины линий в этой проекции несколько преувеличены по сравнению с их действительной величиной. Искажения длин тем больше, чем дальше линия расположена от среднего меридиана зоны. На границах зон в пределах экватора искажения длин линий в этой проекции составляют 1 : 1000, ближе к полюсам — 1 : 6000. Расчеты выполняют по формуле

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{y^2}{2R^2}, \quad (9)$$

где  $y$  — расстояние от осевого меридиана зоны.

Для получения карт в масштабах 1 : 5000 и крупнее используют при проектировании 3° зоны. Проекция Гаусса конформна, т. е. сохраняет подобие фигур на сфере и в проекции при весьма малых их размерах. Поверхность эллипсоида не может быть развернута на плоскость без искажений, поэтому не может быть предложена система плоских координат, в которых без искажений было

бы выражено взаимное положение точек земной поверхности. Задача сводится к изображению поверхности эллипсоида на плоскости по определенному закону. Математическое выражение этого закона или проекции в общем виде может быть представлено уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(B, L), \\ y &= f_2(B, L), \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где  $x, y$  — плоские прямоугольные координаты изображенной на плоскости точки, выраженные как функции геодезических координат той же точки на поверхности эллипсоида.

Если выбрать под тем или иным условием закон изображения точек эллипсоида на плоскости, то можно, пользуясь написанными формулами, получить формулы для перехода от расстояний и углов на поверхности эллипсоида к соответствующим расстояниям и углам на плоскости.

При выборе функций  $f_1$  и  $f_2$  требуются: минимальное искажение изображаемых на плоскости элементов поверхности эллипсоида, легкость и простота, а также высокая точность и строгость учета искажений. Поправки за искажения при переносе элементов с эллипсоида на плоскость и обратно должны вычисляться с ошибками в 5—10 раз меньше, чем ошибки непосредственных измерений. Учет искажений облегчается, если учитывать искажения только длин линий в пределах определенной зоны и считать масштаб изображений постоянным.

## § 10. ЗОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ ГАУССА

В геодезии используют правую систему координат. Нумерация четвертей ведется по ходу часовой стрелки, а оси повернуты на  $180^\circ$  в отличие от левой системы координат в математике. Знаки у тригонометрических функций не изменяются, так как координатный угол повернут на  $90^\circ$  и изменен счет четвертей.

При определении координат точек местности в проекции Гаусса в каждой зоне вводится система плоских прямоугольных координат (рис. 4, а): за ось абсцисс принимается осевой меридиан зоны, за ось ординат — экватор.

Для территории СССР, расположенной в северном полушарии, абсциссы положительные, а ординаты к востоку положительные, к западу — отрицательные. Чтобы не иметь дело с отрицательными ординатами, за начало счета принимается — 500 км. Видоизмененные ординаты называются *преобразованными*. Перед каждой ординатой указывается номер зоны. Так, например, запись ординаты 4 387 130 указывает на то, что точка находится в 4-й зоне к западу от осевого меридиана на расстоянии 112 870 м ( $y = 387\ 130 - 500\ 000$ ).

Если в зоне (см. рис. 4, а) провести линии, параллельные осевому меридиану и экватору, то получается *координатная сетка*, или ее называют *километровой сеткой*, если линии проведены через 1 км. Полная цифровка линий координатной сетки дается близ углов листа карты, остальные линии подписываются сокращенно (десятки и единицы километров). По координатной сетке можно определять координаты любой точки, для чего от ближайших линий сетки измеряют расстояния  $\Delta x$  и  $\Delta y$  при помощи из-

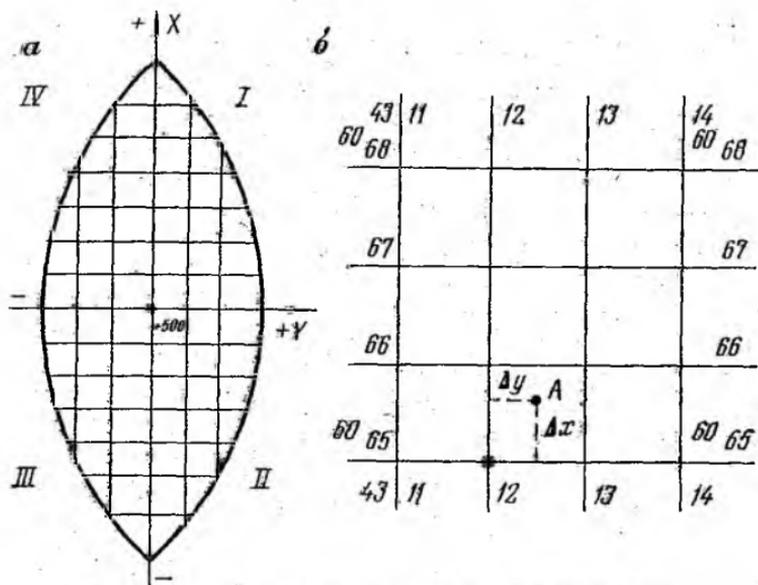


Рис. 4. Зенальная система прямоугольных координат.  
Координатная сетка

мерителя и масштабной линейки. Например, координаты точки А (рис. 4, б) можно получить:

$$x = 6065 + \Delta x \text{ (м)},$$

$$y = 4312 + \Delta y \text{ (м)}.$$

Для определения на карте положения точки нужно указывать сокращенные координаты юго-западной вершины квадрата сетки. Например, точка А находится в квадрате (6512).

## § 11. МАСШТАБЫ

Для составления планов и карт измеренные линии на местности уменьшают в несколько раз в зависимости от требований и точности, предъявляемых к составляемым планам и картам.

Отношение длины линии на карте к горизонтальной проекции соответствующей длины линии на местности называется *масштабом* карты. Масштаб карты можно определить из соотношения

$$M = \frac{d}{S}, \quad (11)$$

где  $S$  — длина линии на местности;  $d$  — длина этой же линии на карте.

Если  $S = 1$  км,  $d = 10$  см, то  $M = \frac{10 \text{ см}}{100\,000 \text{ см}} = \frac{1}{10\,000}$ .

Масштаб, выражаемый дробью с числителем единица (1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000, 1 : 10 000, 1 : 25 000), называется *численным* масштабом. Знаменатель масштаба показывает, во сколько раз длина линии на карте меньше длины линии на местности. Чем больше дробь, тем крупнее масштаб, и наоборот.

На карте ниже подписи численного масштаба (см. рис. 6) можно прочитать: «в 1 сантиметре 100 метров» такой масштаб называется *пояснительным*, т. е. поясняет численный масштаб (1 : 10 000).

Если известны длина линии на карте, например 2,35 см и масштаб карты (1 : 5000), то можно определить длину линии на местности. При решении можно использовать соотношение (11), откуда  $S = 2,35 \text{ см} \cdot 5000 = 117,5 \text{ м}$ , или найти из пропорции

$$1 \text{ см} — 50 \text{ м},$$

$$2,35 \text{ см} — x \text{ м},$$

$$x = 2,35 \cdot 50 = 117,5 \text{ м}.$$

Аналогично решается обратная задача.

При составлении карты каждая линия местности уменьшается в одинаковое число раз, поэтому удобно применять линейный масштаб и решать задачи графическим путем.

Для построения *линейного масштаба*, который показан под южной рамкой карты (см. рис. 6), на прямой откладывают несколько раз отрезок длиной 2 см, называемый *основанием масштаба*. По заданному численному масштабу рассчитывают длину местности (линии), соответствующую взятому основанию масштаба, и подписывают масштаб. Крайний левый отрезок обычно делят на 10 или 20 равных частей. По линейному масштабу сотни и десятки метров берут непосредственно, а отдельные метры оценивают на глаз. Например, расстоянию между горой Голой и мукомольным заводом (6511) на карте в масштабе 1 : 10 000 соответствует расстояние на местности, определенное по линейному масштабу и равное 339 м.

Для определения расстояний с большей точностью используют *поперечный масштаб*. На прямой  $AQ$  (рис. 5) откладывают несколько раз основание масштаба, равное 2 см, проводят перпендикуляры к прямой. Левое основание масштаба разбивают на 10 равных частей путем пропорционального деления отрезка на равные части. Линию  $AC$  делят на 10 равных частей и через точки деления проводят линии, параллельные  $AQ$ . Отрезки между наклонными линиями равны  $0,1$  основания, а отрезки, заключенные между перпендикуляром  $BD$  и наклонной линией  $BE$ , пропорцио-

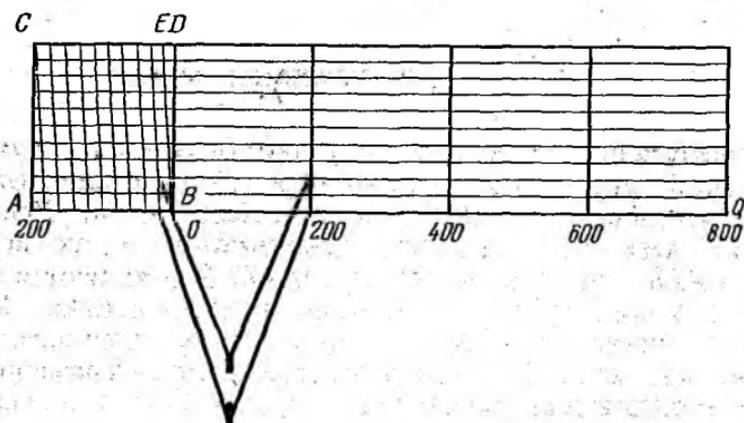


Рис. 5. Поперечный масштаб

нальны  $0,01$  основания. Наименьшее деление отрезка равно  $AB/100$ , поэтому такой масштаб называется *сотенным* или *нормальным*. Цифры, подписанные под масштабом, соответствуют численному масштабу  $1 : 10\,000$ . Например, требуется отложить расстояние 224 м. Ножку измерителя ставят в точку 200 м и раздвигают измеритель до точки, соответствующей 220 м, затем поднимают измеритель на два деления вверх и раздвигают измеритель до точки, соответствующей 224 м.

Поперечный масштаб обычно нарезается (гравировается) на металлической линейке, называемой масштабной, или на транспортире и используется при работе с картой любого масштаба, для чего мысленно следует расписать основание поперечного масштаба.

Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в масштабе карты  $0,1$  мм, называется точностью масштаба. Например, для масштабов  $1 : 10\,000$  и  $1 : 25\,000$  точность равна 1,0 и 2,5 м соответственно. Это означает, что линии на местности, менее указанных, не будут изображаться на карте данного масштаба.

Если знаменатель численного масштаба — число, не кратное 100 м, то строят поперечный переходной масштаб с другим основанием. При работе с аэрофотоснимками, имеющими различные дроб-

ные значения численного масштаба, для каждого снимка строят свой поперечный переходной масштаб. Для этого необходимо иметь аэрофотоснимок и карту одной и той же местности или знать размеры длин линий, имеющих на аэрофотоснимке, чтобы вычислить масштаб аэрофотоснимка, затем из пропорции по отношению к нормальному масштабу (к основанию масштаба 2 см) найти основание переходного масштаба и построить поперечный переходной масштаб так же, как и на рис. 5, для нового основания.

## § 12. УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ

Для обозначения на картах ситуации (населенных пунктов, растительности, дорог, рек, озер, морей и т. д.) и различных объектов на местности используются условные знаки. Условные знаки для всех масштабов устанавливаются и их перечни издаются ГУГК при Совете Министров СССР и являются обязательными для всех организаций, выполняющих съемки. Условные знаки позволяют читать карту, т. е. понимать изображенную местность. Все условные знаки можно разделить на четыре вида: площадные, внемасштабные, линейные и пояснительные.

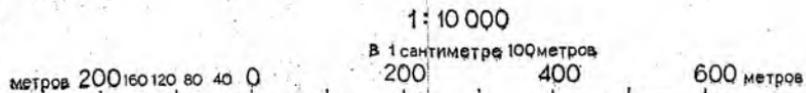
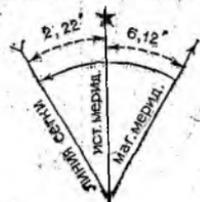
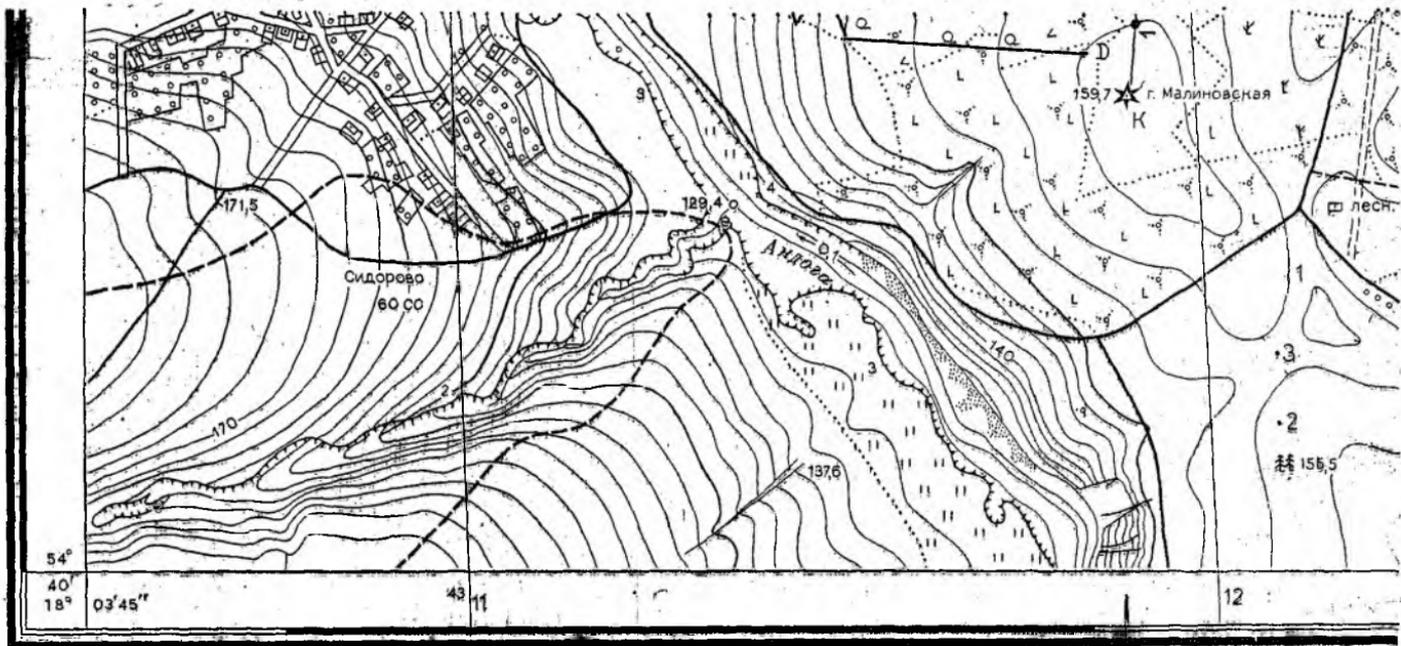
Объекты, занимающие значительную площадь на местности и выражающиеся в масштабе карты, изображаются площадными условными знаками.

Площадный условный знак состоит из знака границы объекта и заполняющих его знаков или условной закрашки. Контур объекта показывается точечным пунктиром или условным знаком соответствующей границы объекта (дороги, канавы, изгороди и т. д.). Примером заполнения площади условными знаками является изображение леса, кустарника, луга, болота; закрашки контура — леса, садов, огородов и т. д. На карте (рис. 6) показаны площадные знаки: луг, редкий лес, бурелом, кустарник, вырубленный лес (6411).

Если объекты местности не выражаются в масштабе карты площадным знаком из-за своей малости, то применяют внемасштабные условные знаки: например, мукомольный завод, ветряной двигатель (6511), дом лесника (6412), церковь (6510), пасака (6512).

К линейным знакам относятся дороги, линии связи и электропередач, реки и т. д. Пояснительные знаки — характеристики объектов, различные подписи и собственные названия объектов. Например, мост (6511) имеет длину 30 м, ширину 6 м и грузоподъемность 10 т, лес (6512) березовый, высота деревьев 16 м, диаметр стволов 0,30 м, среднее расстояние между деревьями 5 м.





Сплошные горизонталы проведены через 2,5 метра  
 Балтийская система высот



Рис. 6. Часть листа карты в масштабе 1:10-000

### § 13. РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Все карты делятся на два вида; обзорные с масштабом мельче  $1 : 1\,000\,000$  и топографические с масштабом крупнее  $1 : 1\,000\,000$ .  
Карты в масштабах  $1 : 1\,000\,000$ ,  $1 : 500\,000$ ,  $1 : 300\,000$ ,  $1 : 200\,000$  называются обзорно-топографическими и состояются по картам более крупных масштабов.

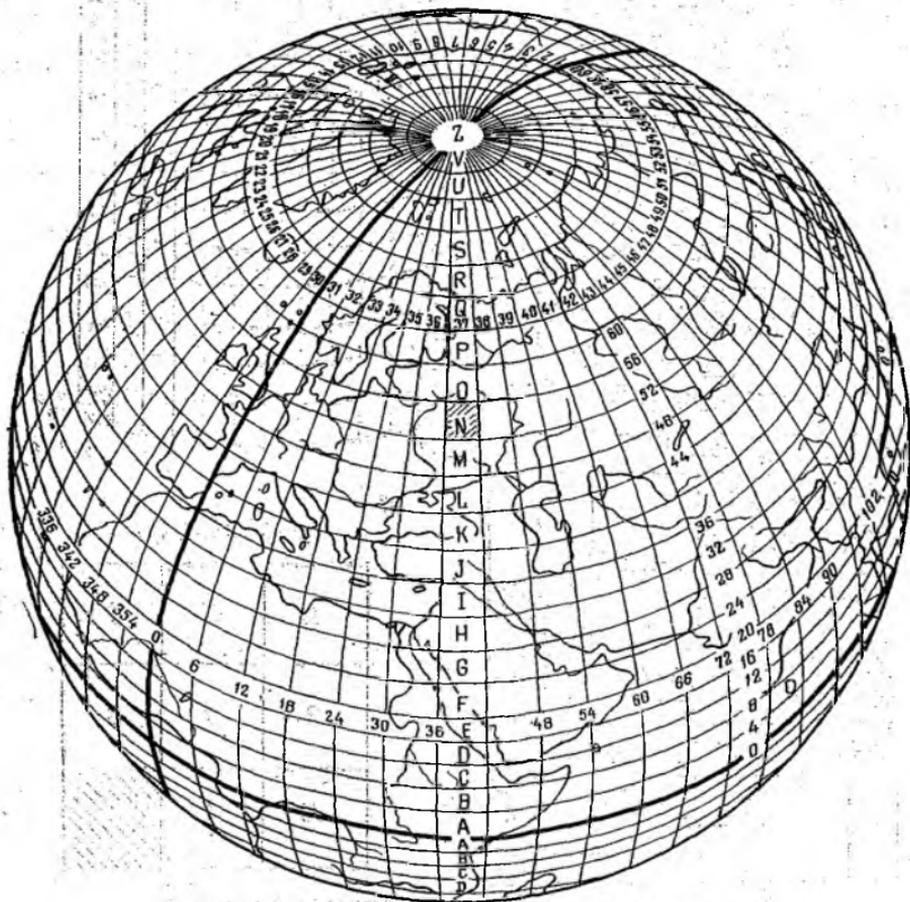


Рис. 7. Номенклатура листа карты  $1 : 1\,000\,000$

Карты в масштабах  $1 : 100\,000$ ,  $1 : 50\,000$ ,  $1 : 25\,000$ ,  $1 : 10\,000$ ,  $1 : 5\,000$ ,  $1 : 2\,000$  называются топографическими и состояются по результатам съемок территорий. Топографические карты отличаются от обзорных карт детальностью изображения местности. Топографические карты являются многостраничными картами. На каждом листе изображается часть территории.

Разделение топографических карт на листы называется разграфкой. В основу разграфки топографических карт положен лист карты масштаба  $1 : 1\,000\,000$ .



Лист карты масштаба 1 : 300 000 составляет  $\frac{1}{9}$  часть листа миллионной карты и обозначается римскими цифрами от I до IX, расположенными перед номенклатурой миллионного листа (см. рис. 8, а).

Лист карты масштаба 1 : 200 000 составляет  $\frac{1}{36}$  часть листа карты 1 : 1 000 000 и обозначается римскими цифрами, помещенными после номенклатуры листа 1 : 1 000 000 (см. рис. 8, а).

Для получения листов карты масштаба 1 : 100 000 нужно лист карты 1 : 1 000 000 разделить на 144 части (рис. 8, б) и обозначить арабскими цифрами от 1 до 144.

Одному листу карты масштаба 1 : 100 000 соответствуют 4 листа масштаба 1 : 50 000, которые обозначаются прописными буквами русского алфавита А, Б, В, Г. Каждый лист масштаба 1 : 50 000 содержит 4 листа карты масштаба 1 : 25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита а, б, в, г. Лист карты масштаба 1 : 25 000 делится на 4 листа карты масштаба 1 : 10 000, обозначаемые арабскими цифрами 1—4. Лист карты в масштабе 1 : 100 000 содержит 256 листов карт в масштабе 1 : 5000, которые обозначаются арабскими цифрами (рис. 8, в). Лист карты масштаба 1 : 5000 делится на 9 частей, образуя листы карт в масштабе 1 : 2000, обозначаемые строчными буквами русского алфавита: а, б, в, г, д, е, ж, з, и (рис. 8, г).

Обозначения листов карт более крупных масштабов по отношению к 1 : 1 000 000, как видно из рассмотренного выше, получают постепенным добавлением к номенклатуре масштаба 1 : 1 000 000 букв или чисел, принятых для обозначения листов каждого масштаба. Примеры номенклатуры различных масштабов и размеры листов карт приведены в табл. 1.

Зная систему разграфки топографических карт, можно решать различные задачи: по географическим координатам точки определить номенклатуру листа карты в заданном масштабе, по номенклатуре определить координаты углов рамки трапеции и номенклатуру смежных листов. Например, для листа карты с номенкла-

Таблица 1

Масштаб карты	Размеры рамки по		Пример номенклатуры	Число листов карт
	широте	долготе		
1 : 1 000 000	4°	6°	N-37	—
1 : 500 000	2	3	N-37-A	4 в листе 1 : 1 000 000
1 : 300 000	1 20'	2	VI-N-37	9 » » 1 : 1 000 000
1 : 200 000	40'	1	N-37-XXVIII	36 » » 1 : 1 000 000
1 : 100 000	20	30"	N-37-144	144 » » 1 : 1 000 000
1 : 50 000	10	15	N-37-144-A	4 » » 1 : 100 000
1 : 25 000	5	7' 30"	N-37-144-B-a	4 » » 1 : 50 000
1 : 10 000	2' 30"	3 45	N-37-144-B-a-1	4 » » 1 : 25 000
1 : 5 000	1 15	1 52,5	N-37-144-(255)	256 » » 1 : 100 000
1 : 2 000	25	37,5	N-37-144-(255-и)	9 » » 1 : 5 000

турой  $N-37-144$  нужно определить географические координаты углов рамки трапеции.

Определяем номер ряда по алфавиту:  $N-14$  ряд, находим широту северной стороны рамки  $\varphi = 14 \times 4^\circ = 56^\circ$  с. ш. и долготу восточного меридиана  $\lambda = 7 \times 6^\circ = 42^\circ$  в. д. Лист карты  $N-37$  делим на 144 части и находим географические координаты углов рамки трапеции листа карты  $N-37-144$  (см. рис. 8, б): широта северной рамки  $52^\circ 20'$ , широта южной рамки  $52^\circ$ , долгота восточной рамки  $42^\circ$ , долгота западной рамки  $41^\circ 30'$ .

#### § 14. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИИ МЕСТНОСТИ

Ориентировать линию местности — значит определить ее положение относительно исходного направления. За исходные направления принимаются:

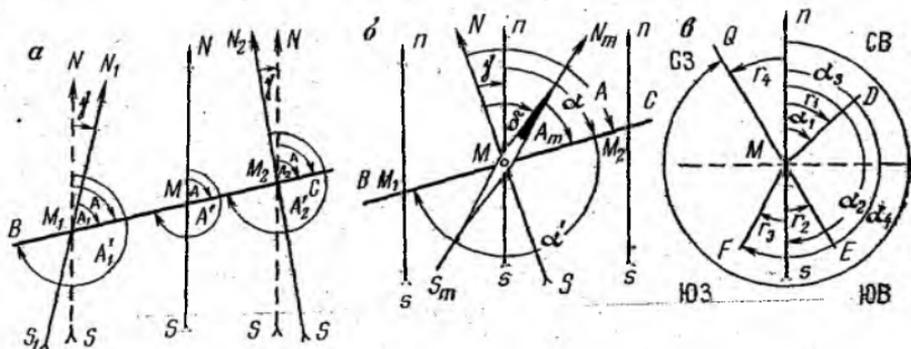


Рис. 9. Ориентировочные углы

истинный, или географический, меридиан (на карте западная и восточная рамки градусной сетки);

осевой меридиан (на карте вертикальные линии координатной сетки);

магнитный меридиан (направление свободно подвешенной магнитной стрелки).

Направление линии местности определяется ориентировочными горизонтальными углами: истинным азимутом, дирекционным углом, магнитным азимутом и румбами.

##### Истинный азимут

На линии местности  $BC$  в точке  $M$  проведем истинный меридиан  $NS$  (рис. 9, а). Угол, отсчитываемый от северного конца истинного меридиана или полуденной линии (проекции истинного меридиана на плоскость горизонта) по ходу часовой стрелки до горизонтальной проекции линии местности, называется истинным азимутом  $A$ . Истинный азимут изменяется от  $0$  до  $360^\circ$ . В точке  $M$  истинный азимут линии  $MC$  называется прямым  $A$ , а  $A'$  — обратным. Обратный азимут в одной точке отличается от прямого

на  $180^\circ$ . Если на этой же линии  $BC$  провести истинные меридианы в точках  $M_1$  и  $M_2$ , то они не будут параллельны меридиану  $NS$  на величину угла  $\gamma$ , называемого *сближением* меридианов. Сближение меридианов — это угол между полуденными линиями в разных точках местности.

Истинные азимуты в разных точках одной и той же линии имеют различные значения:  $A_1 = A - \gamma$ ,  $A_2 = A + \gamma$ . Принято считать сближение меридианов положительным, если точка  $M_2$  расположена к востоку от точки  $M$ , и отрицательным, если точка  $M_1$  расположена к западу от точки  $M$ . Обратные азимуты в точках  $M_1$  и  $M_2$  равны:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= A \pm 180^\circ - \gamma, \\ A_2 &= A \pm 180^\circ + \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

### Дирекционный угол

На линии  $BC$  местности в точке  $M$  проведем линию, параллельную осевому меридиану зоны  $ns$ . Угол, отсчитываемый от северного конца осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до горизонтальной проекции линии местности, называется *дирекционным углом*  $\alpha$  (рис. 9, б). Изменяется дирекционный угол от  $0$  до  $360^\circ$ . Дирекционный угол линии  $BC$  прямой  $\alpha$ , обратный  $\alpha'$ . Обратный дирекционный угол отличается от прямого на  $180^\circ$ . Если в точках  $M_1$  и  $M_2$  провести линии, параллельные осевому меридиану зоны, то они будут параллельны, следовательно, дирекционный угол в разных точках одной и той же линии сохраняет постоянное значение.

### Магнитный азимут

Угол, отсчитываемый от северного конца магнитного меридиана до горизонтальной проекции линии местности, называется *магнитным азимутом*  $A_m$  (см. рис. 9, б). Изменяется магнитный азимут от  $0$  до  $360^\circ$ . Если в точке  $M$  провести истинный меридиан, то угол между истинным и магнитным меридианами называется *склонением* магнитной стрелки  $\delta$ . Северный конец магнитной стрелки может отклоняться от истинного меридиана к востоку или западу. В зависимости от этого различают восточное (положительное) и западное (отрицательное) склонения. В различных точках Земли склонение магнитной стрелки имеет различное значение. На территории СССР его величина колеблется от  $0$  до  $\pm 15^\circ$ . Склонение магнитной стрелки в данной точке изменяется: различают вековое (за 500 лет на  $20^\circ$ ), годовое и суточное (амплитуда колебаний  $\pm 15'$ ) изменения. Поэтому ориентирование по магнитному меридиану производится с невысокой точностью. Под южной стороной рамки листа топографической карты указывается среднее склонение магнитной стрелки на данный район. На рис. 6 склонение магнитной стрелки восточное  $6^\circ 12'$ .

## Связь между ориентировочными углами

Если на линии  $BC$  в точке  $M$  (см. рис. 9, б) провести истинный  $NS$ , осевой  $ns$  и магнитный  $N_m S_m$  меридианы, расположенные к востоку от истинного, то сближение меридианов и склонение магнитной стрелки будут восточные (положительные); тогда значения истинного азимута можно определить по формулам:

$$A = \alpha + \gamma, \quad (13)$$

$$A = A_m + \delta, \quad (14)$$

а дирекционный угол — по формуле

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma \quad (15)$$

или

$$\alpha = A_m + \Pi,$$

где поправка

$$\Pi = \delta - \gamma. \quad (16)$$

Зная значение одного из ориентировочных углов, сближение меридианов и склонение магнитной стрелки, можно определить значение другого ориентировочного угла.

## Румб

*Румбом* называется острый угол, отсчитываемый от ближайшего конца исходного меридиана до горизонтальной проекции линии местности. Румб изменяется от  $0$  до  $90^\circ$  и сопровождается названием четверти. Например, на рис. 9, в показан осевой меридиан и румб линии местности. Между румбом и дирекционным углом существует такая зависимость:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \alpha_1, \\ r_2 &= 180^\circ - \alpha_2, \\ r_3 &= \alpha_3 - 180^\circ, \\ r_4 &= 360^\circ - \alpha_4. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

## Определение сближения меридианов

При выводе формулы для определения сближения меридианов поверхность Земли принимают за шар. На рис. 10  $PP_1$  — полярная ось,  $QQ$  — экваториальная ось. Через точки  $A$  и  $B$  проводят параллель  $AA_1$  и меридианы. Через точки  $A$  и  $B$  на параллели проводят касательные (полуденные линии). Угол  $ANB$  — сближение меридианов.

Дуга  $AB = S$  имеет центральный угол  $\Delta\lambda$ . Считая величину дуги небольшой, можно написать

$$\gamma = \frac{S\rho}{AN}$$

Из треугольника  $OAN$

$$AN = R \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi),$$

тогда

$$\gamma = \frac{\rho}{R} S \operatorname{tg} \varphi, \quad (18)$$

или, подставив значение  $\rho/R$ , получим

$$\gamma' = 0,54 \cdot S_{\text{км}} \operatorname{tg} \varphi. \quad (19)$$

Заменим дугу  $S$  через  $\Delta\lambda$  (разность долгот)

$$S = \frac{AF \Delta\lambda}{\rho}.$$

Из треугольника  $OAF$  найдем радиус параллели  $AF = R \cos \varphi$ , тогда

$$S = \frac{\Delta\lambda}{\rho} R \cos \varphi; \quad (20)$$

подставив  $S$  из формулы (20) в формулу (18), получим

$$\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi, \quad (21)$$

где  $\Delta\lambda$  — разность между долготой среднего меридиана листа карты ( $\lambda_{\text{ср}}$ ) и долготой осевого меридиана зоны ( $\lambda_{\text{ос}}$ )

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{ср}} - \lambda_{\text{ос}}.$$

Долгота осевого меридиана зоны находится по формуле

$$\lambda_{\text{ос}} = N \cdot 6^\circ - 3^\circ, \quad (22)$$

где  $N$  — номер зоны.

Долгота среднего меридиана находится как среднее из значений долгот, подписанных в углах рамки листа карты. Так же находят широту средней параллели на листе карты.

Из формулы (21) следует, что на экваторе ( $\varphi = 0$ ) сближение меридианов  $\gamma = 0$ , а на полюсе ( $\varphi = 90^\circ$ )  $\gamma = \Delta\lambda$ .

### Ориентирование листа топографической карты с помощью буссоли

Для решения этой задачи нужно знать склонение магнитной стрелки и сближение меридианов, величины которых подписываются под южной стороной рамки листа карты. Чтобы ориентиро-

вать карту по истинному меридиану, нужно приложить скошенный край буссоли к линии минутной рамки (проекции истинного меридиана) и поворачивать лист карты вместе с буссолью до тех пор, пока стрелка буссоли покажет значение склонения магнитной стрелки, например склонение восточное  $6^{\circ} 12'$  (см. рис. 6).

Ориентирование карты по осевому меридиану осуществляется приложением скошенного края буссоли к вертикальной линии километровой сетки и вращением карты с буссолью до тех пор, пока стрелка буссоли покажет отсчет, равный поправке  $\Pi = \delta - \gamma = 8^{\circ} 34'$  (среднее сближение меридианов западное  $2^{\circ} 22'$ ).

## § 15. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

*Рельефом* местности называется совокупность неровностей естественного происхождения. Рельеф имеет большое значение в жизнедеятельности человека. Чтобы проложить дорогу, канал, осушительную систему, определить направление распашки борозд в сельском хозяйстве и т. д., на топографических картах нужно иметь подробное изображение рельефа и учитывать его при решении практических задач.

В зависимости от характера рельефа местность подразделяют на равнинную, всхолмленную и горную. Равнинная местность имеет слабовыраженные формы или почти без неровностей. Всхолмленная характеризуется чередованием небольших по высоте повышений и понижений. Горная местность представлена возвышениями более 500 м над уровнем моря. Ряд горных цепей прорезаны долинами.

Основных форм рельефа пять (рис. 11, а).

*Гора* — положительная форма, возвышающаяся над окружающей местностью, разновидности гор: холм, сопка, ник, голец и др. Самая высокая точка горы называется вершиной; где гора сливается с окружающей местностью — подошва; от вершины до подошвы — скат.

*Котловина*, или *впадина*, — отрицательная форма с постепенно понижающимися скатами. Самая низкая точка котловины — дно. Место, где скаты сливаются с окружающей местностью, называется бровкой.

*Хребет* — положительная форма, возвышающаяся над окружающей местностью, вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении. Хребет состоит из двух скатов, которые пересекаются в высоких точках, образуя линию водораздела.

*Лощина* — отрицательная форма, вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении. Скаты лощины пересекаются в наиболее низких местах, образуя водосливную линию (тальвег). Разновидности лощины: промоина (начальная стадия оврага), овраг (с крутыми скатами, не заросшими травой), балка (скаты, заросшие травой), долина (ложе реки) и др.

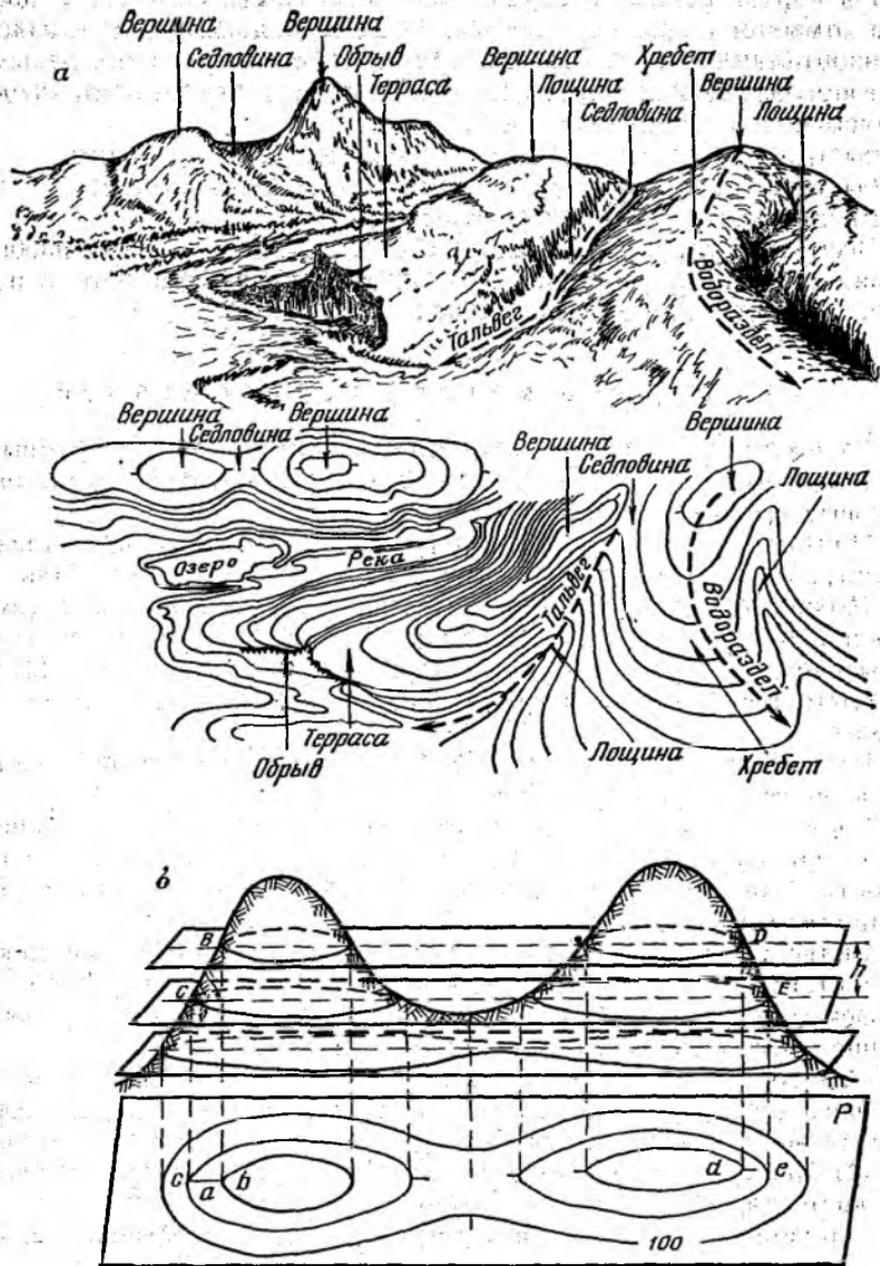


Рис. 11. Изображение рельефа местности горизонталями

*Седловина* — сложная форма, место встречи двух хребтов и начало двух лощин. В горах через седловину идут тропы (перевалы).

На картах рельеф изображается различными способами: цветным отмывом (горы коричневые, лощины зеленые), штриховкой, горизонталями и т. д. При выборе способа изображения рельефа на топографических картах нужно учитывать требования, предъявляемые к изображению рельефа:

быстрое определение отметок точек местности по карте;

быстрое определение крутизны и направления скатов;

пластичность и хорошая читаемость.

Всем этим требованиям лучше всего отвечает способ изображения рельефа с помощью горизонталей в совокупности с подписью отметок характерных точек.

### С у ш н о с т ь м е т о д а г о р и з о н т а л е й

*Горизонталь* — это геометрическое место точек с равными высотами или замкнутая кривая, все точки которой имеют одинаковые высоты над уровнем моря.

Понятие о горизонтали можно составить, если представить замкнутый водоем, береговая линия которого — горизонталь.

Можно представить сечение Земли уровнями плоскостями. Точки пересечения секущих плоскостей с физической поверхностью Земли проектируют на горизонтальную плоскость  $P$  (рис. 11, б), а затем переходят к изображению в уменьшенном виде на бумаге.

Расстояние между двумя секущими плоскостями называется *высотой сечения рельефа*  $h$ .

Гору от котловины, хребет от лощины отличают по направлению бергштрихов (черточек), показывающих направление ската. Отметки горизонталей подписывают так, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения ската.

Скату  $CB$  между двумя секущими плоскостями на местности соответствует расстояние между горизонталями на карте  $cb$ , называемое *заложением* ската  $a$  (см. рис. 11, б). Чем больше заложение, тем меньше крутизна ската, и наоборот.

Горизонтали никогда не пересекаются, за исключением нависшего утеса, карстовых воронок и осыпей, но последние горизонталями не выражаются, а обозначаются условными знаками.

Изображение основных форм рельефа горизонталями показано на листе карты (см. рис. 6), например квадрат (6412).

Горизонталы на карте вычерчиваются цветом жженой сиены.

### К р у т и з н а и н а п р а в л е н и е с к а т а

Крутизна ската характеризуется углом наклона местности  $\gamma$  (см. рис. 11, б) или уклоном  $i$ . Чем больше угол наклона, тем

больше крутизна ската. Уклон и угол наклона можно определить из отношений

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{a}; \quad v^{\circ} = \frac{hp}{a}. \quad (23)$$

Уклон определяется в процентах (%) или промиллях (‰).

Направление наибольшей крутизны называется *направлением ската*. Направлению ската на карте соответствует линия ската на местности. Углы наклона и уклоны определяют на карте по специально построенным графикам заложений (см. рис. 6).

### Нормальная высота сечения рельефа

При разной высоте сечения рельефа получается различное изображение рельефа. Чем меньше высота сечения рельефа, тем подробнее он будет изображен, но это может привести к увеличению числа горизонталей на карте, что затрудняет чтение рельефа.

Чем больше крутизна ската, тем чаще проходят горизонталы и может случиться так, что горизонталы сольются. Заложение зависит не только от крутизны ската, но и от масштаба карты. Крутизна ската и масштаб влияют на выбор высоты сечения рельефа. Из формулы (23) высота сечения рельефа равна

$$h = a \operatorname{tg} v. \quad (24)$$

Если принять  $v_{\max} = 45^{\circ}$  (на картах изображают горизонталями скаты не более  $45^{\circ}$ ) и  $a_{\min} = 0,2$  мм, а на местности  $0,2 \cdot M$  (минимальное заложение, при котором проводятся две горизонталы, не сливаясь), то, подставив эти значения в формулу (24), найдем нормальную высоту сечения рельефа

$$h = 0,2 \cdot M. \quad (25)$$

Для масштабов 1 : 5000, 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000 нормальная высота сечения рельефа соответственно будет равна 1, 2, 5 и 10 м.

В зависимости от районов и характера местности инструкциями и наставлениями по производству топографических съемок устанавливается высота сечения рельефа. Для равнинных районов она в 2 раза меньше, а для горных в 2 раза больше по сравнению с нормальной высотой сечения.

Чтобы облегчить чтение горизонталей на карте, некоторые из них принято утолщать. При высоте сечения рельефа 1, 2, 5 и 10 м утолщают каждую пятую горизонталь с отметками, кратными соответственно 5, 10, 25 и 50 м. При высоте сечения рельефа 2,5 м утолщают каждую четвертую горизонталь с отметками, кратными 10 м. Если при определенной высоте сечения рельеф выражается слабо, то проводят дополнительные горизонталы (полу- и четверть-

горизонтали, которые показываются пунктирными кривыми, иногда в виде отдельных частей).

Высота сечения рельефа подписывается под южной рамкой карты.

## § 16. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

1. Определение отметки горизонтали по данной высоте точки и известной высоте сечения рельефа.

При решении задачи нужно помнить, что отметка горизонтали должна быть кратна высоте сечения рельефа, а разность между высотой данной точки и отметкой ближайшей горизонтали должна быть меньше высоты сечения рельефа. На карте (см. рис. 6) горизонтали проведены через 2,5 м, высоты горы Голая 156,9 м, следовательно, отметка ближайшей наименьшей горизонтали равна 155 м (квадрат 6511).

2. Определение отметок точек местности.

Если точка расположена на горизонтали, то ее отметка равна отметке горизонтали. Например (см. рис. 6 квадрат 6412)  $H_1 = 155,0$  м. Отметка точки 2 находится между горизонталями с разными высотами, поэтому ее можно определить интерполированием на глаз, т. е.  $H_2 = 155,0 + 0,5 = 155,5$  м.

Если точка расположена между одноименными горизонталями, то ее высота определяется приближенно: больше или меньше ближайшей горизонтали на 0,5h, т. е.  $H_3 = 155,0 - 1,2 = 153,8$  м.

3. Определение крутизны ската.

Угол наклона и уклон ската можно определить по формуле (23). Крутизну ската можно определить и графически, пользуясь графиками заложений. По заданной высоте сечения рельефа и углам наклона или уклонам по формуле (23) вычисляют заложения в метрах. Для построения графика заложений (см. рис. 6) проводят прямую (основание масштаба), делят ее на равные части и на перпендикулярах при помощи масштабной линейки и измерителя откладывают заложения в масштабе карты. Через полученные точки проводят плавную кривую. Взяв с карты в раствор измерителя расстояние между точками B и C (6511) и приложив его к графику заложений, определяют пересечение с кривой. Например, взятый с графика заложений  $\nu = 2,4^\circ$ , а вычисленный по формуле  $\nu = 2,3^\circ$ ,  $i = 41\%$ .

4. Проведение на карте линии заданного уклона.

Из точки A в точку D (6411) нужно провести линию с уклоном 35% ( $2^\circ$ ). Взяв раствор циркуля по графику заложений, соответствующий 35%, из точки A засекают последовательно все горизонтали. Соединив точки, получают линию с заданным предельным уклоном. Если раствор измерителя меньше расстояния между горизонталями, то соединяют по прямой линии.

б. Построение профиля местности по заданному на карте направлению.

Построить профиль по линии  $KE$  г. Малиновская (6411) — ветродвигатель (6512). Для этого проводят прямую и на ней откладывают в масштабе карты расстояния между точками  $K, 1, 2, 3, 4, 5, 6, E$ , т. е. точки пересечения горизонталей с прямой  $KE$ . Отметка этих точек равна отметкам горизонталей или найдены интерполированием ( $4$  и  $E$ ). Откладывают отметки этих точек на перпендикулярах к основанию профиля в масштабе в 10 раз крупнее горизонтального масштаба. Полученные точки соединяют плавной линией.

С помощью профиля можно установить взаимную видимость между двумя точками, для чего их нужно соединить прямой. Если видимости между точками нет, то можно установить, на какую величину нужно поднять одну из точек. Если построить профили из одной точки по ряду направлений, то можно нанести на карту участки местности, невидимые с этой точки (поля невидимости).

6. Определение границы водосборной площади.

*Бассейном, или водосборной площадью*, называется часть земной поверхности, с которой вода по условиям рельефа должна стечь в данный водосток (реку, овраг и т. д.).

Границами водосборной площади служат водораздельные линии. На рис. 6 показаны границы бассейна для плотины, сооружаемой в точке  $e$ . Водораздельные линии проведены пунктиром перпендикулярно к горизонталям (6410, 6411).

7. Определение географических и прямоугольных координат точек.

Широты и долготы подписаны в углах рамки листа карты (см. рис. 6,  $\varphi_{юз} = 54^{\circ} 40'$ ,  $\lambda_{юз} = 18^{\circ} 03' 45''$ ). На рамке карты выделены (заливкой) целые минуты по широте и долготе. Соединяя концы их на противоположных сторонах рамки, получают минутную сетку параллелей и меридианов, которая используется для определения географических координат точек. Секунды долготы и широты получаются из отношения линейных отрезков. Например, если от точки «мукомольный завод» (6511) до ближайшего (западного) меридиана отрезок равен  $a$  и длина одной минуты долготы (на рамке)  $b$ , то долгота точки будет равна

$$\lambda = \lambda_{б.м} + \frac{60''a}{b};$$

для данной точки имеем

$$\lambda = 18^{\circ} 04' + \frac{60'' \cdot 9,8 \text{ см}}{10,5 \text{ см}} = 18^{\circ} 04' 54''.$$

Так же определяется широта точки

$$\varphi = 54^{\circ} 40' + \frac{60'' \cdot 13,7 \text{ см}}{19,6 \text{ см}} = 54^{\circ} 40' 44''.$$

Прямоугольные координаты этой же точки определяются относительно вертикальных и горизонтальных линий координатной сетки с помощью измерителя и масштабной линейки

$$x = 6065 + 542 \text{ м} = 6\ 065\ 542 \text{ м},$$

$$y = 4311 + 756 \text{ м} = 4\ 311\ 756 \text{ м}.$$

**8. Определение истинного азимута и дирекционного угла линии по карте.**

Для определения истинного азимута и дирекционного угла направления из точки  $P$  (6511) улучшенной грунтовой дороги через точку  $P$  проводят линии, параллельные западной или восточной минутной рамке и вертикальной линии километровой сетки. Приложив транспортир нулем к северу в точке  $P$ , отсчитывают значения углов до направления дороги:  $A = 89^\circ 10'$  и  $\alpha = 91^\circ 30'$ .

§ 17. ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО УГЛОВ

Горизонтальной проекцией угла  $VAC$  местности является угол  $bac$ , полученный путем ортогонального проектирования сторон  $AB$  и  $AC$  на горизонтальную плоскость  $P$  (рис. 12). Следовательно, горизонтальный угол  $\beta$  — это линейный двугранный угол, ребро которого  $Aa$  образовано отвесной линией, проходящей через вершину угла  $A$ , и отвесными проектирующими плоскостями  $T$  и  $Q$ , содержащими стороны  $AB$  и  $AC$  данного угла. Мерой того же двугранного угла будет также всякий другой линейный угол, например  $b'A_1c'$ , имеющий вершину на отвесном ребре  $Aa$ , а стороны — в горизонтальной плоскости  $N$ , параллельной плоскости  $P$ .

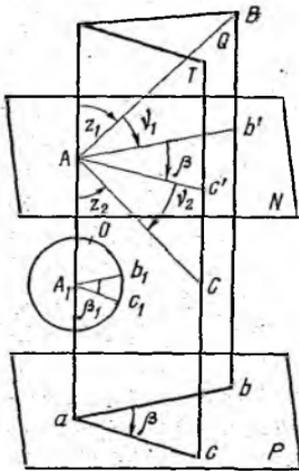


Рис. 12. Принцип измерения углов

Если в точке  $A_1$  представить градуированный круг, плоскость которого горизонтальна (параллельна плоскости  $P$ ), центр круга лежит на ребре  $Aa$ , а радиусы  $A_1b_1$  и  $A_1c_1$  круга находятся в проектирующих плоскостях  $Q$  и  $T$ , то угол  $b_1A_1c_1$  равен углу  $\beta$ . Пусть на круге имеется индекс  $O$  и деления оцифрованы по ходу часовой стрелки, тогда угол  $\beta$  можно

определить как разность отсчетов по кругу в точках  $c_1$  и  $b_1$

$$\beta = c_1 - b_1.$$

Вертикальные углы лежат в вертикальной плоскости. Если вертикальный угол считать от отвесного ребра двугранного угла до направления на точки  $B$  и  $C$ , то углы  $z_1$  и  $z_2$  называются *зенитными расстояниями*. При отсчете вертикальных углов от горизонтальных проекций линий до направления линий местности получаются углы наклона  $\nu_1$  и  $\nu_2$ .

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов прибор должен иметь две плоскости. Во время измерений одна плоскость должна быть горизонтальная, а другая отвесная.

Прибор, используемый для измерения горизонтальных и вертикальных углов, называется *теодолитом*. Общий вид теодолита показан на рис. 25, 26, 28, 30, а его конструктивная схема на рис. 29.

*Лимб* — это рабочая мера прибора в виде круговой шкалы, нанесенной на круг. У приборов используют стеклянный лимб (марки БК-10) или металлический (из сплава никеля, цинка, меди или серебра и меди). Диаметры лимбов самые различные: от 5 до 22 см.

На металлические круги штрихи лимба наносят на плоской, цилиндрической или конической поверхности с помощью автоматической делительной машины, а цифры — на специальном пантографе. На стеклянные круги штрихи лимба наносят на плоской поверхности с последующей протравкой их в парах плавиковой кислоты или на покровном слое лимба — амальгаме. Используют также способ нанесения штрихов напылением хрома в вакууме, что позволяет получить штрихи более тонкими и четкими.

В СССР градуировка лимбов выполняется в градусной мере, а в зарубежных приборах имеет место и градусная мера. Оцифровка делений на лимбе производится через 1 или  $10^\circ$ , как правило, по ходу часовой стрелки. Центральный угол, соответствующий одному делению лимба, называется *ценой деления* лимба  $\mu$ . Цена деления лимба бывает различная:  $5'$ ,  $10'$ ,  $20'$ ,  $30'$ ,  $1^\circ$  и др.

Штрихи на лимбе наносятся с ошибкой от  $1,2$  до  $10''$ . Толщина штрихов зависит от увеличения микроскопа и луп, используемых в отсчетных устройствах, и может быть от 8 до  $19$  мкм. Современные делительные машины позволяют делить круги с высокой точностью (до  $1''$ ). Для этого должны быть: стабильная температура ( $20^\circ \text{C} \pm 0,2$ ), определенная влажность, отсутствие вибраций машины, соблюдение чистоты помещения и воздуха. ГОСТом для каждого типа теодолитов установлена определенная точность деления кругов.

Деления на лимбе тонкие и расстояние между ними 20—30 мкм, поэтому нужно соблюдать большую осторожность при работе с лимбом. Лимб закрывают металлическим кожухом, чтобы предохранить его от попадания пыли и влаги.

### § 19. ОТСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Отсчетные устройства основаны на способности глаза с высокой точностью воспринимать совпадение штрихов одной шкалы со штрихами другой, симметричное расположение штрихов этих шкал; оценивать десятые доли промежутка между штрихами.

Действие отсчетных устройств основывается на одном из принципов:

- оценка на глаз десятых долей интервала;
- совмещение двух штрихов;
- установка штриха в биссектор или посредине интервала двойного штриха.

Отсчетное устройство состоит из приспособления для оценки доли деления лимба и оптического приспособления для рассматривания штрихов лимба.

В современных теодолитах широко используют штриховые и шкаловые микроскопы и микрометры. В дальномерах для отсчитывания расстояний широко используют верньер. Быстрота, удобство и точность снятия отсчета зависят от отсчетного устройства. Как показала практика, предельная ошибка снятия отсчета не должна превышать величины средней квадратической ошибки измерения угла данным теодолитом.

Конструкция отсчетных устройств рассчитана так, чтобы видимая величина наименьшего интервала между делениями шкалы или лимба составляла 1—3 мм, тогда точность отсчета составляет 0,05—0,1 интервала с оценкой доли деления на глаз. Например, для теодолита типа Т5 величина наименьшего промежутка между делениями составляет 1', а для Т30 — 10', точность снятия отсчета соответственно составляет 3—6" и 30"—1'.

### Верньер

*Верньером* называется вспомогательная шкала, с помощью которой можно оценить доли деления основной шкалы. Применяется с 1631 г. по предложению голландца Петера Вернера (во французской транскрипции Пьер Вернье). Интервалы на верньере несколько меньше интервалов основной шкалы. Если обозначить число делений на основной шкале через  $n$ , а на верньере — через  $(n + 1)$ , то такой верньер называется *прямым* (рис. 13, а). Если же числу делений  $n$  основной шкалы соответствует  $(n - 1)$  делений верньера, то он называется *обратным*.

Одно деление верньера меньше одного деления лимба на величину  $t$ , два деления верньера меньше двух делений лимба на  $2t$ , 3 деления — на  $3t$  и т. д. Обозначим цену деления на верньере через  $\mu_0$ , а на лимбе через  $\mu$ , тогда точность верньера  $t$  будет

$$t = \mu - \mu_0. \quad (26)$$

Исходя из устройства верньера, напишем, что длина дуги лимба равна длине дуги верньера

$$\mu n = \mu_0 (n + 1).$$

Найдем цену деления верньера

$$\mu_0 = \frac{\mu n}{n + 1}. \quad (27)$$

Подставив цену деления верньера (27) в формулу (26), получим

$$t = \frac{\mu}{n+1}. \quad (28)$$

Точность верньера равна цене деления лимба, деленной на число делений верньера. Например,  $\mu = 20'$ ,  $(n+1) = 40$ , тогда  $t = 30''$ . Чем больше число  $(n+1)$  делений верньера, тем меньше величина  $t$  и выше точность отсчитывания. Однако при большом числе делений шкала верньера получается слишком длинной, что делает ее не удобной для отсчитывания. Обычно точность верньера порядка  $10''$ ,  $20''$ ,  $30''$ ,  $1'$ . Для отсчитывания с помощью верньера берут целое число градусов и минут по лимбу ( $A$ ) и прибавляют номер совмещенного штриха верньера ( $K$ ), умноженный на точность верньера

$$\varphi = A + Kt. \quad (29)$$

Например, на рис. 13, б отсчет равен:  $\varphi = 25^\circ 20' + 16 \cdot 1' = 25^\circ 36'$ .

При отсчете по крайним штрихам верньера для симметрии на него наносят дополнительные штрихи (по одному или по два), которые не входят в число штрихов верньера.

Если ни один штрих шкалы верньера не совпадает ни с одним штрихом шкалы лимба, то берут среднее из отсчетов, соответствующих двум соседним штрихам верньера, наиболее близким к совмещению со штрихами основной шкалы. Очень важно при отсчете по верньеру правильно располагать глаз.

Верньер должен удовлетворять следующим требованиям:

длина верньера в  $(n+1)$  или  $(n-1)$  делений должна быть равна длине лимба в  $n$  делений;

штрихи верньера и лимба должны быть одинаковой ширины и созразмерны с интервалом между ними;

зазор между верньером и лимбом не должен быть более 0,5 ширины штриха;

увеличение отсчетной лупы должно удовлетворять условию

$$\frac{t}{2} R \approx 250 \frac{\gamma}{\Gamma}, \quad (30)$$

где  $R$  — радиус лимба;  $\gamma$  — угол наилучшей различимости совпадения штрихов невооруженным глазом ( $20''$ );  $\Gamma$  — увеличение; 250 — расстояние наилучшего зрения (мм).

Предельная ошибка отсчитывания по верньеру составляет  $0,5t$ ; а средняя квадратическая ошибка  $0,3t$ .

Верньеры встречаются в теодолитах старых выпусков (ТТ-50, ТТ-5), обладающих малой точностью, а также в простейших угломерных приборах, таких как гониометр. Однако верньеры находят широкое применение для повышения точности отсчитывания по рейке в дальномерах.

## ШТРИХОВОЙ МИКРОСКОП

Это отсчетное устройство, в котором интервал между штрихом лимба и индексом оценивается на глаз до десятых долей деления лимба. Применяется в технических теодолитах (Т30, ТОМ). Микроскоп соединяется со зрительной трубой или с под-

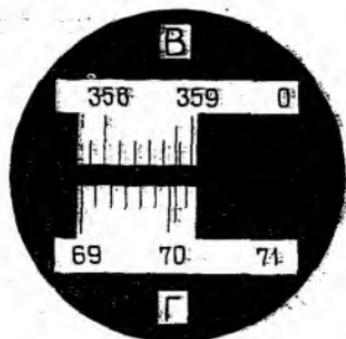
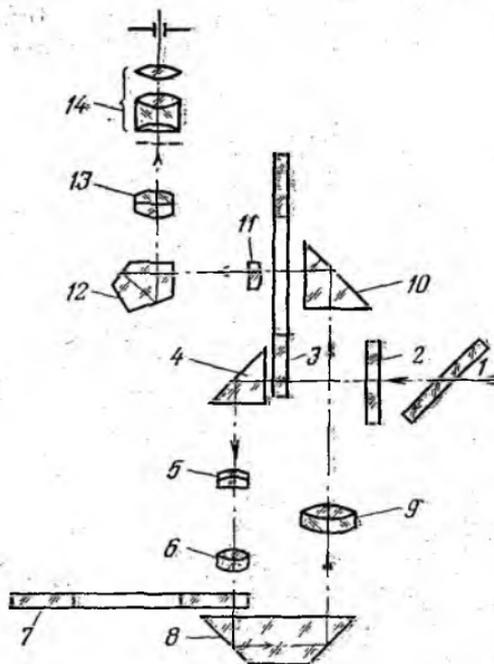


Рис. 15. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т30

Рис. 14. Оптическая схема штрихового микроскопа теодолита Т30

ставкой трубы. В поле зрения микроскопа видно изображение горизонтального и вертикального кругов, так что отсчитывание производится по одному штриху-индексу на обоих кругах. Отсчеты берутся по одной стороне кругов с точностью обычно  $1'$ . Окуляр отсчетного устройства располагают рядом с окуляром зрительной трубы.

На примере теодолита Т30 рассмотрим оптическую схему штрихового микроскопа (рис. 14). Лучи света, оразившись от зеркала 1 и пройдя защитное стекло 2, освещают штрихи вертикального круга 3. При помощи призмы 4 и двух линз 5 и 6 объектива изображение шкалы вертикального круга получается в плоскости горизонтального круга 7. С помощью призмы 8 и 10 объектива 9 изображение штрихов вертикального и горизонтального кругов попадает на плоскую поверхность коллектива 11, на которую нанесен штрих-индекс. Полученные изображения после отражения в призме 12 рассматриваются через микроскоп, состоящий из объектива 13 и окуляра 14.

Поле зрения штрихового микроскопа Т30 показано на рис. 15. Отсчет по вертикальному кругу равен  $358^{\circ} 48'$ , по горизонтальному  $70^{\circ} 04'$ .

## Шкаловой микроскоп

Шкаловой микроскоп используется в современных оптических угломерных приборах технической точности и точных с односторонним отсчетом по лимбу. В поле зрения микроскопа видны изображения горизонтального и вертикального кругов и шкалы, направиванной на пластине с таким увеличением, чтобы длина шкалы в  $n$  делений была равна изображению одного деления лимба.

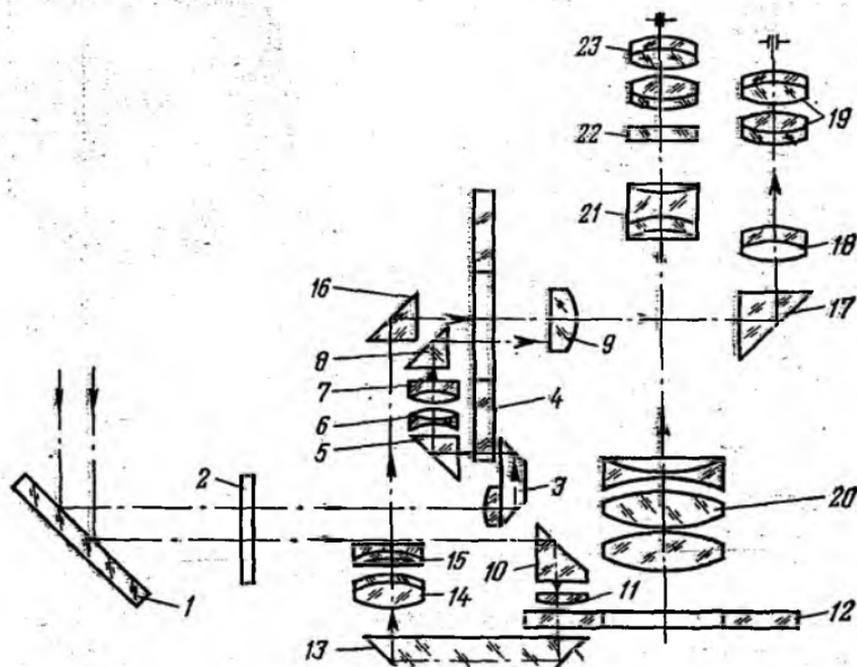


Рис. 16. Оптическая схема шкалового микроскопа теодолита Т15

На рис. 16 показана оптическая схема шкалового микроскопа Т15. Лучи света, отразившись от зеркала 1, через иллюминатор 2 направляются призмой 3 на вертикальный круг 4. Изображение штрихов вертикального круга с помощью призмы 5 проектируется объективом 6—7 через призму 8 в плоскость коллектива 9, на которой нанесены отсчетные шкалы. На этот же коллектив с помощью призмы 13 объективом 14—15 через призму 16 проектируется и изображение штрихов горизонтального круга 12, подсвечиваемого через призму 10 и конденсор 11. Изображения штрихов обоих лимбов и отсчетных шкал рассматриваются через микроскоп, состоящий из объектива 18 и окуляра 19.

Оптическая система зрительной трубы состоит из объектива 20, фокусирующей линзы 21, сетки нитей 22 и окуляра 23.

В поле зрения микроскопа (рис. 17) для отсчитывания по кругам имеются две шкалы, разделенные на 60 частей. Поскольку

круг оцифрован через  $1^\circ$ , то каждое деление шкалы микроскопа соответствует  $1'$ . Точность отсчитывания по шкале микроскопа  $0,1'$ . Отсчет по горизонтальному кругу равен  $174^\circ 55,0'$ , по вертикальному —  $2^\circ 05,2'$ .

### Микроскоп-микрометр (винтовой)

Микроскоп-микрометр применяется в высокоточных геодезических и астрономических угломерных приборах механического типа, отличается от шкалового микроскопа наличием коробки с микрометром, расположенной перед окуляром микроскопа.

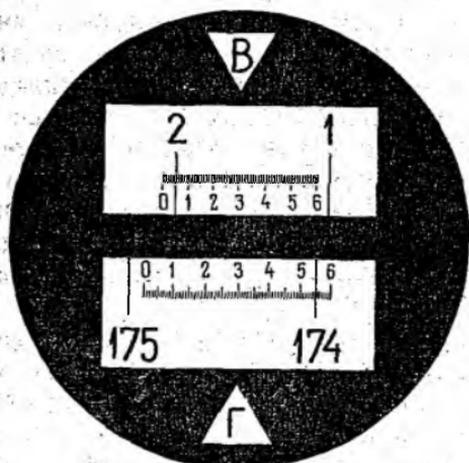


Рис. 17. Виде зрения шкалового микроскопа теодолита Т15

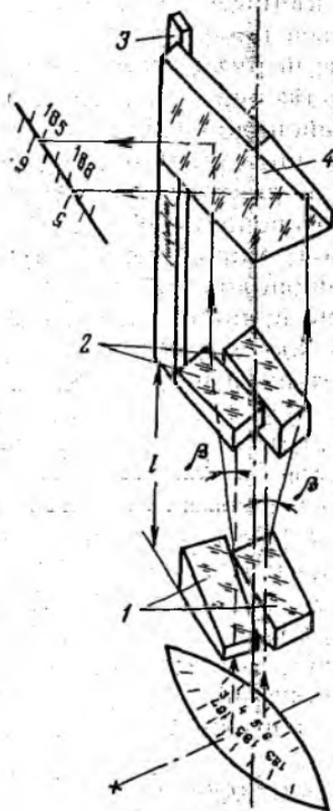


Рис. 18. Оптический микрометр теодолита Т2

### Оптический микрометр

Оптический микрометр является наиболее совершенным и точным отсчетным приспособлением. Распространены односторонние (в технических и точных теодолитах) и двусторонние микрометры (в точных и высокоточных приборах). Оптические микрометры делятся на клиновые, с плоскопараллельной пластиной и линзовые. Наиболее часто используются микрометры с плоскопараллельной пластиной и клиновые.

У теодолита Т2 сложная схема отсчетной системы, позволяющая использовать при отсчитывании принцип совмещенного

отсчета по двум противоположным сторонам угломерных кругов, а наличие микроскопа с микрометром дает возможность отсчитывания до  $0,1''$ .

Микрометр (рис. 18) состоит из двух пар оптических клиньев. Нижняя пара 1 неподвижная, а вторая пара 2 подвижная; вращением рукоятки микрометра 3 (см. рис. 26, а) ее можно перемещать поступательно вдоль направления луча. С подвижными клиньями жестко скреплена шкала микрометра 3.

Преломляющие углы  $\beta$  клиньев одинаковые и равны  $1^\circ 13' 30''$ , направлены в противоположные стороны. Величина перемещения клиньев регистрируется шкалой микрометра. Одна пара клиньев помещена на пути пучка лучей, дающих прямое изображение штрихов лимба, вторая — на пути лучей, дающих обратное изображение штрихов лимба, расположенных на диаметрально противоположной стороне. Клинья параллельны, но так как их углы преломления направлены в противоположные стороны, то при движении клиньев по ходу лучей последние смещаются в противоположных направлениях. Благодаря этому, перемещая клинья, можно свести или развести изображения диаметрально противоположных штрихов и зарегистрировать при помощи шкалы величину перемещения.

Между подвижными клиньями имеется зазор, в котором расположена неподвижная шторка разделительного устройства микрометра. Шторка позволяет разделять изображения штрихов, получаемых с противоположных концов круга, срезать концы штрихов, чтобы обеспечить точное совмещение их. Вторым элементом разделительного устройства является блок призма — узел 4 (состоит из пяти деталей: 2 призмы, 1 оптический клин, 1 пластина, 1 линза). От качества его установки зависит изображение штрихов и правильность их расположения.

Половина отражательной грани призмы 4 покрыта слоем серебра, граница которого является разделительной линией двух изображений. К отражательной грани приклеен оптический клин, наружная поверхность которого также покрыта слоем серебра.

Лучи, идущие от одной стороны круга, пройдя неподвижный, а затем подвижный клинья, попадают в призму и отражаются от ее посеребренной грани или от наружной поверхности клина, после чего направляются в микроскоп. Микроскоп отфокусирован на границу серебряного слоя, нанесенного на призме. Изображения штрихов с одной и противоположной сторон круга проектируются на границу серебряного слоя призмы. Лучи, несущие изображение противоположной стороны, отражаются от поверхности клина.

В поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2 видны два окошечка — большое и маленькое (рис. 19). В верхней половине большого окошечка видно изображение штрихов основной стороны лимба, а в нижней половине — противоположной стороны

лимба. В малом окошечке виден неподвижный штрих-индекс и изображение шкалы оптического микрометра.

При отсчете нужно вращением рукоятки микрометра совместить изображение верхних и нижних штрихов лимба. Число градусов считают по верхнему изображению слева от центра или непосредственно в центре окошечка, а затем отсчитывают число десятков минут, равное числу интервалов между верхним отсчитанным штрихом и нижним, отличающимся на  $180^\circ$ . Единицы

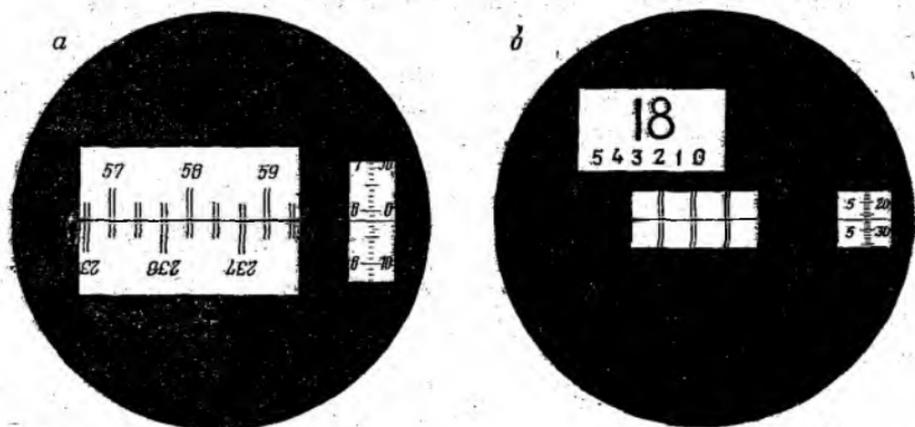


Рис. 19. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолитов Т2 и 2Т2

минут считают слева в малом боковом окошечке, десятки секунд — справа по неподвижному индексу. Наименьшее деление шкалы микрометра  $1''$ , точность отсчета  $0,1''$ . На рис. 19, а отсчет по горизонтальному кругу составляет  $57^\circ 58' 02,0''$ .

В теодолите 2Т2 для отсчета используют дополнительную шкалу десятков минут (от 0 до 5). В центральном окошке, разделенном горизонтальным штрихом, производят совмещение изображения штрихов лимба с помощью рукоятки микрометра. В верхнем большом окошке отсчитывают число градусов и десятков минут (цифра, расположенная под числом градусов), в боковом окошке — единицы минут и секунд. На рис. 19, б отсчет по микроскопу равен  $18^\circ 25' 27''$ .

## § 20. УРОВНИ

Уровни служат для определения положения прибора и его отдельных частей относительно отвесной линии, а также для измерения малых углов наклона. Основной частью уровня является ампула с жидкостью. Уровни бывают цилиндрические и круглые. Ампула цилиндрического уровня представляет собой стеклянную трубку (рис. 20, а), внутренняя поверхность которой веретенообразной формы. Внутренняя часть ампулы круглого уровня имеет сферическую поверхность (рис. 20, б). Применяются ампулы согласно ГОСТ 2386—73.

Цилиндрические уровни бывают односторонние и двусторонние, или оборотные (реверсивные) (рис. 20, в).

Ампула наполняется серным эфиром или этиловым спиртом. Концы ампул после заполнения жидкостью в горячем состоянии запаиваются. Пузырек уровня образуется из паров заполнителя, нормальная длина его равна 0,3—0,4 длины ампулы при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ . Для сохранения длины пузырька при разных температурах ампулы делают с запасной камерой или с компенсационной стеклянной палочкой внутри нее (рис. 20, д, г).

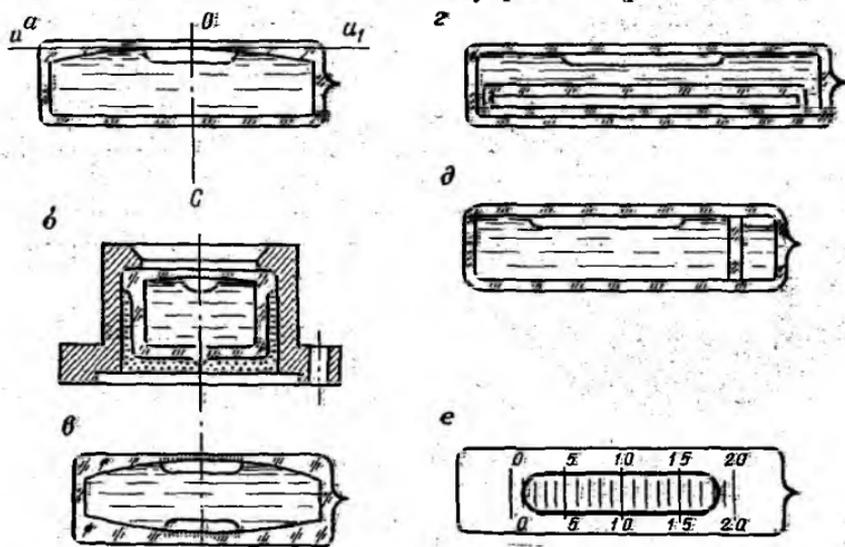


Рис. 20. Уровни

Запасная камера отделяется от рабочей стеклянной перегородкой с отверстием внизу. Наклоняя уровень, можно перемещать часть паров наполнителя из одной камеры в другую и тем самым регулировать длину пузырька. Принцип устройства компенсированной ампулы основан на сокращении объема наполнителя, для чего в ампулу помещают стеклянную трубку с запаянными концами.

На внешней стороне ампулы наносятся деления через 2 мм и оцифровываются через 5 или 10 делений; на односторонних уровнях с одной стороны, а на реверсивных с двух сторон уровня наносятся шкалы (рис. 20, е).

Снаружи на поверхности ампулы круглых уровней штрихи наносят в виде концентрических окружностей, радиусы которых отличаются друг от друга на 2 мм.

### Свойства уровня

Центр пузырька является наиболее высокой точкой верхней части уровня. Если уровень наклонить, то пузырек переместится, стремясь занять самое высокое положение. Нуль-пунктом уровня

называется точка  $O$ , расположенная на середине ампулы, относительно которой симметрично нанесены деления. Касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте (рис. 20, а) называется осью цилиндрического уровня ( $uu_1$ ). Центр тяжести пузырька находится на отвесной линии  $OC$  — ось уровня перпендикулярна к отвесной линии, т. е. горизонтальна. Основное свойство цилиндрического уровня: при положении пузырька уровня в нуль-пункте ось цилиндрического уровня занимает горизонтальное положение, а следовательно, любую линию или плоскость можно сделать параллельной или перпендикулярной к этой оси.

Центральный угол, соответствующий дуге в одно деление ампулы, называется *ценой деления уровня* т. У цилиндрических уровней цена деления от  $1''$  до  $2'$ , у круглых установочных уровней — от  $2'$  и более.

Если пузырек уровня отклонится от нуль-пункта на  $n$  делений, то ось уровня наклонится к горизонту на угол  $\nu$ , причем

$$\nu = n\tau. \quad (31)$$

Цена деления уровня определяется по рейке и на экзаменаторе.

Внутренняя часть ампулы тщательно шлифуется, чтобы пузырек не прилипал, так как будет нарушаться чувствительность уровня. Под чувствительностью уровня понимается угол, на который надо наклонить ось уровня, чтобы пузырек переместился на 0,1 часть цены деления. Чувствительность уровня зависит от ряда причин:

от цены деления уровня (чем меньше цена деления уровня, тем больше чувствительность);

качества шлифовки внутренней поверхности ампулы;

свойств наполнителя (жидкость должна обладать минимальной вязкостью);

длины пузырька уровня (длинный пузырек обладает большей чувствительностью, чем короткий);

влияния температуры на длину пузырька и деформацию трубки.

Чувствительность уровня характеризуется величиной  $0,1\tau$ , т. е. можно считать, что средняя квадратическая ошибка установки уровня равна  $0,1\tau$ .

Ампулу уровня помещают в оправу. В точных уровнях для предохранения от резких изменений температуры и от неравномерного нагревания ампулу вместе с оправой помещают внутри стеклянной или другой малотеплопроводной трубки. При работе с уровнями необходимо их защищать от солнца зонтом.

### Контактные уровни

Призенные системы увеличивают точность установки уровня и создают удобства в работе. Изображения концов пузырька

передаются призмами к месту, удобному для наблюдателя. Применяются уровни с обычной (рис. 21, а) и контактной установкой пузырька (рис. 21, б).

Система состоит из двух призм 1 и 2, закрепленных над средней частью ампулы и прямоугольной призмы 3, которую можно поворачивать. Перед призмой 3 иногда устанавливается лупа 4 с небольшим увеличением. Изображения концов пузырька рассматриваются через призму 3 и лупу. В уровне, изображенном на рис. 21, а, призмы 1 и 2 перекрывают всю ширину пузырька, а в уровне, изображенном на рис. 21, б, — только половину ширины. В первом случае призмы дают полное изображение

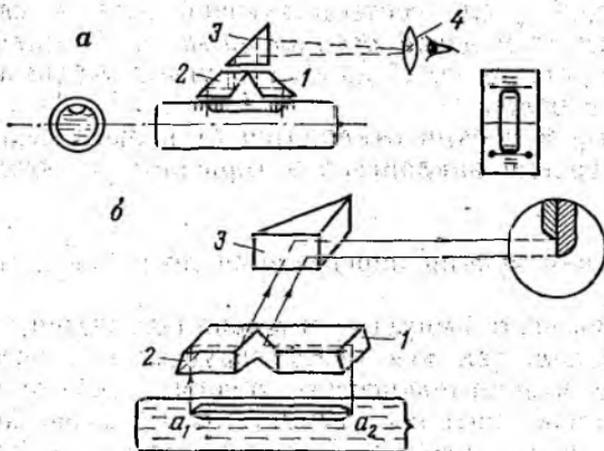


Рис. 21. Контактные уровни

концов пузырька, а во втором — раздвоенное. Приведение пузырька контактного уровня на середину производится совмещением изображений раздвоенных его концов. На ампуле контактного уровня шкала не наносится, нуль-пункт находится посередине между штрихами  $a_1$  и  $a_2$ , нанесенными на ампуле.

Призмённая система закрепляется над ампулой в таком положении, чтобы изображения штрихов находились на одной прямой. При совмещенных изображениях концов пузырька ось уровня устанавливается горизонтально. Точность контактного уровня в 3—4 раза больше обыкновенного.

## § 21. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ

Зрительные трубы геодезических приборов служат для рассматривания предметов, расположенных на расстоянии больше двойного фокусного расстояния.

Ход лучей в зрительной трубе (Кеплера) с внешним фокусированием, состоящей из объектива, окуляра и сетки нитей, показан на рис. 22, а. Предмет  $AB$ , расположенный за двойным фокусным расстоянием, рассматривается через объектив. Уменьшенное изображение предмета  $A'B'$  будет находиться между

задним фокусом объектива  $F'$  и двойным фокусом. Для получения увеличенного изображения  $A''B''$  (обратного и мнимого) предмет  $A'B'$  должен располагаться между центром окуляра  $O_2$  и передним его фокусом  $F$ . Изображение  $A'B'$  через объектив получается в разных местах, так как это зависит от расстояния до предмета. Следовательно, окуляр должен перемещаться в зависимости от того, где получается изображение от объектива.

Схема такой трубы показана на рис. 22, б, где в объективное колено 3 входит окулярное колено 4 с сеткой нитей 5 и исправи-

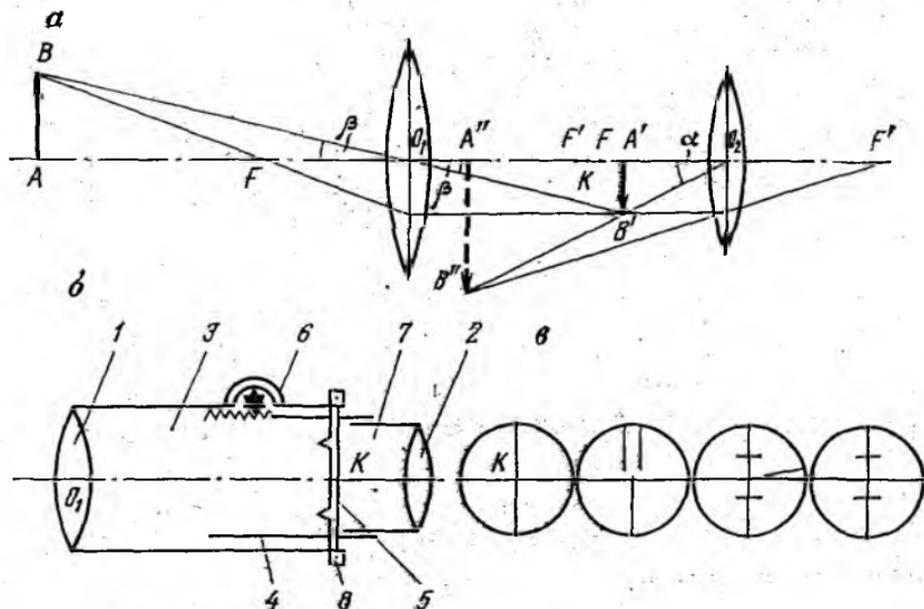


Рис. 22. Схема зрительной трубы с внешним фокусированием

тельными винтами 8. Окулярное колено перемещается внутри объективного с помощью кремальеры 6. Окулярная трубочка 7 с окуляром 2 входит в окулярное колено.

Сетка нитей (рис. 22, в) — это система штрихов, расположенных в плоскости изображения, даваемого объективом зрительной трубы. Основные штрихи сетки нитей используются для наведения трубы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Точка пересечения основных штрихов сетки нитей или осей заменяющих их биссекторов называется перекрестием сетки нитей.

Прямая  $(O_1K)$  (см. рис. 22, б), соединяющая заднюю главную точку объектива 1 с перекрестием сетки нитей, называется визирной осью зрительной трубы.

Ход лучей в зрительной трубе с внутренним фокусированием, или с телеобъективом, показан на рис. 23, а. Труба состоит из положительной линзы с центром  $O_1$  и отрицательной с центром  $O_2$ . Расстояние между линзами меньше фокусного расстояния положительной линзы, поэтому система телеобъектива эквивалентна

одной положительной линзе с центром  $O$  и с фокусным расстоянием  $f_{\text{эк}}$ , величина которого больше длины зрительной трубы. Луч  $s$ , параллельный оптической оси, дойдя до линзы  $L_1$  в точке  $A$  преломится и попадет на линзу  $L_2$  в точку  $B$ . Преломившись, луч попадет в точку  $F'$  на оптической оси. Если продолжить луч  $BF'$  до пересечения с лучом  $s$  и опустить из точки  $C$  перпендикуляр на оптическую ось, то получим положение центра  $O$  эквивалентной линзы  $L$ . В точку  $F'$  луч попал в результате дей-

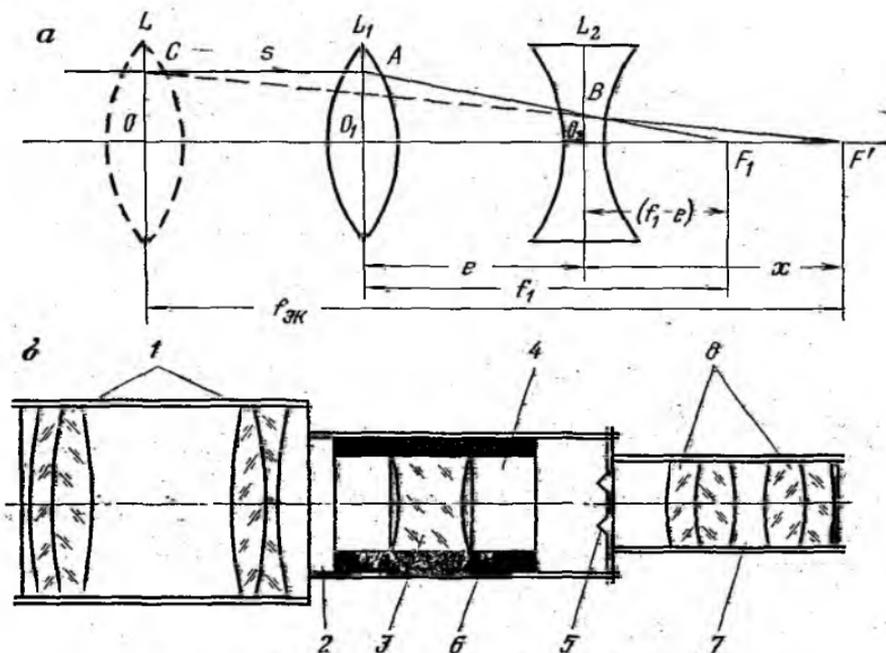


Рис. 23. Схема зрительной трубы с внутренним фокусированием

ствия двух линз  $L_1$  и  $L_2$ ; в эту же точку попадает луч, идущий от эквивалентной линзы  $L$ .

Для определения фокусного расстояния эквивалентной линзы  $f_{\text{эк}}$  рассмотрим подобные треугольники  $O_1AF_1$  и  $BO_2F_1$ ,  $OCF'$  и  $BO_2F'$ , откуда найдем:

$$\left. \begin{aligned} \frac{AO_1}{BO_2} &= \frac{f_1}{f_1 - e}, \\ \frac{OC}{O_2B} &= \frac{f_{\text{эк}}}{x}. \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

В выражениях (32) левые части равны по построению, следовательно, равны и правые части

$$\frac{f_1}{f_1 - e} = \frac{f_{\text{эк}}}{x},$$

$$f_{\text{эк}} = \frac{f_1 x}{f_1 - e} \quad (33)$$

Для нахождения величины  $x$  составим уравнение линзы  $L_2$ , рассматривая точку  $F'$  как предмет, а точку  $F_1$  как изображение точки  $F'$  (мнимое)

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{x} - \frac{1}{f_1 - e} \quad (34)$$

Из уравнения (34) найдем значение  $x = \frac{f_2(f_1 - e)}{f_2 + f_1 - e}$  и, подставив его в формулу (33), получим

$$f_{\text{эк}} = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - e} \quad (35)$$

Эквивалентное фокусное расстояние — величина переменная, так как расстояние между линзами  $L_1$  и  $L_2$  изменяется.

Конструкция трубы с внутренним фокусированием показана на рис. 23, б. Объектив 1 вставляется в металлическую трубку 2, в которой перемещается патрубок 4 с фокусирующей линзой 3 посредством кремальеры или фокусирующего кольца 6. Труба сужается и в этой части установлена неподвижно сетка нитей 5 с исправительными винтами. В это колено вставляется окулярная трубочка 7, которая несет сложный окуляр 8.

Установку зрительной трубы для наблюдений выполняют по глазу вращением окулярной трубочки, приближаясь и удаляясь от сетки нитей, и по предмету фокусированием, перемещая фокусирующую линзу. Меняют эквивалентное фокусное расстояние системы линз, пока изображение предмета не попадет в плоскость сетки нитей. Изображение предмета получается всегда в одном месте в отличие от трубы Кеплера, в которой передвигают окулярное колено с сеткой нитей до совпадения с изображением предмета.

Зрительная труба с внутренним фокусированием имеет ряд преимуществ по сравнению с трубой с внешним фокусированием: при одинаковых показателях труба с телеобъективом значительно короче. Длина трубы Кеплера  $L_{\text{тр}} = 265$  мм, а трубы с телеобъективом  $L_{\text{тр}} = 160$  мм;

труба имеет постоянную длину;

при фокусировании трубы с телеобъективом визирная ось лучше сохраняет свое положение;

труба герметична и дольше сохраняется прозрачность оптической системы.

Недостаток этой трубы: при фокусировании меняется фокусное расстояние эквивалентной линзы, а следовательно, и увеличение трубы  $\Gamma$ .

Кажущееся перемещение предмета при изменении положения глаза около окуляра называется *параллаксом сетки нитей*.

При недостаточно тщательном фокусировании трубы плоскость сетки нитей не совпадает с плоскостью изображения, полученного через объектив, поэтому при изменении положения глаза наблюдателя относительно окуляра рассматриваемая точка будет казаться смещенной относительно перекрестия сетки нитей.

Наведя на предмет и отфокусировав трубу, нужно перемещать положение глаза около окуляра; если перекрестие сетки нитей меняет свое положение, значит недостаточно отфокусирована труба. Устранить параллакс можно вращением фокусирующего кольца. Параллакс влияет на точность визирования, поэтому должен быть устранен.

### Точность визирования и разрешающая способность трубы

Точность визирования невооруженным глазом зависит от разрешающей способности глаза, которая в среднем равна  $60''$ . Точность визирования с помощью зрительной трубы зависит от многих факторов: формы, цвета и освещенности предмета, расстояния до него, состояния атмосферы, яркости и контрастной чувствительности, вида и толщины сетки нитей, увеличения трубы и разрешающей способности ее и глаза. Поэтому среднюю квадратическую ошибку визирования одной нитью принимают равной

$$m_{\text{в}} = \frac{60''}{\Gamma}. \quad (36)$$

Под *разрешающей способностью трубы* понимают ее способность давать раздельно изображения двух близко расположенных точек. Она характеризуется наименьшим углом, под которым эти точки воспринимаются раздельно. Величина этого угла определяется по известной из теории дифракции формуле

$$\varepsilon = \frac{138''}{D_{\text{вх}}} \quad \text{или} \quad \Delta_{\text{раз}} = \frac{120''}{\Gamma}, \quad (37)$$

где  $D_{\text{вх}}$  — диаметр входного зрачка объектива, мм.

Увеличение трубы должно удовлетворять условию, при котором полностью используется разрешающая способность трубы

$$\frac{60''}{\Gamma} = \frac{138''}{D_{\text{вх}}}. \quad (38)$$

Из этого равенства определяется нормальное увеличение, практически равное половине  $D_{\text{вх}}$ .

Разрешающую способность трубы определяют при помощи специальной шкалы — миры (в виде квадратов со штрихами), которую помещают в фокальной плоскости коллиматора или на

определенном расстоянии от объектива исследуемой трубы. Миру рассматривают в трубу и замечают ту группу квадратов, в которой еще отчетливо и раздельно видны штрихи. Угол, соответствующий этой группе квадратов, и есть разрешающая способность трубы.

При помощи миры определяют астигматизм оптической системы. Отсутствие астигматизма дает отчетливое изображение всех штрихов.

### Яркость трубы

Это отношение освещенности изображения на сетчатке глаза при рассматривании предмета в трубу к освещенности изображения того же предмета на сетчатке при рассматривании его невооруженным глазом.

Освещенность изображения на сетчатке глаза зависит от освещенности предмета и площади зрачка глаза, если предмет рассматривается невооруженным глазом, и площади выходного зрачка окуляра, если предмет рассматривается в трубу. Площади зрачков пропорциональны квадратам их диаметров, поэтому яркость трубы определяется по формуле

$$H = B \frac{D_{вх}}{\Gamma D_{гл}}, \quad (39)$$

где  $B$  — коэффициент прозрачности,  $D_{гл}$  — диаметр зрачка глаза.

Яркость трубы используется полностью, если ее зрачок выхода равен зрачку глаза или меньше его.

### Увеличение зрительной трубы

Это отношение угла, под которым предмет виден в трубу ( $\alpha$ ), к углу, под которым предмет виден невооруженным глазом ( $\beta$ ) (см. рис. 22, а)

$$\Gamma = \frac{\alpha}{\beta}. \quad (40)$$

Из треугольников  $O_1A'B'$  и  $A'B'O_2$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A'B'}{f_{ок}}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{A'B'}{f_{об}};$$

тогда

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}}. \quad (41)$$

Если рассматриваемые предметы находятся в бесконечности (практически это так), то передний фокус окуляра совпадает с задним фокусом объектива, тогда увеличение можно определить из соотношения

$$\Gamma = \frac{D_{вх}}{D_{вых}}. \quad (42)$$

Диаметр входного зрачка практически соответствует диаметру объектива, который измеряют с помощью измерителя по линейке до 0,1 мм, а диаметр выходного зрачка определяют с помощью динаметра.

Динаметр — это лупа в виде трубки, на стеклянной пластине которой нанесена шкала с ценой деления 0,1 мм. Перед измерением лупу нужно установить так, чтобы деления шкалы пластины были отчетливо видны. Для этого наводят динаметр на светлый фон и устанавливают лупу путем передвижения трубки. Затем, приложив динаметр к окуляру трубы теодолита, совмещают плоскость шкалы делений динаметра с плоскостью изображения объектива — выходного зрачка. Совмещение производят перемещением лупы до тех пор, пока на пластине со шкалой делений выходной зрачок не окажется видимым с отчетливыми краями. Затем по шкале делений измеряют диаметр выходного зрачка с округлением до 0,01 мм.

Практически увеличение трубы можно определить по рейке из отношения числа делений рейки, видимых невооруженным глазом  $n$ , к числу делений, видимых в трубу  $N$

$$\Gamma = \frac{n}{N}. \quad (43)$$

Наводят трубу на рейку, установленную примерно в 6—10 м от теодолита, смотрят одним глазом в трубу, другим на рейку и считают, сколько делений рейки приходится на одно деление, видимое в трубу.

### Поле зрения трубы

Пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении, называется *полем зрения трубы* и определяется углом, вершина которого находится в центре объектива, а лучи касаются краев отверстия сеточной диафрагмы. Для трубы, наведенной на бесконечность, можно написать (рис. 24)

$$2\omega = \frac{pq}{f_{об}},$$

где  $q = \frac{2}{3} f_{ок}$ ,

тогда

$$2\omega = \frac{38,2^\circ}{\Gamma} \quad (44)$$

или

$$2\omega = \frac{pn}{s}. \quad (45)$$

Для определения угла поля зрения  $2\omega$  нужно подсчитать число делений на рейке  $n$ , видимых в поле зрения трубы между диаме-

трально противоположными краями диафрагмы, и измерить расстояние рулеткой от объектива до рейки ( $s$ ).

Угол поля зрения трубы можно определить измерением по горизонтальному и вертикальному кругам.

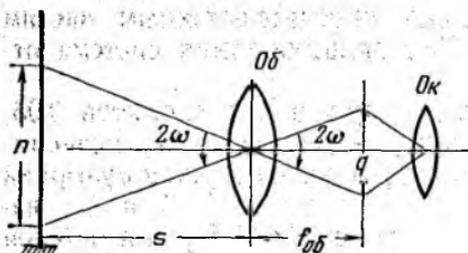


Рис. 24. Поле зрения трубы

Правый край диафрагмы кольца сетки нитей наводят на точку и берут отсчет по горизонтальному кругу  $A_1$ , затем наводят на эту же точку левый край диафрагмы и берут отсчет  $A_2$ . Разность отсчетов даст значение угла поля зрения трубы

$$2\omega = A_2 - A_1. \quad (46)$$

## § 22. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕОДОЛИТОВ

Согласно ГОСТ 10529—70, введенному с 1 января 1972 г., в нашей стране выпускаются оптические теодолиты со стеклянными кругами и оптическими отсчетными устройствами. Выпуск теодолитов с металлическими кругами и верньерами прекращен. Данным ГОСТом предусматривается выпуск типов теодолитов, приведенных в табл. 2.

Кроме указанных в таблице, выпускаются теодолиты Т05А и Т1А, используемые для определения широты, долготы и азимута из астрономических наблюдений.

Теодолиты типа Т5 изготавливаются с цилиндрическим уровнем при алидаде вертикального круга и с компенсатором (Т5К).

Таблица 2

Тип	Классификация	Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла	Применение
Т05	Высокоточный	0,5"	Триангуляция и полигонометрия 1 класса
Т1	»	1	Триангуляция и полигонометрия 2 класса
Т2	Точный	2	Триангуляция и полигонометрия 3 и 4 классов
Т5	»	5	Триангуляция и полигонометрия 1 и 2 разрядов. Маркшейдерские работы
Т15	Технический	15	Теодолитные и тахеометрические ходы. Маркшейдерские работы. Съёмочное обоснование
Т30	»	30	То же

Теодолиты типов Т15 и Т30 выпускаются геодезические и маркшейдерские (Т15М).

Оптическая отсчетная система горизонтального и вертикального кругов у теодолитов Т05, Т1 и Т2 должна обеспечивать получение отсчета по диаметрально противоположным частям кругов. У теодолитов Т5, Т15 и Т30 односторонняя система отсчитывания.

Уровни на алидаде вертикального круга у теодолитов Т05, Т1, Т2, Т5 изготавливаются с призмной системой, позволяющей совмещать изображения противоположных концов пузырька при помощи наводящего винта. У теодолитов Т05 и Т1 накладные уровни устанавливаются на цапфах горизонтальной оси вращения трубы, а у теодолита Т2 — на подставках колонки.

У теодолитов Т1, Т2, Т5 и Т15 оптические центры расположены в алидадной части.

Технические характеристики теодолитов приведены в табл. 3. Коэффициент дальномера у зрительных труб теодолитов Т2 и Т5 равен  $100 \pm 0,5\%$ , а у теодолитов Т15 и Т30 равен  $100 \pm 1\%$ .

Т а б л и ц а 3

Показатели	Т05	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
<b>Зрительная труба</b>						
Увеличение, крат	62, 50, 37	30, 40	25	27	25	20
Угол поля зрения	0° 41'	1°	1° 30'	1° 30'	1° 30'	2°
Фокусное расстояние объектива, мм	500	350	250	218,5		157
Наименьшее расстояние визирования, м	—	5	1,5	2	1,2	1
Диаметр объектива трубы, мм	64	50	46	46	46	38
<b>Круги и отсчетная система</b>						
Диаметр горизонтального круга, мм	180	140	90	95	76	72
Диаметр вертикального круга, мм	130	90	65	70	72	72
Наименьшее деление кругов	10'	10'	20'	1°	1°	10'
Цена деления шкалы микрометра или микроскопа	1"	1"	1"	1'	1'	—
Точность отсчитывания по шкале	0,1"	0,1"	0,1"	0,1"	0,1'	1'
<b>Уровни</b>						
Цена деления уровня горизонтального круга, с	6—7	10	15	30	45	45
Цена деления уровня вертикального круга (или накладного уровня)	—	15"	20"			
	4"	5"	10"			
Масса, кг	18,8	11	5,2	3,6	3,6	2,2

## Высокоточные теодолиты

Теодолит Т05 (рис. 25, а) имеет съемную зрительную трубу 3 с внутренним фокусированием, которая переводится через зенит окулярным концом, отсчетный микроскоп с оптическим клиновым микрометром для горизонтального и вертикального кругов 1, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы, накладной уровень 2 и съемную поверительную трубу 4.

Теодолит Т1 (рис. 25, б), используемый для астрономических определений (широты, долготы и азимута), снабжен специальным

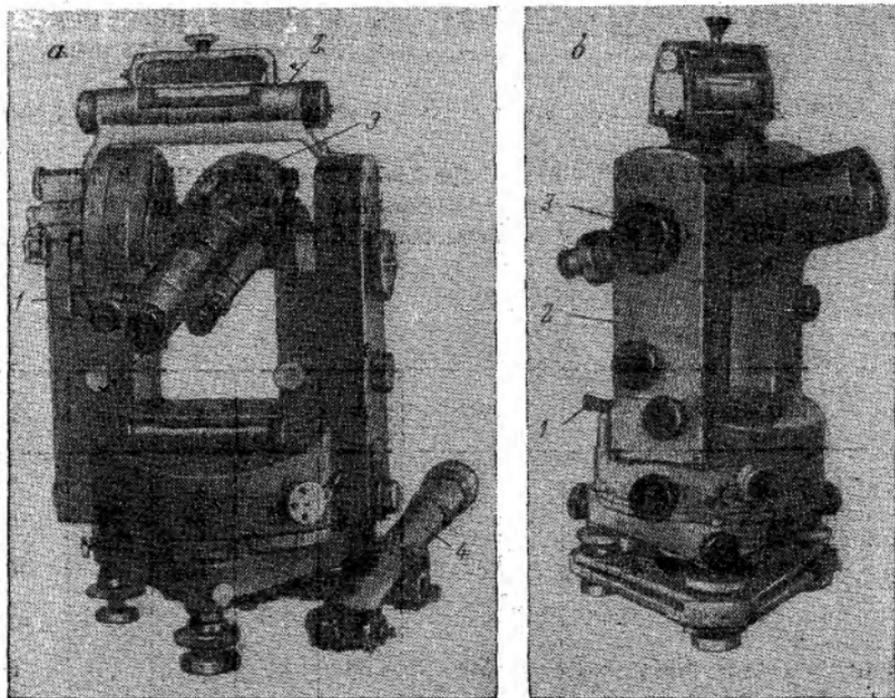


Рис. 25. Высокоточные теодолиты Т05 и Т1

уровнем, окулярными насадками, астрономической сеткой нитей. Теодолит имеет окулярный микрометр основной трубы, оптический центрир 1, наводящие и закрепительные устройства 3 попарно совмещенные и расположенные на одной колонке 2. Труба переводится через зенит обоими концами.

### Точные теодолиты

Теодолит Т2 (рис. 26, а) имеет сложную схему отсчетной системы, высококачественную зрительную трубу с ахроматической коррекцией и устойчивую горизонтальную ось.

Зрительная труба для предварительного наведения на предметы снабжена двумя оптическими визирами 4. Колонки теодо-

лита соединены между собой мостиком 5 для установки веши, которой пользуются при измерении углов. Наводящее — закрепительное устройство для алидады горизонтального круга 1 и зрительной трубы (на рисунке не видно).

У теодолита лимб переставляют при помощи рукоятки 11, для чего ее нужно нажать и вращать до появления необходимого отсчета. На алидаде горизонтального круга расположен цилиндрический уровень, юстировочный винт которого выведен на

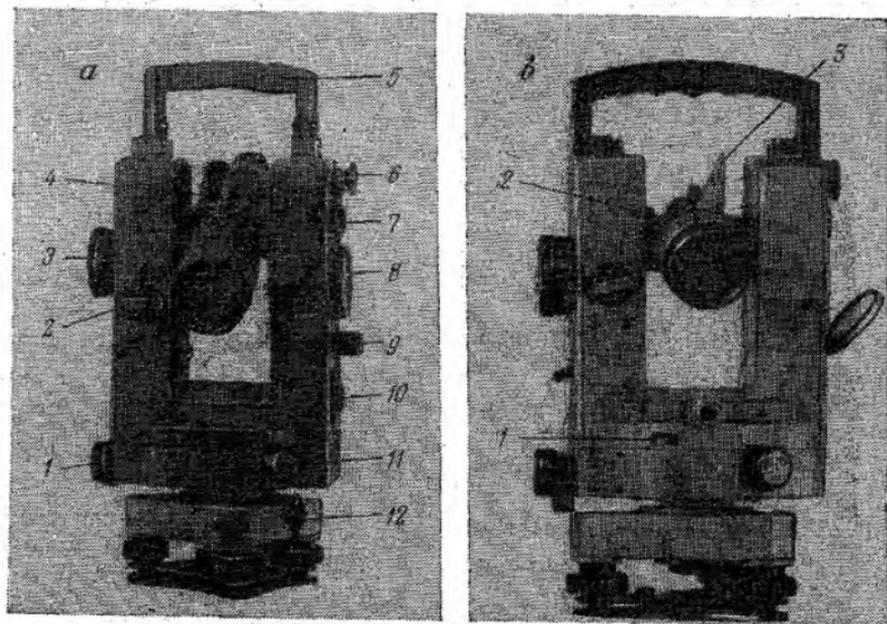


Рис. 26. Точные теодолиты: Т2, 2Т2

колонку. Ось алидады полая, и в ней расположен оптический центрир, окуляр которого 10 выведен на колонку. Сетка нитей оптического центрира имеет вид двух концентрических окружностей; в их центр вводят изображение точки, над которой центрируют теодолит.

Контактный уровень на алидаде вертикального круга 7 расположен в колонке и его пузырек рассматривают через призму 6. Пузырек уровня приводят в нуль-пункт винтом 9.

Теодолит имеет отсчетное устройство — микроскоп с оптическим микрометром (рукоятка 3), переключатель изображений кругов 2, зеркало для подсветки 8, закрепительный винт подставки 12.

У теодолита 2Т2 (рис. 26, б) по сравнению с Т2 размеры уменьшены. Используется короткая зрительная труба с ахроматической коррекцией. Зрительная труба теодолита имеет клиновое кольцо 2, используемое для изменения направления визирной

оси по отношению к горизонтальной оси при устранении коллимационной ошибки с помощью специального ключа 3.

Для быстрой установки лимба на нужное деление на горизонтальном круге у теодолита имеется круг-искатель, отсчет по которому устанавливают по индексу, нанесенному на иллюминаторе 1 (второй с противоположной стороны).

В комплект теодолита входят специальные насадки, которые надеваются на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа для удобства визирования на цели, расположенные под углом

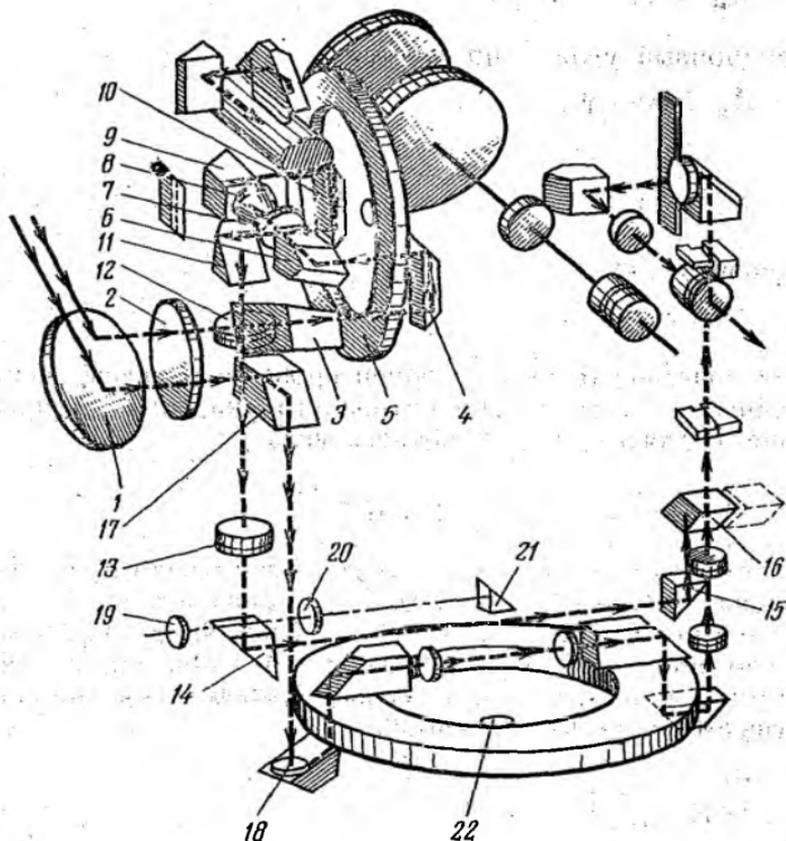


Рис. 27. Оптическая схема теодолита Т2

более  $45^\circ$  к горизонту. В оптическом центре для преломления лучей применена пентапризма. На рис. 27 показана оптическая схема теодолита Т2. Оптическая система для вертикального круга: призма 6, объективы 7 и 8, прямоугольная призма 9 расположена на алидаде горизонтально. Подсветка лимбов осуществляется с помощью зеркала 1 через защитное стекло 2. На вертикальный круг 5 лучи света попадают через призмы 3 и 4, а на горизонтальный — через призмы 17 и 18. Система призм и линз 6, 7, 8, 9 проектирует деления правой части лимба на диаметрально

противоположную левую. Затем изображения диаметрально противоположных делений лимба призмами 10 и 11 передаются в поле зрения объективов 12 и 13, которые через прямоугольные призмы 14, 15 и ромбическую призму 16, если она включена в поле зрения микроскопа, проектируют их в плоскость шкалы микрометра. На рис. 27 изображены: окуляр 19, 20, призма 21, объектив оптического центра 22.

На рис. 28, а показан теодолит Т5 — повторительный,\* с цилиндрической вертикальной осью. Наводящие 3, 2 и закрепитель-

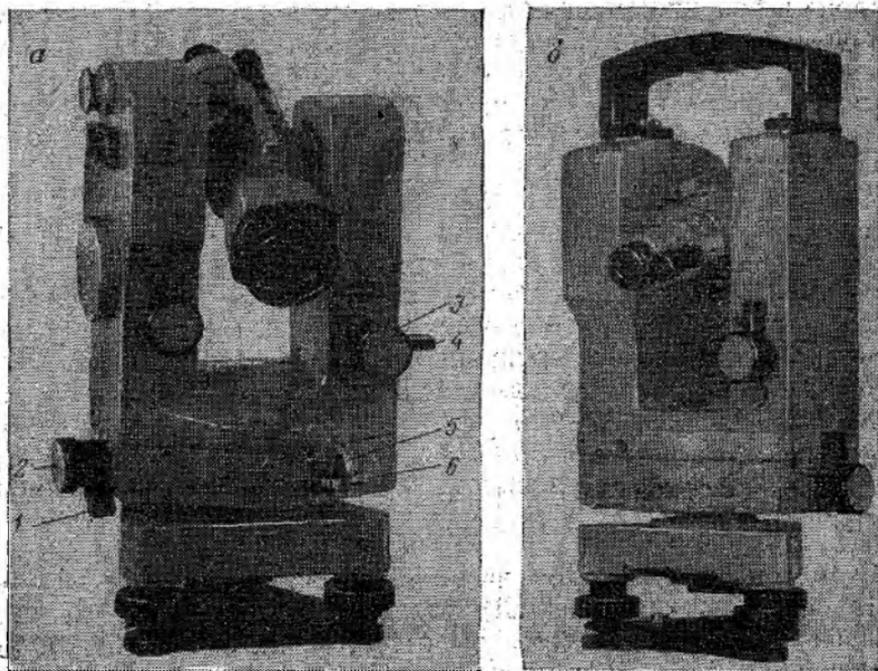


Рис. 28. Точные теодолиты Т5, 2Т5К

ные 4, 1 устройства совмещены. Горизонтальный круг может быть соединен с алидадой при помощи защелки 5 повторительного устройства путем нажатия на клавишу 6. Отсчитывание по угломерным кругам производят при помощи шкалового микроскопа по одной стороне горизонтального и вертикального кругов.

На рис. 29 показана конструктивная схема теодолита Т5. Горизонтальный круг 16 установлен в оправе плоскостью штрихов вниз. Оправа горизонтального круга укреплена на втулке 15, надетой на втулку 14 вертикальной оси. В полую часть вертикальной оси вставляется оптический центрир. Вертикальная ось 12

\* Теодолит, конструкция которого позволяет вращать алидаду как отдельно от лимба, так и вместе с ним, называется повторительным.

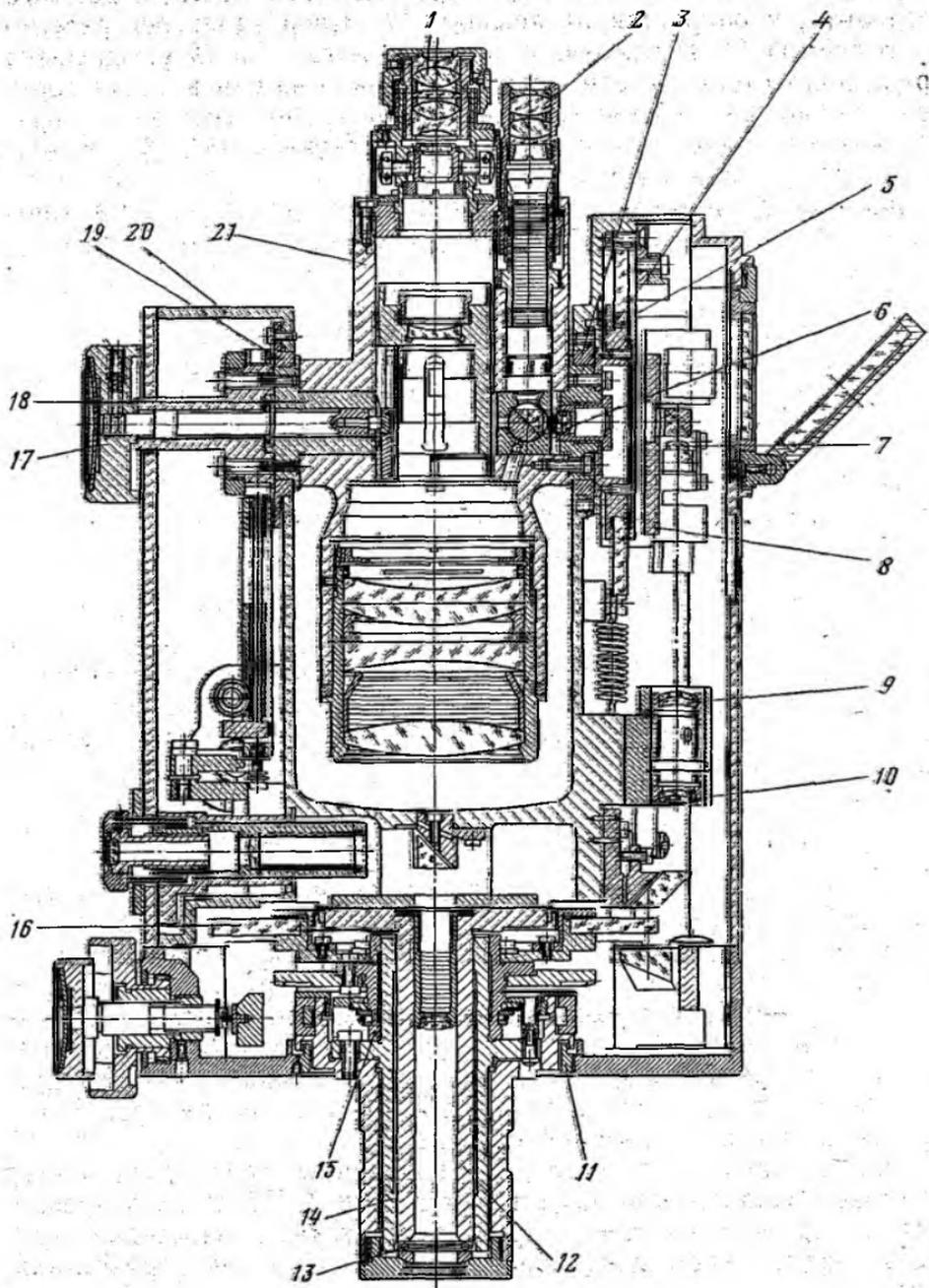


Рис. 29. Разрез теодолита Т5:

1 — окуляр; 2 — окуляр микроскопа; 3, 19 — лагера; 4, 18 — цапфы горизонтальной оси; 5 — вертикальный круг; 6 — объектив микроскопа; 7 — коллектив со шкалой микроскопа; 8 — плата; 9 — вторая линза объектива горизонтального круга; 10 — первая линза объектива горизонтального круга; 11 — гайка-ограничитель; 12 — вертикальная ось; 13 — подшипник; 14 — втулка вертикальной оси; 15 — втулка горизонтального круга; 16 — горизонтальный круг; 17 — кремальера; 20 — колонка; 21 — корпус зрительной трубы.

соединена с колонкой 20, служащей основной несущей деталью теодолита, и опирается на крышку 13. Зазор вдоль оси регулируют гайкой 11. В колонке с помощью лагер 3 и 19 установлена зрительная труба с вертикальным кругом 5 на одном конце горизонтальной оси. Корпус 21 зрительной трубы соединен с горизонтальной осью. На концах горизонтальной оси укреплены цапфы 4 и 18, при помощи которых зрительная труба установлена в лагерах. Зрительная труба с окуляром 1 имеет высокое качество изготовления. Кремальера 17 вынесена на боковую крышку, что облегчает работу с теодолитом при фокусировании зрительной трубы.

Оптические детали отсчетного устройства находятся на противоположной стороне колонки от кремальеры. Линзы 9 и 10 объектива горизонтального круга помещены в оправы и установлены в неподвижном кронштейне. Изображение штрихов горизонтального круга проектируется на плоскость коллектива 7, на которой нанесена шкала. На плате 8 укреплены детали отсчетной системы вертикального круга. Изображение шкал отсчетного микроскопа объективом 6 проектируется в фокальную плоскость окуляра микроскопа 2.

Теодолит Т15К (см. рис. 28, б) в отличие от разобранных выше теодолитов отличается тем, что не имеет уровня на алидаде вертикального круга; его роль выполняет самоустанавливающаяся система оптического компенсатора. Оптический компенсатор используется в теодолитах Т5К, Т15К. Диапазон действия компенсатора 3,5', точность компенсации 2".

### Технические теодолиты

Общий вид теодолита Т15 показан на рис. 30, а. Это повторительный теодолит со шкаловым отсчетным микроскопом.

Зрительная труба фокусируется на предмет кремальерой 1, а устанавливается по глазу вращением диоптрийного кольца 2. Корпус зрительной трубы изготовлен совместно с горизонтальной осью, имеющей на концах цапфы, при помощи которых она устанавливается в лагерах алидадной части теодолита — колонке. По обе стороны трубы расположены оптические визиры 3 для предварительного наведения на цель.

Зрительная труба и алидада горизонтального круга имеют курковые закрепительные устройства 10 и 7. После их закрепления наводящим винтом 9 производят точное наведение трубы в вертикальном направлении, а винтом 8 — в горизонтальном.

Подъемные винты 6 закрытой конструкции, они предохраняют резьбу от загрязнения и повреждения.

В пустотелой цилиндрической вертикальной оси теодолита расположен объектив оптического центрира, а его окуляр 5 закреплен в алидадной части теодолита.

На алидаде вертикального круга расположен цилиндрический уровень, за положением пузырька которого наблюдают через зеркало 4.

Теодолит Т30 (рис. 30, б) — оптический повторительный теодолит с цилиндрической вертикальной осью.

Трегер теодолита 11 наглухо прикреплен к основанию 10, служащему дном футляра, в котором хранится теодолит.

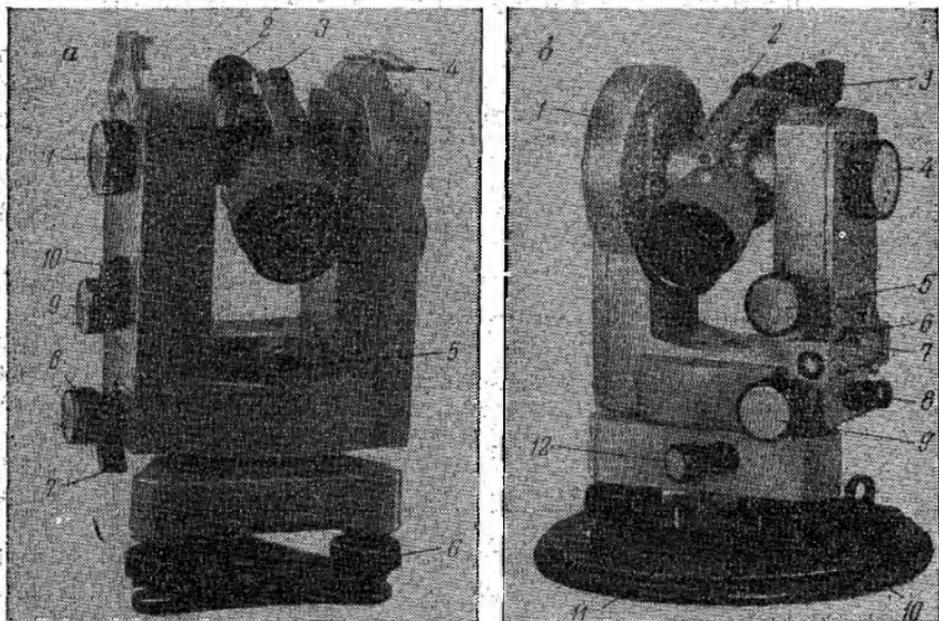


Рис. 30. Технические теодолиты Т15 и Т30

На алидаде горизонтального круга расположен цилиндрический уровень 7 (с исправительным винтом 6) для приведения вертикальной оси теодолита в отвесное положение при помощи трех подъемных винтов. Вертикальная ось (ось алидады) полая, что дает возможность центрировать теодолит над точкой местности с помощью зрительной трубы. Для этого на окуляры трубы и микроскопа надевают специальные насадки, а трубу поворачивают объективом вниз.

Труба переводится через зенит обоими концами, имеет закрепительный 3 и наводящий 5 винты, ее устанавливают по предмету кремальерой 4. Рядом с окуляром трубы расположен окуляр 2 штрихового микроскопа.

Теодолит имеет наводящие винты лимба 12 и алидады 9, закрепительный винт алидады 8, вертикальный круг 1.

Подвижная проектирующая плоскость при измерении угла образуется вращением зрительной трубы вокруг горизонтальной

оси теодолита в вертикальной плоскости и называется *коллимационной плоскостью*.

Теодолит обычно устанавливают на штативе и прикрепляют к его головке станковым винтом.

Техническими теодолитами, кроме измерения горизонтальных и вертикальных углов, можно измерять расстояния с помощью нитяного дальномера.

### Специализированные теодолиты

К ним относятся кодовые теодолиты, гиротеодолиты, радиотеодолиты, кинотеодолиты и некоторые оптические приборы спутниковой геодезии. Для кодовых теодолитов характерна автоматизация отсчитывания и видоизменение меры и отсчетных устройств. Кодовые теодолиты изготавливаются с фоторегистрирующим устройством и выпускаются заводами: МОМ (ВНР), «Феннель» (ФРГ) и «Карл Цейс» (ГДР).

В гиротеодолитах мерой для получения положения меридиана служит гироскоп.

Кинотеодолит представляет собой угломерный прибор с регистрацией цели и положения осей относительно рабочей меры, в связи с чем видоизменяются ориентирующее или визирное устройство, рабочая мера и отсчетное устройство.

Отдельные оптические приборы спутниковой геодезии наряду с точным определением направления на цель дают значения углов в различных плоскостях.

При создании приборов возможно соединение в общей конструкции кинотеодолита и кодового теодолита или кодового и гиротеодолита.

### § 23. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОДОЛИТА

Исследование выполняется согласно ГОСТ 20063—74 в такой последовательности.

1. Внешний осмотр и опробование. В результате проведения внешнего осмотра устанавливается качество отделки прибора; наличие механических повреждений кожуха и оптических деталей; равномерность освещения и чистота поля зрения отсчетного микроскопа; полнота комплекта и правильность маркировки.

При проведении опробования убеждаются в устойчивости установки прибора после прикрепления его к штативу; в плавности и легкости вращения лимба, алидады, зрительной трубы; работоспособности закрепительных, наводящих и подъемных винтов; доступности и удобстве расположения шкал и уровней. Проверяется качество изображения сеток и шкал оптических систем и изображения, обеспечиваемого трубой и отсчетной системой. Проверяется удобство укладки теодолита и принадлежностей.

## 2. Определение параметров теодолита.

Увеличение и угол поля зрения зрительной трубы определяются способами, описанными в § 21, и вычисляются по формулам (42), (43), (44), (45) и (46).

(Определение коэффициента нитяного дальномера и цены деления уровня рассмотрены при исследовании нивелира.)

## 3. Определение средней квадратической ошибки совмещения изображений штрихов лимба.

Средняя квадратическая ошибка одного совмещения штрихов горизонтального или вертикального круга определяется по формуле двойных измерений

$$m_{\text{сов}} = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}, \quad (47)$$

где  $d$  — разность отсчетов при двух совмещениях штрихов круга;  $n$  — число установок.

Результаты наблюдений и вычислений записывают в журнал, образец которого представлен в табл. 4.

Для теодолита Т2  $m_{\text{сов}}$  для горизонтального круга не должна превышать 0,5", для вертикального — 0,6".

С целью повышения качества наблюдений нужно тщательно устанавливать окуляр микроскопа по глазу и заканчивать совмещение штрихов верхнего и нижнего изображений вращением барабана оптического микрометра на ввинчивание.

Если в разностях  $d$  содержится систематическая ошибка, то ее нужно исключить, и ошибку совмещения определить по формуле

$$m_{\text{сов}} = \sqrt{\frac{[d'^2]}{2(n-1)}}, \quad (48)$$

Таблица 4

Установка лимба φ	Отсчеты по микрометру		$d = I - II$	$d^2$
	I совмещение	II совмещение		
0	54,1	53,5	+0,6	0,36
30	55,0	56,0	-1,0	1,00
60	23,0	23,2	-0,2	0,04
90	29,0	30,0	-1,0	1,00
120	14,0	15,0	-1,0	1,00
150	44,5	44,0	+0,5	0,25
180	16,5	16,0	+0,5	0,25
210	49,1	49,2	-0,1	0,01
240	50,0	50,1	-0,1	0,01
270	53,5	53,2	+0,3	0,09
300	43,0	42,5	+0,5	0,25
330	00,7	00,6	+0,1	0,01

$$m_{\text{сов}} = 0,42''$$

$$\sum \frac{-0,9}{12} = -0,05''$$

4,27

где

$$d' = d - \frac{\sum d^i}{n}.$$

4. Определение рена оптического микрометра у теодолита Т2.

Реном оптического микрометра называется разность между ценой деления лимба и величиной этого деления, определенной с помощью микрометра. Лучи, идущие от диаметрально противоположных частей лимба, приходят к микрометру различными путями, поэтому могут отличаться и величины рена верхнего и нижнего изображений лимба.

При определении рена измеряют величины делений лимба верхнего и нижнего изображений на различных частях круга (через  $45^\circ 20'$ ) в прямом и обратном ходе.

Вращением рукоятки устанавливают отсчет на шкале микрометра, близкий к нулю. Затем приблизительно совмещают наводящим винтом алидады диаметрально противоположные штрихи  $\varphi$  и  $(\varphi + 180^\circ)$  верхнего и нижнего изображений круга, после чего по шкале оптического микрометра берут по два раза отсчеты при трех точных совмещениях штрихов:

$A_1$  — при совмещении штрихов  $\varphi$  и  $(\varphi + 180^\circ)$ ;

$A_2$  — при совмещении штрихов  $(\varphi - \mu)$  и  $(\varphi + 180^\circ)$ ;

$A_3$  — при совмещении штрихов  $\varphi$  и  $(\varphi + 180^\circ - \mu)$ ; где  $\mu$  — цена деления лимба.

Рены верхнего и нижнего изображений вычисляют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} r_{\text{в}} &= (A_1 - A_2) \mu_0 + \frac{\mu^2}{2}, \\ r_{\text{н}} &= (A_1 - A_3) \mu_0 + \frac{\mu^2}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

где  $\mu_0$  — цена деления шкалы оптического микрометра.

Значения  $r = \frac{r_{\text{в}} + r_{\text{н}}}{2}$  и  $\Delta r = r_{\text{в}} - r_{\text{н}}$  не должны превышать  $1''$ .

Если величина рена больше допуска, то в результаты измерений нужно вводить поправки, вычисленные по формуле

$$\Delta r = \frac{2r}{\mu} A, \quad (50)$$

где  $A$  — отсчет по микрометру.

Средняя квадратическая ошибка определения рена вычисляется по формуле:

$$m_r = \sqrt{\frac{[u'u'] + [v'v']}{n(n-1)}},$$

где  $u' = (A_1 - A_2) r_{\text{в}}$ ,  $v' = (A_1 - A_3) r_{\text{н}}$ , и она не должна превышать  $0,2''$ .

Значительную величину рена  $r$  или  $\Delta r$  более 3—5" необходимо устранить изменением увеличения объектива микроскопа. Рен устраняют перемещением линз объектива круга (горизонтального и вертикального). При положительном значении рена линзы приближают к плоскости делений круга (увеличение микроскопа увеличивается). Линзы удаляют от круга, если рен отрицательный. После исправления рена линзы в оправках закрепляют и производят повторное определение рена.

В табл. 5 приведен пример определения рена.

При определении рена оптического микрометра для вертикального круга наблюдения выполняются в секторе круга от 60 до 120° через 5°.

Рен отсчетной системы теодолитов с односторонним отсчетом по кругу определяют на следующих установках круга.

### Горизонтальный круг

Прямой ход: 0°, 60°, 120°, 180°, 240°, 300°.

Обратный ход: 30°, 90°, 150°, 210°, 270°, 330°.

### Вертикальный круг

Прямой ход: 354°, 357°, 0°, 3°, 6°, 9°.

Обратный ход: 352°, 355°, 358°, 1°, 4°, 7°.

### 5. Определение влияния эксцентриситета алидады горизонтального круга.

Вследствие некоторых ошибок изготовления и сборки деталей теодолита его оси могут быть не точно центрированы. В резуль-

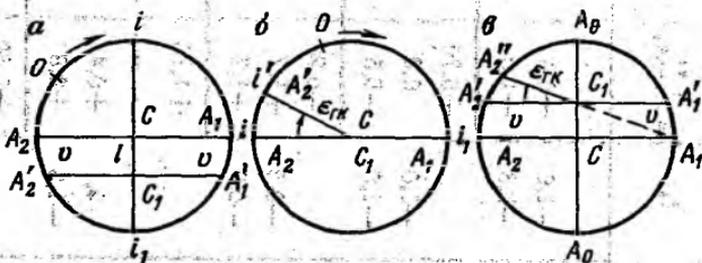


Рис. 31. Эксцентриситет алидады.

тате центр вращения лимба  $C$  не совпадает с центром вращения алидады  $C_1$  (рис. 31, а). Эксцентриситет алидады приводит к тому, что разность отсчетов по шкале лимба, взятых при двух различных положениях алидады, не равна фактическому углу поворота. Влияние эксцентриситета алидады зависит от положения лимба и от направления алидады.

Если у теодолита с двумя отсчетными устройствами центр алидады совпадает с центром лимба или они расположены на одной прямой, то разность отсчетов по двум отсчетным устрой-

Таблица 5

Угол наклона аппарата φ	Прямой ход					Обратный ход					
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	$r_1 = A_1 - A_2$	$r_2 = A_1 - A_3$	φ	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	$r_1 = A_1 - A_2$	$r_2 = A_1 - A_3$
0° 00'	+0,2	-0,2	-1,9	+0,4	+2,1	22° 20'	-2,0	-2,2	-0,3	+0,2	+1,0
	+0,8	-0,2	-1,3	+1,0	+2,1		-2,0	-2,0	-2,5	0,0	+0,5
45 20	0,0	0,0	-1,0	+0,70	+2,10	67 40	+1,6	+1,9	+0,4	+0,10	+0,75
	-0,7	-0,2	-1,0	-0,5	+0,3		+1,6	+1,3	+0,6	-0,3	+1,2
90 40	+0,9	-0,8	-0,2	-0,25	+0,65	112 00	0,0	+0,3	+0,4	0	+1,10
	+0,8	-0,9	-0,2	+1,7	+1,0		0,0	+0,3	+0,2	-0,3	-0,2
315 20	-1,0	-1,4	-2,1	+1,70	+1,05	337 40	+1,1	-0,2	-0,8	-0,30	-0,30
	-1,2	-2,0	-1,9	+0,4	+1,1		+0,9	-0,6	-0,7	+1,3	+1,9
				+0,8	+0,7					+1,5	+1,6
				Среднее						+1,40	+1,75
				+0,60	+0,90					+0,10	+0,55
				+0,21	+0,40						

$$r_в = \frac{1}{2}(r_1 + r_1') = +0,16''; \quad r_н = \frac{1}{2}(r_2 + r_2') = +0,48''; \quad r = +0,32''; \quad \Delta r = -0,32''$$

ствам равна  $180^\circ$ . Например, на рис. 31, б по лимбу взяты отсчеты  $A_1$  и  $A_2$ , в этом случае

$$A_2 - A_1 = 180^\circ. \quad (51)$$

Если ось вращения алидады проходит через центр  $C_1$  (см. рис. 31, а), то будут взяты отсчеты  $A'_1$  и  $A'_2$ . Величина  $CC_1$  называется линейным элементом эксцентриситета ( $l$ ). Обозначим равные дуги  $A_1A'_1$  и  $A'_2A_2$  через  $v$ . Дуга  $v$  представляет собой влияние эксцентриситета алидады на отсчет по лимбу. При условии, что оцифровка делений на лимбе возрастает по направлению хода часовой стрелки, отсчеты, не искаженные влиянием эксцентриситета алидады, будут равны

$$A_1 = A'_1 - v,$$

$$A_2 = A'_2 + v.$$

Найдем разность этих отсчетов

$$A_2 - A_1 = A'_2 - A'_1 + 2v$$

или, учитывая формулу (51),

$$A'_2 - A'_1 = 180^\circ - 2v.$$

При наличии влияния эксцентриситета алидады разность отсчетов по лимбу отличается от  $180^\circ$  на  $2v$ .

Среднее арифметическое значение из двух отсчетов равно

$$A_{cp} = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad \text{или} \quad A_{cp} = \frac{A'_1 + A'_2 \pm 180^\circ}{2}. \quad (52)$$

Как видно, среднее из отсчетов по двум диаметрально противоположным отсчетным устройствам свободно от влияния эксцентриситета алидады.

Определение эксцентриситета алидады заключается в следующем. Поворачивая последовательно алидаду на угол  $30$  или  $45^\circ$ , берут отсчеты по обоим отсчетным устройствам, а при одностороннем устройстве — при двух положениях круга. Величина и знак влияния эксцентриситета  $2v$  переменны. На рис. 30, а показано минимальное влияние эксцентриситета в точках  $i$  и  $i_1$ , а максимальное — в точках  $A'_1$  и  $A'_2$ . При вращении алидады от максимума влияние эксцентриситета уменьшается, а при повороте на  $90^\circ$  будет равно  $0$ . При дальнейшем вращении алидады значение  $2v$  постепенно возрастает с обратным знаком и снова достигает максимума. Следовательно, влияние эксцентриситета алидады на отсчет по лимбу графически выражается синусоидой.

Линейный элемент эксцентриситета можно определить по формуле

$$l = \frac{\varepsilon_{\max} R}{\rho^2}, \quad (53)$$

где  $\varepsilon_{\max}$  — наибольшее влияние эксцентриситета алидады на отсчет по лимбу;

$R$  — радиус горизонтального круга.

В некоторых случаях центр алидады может совпасть с центром лимба (рис. 30, б), но индексы отсчетных приспособлений  $i_1$  и  $i'_1$  не будут расположены на одном диаметре, тогда разности отсчетов  $A_2 - A_1 - 180^\circ = \epsilon_{\text{ГК}}$  по лимбу при любом положении алидады будут отличаться от  $180^\circ$  на постоянную величину  $\epsilon_{\text{ГК}}$  (угловой элемент эксцентриситета). Среднее из отсчетов ошибочно на величину  $\frac{\epsilon_{\text{ГК}}}{2}$

$$A_{\text{ср}} = \frac{A'_2 + A_1}{2} = \frac{A_1 + 180^\circ + A_2 + \epsilon_{\text{ГК}}}{2}; \quad A_{\text{ср}} = A + \frac{\epsilon_{\text{ГК}}}{2}. \quad (54)$$

Угловой эксцентриситет на измерение угла влияния не оказывает, так как при вычислении угла берется разность отсчетов и  $\epsilon_{\text{ГК}}$  исключается.

Если имеет место совместное влияние углового и линейного эксцентриситета (рис. 30, в), то график разностей отсчетов по лимбу, т. е. величины  $(2v + \epsilon_{\text{ГК}})$ , при различных положениях алидады выражается синусоидой, смещенной вверх или вниз от оси на величину  $\epsilon_{\text{ГК}}$ ,

$$2v + \epsilon_{\text{ГК}} = A'_2 - (A'_1 + 180^\circ).$$

Эксцентриситет алидады горизонтального круга теодолита Т2 определяют по изменению разностей отсчетов при совмещении диаметрально противоположных штрихов круга  $A$  и одного из штрихов круга с индексом  $A_1$ . Для каждой установки круга  $v = 2(A - A_1)$ . Вместо индекса используют штрих вертикального круга, видимый после поворота переключающей призмы на  $45^\circ$ . Отсчет  $A$  для всех установок круга делают равным  $5' 00''$ . Тогда для каждой установки круга получают

$$v = 4(A - A_1). \quad (55)$$

Эксцентриситет горизонтального круга теодолитов типов Т5 и Т15 можно определять по изменению двойной коллимационной ошибки, измеряемой на различных установках  $\phi$  круга,

$$v_1 = 2C = \text{Л} - \text{П}. \quad (56)$$

Измерения проводят в пределах одного оборота круга в прямом и обратном ходе. При определении элементов  $v$  эксцентриситета алидады горизонтальный круг неподвижен, а алидада перемещается от одной установки к другой на величину исследуемого интервала.

При исследовании эксцентриситета алидады горизонтального круга определяют следующие величины:  $\epsilon_{\text{мак}}$ ,  $l$ ,  $\epsilon_{\text{мак}}$  — постоянный угол, определяющий положение индекса,  $A_0$  — отсчет по лимбу, при котором влияние эксцентриситета алидады равно нулю (направление линейного элемента эксцентриситета).

Чтобы найти максимальное влияние эксцентриситета  $\varepsilon_{\max}$ , необходимо определить разности отсчетов  $\Delta i = A'_i - A_i$  по всему кругу; равномерно переставляя алидаду, где  $A'_i$  — односторонний отсчет по лимбу при совмещении штриха верхнего изображения (штриха установки) с неподвижным индексом алидады, а  $A_i$  — отсчет при совмещении противоположных штрихов лимба. На разность отсчетов  $\Delta i$  влияют угловой и линейный эксцентриситеты. Колебания двух соседних величин  $\Delta i$  не должно превышать  $15''$ . Отсчеты на каждой установке берут при двух совмещениях.

Результаты исследования приведены в табл. 6. Для определения величин  $A_0$ ,  $\varepsilon_{\text{лк}}$ ,  $\varepsilon_{\max}$  строят график (рис. 32). По оси абсцисс откладывают установки алидады на лимбе  $\varphi$ , а по оси

Таблица 6

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита ТТ2

Установка алидады	Отсчет при совмещении штрихов лимба $A_i$			Отсчет при совмещении верхнего штриха лимба с индексом $A'_i$			$\Delta i$ $A'_i - A_i$
	I	II	Ср.	I	II	Ср.	
Прямой ход							
0	6' 49,9"	6' 53,0"	6' 51,0"	7' 12,0"	7' 11,0"	7' 11,5"	+20,5"
30	7 49,7	7 53,5	7 51,6	8 04,6	8 09,0	8 06,8	+14,2
60	5 32,2	5 29,0	5 30,6	5 40,5	5 41,0	5 40,8	+10,2
90	2 09,4	2 06,2	2 07,8	2 10,0	2 14,1	2 12,0	+4,2
120	5 31,8	5 34,0	5 32,9	5 41,9	5 39,5	5 40,7	+7,8
150	4 15,6	4 09,0	4 12,3	4 27,9	4 28,0	4 28,0	+15,7
180	3 24,0	3 26,0	3 25,0	3 44,3	3 44,0	3 44,2	+19,2
210	5 36,2	5 38,0	5 37,1	6 04,5	6 09,0	6 06,8	+29,7
240	5 26,7	5 28,3	5 27,5	6 05,0	6 04,5	6 04,8	+37,3
270	5 15,1	5 12,3	5 13,7	5 56,1	5 53,9	5 55,0	+41,3
300	2 23,4	2 26,2	2 24,8	3 05,0	2 59,0	3 02,0	+37,2
330	3 36,5	3 36,1	3 36,3	4 07,0	4 04,5	4 05,8	+29,5
Обратный ход							
330	3 03,3	3 09,1	3 06,2	3 30,0	3 27,0	3 28,5	+22,3
300	2 16,7	2 14,9	2 15,8	2 46,0	2 40,0	2 43,0	+27,2
270	0 04,0	0 07,0	0 05,5	0 34,1	0 35,9	0 35,0	+29,5
240	2 24,3	2 26,7	2 25,5	2 52,1	2 56,7	2 54,4	+28,9
210	3 02,4	3 05,4	3 03,9	3 28,9	3 25,6	3 27,2	+23,3
180	4 38,1	4 35,1	4 36,6	4 49,0	5 01,0	4 55,0	+18,4
150	6 21,6	6 18,8	6 20,2	6 30,0	6 33,0	6 31,5	+11,3
120	7 15,4	7 11,0	7 13,2	7 21,0	7 23,0	7 22,0	+8,8
90	7 50,9	7 55,1	7 53,0	7 57,8	7 56,9	7 57,4	+4,4
60	8 38,6	8 41,7	8 40,2	8 45,0	8 49,4	8 47,2	+7,0
30	9 07,0	9 09,0	9 08,0	9 21,0	9 22,5	9 21,8	+13,8
0	6 21,2	6 23,0	6 22,1	6 42,3	6 43,2	6 42,8	+20,7

ординат — разности  $\Delta l$ , полученные из наблюдений на каждой установке. Соединяя последовательно точки разностей  $\Delta l$  в прямом и обратном ходах, получают ломаные линии (сплошной линией показан прямой ход, пунктиром — обратный). Затем проводят сглаживающую кривую типа синусоиды. Штрихпунктиром проводят ось симметрии синусоиды. Амплитуда синусоиды  $2\epsilon_{\max}$  не должна превышать  $20''$ .  $\epsilon_{\text{гк}}$  находят как расстояние от оси симметрии синусоиды до оси абсцисс. Отсчет по лимбу  $A_0$ , где

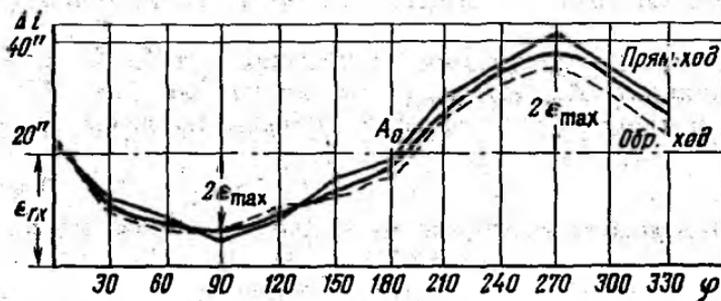


Рис. 32. График влияния эксцентриситета

влияние эксцентриситета равно 0 или  $A_0 + 180^\circ$ , находят в месте проектирования пересечения восходящей ветви синусоиды с осью симметрии.

На рис. 32  $A_0 = 180^\circ$ ;  $\epsilon_{\text{гк}} = 20''$ ;  $2\epsilon_{\max} = 15,5''$ ;  $\epsilon_{\max} = 7,8''$ . По формуле (53)

$$l = \frac{45 \text{ мм} \cdot 7,8''}{206265''} = 1,74 \text{ мкм.}$$

#### § 24. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКА ТЕОДОЛИТА

Угловые измерения производят после проверок ряда геометрических условий взаимного расположения частей теодолита, вытекающих из принципа измерения горизонтального угла (см. § 17). Если обнаруживают, что геометрические условия не выполняются, то производят юстировку (регулировку) прибора.

Последовательность выполнения проверок теодолита следующая.

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.

Выполнение условия необходимо для установки вертикальной оси вращения теодолита в отвесное положение при помощи уровня, т. е. нивелирования прибора. При выполнении условия ось цилиндрического уровня  $uu_1$  перпендикулярна к оси вращения теодолита  $OO_1$  (рис. 33, а). Ось уровня  $uu_1$  займет горизонтальное положение, т. е. пузырек уровня расположится в нуль-

пункте. При повороте алидады с уровнем на  $180^\circ$  ось уровня остается горизонтальной.

Допустим, что условие не выполнено (рис. 33, б) и ось вращения теодолита  $O'O'_1$  наклонена на угол  $\beta$  по отношению к отвесной линии  $OO_1$ . Если повернуть алидаду вокруг ее оси на  $180^\circ$ , точки  $u$  и  $u_1$  переместятся в точки  $u'$  и  $u'_1$  и ось уровня  $u'u'_1$  расположится под углом  $\alpha$  к горизонту, а пузырек уровня отклонится на  $n$  делений. Из рис. 33, б следует, что  $\alpha$  — внешний угол треугольника  $uu'u'$ , поэтому  $\alpha = 2\beta$ . Если уровень повернуть на угол  $\frac{\alpha}{2} = \beta$ , то ось  $u'u'_1$  займет положение  $u''u''_1$ , перпендику-

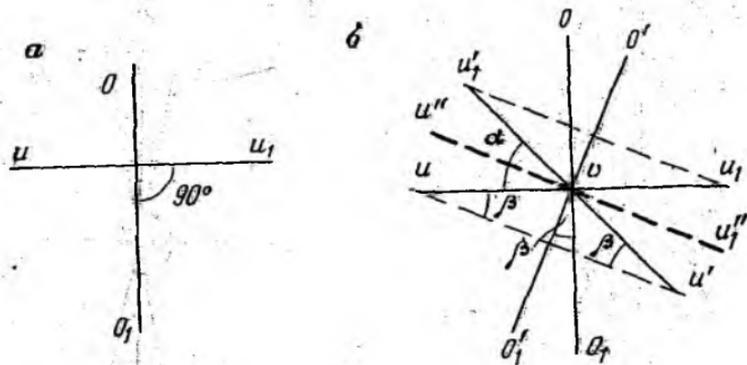


Рис. 33. Проверка цилиндрического уровня

лярное к оси вращения теодолита  $O'O'_1$ . Чтобы ось уровня заняла такое положение, необходимо переместить пузырек уровня на половину дуги отклонения юстировочными (исправительными) винтами уровня.

Проверка осуществляется следующим образом. Располагают цилиндрический уровень на алидаде горизонтального круга по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Поворачивают алидаду на  $180^\circ$  и смотрят, чтобы пузырек уровня отклонился не более чем на 1,5 деления. Если отклонение больше, то выполняют юстировку исправительным винтом уровня на половину дуги отклонения и подъемными винтами выводят пузырек уровня в нуль-пункт.

Затем производят нивелирование теодолита. Поворотом алидады устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Поворотом алидады устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и этим винтом приводят пузырек уровня на середину. При необходимости проверку повторяют, чтобы при любом положении алидады пузырек уровня находился в нуль-пункте.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы ( $WW_1 \perp HH_1$ ).

Условие необходимо для образования проектирующей коллимационной плоскости. Если условие не выполнено, то труба опишет две конические поверхности (рис. 34, а) в общей вершине  $O$  на оси вращения трубы  $NN_1$ .

Допустим, что условие выполнено. Зрительную трубу наводят на точку  $M$  и берут отсчет  $A_1$ . Поворачивают трубу через зенит и алидаду на  $180^\circ$ . На перекрестии сетки нитей должны увидеть ту же точку. Берут отсчет  $A_2$  (рис. 34, б). Разность отсчетов будет равна  $A_2 - A_1 = 180^\circ$ . Если имеется коллимационная ошибка  $C$ , то при наведении трубы на точку  $M$  при круге право отсчет по

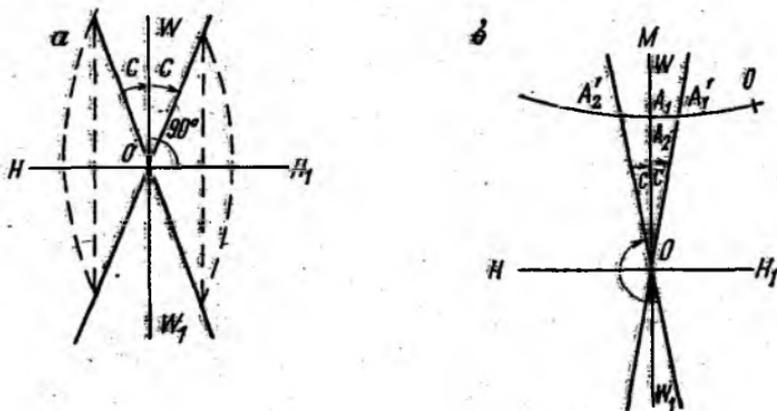


Рис. 34. Проверка положения визирной оси трубы

горизонтальному кругу будет равен  $A'_1$ , а при круге лево —  $A'_2$ . Тогда отсчеты будут  $A_1 = A'_1 + C$ ,  $A_2 = A'_2 - C$ . Найдем разность отсчетов:  $A_2 - A_1 = A'_2 - A'_1 - 2C$ , откуда

$$2C = A'_2 - A'_1 - 180^\circ.$$

Средний из двух отсчетов свободен от влияния коллимационной ошибки

$$A_{\text{ср}} = \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{A'_1 + A'_2}{2}.$$

Для исправления коллимационной ошибки наводящим винтом алидады устанавливают на горизонтальном круге средний отсчет и смотрят в трубу: перекрестие сетки нитей сместилось с точки, тогда боковыми исправительными винтами сетки нитей наводят перекрестие на точку.

Теодолиты 2Т2, 2Т5К, 2Т5 имеют зрительную трубу, в которой сетка нитей отцентрирована и закреплена неподвижно. Устранение коллимационной ошибки производится поворотом зрительной трубы специальным ключом.

3. Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита ( $NN_1 \perp OO_1$ ).

Выполнение условия необходимо для установки коллимационной плоскости в отвесное положение.

Зрительная труба наводится при круге право и круге лево на высоко расположенную точку  $M$ ; затем трубу опускают вниз до горизонта прибора, отмечая положение перекрестия сетки нитей на стене. Если проекция при втором положении круга попала в ту же точку  $m$ , то  $Mm$  — отвесная линия, а, следовательно, коллимационная плоскость отвесна.

Если условие не выполнено, то проекция при одном круге окажется в точке  $m_1$ , а при другом — в точке  $m_2$ . Правильным является среднее положение. В оптических теодолитах выполнение данного условия гарантируется заводом.

Согласно ГОСТ 20063—74 наклон горизонтальной оси  $i$ , обусловленный неперпендикулярностью горизонтальной и вертикальной осей теодолита, определяют по изменению коллимационных ошибок  $C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ , получаемых при наблюдении визирных целей, расположенных в одном створе (с отклонением не более  $1^\circ$ ) и имеющих вертикальные углы  $\nu = 0$ ,  $\nu = 20^\circ$  и  $\nu > \pm 20^\circ$ . С целью исключения влияния качания вертикальной оси вращения число приемов определения значений  $C$ ,  $C_1$  и  $C_2$  должно быть четным (6 для теодолитов типов Т05, Т1, Т2 и 8 для остальных типов).

Если  $\nu_1 \neq \nu_2$ , значение  $i$  вычисляют по формуле

$$i = \frac{1}{2} \left( \frac{C_1 - C \sec \nu_1}{\operatorname{tg} \nu_1} + \frac{C_2 - C \sec \nu_2}{\operatorname{tg} \nu_2} \right), \quad (57)$$

если  $\nu_1 = \nu_2$ , то

$$i = \frac{C_1 - C_2}{2 \operatorname{tg} \nu_1}. \quad (58)$$

Среднюю квадратическую ошибку определения  $i$  находят по формуле

$$m_i = \frac{m_C}{\cos \nu_1} \sqrt{1 + \sin^2 \nu_1}, \quad (59)$$

где  $m_C$  — средняя квадратическая ошибка, вычисленная по внутренней сходимости определения коллимационной ошибки  $C$ .

Значения  $m_i$  не должны превышать для Т2 —  $1''$ , Т5 —  $1,5''$ , Т15 —  $3''$ , Т30 —  $7''$ .

4. *Вертикальный штрих сетки нитей должен находиться в коллимационной плоскости.*

Выполнение условия направлено на создание удобства для работы. Если при измерении углов вертикальный штрих занимает отвесное положение, то по нему можно контролировать правильность постановки вехи. Проверяют выполнение этого условия следующим образом: установив вертикальную ось теодолита в отвесное положение, визируют на хорошо видимую точку и перемещают трубу наводящим винтом по вертикали. Если условие выполнено, то изображение точки не сходит с вертикального штриха сетки нитей. Если смещение изображения точки более

чем на 3 толщины штриха для теодолитов Т2, 2Т2, 2Т5, Т5, Т5К, 2Т5К и на  $\frac{1}{3}$  величины биссектора у теодолитов Т15, Т30, то нужно повернуть сетку нитей. Необходимо ослабить винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, и повернуть окуляр вместе с сеткой нитей. После исправления поверку следует повторить.

Так же проверяют основной горизонтальный штрих сетки нитей, вращая трубу в горизонтальной плоскости наводящим винтом алидады горизонтального круга и работая им на ввинчивание и вывинчивание. Смещение изображения точки может произойти за счет задевания наводящего винта за хомутик зрительной трубы. Данный дефект может быть устранен только в мастерской.

*5. Визирные оси оптических визиров должны быть параллельны визирной оси зрительной трубы.*

Наводят зрительную трубу на точку, удаленную на расстояние не менее 150 м. Отведя глаз от визира на расстояние 200—250 мм, наблюдают одновременно светлое перекрестие визира и точку. Если перекрестие совпадает с наблюдаемой точкой, то условие выполнено.

В противном случае нужно наводящими винтами теодолита точно совместить его и измерить зрительной трубой величину несовпадения изображения точки с перекрестием сетки нитей трубы как по горизонтали, так и по вертикали. При величине несовпадения более 2' нужно исправить положение визира.

*6. Визирная ось оптического центрира должна совпадать с вертикальной осью теодолита.*

Проверка оптического центрира, встроенного в алидадную часть, производится наблюдением за положением изображения точки местности, над которой установлен теодолит относительно перекрестия сетки нитей при вращении алидады вокруг вертикальной оси.

Если при вращении алидады перекрестие сетки нитей сходит с изображения точки местности, необходима юстировка. Для этого нужно снять два винта и крышку оптического центрира с боковой крышки теодолита, ослабить винты, скрепляющие окулярное колено центрира с боковой крышкой, и перемещением окулярного колена в плоскости боковой крышки совместить визирную ось оптического центрира с вертикальной осью теодолита.

В теодолитах 2Т2, 2Т5К и 2Т5 оптические центриры юстируются только в мастерских.

Продолжение визирной оси зрительной трубы оптического центрира, укрепленного на подставке прибора, после поворота ее зеркалом или призмой должно совпадать с продолжением вертикальной оси вращения алидады горизонтального круга. Проектируют на землю след коллимационной плоскости зрительной трубы при трех положениях алидады горизонтального круга. В пересечении следов коллимационной плоскости будет получена

точка, лежащая на продолжение оси вращения алидады горизонтального круга, с которой должно совпадать перекрестие сетки нитей оптического центра.

В землю вбивают колья, на которые крест накрест натягивают тонкие нити и смотрят, совпадает ли изображение точки пересечения нитей с перекрестием сетки. Если оно не совпадает, то исправительными винтами при диафрагме совмещают перекрестие сетки с изображением точки.

## § 25. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Для измерения горизонтального угла (способом отдельного угла) над одной из точек  $C$  устанавливают теодолит: центрируют (при помощи оптического или механического центра) устанавливают ось вращения теодолита над точкой) и нивелируют. В точках  $A$  и  $B$  устанавливают визирные цели.

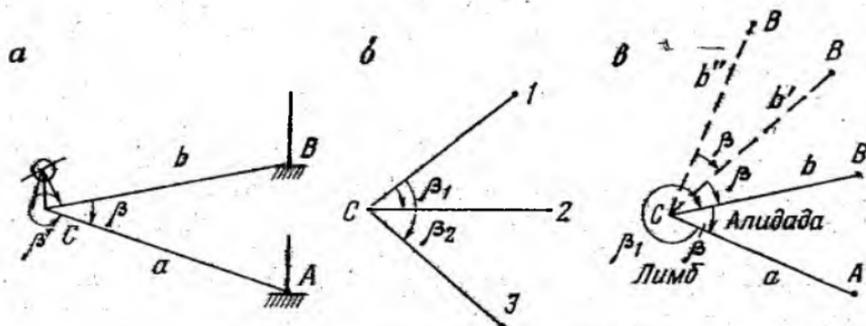


Рис. 35. Измерение горизонтального угла

Измеряют левые  $\beta$  или правые  $\beta'$  углы по ходу, лежащие при направлении на точку  $A$  с точки  $B$ . Движением алидады (при неподвижном лимбе) наводят перекрестие сетки нитей сначала на точку  $B$  и берут отсчет по лимбу. Затем, вращая алидаду, визируют на точку  $A$  и берут отсчет  $a$  (рис. 35, а). Значение угла  $\beta$  получается как разность отсчетов:  $\beta = a - b$ . Это составляет один полуприем.

Переводят трубу через зенит и производят повторное измерение угла (второй полуприем). Два таких измерения составляют один прием. Расхождения в углах из двух полуприемов не должно превышать двойной точности отсчетного устройства. Если расхождение допустимо, то находят среднее значение угла.

Повторительным теодолитом углы можно измерить иначе. Совместив нули лимба и алидады, движением лимба наводят перекрестие сетки нитей на вежу, стоящую в точке  $B$ . Закрепив лимб, освобождают алидаду и, вращая ее, визируют на вежу, установленную в точке  $A$ . Отсчет на заднюю вежу выразит величину измеряемого угла. Перед вторым полуприемом лимб поворачивают на  $90^\circ$ , чтобы измерение угла выполнялось на другой части лимба.

Этот способ предложен русским геодезистом В. Я. Струве и используется при измерении углов из одной точки на несколько визирных целей.

Установив теодолит над точкой  $C$ , визируют последовательно на точки  $1, 2, 3, 1$  (рис. 35, б), вращая алидаду по ходу часовой стрелки. При наведении на каждую точку берут отсчеты. Последнее наведение производят снова на начальную точку (замыкание горизонта), чтобы по отсчетам на нее убедиться в неподвижности лимба. Замыкание горизонта не должно превышать величины точности отсчетного устройства. При наведении на предмет наводящими винтами нужно работать на ввинчивание, так как при вывинчивании винтов пружина может не оказать ожидаемого действия и это послужит источником ошибок.

Затем трубу переводят через зенит и снова наводят на те же точки, только вращая алидаду в обратном направлении (против хода часовой стрелки), чтобы ослабить влияние трения осей лимба и алидады.

Для уменьшения влияния случайных ошибок углы измеряют несколькими приемами с перестановкой лимба между приемами на  $180^\circ/n$  (где  $n$  — число приемов), чтобы отсчеты на один и тот же предмет во всех приемах были взяты симметрично по всему лимбу. Это позволяет ослабить влияние систематических ошибок делений лимба на значение угла.

Наиболее благоприятное время для измерения углов — период спокойных изображений: утром до 10 ч и с 15 ч до наступления сумерек. Пример записи измерений угла приведен в табл. 7.

### Способ повторений

Сущность способа повторений заключается в последовательном откладывании на лимбе многократно ( $p$  раз) величины измеряемого угла  $\beta$ . Если  $b$  — начальный отсчет по лимбу при наведении на точку  $B$ , а  $a$  — последний отсчет при наведении на точку  $A$ , то искомый угол получают по формуле

$$\beta = \frac{a - b}{p}. \quad (60)$$

Способ повторений используется только при работе с повторительным теодолитом, когда ошибка отсчета больше ошибки визирования. Применяется с целью уменьшения ошибки отсчета.

Измерение горизонтального угла этим способом производится следующим образом: установив теодолит в вершине угла, точке  $C$  (рис. 35, в), закрепляют алидаду так, чтобы отсчет по лимбу был близок к 0. Пусть  $b = 0^\circ 10'$ . Движением лимба, скрепленного с алидадой, наводят перекрестие сетки нитей на начальный (левый) предмет  $B$  и в этом положении закрепляют лимб. Открепляя закрепительный винт алидады и вращая ее, наводят трубу на пра-

Таблица 7

Дата \_\_\_\_\_ Наблюдатель \_\_\_\_\_ Записывающий \_\_\_\_\_

Номер приемов	Направления	Л			$2C =$ Л - П	П			$1/2$ (Л + П)	Приведенные направления
		I	II	Среднее		I	II	Среднее		
		° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "
I	1	0 01 19,0	01 18,8	0 01 18,9	+0,4	180 01 18,0	01 19,0	180 01 18,5	0 01 18,7	0 00 00
	2	8 59 08,8	59 07,9	8 59 08,4	-4,0	188 59 12,0	59 12,8	188 59 12,4	8 59 10,4	8 57 55,2
	3	30 18 41,8	18 40,8	30 18 41,3	-9,8	210 18 51,5	18 50,7	210 18 51,1	30 18 46,2	30 17 31,0
	1	0 01 12,0	01 11,4	0 01 11,7	-0,3	180 01 12,5	01 11,4	180 01 12,0	0 01 11,8	
II	1	90 01 13,5	01 14,7	90 01 14,1	+3,6	270 01 13,2	01 07,8	270 01 10,5	90 01 12,3	0 00 00
	2	98 58 58,2	58 58,4	98 58 58,3	-0,7	278 59 00,2	58 59,8	278 58 59,0	98 58 58,6	8 57 48,9
	3	120 18 38,6	18 38,2	120 18 38,4	+5,2	300 18 32,8	18 33,6	300 18 33,2	120 18 35,8	30 17 26,1
	1	90 01 05,9	01 05,7	90 01 05,8	-2,6	270 01 08,0	01 08,8	270 01 08,4	90 01 07,1	

вый предмет  $A$  и берут отсчет ( $a = 60^\circ 32,5'$ ); тогда разность отсчетов ( $60^\circ 32,5' - 0^\circ 10,0' = 60^\circ 22,5'$ ) выразит величину измеряемого угла, значение которого является приближенным и контрольным.

Освободив снова лимб, скрепленный с алидадой, вторым вращением его наводят трубу на начальный предмет  $B$ . В этом положении закрепляют лимб, отсчета не берут. Затем освобождают алидаду и ее вращением наводят трубу на предмет  $A$ , при этом отсчет не берут. Далее вращением лимба вместе с алидадой в третий раз наводят трубу на предмет  $B$  (отсчет не берут), а затем, закрепив лимб и поворачивая алидаду, наводят трубу на предмет  $A$ . При этом дуга, приблизительно равная  $60^\circ 22,5'$ , будет отложена на лимбе 3 раза. Если ограничиться тремя повторениями, то после третьего наведения на конечный предмет следует взять отсчет ( $a = 181^\circ 17,8'$ ).

Разность  $(a - b) = 181^\circ 17,8' - 0^\circ 10,0' = 181^\circ 07,8'$  есть утроенное значение измеряемого угла, полученное одним полу-приемом. Значение угла из одного полуприема равно

$$\beta = \frac{181^\circ 07,8'}{3} = 60^\circ 22,6'.$$

Переведя трубу через зенит и повторив те же действия, но в обратном порядке, получают значение того же угла вторым полу-приемом. При измерении угла методом повторений нужно замечать переходы  $0^\circ$  отсчетного устройства через нуль лимба, так как каждый такой переход делает необходимым прибавление к заключительному отсчету  $360^\circ$ . Для этого и нужен контрольный отсчет после первого повторения.

С целью ослабления влияния ошибок увлечения лимба во втором полуприеме можно измерять угол не  $\beta$ , а  $\beta'$  — дополнение до  $360^\circ$  (см. рис. 35, в).

## § 26. ОШИБКИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Измерения углов неизбежно сопровождаются ошибками случайного и систематического характера. Случайные ошибки могут быть ослаблены применением наиболее совершенных приборов, методов измерений, а также многократными наблюдениями. Действие систематических ошибок можно исключить или учесть, применяя соответствующую методику наблюдений или вводя в результаты наблюдений поправки, которые определяются из предварительных наблюдений.

Точность измерения горизонтального угла зависит в основном от ошибок самого прибора, от точности установки теодолита и вех, от точности визирования и отсчитывания.

Инструментальные ошибки возникают от неправильного положения геометрических осей, ошибок нанесения делений на

лимбе и шкалах отсчетных устройств, наклона лимба, неустойчивости теодолита.

Рассмотрим влияние каждого источника ошибок отдельно на точность измерения горизонтального угла и способы их учета или ослабления влияния.

1. Коллимационная ошибка. Возникает от неперпендикулярности визирной оси трубы к горизонтальной оси вращения трубы ( $HH_1$  и  $WW_1$ ).

При наведении трубы на точку  $M$ , если есть коллимационная ошибка, положение визирной оси при двух полуприемах занимает положение  $W'W'_1$  и  $W''W''_1$  вместо правильного положения  $WW_1$ . Отсчет на лимбе будет получаться в двух разных местах  $m_1$  и  $m_2$ . Обозначим через  $\varepsilon$  проекцию коллимационной ошибки  $C$  на горизонтальную плоскость, которая и выражает влияние коллимационной ошибки на отсчет по лимбу.

Из треугольников  $OMM_2$  и  $Omm_2$  (рис. 36) найдем

$$\operatorname{tg} C = \frac{MM_2}{OM}$$

и

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{mm_2}{Om}$$

По построению отрезок  $MM_2 = mm_2$ , тогда

$$\frac{\operatorname{tg} C}{\operatorname{tg} \varepsilon} = \frac{Om}{OM}$$

Так как углы  $C$  и  $\varepsilon$  малые, то, выражая их в радианной мере, можно записать

$$\frac{C}{\varepsilon} = \frac{Om}{OM}$$

Из треугольника  $OMm$

$$\cos \nu = \frac{Om}{OM}$$

где  $\nu$  — угол наклона визирной оси.

$$\varepsilon = \frac{C}{\cos \nu} \quad (61)$$

Следовательно, влияние коллимационной ошибки на одно направление обратно пропорционально косинусу угла наклона. Если углы наклона небольшие, то  $\cos \nu$  близок к единице или меньше единицы, тогда влияние коллимационной ошибки на отсчет по лимбу будет равно значению коллимационной ошибки или больше его.

Ошибка в угле, измеренном при одном положении круга, равна

$$\Delta C = \frac{C}{\cos v_1} - \frac{C}{\cos v_2} = C \left( \frac{1}{\cos v_1} - \frac{1}{\cos v_2} \right). \quad (62)$$

При  $v_1 = 0$  и  $v_2 = 0$   $\Delta C = 0$ . Если углы наклона не равны, то  $\Delta C \neq 0$ .

При измерении угла при втором положении круга  $\Delta C$  будет иметь обратный знак, и влияние коллимационной ошибки на измерение угла, полученного как среднее из двух полуприемов, будет свободно от влияния коллимационной ошибки до тех пор, пока  $C$  постоянна. Поэтому при измерении углов стараются

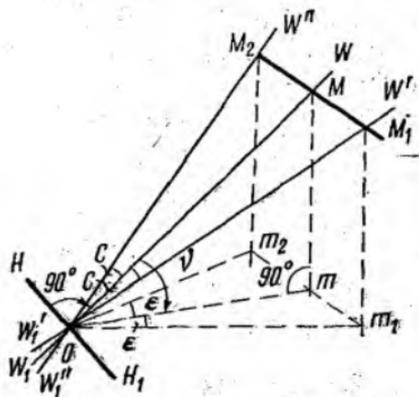


Рис. 36. Коллимационная ошибка

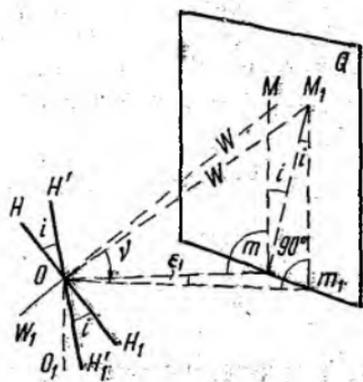


Рис. 37. Наклон коллимационной плоскости

делать равные стороны, чтобы не менять фокусировку трубы и сохранять постоянное значение коллимационной ошибки.

Величина коллимационной ошибки зависит от изменения температуры (при изменении температуры на  $1^\circ$  коллимационная ошибка изменяется на  $0,2'$ ), поэтому при работе с теодолитом его нужно закрывать зонтом.

2. Ошибка от неперпендикулярности горизонтальной и вертикальной осей теодолита. Если горизонтальная ось трубы  $HH_1$  не перпендикулярна к вертикальной оси  $OO_1$  теодолита, то при отвесном положении оси  $OO_1$  коллимационная плоскость будет наклонена и в результатах измерения горизонтального угла появится ошибка. Пусть при горизонтальном положении оси  $HH_1$  и визирной оси трубы  $WW_1$  перекрестие сетки нитей отмечено на вертикальной плоскости  $Q$  в положении  $m$  (рис. 37)  $v = 0^\circ$ . Если горизонтальная ось займет положение  $H'H'_1$ , наклонное к горизонту на угол  $i$ , то при  $v = 0^\circ$  визирная ось не изменит своего положения. Если труба наклонена к горизонту на угол  $v$ , то при горизонтальном положении оси вращения трубы  $HH_1$  она будет направлена на точку  $M$ , причем точка  $m$  является горизонтальной проекцией точки  $M$ . При наклонном положении горизонтальной оси  $H'H'_1$

труба окажется наведенной на точку  $M_1$ , горизонтальной проекцией которой является точка  $m_1$ . Угол  $\varepsilon_1$  выражает ошибку отсчета по лимбу вследствие наклона коллимационной плоскости на угол  $i$  относительно отвесного положения.

Из прямоугольных треугольников  $Omm_1$  и  $M_1mm_1$  можно найти

$$\sin \varepsilon_1 = \frac{mm_1}{Om_1}; \quad \operatorname{tg} i = \frac{mm_1}{M_1m_1},$$

откуда

$$\frac{\sin \varepsilon_1}{\operatorname{tg} i} = \frac{M_1m_1}{Om_1}.$$

Из треугольника  $OM_1m_1$

$$\operatorname{tg} v = \frac{M_1m_1}{Om_1}.$$

Выражая малые углы  $\varepsilon_1$  и  $i$  в радианной мере, можно записать

$$\varepsilon_1 = i \operatorname{tg} v. \quad (63)$$

Следовательно, ошибка в отсчете по лимбу за наклон горизонтальной оси трубы прямо пропорциональна тангенсу угла наклона. При больших углах наклона ( $v \geq 45^\circ$ ) влияние наклона горизонтальной оси равно  $i$ .

Ошибка в измерении угла  $\Delta i$  равна

$$\Delta i = i (\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2). \quad (64)$$

Величина  $\Delta i$  тем меньше, чем меньше разность углов наклона. При одинаковых углах наклона ошибка не сказывается на результатах измерения угла. Если углы наклона равны ( $v_1 = v_2$ ), то  $\Delta i = 0$ ; при  $v_1 = -v_2$ ,  $\Delta i = 2i \operatorname{tg} v$  (худший способ), например, при  $i = 10''$ ,  $v = 6^\circ$ ,  $\Delta i = 20'' \cdot 0,1 = 2''$ .

Если ось вращения теодолита отвесна, то среднее значение угла, полученное из двух полуприемов, будет свободно от этой ошибки.

Ошибка, вызываемая наклоном вертикальной оси вращения теодолита, не относится к инструментальным — она обусловлена неправильной установкой теодолита. Исключить ее можно точной установкой вертикальной оси в отвесное положение.

При работе в горной местности для ослабления влияния ошибки за наклон вертикальной оси вращения теодолита необходимо тщательно нивелировать прибор.

При большом угле наклона линии визирования в отсчет по горизонтальному кругу вводят поправку, вычисляемую по формуле

$$\Delta i = i \operatorname{tg} v, \quad (65)$$

где  $i$  определяют при помощи накладного уровня.

3. Ошибка за наклон лимба. Пусть вертикальная ось теодолита  $OO_1$  занимает отвесное положение и коллимационная плоскость  $Q$  вертикальна, а лимб  $L'L'_1$  отклонился от горизонтального положения  $LL'$  на угол  $\varepsilon_2$ . Вместо отсчета на лимбе в точке  $B$  отсчет будет в точке  $B_1$  (рис. 38).  $CP$  — линия, вокруг которой повернулся лимб. В точке  $C$  отсчет по лимбу будет одинаковым как для горизонтального, так и наклонного лимба. Определив разницу дуг  $CB$  ( $a$ ) и  $CB_1$  ( $a_1$ ), найдем влияние наклона лимба на отсчет  $B$ .

Из сферического прямоугольного треугольника  $CBB_1$  согласно правилам сферической тригонометрии находим

$$\cos \varepsilon_2 = \frac{\operatorname{tg} a}{\operatorname{tg} a_1} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} a = \operatorname{tg} a_1 \cos \varepsilon_2.$$

При малой величине  $\varepsilon_2$  можно принять  $\cos \varepsilon_2 = 1 - \frac{\varepsilon_2^2}{2}$ .

В соответствии с этим

$$\operatorname{tg} a = \operatorname{tg} a_1 \left( 1 - \frac{\varepsilon_2^2}{2} \right);$$

$$\operatorname{tg} a_1 - \operatorname{tg} a = \frac{\varepsilon_2^2}{2} \operatorname{tg} a_1;$$

$$\frac{\sin a_1}{\cos a_1} - \frac{\sin a}{\cos a} = \frac{\varepsilon_2^2 \sin a_1 \cos a}{2 \cos a_1 \cos a};$$

$$\sin (a_1 - a) = \frac{\varepsilon_2^2}{2} \sin a_1 \cos a;$$

Поскольку отсчеты  $a$  и  $a_1$  мало отличаются один от другого, можно принять  $\sin (a_1 - a)$  равным дуге  $(a_1 - a)$  в радианной мере, выражение  $\sin a_1 \cos a$  заменить через  $\frac{1}{2} \sin 2a$ . В соответствии с этим можно записать

$$\Delta a = a_1 - a; \quad \Delta a = \frac{\varepsilon_2^2}{4\rho} \sin 2a. \quad (66)$$

Если  $a = 0$  или  $90^\circ$ , то  $\Delta a = 0$ . Наибольшей величины  $\Delta a$  достигает при  $a = 45$  или  $135^\circ$ . Например, при  $\varepsilon_2 = 10'$   $\Delta a = 0,4''$ , при  $\varepsilon_2 = 30'$ ,  $a = 45^\circ$ ,  $\Delta a = 4''$ .

При измерении угла оба направления будут иметь одну и ту же величину ошибки; следовательно, значение угла будет свободно от ошибки за наклон лимба. Сама ошибка за наклон лимба не оказывает существенного влияния, если вертикальная ось теодолита отвесна. Наклон лимба к вертикальной оси теодолита обнаруживается по вертикальному зазору между лимбом и отсчетной шкалой или по расфокусировке отсчетного микроскопа на разных частях лимба при вращении алидады вокруг вертикальной оси.

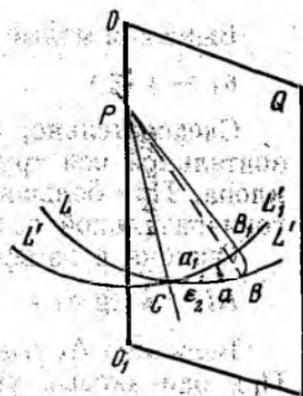


Рис. 38. Наклон лимба

4. Влияние эксцентриситета. Определение и влияние эксцентриситета алидады горизонтального круга рассмотрено в § 23, пункт 5.

Влияние эксцентриситета, даже весьма незначительное, может существенно сказываться на точности отсчетов. Предприятия, выпускающие теодолиты, обеспечивают центрирование осей с высокой точностью (0,002—0,003 мм). Для центрировки кругов используют специальные оптические устройства, состоящие из двух жестко закрепленных микроскопов, устанавливаемых на противоположных концах диаметра.

Влияние эксцентриситета горизонтального круга при отсчете по двум диаметрально противоположным сторонам круга исключается.

Если влияние эксцентриситета превышает двойную точность отсчетного устройства, то при измерении горизонтального угла частично сказывается его влияние.

Эксцентриситет алидады возникает от смещения центра делений круга с вертикальной оси и несовпадения осей, от качания оси алидады. В теодолитах Т5 и Т5К величина качания оси алидады составляет 3—4". Средний отсчет свободен от влияния качания вертикальной оси. Для ослабления влияния эксцентриситета при измерении углов и направлений нужно их измерять не только при двух положениях вертикального круга, но и четным числом приемов, что обеспечивает измерение каждого направления после полного оборота алидады.

Величина углового эксцентриситета  $\varepsilon_{\max}$  равна

$$\varepsilon_{\max} = \frac{l}{R} \rho'' \pm \Delta\sigma_{\max} \quad (67)$$

где  $l$  — линейный элемент центрирования;  $\Delta\sigma_{\max}$  — максимальное значение качания вертикальной оси (6—8");  $R$  — радиус круга.

Связь между величиной эксцентриситета и ошибкой отсчета можно выразить отношением

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta_{\text{отс}} \rho''}{2\mu}, \quad (68)$$

где  $\Delta_{\text{отс}}$  — допустимая ошибка отсчета;  $\mu$  — наименьшее деление на круге.

Приравняв правые части формул (67) и (68), зная допустимую ошибку отсчета и влияние качания оси алидады, можно определить влияние эксцентриситета на точность измерения угла.

Измерение углов по способу круговых приемов при двух положениях круга теодолитом с односторонним отсчетным устройством практически свободно от влияния эксцентриситета алидады. Не исключается часть ошибки, которая возникает от неравномерного слоя смазки между осью алидады и втулкой. Измерение угла по способу повторений не исключает влияния эксцентриситета алидады.

5. Ошибки делений лимба. Нанесение штрихов на кругах сопровождается случайными и систематическими ошибками. Случайные ошибки возникают от шатания реза делительной машины, отклонения его при резании штриха на материале неоднородного состава, упругой деформации подающего резац механизма и др. Систематические ошибки бывают ошибки делений образцового круга делительной машины или ошибки зубцов этого круга, несовпадение центров вращения образцового и разделяемого кругов и др.

Влияние систематических ошибок можно ослабить, взяв отсчеты по диаметрально противоположным на лимбе отсчетным устройствам и многократными наблюдениями направлений на различных частях лимба с перестановкой его между приемами на угол  $\sigma = \frac{180^\circ}{n}$ . Для определения ошибок делений лимба производят специальное исследование кругов.

6. Ошибки нанесения делений на шкале. Разница между теоретическим  $n$  и фактическим числом делений шкалы  $n_1$ , заключенных между двумя штрихами лимба, дает рен  $r$ :

$$n - n_1 = r. \quad (69)$$

Фактическая цена деления шкалы микроскопа  $\mu_0$  составляет

$$\mu_0 = \frac{\mu}{n_1} \quad \text{или} \quad \mu_0 = \frac{\mu}{n-r}, \quad \mu_0 = \frac{\mu}{n} \left(1 - \frac{r}{n}\right)^{-1},$$

где  $\mu$  — цена деления лимба.

Разложив двучлен в скобках и ограничиваясь ввиду малости  $\frac{r}{n}$  вторым членом разложения, получим

$$\mu_0 = \mu + \mu \frac{r}{n}.$$

Полный отсчет по лимбу можно представить в виде

$$A = \mu\varphi + \mu_0 l + \mu_0 l \frac{r}{n}, \quad (70)$$

где  $\varphi$  — число делений на лимбе;  $l$  — число делений на шкале.

Если при исследовании величина рена окажется больше допустимой (0,25 деления шкалы), то в мастерской можно произвести исправление, изменив увеличение объектива микроскопа. Можно вычислить поправки  $\left(\mu_0 l \frac{r}{n}\right)$ , составить таблицу и вводить поправки в отсчеты.

Определение рена оптического микрометра и ослабление его влияния приведено в § 23, 4.

7. Ошибки от неустойчивости теодолита. При измерении горизонтальных углов для обеспечения неподвижности теодолита необходимо выбирать участки с твердым грун-

том. На устойчивость теодолита влияет его масса, масса наблюдателя, состояние грунта, установка штатива. Устойчивость теодолита зависит от прочности наконечников ножек, скрепления ножек со штативом, колебаний подъемных винтов в гайках или гаек относительно подставки теодолита. Проверяют устойчивость теодолита на штативе, каменном столбе, кронштейне. Для ослабления влияния ошибок нужно разжать гайку, чтобы у подъемных винтов было плавное вращение; становой винт плотно не прикреплять.

В процессе работы необходимо следить за состоянием теодолита: проверять, нет ли шатания в подставках трубы, окулярной трубке и т. д.

8. Ошибки, вызванные влиянием внешних условий. На точность визирования оказывают влияние четкость изображения, колебания его и явление боковой рефракции.

На четкость изображения влияют: дым, туман, изморозь, пыль и другие явления, отражающиеся на чистоте атмосферы.

Колебания изображения возникают вследствие быстрых перемещений небольших масс воздуха различной плотности (конвекционные токи). Колебания делают изображение предмета подвижным, расплывчатым и мешают точному наведению на него перекрестия сетки нитей зрительной трубы. Наибольшие колебания изображения наблюдаются при восходе и заходе солнца и в близполуденное время, а небольшие — от 9 до 10 и от 15 до 16 ч, поэтому измерения горизонтальных углов рекомендуется начинать час спустя после восхода солнца и заканчивать за час до захода солнца.

Боковая рефракция возникает от искривления визирного луча в горизонтальной плоскости вблизи зданий и предметов. Ошибка за рефракцию носит систематический характер. Для ослабления этого источника ошибок визирный луч не должен проходить ближе 1—1,5 м от зданий и предметов. Желательно, чтобы он проходил над землей на высоте около 2 м.

9. Ошибки собственно измерения угла. Зависят от точности визирования и отсчитывания. Точность визирования определяется по формуле (36). За точность отсчета по горизонтальному кругу принимается ошибка, равная половине номинальной точности отсчетного устройства, т. е.  $m_0 = \frac{1}{2}$ .

10. Ошибки центрирования и редукции. Пусть теодолит центрирован над точкой  $O$  с ошибкой  $l$ , в результате чего он окажется установленным над точкой  $O_1$ . Обозначим угол  $OO_1A$  через  $\theta$ . Величины  $l$  и  $\theta$  являются линейным и угловым элементом центрирования (рис. 39, а). Если проведем направление  $O_1B$  параллельно  $OA$ , то при визировании из точки  $O_1$  на точку  $A$  отсчет по лимбу будет ошибочен на величину  $x_1$ . Из треугольника  $O_1OA$  по теореме синусов следует

$$\frac{\sin x_1}{l} = \frac{\sin \theta}{S_1}$$

откуда по малости угла  $x_1$  получим

$$x_1 = \frac{l \sin \theta}{S_1} \rho. \quad (71)$$

Аналогично получим ошибку редукции, если веха вместо точки  $A$  будет установлена в точке  $A_1$ . Вместо направления  $OA$  будут визировать по направлению  $OA_1$  (рис. 39, б), тогда

$$y = \frac{l_1 \sin \theta_1}{S_1} \rho. \quad (72)$$

Величины  $l_1$  и  $\theta_1$  — линейный и угловой элементы редукции,  $y$  — ошибка за редукцию в отсчете по лимбу.

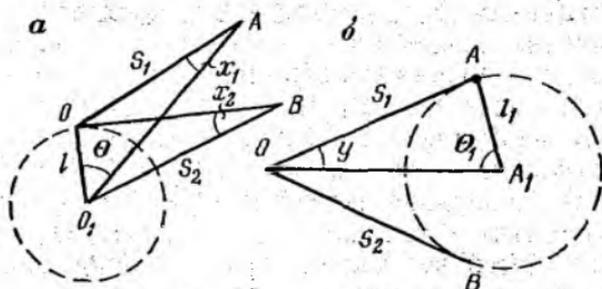


Рис. 39. Ошибки центрировки и редукции

Из формул (72) и (71) видно, что величины ошибок за центрирование и редукцию прямо пропорциональны линейному и угловому элементам и обратно пропорциональны расстоянию. Значения углов  $\theta$  и  $\theta_1$  изменяются по окружности. Если  $\theta = \theta_1 = 0^\circ$  или  $180^\circ$ , то будет минимальное влияние этих ошибок. При  $\theta = \theta_1 = 90^\circ$  или  $270^\circ$  — максимальное влияние:

$$x_{\max} = \frac{l\rho}{S_1}, \quad (73)$$

$$y_{\max} = \frac{l_1\rho}{S_1}. \quad (74)$$

При измерении угла, когда  $S_1 = S_2$ , средняя квадратическая ошибка за центрирование определяется по формуле

$$m_{\text{цен}} = \frac{l\rho\sqrt{2}}{S}, \quad (75)$$

а средняя квадратическая ошибка за редукцию — по формуле

$$m_{\text{ред}} = \frac{l_1\rho}{S}. \quad (76)$$

Например, при  $l = l_1 = 1$  см и  $S = 150$  м ошибка за центрирование в отсчете по лимбу будет порядка  $0,2'$ , следовательно, при работе с техническими теодолитами стороны короче 150 м при измерении угла брать не рекомендуется.

При  $m_{\text{цен}} = 2''$  и  $S = 500$  м линейный элемент центрирования должен быть  $l = 3,3$  мм, следовательно, для центрирования теодолита нужно использовать оптический центрир.

Для ослабления влияния ошибок центрирования и редукции измерение угла следует производить по методу трехштативной системы. Визирные цели и теодолит имеют одинаковые подставки, которые остаются на штативах, установленных над точками для измерения углов, а переставляются только сами визирные цели или теодолит.

Основное условие трехштативной или многостативной системы: при взаимной замене вертикальная ось теодолита должна занимать то положение, которое занимали оси вращения оптического центра и марки.

## § 27. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Для способа круговых приемов средняя квадратическая ошибка одного направления с учетом ошибок собственно измерения угла может быть найдена по формуле

$$m_n = \sqrt{m_b^2 + \frac{m_o^2}{2}}, \quad (77)$$

где  $\frac{m_o}{\sqrt{2}}$  — средняя квадратическая ошибка отсчета при двух совмещениях;  $m_b$  — ошибка визирования.

Угол  $\beta_1$  из одного полуприема равен  $\beta_1 = \alpha - b$ , а его средняя квадратическая ошибка

$$m_{\beta_1} = m_n \sqrt{2}.$$

Средняя квадратическая ошибка измерения угла из одного приема

$$m'_\beta = \frac{m_{\beta_1}}{\sqrt{2}} = m_n,$$

а из  $n$  приемов

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{1}{n} \left( m_b^2 + \frac{m_o^2}{2} \right)}. \quad (78)$$

Для способа повторений средняя квадратическая ошибка визирования угла —  $m_b \sqrt{2}$ , а при  $p$  повторениях —  $\frac{m_b \sqrt{2}}{\sqrt{p}}$ ; средняя квадратическая ошибка отсчета при двух совмещениях  $\frac{m_o}{\sqrt{2}}$ , для угла —  $m_o$ , а при  $p$  повторениях —  $\frac{m_o}{p}$ .

Тогда средняя квадратическая ошибка измерения угла из одного полуприема

$$m_{\beta_1} = \sqrt{\frac{2m_b^2}{p} + \frac{m_o^2}{p^2}},$$

из одного приема

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{1}{p} \left( m_b^2 + \frac{m_o^2}{2p} \right)}, \quad (79)$$

из  $n$  приемов и  $p$  повторений

$$m_\beta = \sqrt{\frac{1}{pn} \left( m_b^2 + \frac{m_o^2}{2} \right)}. \quad (80)$$

Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла с учетом всех ошибок может быть принята равной

$$m_\beta = 2m'_\beta. \quad (81)$$

Например,  $n = 3$ ,  $m_b = 2''$ ,  $m_o = 0,1''$ ,  $m'_\beta = 1,1''$ ,  $m_\beta = 2,2''$ .

Из формул (78) и (79) видно, что способ повторений удобен тогда, когда ошибки отсчета больше ошибок визирования. При измерении углов по способу повторений может произойти увлечение лимба алидадой, поэтому способ повторений не используется для точных измерений углов.

Если средняя квадратическая ошибка для полуприема составляет  $m_{\beta_1} = m'_\beta \sqrt{2}$ , а для направления из полуприема  $m_n = \frac{m_{\beta_1}}{\sqrt{2}} = m'_\beta$ , то расхождения между полуприемами могут быть

$m_{\beta_1} \sqrt{2} = 2m'_\beta$ , как и предусмотрено Инструкцией.

Разность направлений, полученных при круге II и Л, дает  $2C$  — двойную коллимационную ошибку. Следовательно, при многократных измерениях направлений  $2C$  для каждого приема может колебаться со средней квадратической ошибкой

$$m_{2C} = m_n \sqrt{2} = m'_\beta \sqrt{2},$$

отсюда допустимо

$$\Delta_{2C} = 2m_{2C} = 2\sqrt{2} m'_\beta \approx 3m'_\beta.$$

Например, при  $m'_\beta = 2''$  коллимационная ошибка будет порядка  $6''$ .

## § 28. УСТРОЙСТВО И ТЕОРИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО КРУГА

Вертикальный круг служит для измерения углов наклона и зенитных расстояний. В геодезической практике измеряют преимущественно углы наклона. В зависимости от их расположения относительно горизонтальной линии визирования углы наклона бывают положительные и отрицательные.

Вертикальный круг состоит из лимба 3 (рис. 40, а), жестко скрепленного с трубой 1 на оси вращения трубы 8. Положение алидады 6 фиксируется прикрепленным к ней цилиндрическим уровнем 7. Перед отсчетом по вертикальному кругу пузырек уровня должен быть приведен на середину с помощью наводящего винта 4, соединенного с хвостовиком 5. При вращении зрительной трубы вокруг горизонтальной оси вращения 8 вращается лимб вертикального круга, а алидада остается неподвижной.

На рис. 40, а деления на вертикальном круге нанесены в пределах двух секторов по  $120^\circ$ , так как значения измеряемых углов наклона в большинстве случаев изменяются от 0 до  $60^\circ$  в каждую сторону от горизонта. Средний штрих каждого сектора подписан нулем, а остальные штрихи — через  $10^\circ$ .

В настоящее время во многих приборах делают оцифровку вертикального круга от 0 до  $360^\circ$  по ходу (Т5, Т10) или против хода часовой стрелки (Т30).

При совпадении нулевых диаметров лимба и отсчетного устройства, а также при горизонтальном положении визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня отсчет по вертикальному кругу должен равняться нулю. Но на практике при горизонтальном положении визирной оси трубы  $W W_1$  и оси цилиндрического уровня  $u u_1$  отсчет по вертикальному кругу равен не нулю, а какой-то величине  $(x + y)$ , называемой местом нуля МО (рис. 40, б). Следовательно, место нуля вертикального круга — это отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси трубы и оси уровня на алидаде вертикального круга

$$MO = x + y \text{ или } x + y = 360^\circ - MO.$$

Если зрительную трубу навести на точку М при положении круга справа (П) и слева (Л), то из рис. 40, в видно, что угол наклона можно определить по отсчетам вертикального круга и значению МО. Например,  $v = П + (x + y) + 360^\circ - 360^\circ$  и  $v = 360^\circ - Л - (x + y)$ .

Чтобы иметь дело с одинаковыми (по размерности) отсчетами, принято малые отсчеты увеличивать до больших путем прибавления  $360^\circ$ . Поэтому в первом равенстве увеличим малый отсчет при круге право до большого, а чтобы не изменялось равенство вычтем  $360^\circ$ . При круге лево имеем дело с большим отсчетом. Взяв среднее значение угла наклона и подставив обозначения отсчетов и МО, можно записать формулы, по которым вычисляют углы наклона:

$$v = П - MO; \quad (82)$$

$$v = MO - Л; \quad (83)$$

$$v = \frac{П - Л}{2}. \quad (84)$$

Приравняв правые части формул (82) и (83), можно найти место нуля

$$MO = \frac{\Pi + Л}{2}. \quad (85)$$

Например,  $\Pi = 2^\circ 15'$ ,  $Л = 357^\circ 43'$ , тогда  $MO = 359^\circ 59'$ .

Основное требование, предъявляемое к вертикальному кругу, — это постоянство места нуля. Для удовлетворения этого требования необходимо, чтобы вертикальный круг был жестко скреплен

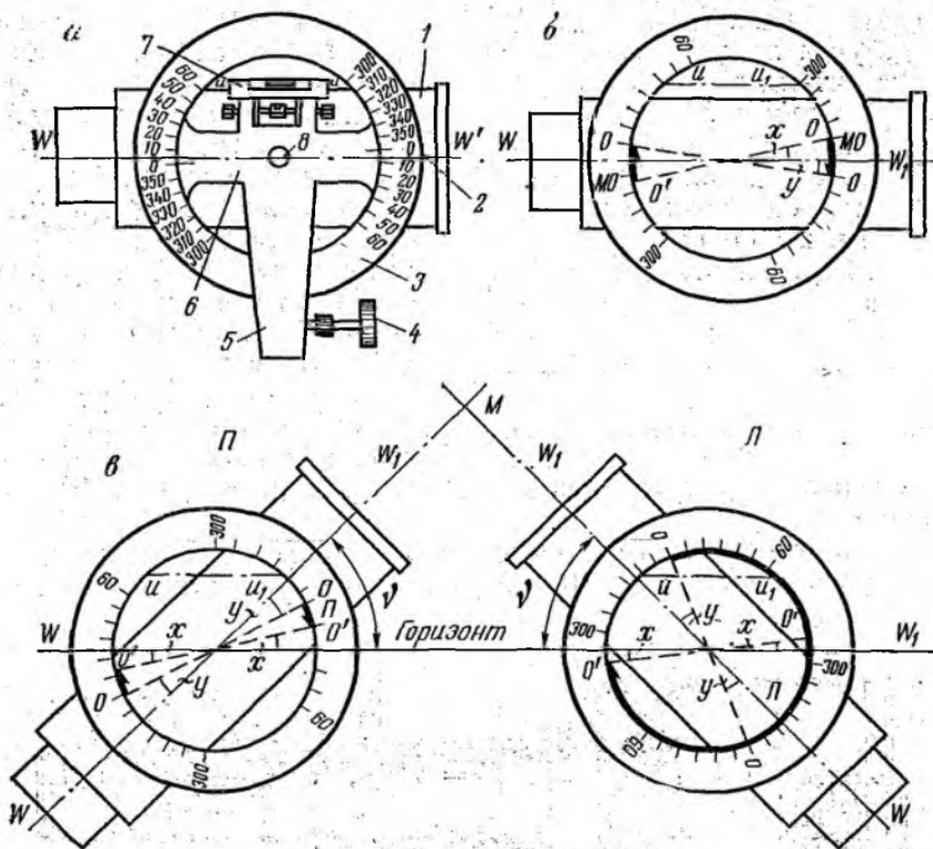


Рис. 40. Вертикальный круг теодолита

с трубой, уровень — с алидадой вертикального круга, а визирная ось должна занимать неизменное положение при измерении угла. Проверяется это путем многократного определения  $MO$  на разных расстояниях. Колебания  $MO$  не должны превышать двойной точности отсчетного устройства. Если колебания окажутся больше, то надо искать причину и устранять ее.

Если  $MO$  постоянно, но величина его отличается от  $0^\circ$ , то возникают трудности при вычислении угла наклона по формулам (82), (83) и (84). Для удобства вычислений  $MO$  приводят к значению, близкому  $0^\circ$ . Существуют два способа.

1. Определяют значение МО и устанавливают его на вертикальном круге наводящим винтом трубы, при этом визирная ось займет горизонтальное положение. Наводящим винтом алидады совмещают нуль отсчетного устройства с нулем вертикального круга, при этом пузырек уровня уйдет из нуль-пункта. Исправительными винтами уровня приводят пузырек уровня на середину.

2. При равенстве МО нулю отсчет при круге право равен углу наклона. Определяют значение места нуля и оставляют трубу наведенной на предмет при круге право. Вычисляют значение угла наклона и наводящим винтом алидады вертикального круга устанавливают его, вследствие чего пузырек уровня уйдет из нуль-пункта. Исправительными винтами уровня приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

При определении углов наклона для вертикального круга с полной оцифровкой по ходу часовой стрелки, если градусы отсчитывают по отсчетному устройству, расположенному ближе к окуляру, используют выведенные выше формулы. Если у теодолита одно отсчетное устройство и деления на вертикальном круге подписаны в направлении движения часовой стрелки, то для вычисления места нуля и угла наклона к отсчету при круге лево следует прибавлять  $180^\circ$ ; поэтому формулы примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \text{МО} &= \frac{\text{П} + \text{Л} + 180^\circ}{2}; \\ v &= \frac{\text{П} - (\text{Л} + 180^\circ)}{2}; \\ v &= \text{МО} - (\text{Л} + 180^\circ); \\ v &= \text{П} - \text{МО}. \end{aligned} \right\} \quad (86)$$

При вычислении по формулам (86) к малому отсчету следует прибавлять  $360^\circ$ . Например,  $\text{П} = 4^\circ 14,5'$ ,  $\text{Л} = 175^\circ 43,5'$ ,

$$\text{МО} = \frac{364^\circ 14,5' + 355^\circ 43,5'}{2} = 359^\circ 59,0'.$$

У теодолита Т30 на круге деления подписаны против хода часовой стрелки, поэтому используют формулы:

$$\left. \begin{aligned} \text{МО} &= \frac{\text{П} + \text{Л} + 180^\circ}{2}; \\ v &= \text{Л} - \text{МО}; \\ v &= \text{МО} - \text{П} - 180^\circ; \\ v &= \frac{\text{Л} - \text{П} - 180^\circ}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

У некоторых теодолитов вместо уровня на вертикальном круге имеется самоустанавливающийся оптический компенсатор места нуля, который освобождает наблюдателя от необходимости установки пузырька уровня в нуль-пункт перед отсчетом по вертикальному кругу.

Принцип действия оптического компенсатора основан на том, что оптическая деталь или система, закрепленная на пружине или проволочках как маятник, под действием своего веса стремится занять отвесное положение, компенсируя тем самым ошибку установки вертикальной оси теодолита.

При отвесном положении вертикальной оси теодолита  $OO_1$  и при горизонтальном положении визирной оси трубы  $WW_1$  нулевой штрих вертикального круга с помощью линз  $L_1$  и  $L_2$  и двух отражающих поверхностей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  проектируется в точку  $O'$  шкалы отсчетного микроскопа, т. е.  $MO = 0$  (рис. 41, а).

Если вертикальная ось теодолита наклонена на угол  $\nu$  (рис. 41, б), то на такой же угол наклонится к горизонту визирная ось трубы  $WW_1$  и вся оптическая система, кроме отражающей поверхности  $\Pi_2$ , которая под действием собственного веса и гибкого крепления остается неподвижной. При повороте трубы до горизонтального положения визирной оси нуль вертикального круга совпадет с нулем шкалы микроскопа в точке  $O'$ , т. е. произойдет компенсация наклона вертикальной оси теодолита. Для осуществления компенсации параметры оптической системы должны быть между собой в определенной зависимости. Если при наклоне вертикальной оси теодолита лучи, падающие на линзу  $L_2$ , будут параллельны ее оптической оси, то отсчет по шкаловому микроскопу не изменится. Условие параллельности обеспечивается тем, что фокусное расстояние линзы  $L_1$  равно половине радиуса вертикального круга при условии отвесного положения компенсатора.

У теодолита ТБК компенсатором (рис. 41, в) служит прямоугольная призма 3, подвешенная на плоской пружине 4, прикрепленной к колонке трубы. При наклоне вертикальной оси теодолита призма 3 под действием силы тяжести меняет свое положение и смещает изображение штрихов вертикального круга 1 относительно изображения отсчетной шкалы 2 так, что отсчет по вертикальному кругу соответствует отвесному положению оси вращения теодолита. При отвесном положении вертикальной оси прибора и горизонтальном визирной оси трубы нулевой штрих  $O'$  шкалы микроскопа проектируется в нуль вертикального круга  $O$ . Изменение момента силы компенсатора осуществляет грузик; имеются ограничители, предохраняющие пружины от повреждения. Для гашения колебаний используют воздушный успокоитель.

В пределах наклона вертикальной оси теодолита на  $3'$  ошибка компенсации не превышает  $2''$ .

Компенсатор теодолита 2Т5К конструктивно несколько отличается от Т5К тем, что в нем изменена форма успокоителя (демп-

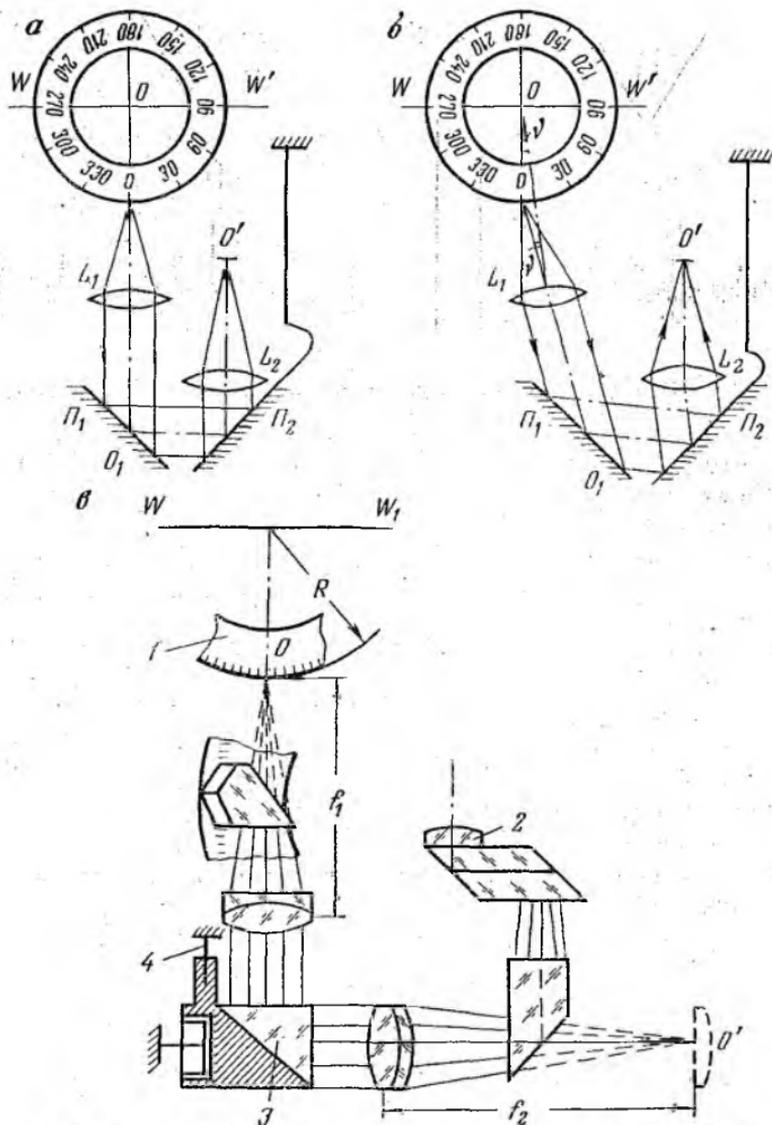


Рис. 41. Оптический компенсатор вертикального круга теодолита

фера); груз расположен в другом месте, призма повернута на  $180^\circ$  и изменено ее крепление.

От способности демпфера быстро гасить колебания оптической системы зависит работа компенсатора в полевых условиях. Считается достаточным, чтобы демпфер гасил колебания не более чем за одну секунду с момента их возникновения.

Вертикальный круг теодолита 2Т5К имеет секторную оцифровку, позволяющую отсчитывать углы наклона без дополнительных вычислений. Вертикальный круг разделен на четыре сектора: два противоположных имеют положительную оцифровку,

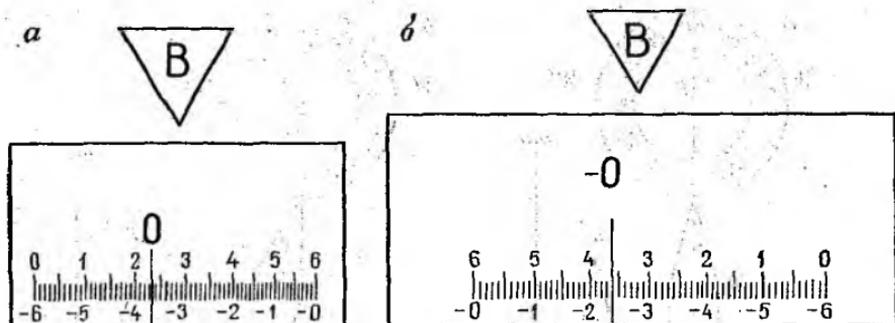


Рис. 42. Оцифровка вертикальных кругов теодолитов 2Т5К и Т15К

а два других — отрицательную. Цифры, расположенные в отрицательных секторах, имеют знак минус; в положительных секторах нет знака. Шкала вертикального круга также имеет две оцифровки (рис. 42). Верхняя оцифровка шкалы используется для отсчета положительных вертикальных углов, когда в ее пределах находится штрих вертикального круга, не имеющий знака перед оцифровкой. Нижняя оцифровка шкалы служит для отсчета отрицательных углов, когда вертикальный штрих имеет знак минус. Цена деления шкалы равна 1'.

В поле зрения отсчетного микроскопа у теодолитов 2Т5К (см. рис. 42, а) и Т15К (см. рис. 42, б) отсчеты по шкале вертикального круга соответственно равны  $0^{\circ} 23,5'$  и  $-0^{\circ} 24,0'$ .

В теодолите Т15К основное положение вертикального круга слева от наблюдателя. Формулы для вычисления углов наклона имеют вид:

$$v = \frac{Л - П}{2},$$

$$v = Л - МО;$$

$$v = МО - П.$$

### Проверка оптического компенсатора Т5К

Компенсатор должен обеспечивать неизменность отсчета по вертикальному кругу при отклонении вертикальной оси теодолита от отвесной линии на величину до 3'.

На расстоянии 200—500 м выбирают отчетливо видимую точку. Теодолит устанавливают так, чтобы линия, соединяющая два подъемных винта, была перпендикулярна к линии визиро-

вания, а третий подъемный винт расположен по направлению линии визирования.

Приводят пузырек уровня на алидаде горизонтального круга в нуль-пункт и берут отсчет по вертикальному кругу.

Наклоняют теодолит подъемными винтами подставки в сторону визирной цели на  $2-3'$ , т. е. на 4—5 делений уровня, и берут отсчет по вертикальному кругу. Затем наклоняют теодолит на  $2-3'$  в противоположную сторону и вновь берут отсчет.

Проверяют компенсатор по направлению двух других подъемных винтов и берут отсчеты по вертикальному кругу.

Расхождение между отсчетами не должно превышать  $0,1'$ , при большей разнице производят исправление в мастерской.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

§ 29. НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ СПОСОБ  
ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

При непосредственном способе измерения расстояний между точками на земной поверхности, закрепленными временными или постоянными знаками (колышками, столбами, железобетонными монолитами) мерный прибор укладывают вдоль измеряемой линии и ведут счет, сколько раз уложен мерный прибор.

Используют различные мерные приборы: ленты, рулетки, проволоки. Стальная мерная лента (рис. 43, а) чаще всего имеет длину 20 или 24 м, ширину — от 10 до 15 мм, толщину — 0,2—0,4 мм. По всей длине ленты пробивают небольшие отверстия через каждые 10 см; каждое пятое отверстие заклепывают металлической пластинкой диаметром порядка 5 мм.

В конце каждого метра с обеих сторон ленты приклепывают пластинки (медные или из другого материала), на них выдавлены порядковые номера метров, отсчитываемые от обоих концов ленты.

При измерении расстояний ленту укладывают прямо на земле, а концы ее отмечают шпильками, изготовляемыми из стальной проволоки длиной 40 см, диаметром 3—4 мм. В комплект входят ленты и десять шпилек.

Для измерения длины линии на весу используются 24- или 48-метровые проволоки, стальные или инварные, диаметр проволоки 1,65 мм. На обоих концах проволоки расположены шкалы длиной 8 см, разделенные через 1 мм. Типы шкал приведены на рис. 43, б. Инвар — сплав, состоящий из 36% никеля и 64% стали, обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения. Мерные проволоки входят в комплект базисных приборов (БП1, БП2, БП3), предназначенных для измерения базисов 1 класса и сторон полигонометрии 1, 2, 3 и 4 классов. В базисный прибор входит инварная лента 12,1 или 6,1 м или рулетка 10 м, стальная или инварная, для измерения остатков пролетов, меньших 24 м.

Длина проволок, используемых для высокоточных и точных линейных измерений, может отличаться от номинальной длины (24 м) не более чем на 1 мм. Изменение длины всей проволоки при изменении температуры на  $\pm 1^\circ\text{C}$  не должно быть более  $\pm 10\text{—}20$  мкм.

В комплект базисного прибора, кроме проволоки и рулетки, входят:

базисные штативы с целиками;

приборы для натяжения проволоки с силой 10 кг;

блочные станки с гирями (точность натяжения 30—50 г) или динамостат с баграми (точность натяжения 100—150 г), или динамометр с баграми (точность натяжения 300 г);  
 два оптических центрира для выноса точек линии на штатив; теодолит технический для вешения линии и расстановки штативов;  
 нивелир (НЗ, НС4) с двусторонней рейкой длиной 2—1,5 м для нивелирования штативов с целиками с точностью нивелирования IV класса;  
 термометр-пращ для измерения температуры воздуха;

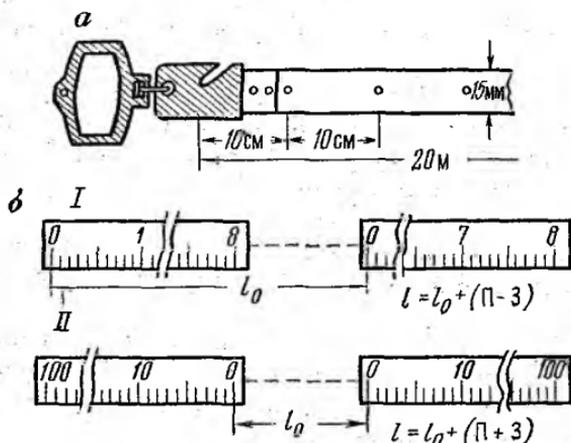


Рис. 43. Типы шкал мерных приборов

металлический трос для расстановки штативов через 24 м. Для измерения линий подвесными проволоками используют метод отсчетов. Горизонтальную длину линии вычисляют по формуле

$$s = S_1 + \Delta S_H + \Delta S_y, \quad (88)$$

где

$$S_1 = (l + \Delta l) n + \sum_1^n (\Pi \pm 3)_{cp} + \sum r + \Delta S_T + \Delta S_h,$$

здесь  $n$  — число пролетов;  $l$  — номинальная длина мерного прибора;  $\Delta l$  — поправка за компарирование мерного прибора;  $\Pi$  — отсчет по передней шкале проволоки; 3 — отсчет по задней шкале проволоки;  $\sum (\Pi \mp 3)$  — сумма средних разностей или сумм отсчетов по шкалам для  $n$  пролетов;  $\Delta S_T$  — поправка за температуру мерного прибора:  $\Delta S_T = \alpha l (T_{cp} - T_0) n$ ;  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения проволоки;  $T_0$  — температура, при которой компарировалась проволока;  $\Delta S_h$  — поправка за приведение линии к горизонту:  $\Delta S_h = \sum_1^n \Delta l h$ ;  $\Delta l h$  — поправка

за приведение пролета к горизонту:  $\Delta l_h = \frac{h^2}{2l} - \frac{h^4}{8l^3}$ ;  $h$  — превышение концов мерного прибора;  $\sum r$  — сумма вычисленных длин остатков;  $r = r_1 + \Delta r_k + \Delta r_T + \Delta r_h$  — длина каждого остатка;  $r_1$  — измеренное значение остатка;  $\Delta r_k$  — поправка за компарирование:  $\Delta r_k = \frac{\Delta l}{l} r_1$ ;  $\Delta r_T$  — поправка за температуру:  $\Delta r_T = \alpha r_1 (T - T_0)$ ;  $\Delta r_h = -\frac{h^2}{2r_1} - \frac{h^4}{8r_1^3}$  — поправка за приведение к горизонту;  $\Delta S_H$  — поправка за приведение измеренной линии на урвенную поверхность  $\Delta S_H = -\frac{H_m}{R} S$ ;  $\Delta S_y$  — поправка за переход на плоскость в проекции Гаусса:  $\Delta S_y = -\frac{y_m^2}{2R^2} S$ ;  $y_m$  — среднее удаление стороны от осевого меридиана.

Для каждого пролета измеряют температуру воздуха. Остаток может быть положительный или отрицательный; измеряют его 3 раза при натяжении рулетки в 10 кг.

При нивелировании базисных штативов нивелир располагают в стороне, а на штативах поочередно устанавливают рейку. По значениям превышений и расстояний вычисляют поправки за наклон линии.

Длину линии, измеренную лентой по земле непосредственно; также приводят к горизонту, для чего измеряют теодолитом или эклиметром угол наклона местности и вычисляют горизонтальное проложение по формуле

$$s = S \cos v. \quad (89)$$

Поправку за наклон линии к горизонту определяют по формуле

$$\Delta S_v = S - S \cos v = 2S \sin^2 \frac{v}{2}, \quad (90)$$

а горизонтальное проложение по формуле

$$s = S - \Delta S_v.$$

### § 30. ЭТАЛОНИРОВАНИЕ МЕРНЫХ ПРИБОРОВ

Для каждого мерного прибора в паспорте указано номинальное значение длины  $l$ , полученное путем сравнения с эталонной длиной на компараторе. За единицу длины принимается метр. В 1791 г. был изготовлен образец метра в виде жезла из платины, который назывался «архивным метром». Международная комиссия в Париже приняла за основу единицы линейных измерений «архивный метр» и рекомендовала изготовить копии его из 90% платины и 10% иридия. К 1889 г. был изготовлен 31 эталон. Эталон № 6 как наиболее близкий по длине к «архивному метру» был принят за международный прототип, а эталон № 13 — за контрольный. Они хранятся в помещении Международного

бюро мер и весов в Севре, вблизи Парижа. Остальные эталоны были распределены между участниками Международной конвенции. Россия получила эталоны № 11, который хранится в Академии наук СССР в Москве, и № 28, находящийся во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева в Ленинграде. Эталон № 28 является советским эталоном длины, с ним сравнивают все нормальные меры в виде жезлов.

Ввиду возможного изменения и более надежного хранения длины метра на XI Международной конференции по мерам и весам, состоявшейся в Париже в 1960 г., установлено считать длину метра, равной 1 650 763,73 длины волны светового излучения в вакууме, соответствующего оранжевой линии спектра изотопа криптона с атомным весом 86.

Ранее длину метра считали равной одной десятиллионной (1 : 10 000 000) части четверти длины дуги Парижского меридиана от полюса до экватора. Переход к новому прототипу метра осуществлен в СССР с 1 января 1963 г. после принятия Международной системы единиц СИ согласно ГОСТ 9867—61, это позволяет с помощью эталонной интерференционной установки определить длину метра в длинах световых волн и произвести сравнение жезлов с эталонной длиной в несколько раз точнее, чем с платиново-иридиевым метром.

Компарирование мерных приборов производится в специальных метрологических лабораториях (компараторах) и реже на полевых компараторах. Наиболее совершенным компаратором является компаратор, созданный в 1928 г. в Московском институте инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК), имеющий всесоюзное значение.

Компаратор МИИГАиК имеет 9 бетонных столбов, расстояние между которыми 3 м, а общая длина 24 м, на кронштейнах укреплены микроскопы с микрометрами. Под микроскопами на бетонных столбах уложены два рельса, по которым на специальной тележке передвигают трехметровый жезл № 541, ежегодно эталонируемый с эталоном № 28.

Компарирование мерных приборов выполняется 4—10 приемами в зависимости от требуемой точности. Прием состоит из определения длины компаратора, мерного прибора и повторно компаратора.

### **§ 31. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ СПОСОБОМ**

Точность измерения линий по земле мерной лентой зависит от характера местности и грунта. Наиболее благоприятной является ровная местность с твердым грунтом: обочины дорог, скошенный луг и т. д., неблагоприятной — кочки, болото, бугры, выемки, овраги, лощины, пашня, лес, кустарник, пески и т. д.

Расстояние для контроля измеряют дважды (в прямом и обратном направлениях) или двумя приборами. Находят разность

двух измерений и относительную ошибку, которая не должна быть более:

1 : 3000 — при благоприятных условиях,

1 : 2000 — при средних условиях,

1 : 1000 — при неблагоприятных условиях.

На точность измерений линий на весу влияют ошибки систематического и случайного характера. К систематическим относятся: ошибка за компарирование мерного прибора.

Предельная ошибка за компарирование ( $\Delta l_k$ ) может быть определена из отношения

$$\Delta l_k = \frac{l}{6T},$$

где  $l$  — длина мерного прибора;  $1/6 T$  — допустимая величина относительной ошибки на один источник ошибок.

При  $l = 24$  м,  $T = 25\ 000$ ,  $\Delta l_k = 0,16$  мм компаратор МИИГАиК обеспечивает данную точность; ошибка за вешение мерного прибора (неточное уложение линии в створе).

Предельная ошибка за вешение определяется из отношения

$$\varepsilon \leq \frac{l}{\sqrt{12T}}.$$

Для тех же данных  $\varepsilon = 5$  см, следовательно, вешить линию нужно с помощью технического теодолита; ошибка за натяжение мерного прибора.

Под действием своего веса проволока примет положение цепной линии. Из уравнения цепной линии можно определить, с какой точностью следует поддерживать постоянное натяжение  $\Delta F$

$$\Delta F \leq \frac{\omega E}{6T},$$

где  $\omega$  — площадь поперечного сечения проволоки ( $4\text{ мм}^2$ );  $E$  — модуль упругости ( $16\ 000$  кг/мм для инвара и  $20\ 000$  кг/мм для стали).

Если в формулу подставить данные, то  $\Delta F$  равно 400 г; динамометр обеспечивает данную точность при натяжении мерного прибора;

ошибка, вызванная действием ветра.

Влияние ветра на измерение линии сложное и зависит от силы и скорости ветра. Как показали расчеты, работать с проволокой можно при скорости ветра 5 м/с, тогда ошибка не превышает 0,2 мм.

К случайным ошибкам относятся следующие:

ошибка определения поправки за наклон мерного прибора.

Предельная ошибка за наклон линии  $\Delta l_{\text{накл}}$  может быть найдена по формуле

$$\Delta l_{\text{накл}} = \frac{h^2}{2l}; \quad \Delta h \leq \frac{l^2}{6Th}.$$

Если превышения не более 10 см, то можно не проводить нивелирования штативов; при больших превышениях определяют поправки  $\Delta h$  и вводят их в превышения; ошибка за температуру.

Предельная величина ошибки за температуру определяется из отношения

$$\Delta_T = \frac{l}{6T\alpha}.$$

Приняв для стали  $\alpha = 0,000012$  и пред.  $\Delta l_T \leq 0,8$  мм, получим  $\Delta_T = 3^\circ$ .

При измерении расстояний температуру воздуха определяют при помощи термометра-праща;

ошибки собственно измерения.

Ошибки отсчета и фиксации мерного прибора зависят от качества мерных приборов и от мастерства наблюдателя.

Длина линии фиксируется оптическим центриром. Ошибка центрирования складывается из ошибки визирования и ошибки приведения оси оптического центрира в отвесное положение.

Например, предельная ошибка визирования  $\Delta_{\text{пред}} = \frac{60''}{\Gamma}$ ,  $\Gamma = 4 + 8 \times$ , а предельная ошибка центрирования на расстоянии

1,5 м составит  $\Delta_{\text{цсн}} = \frac{60'' \cdot 1,5 \text{ м}}{4\rho''} = 0,1$  мм. Ось центрира приводится в отвесное положение при помощи уровней с предельной ошибкой не более  $60''$ , откуда предельная ошибка центрирования за счет приведения оси центрира в отвесное положение составит

$$\Delta_{\text{цел}} = \frac{60'' \cdot 1500 \text{ мм}}{200\,000''} = 0,45 \text{ мм}.$$

Следовательно, предельная ошибка в длине линии вследствие ошибок фиксации концов линии будет

$$0,45 \sqrt{2} = 0,63 \text{ мм}.$$

Ошибка в отсчете по двум шкалам составляет  $0,5 \text{ мм} \sqrt{2} = 0,71$  мм, где 0,5 мм — ошибка округления при отсчете.

Чтобы избежать грубых просчетов, делают три пары одновременных отсчетов по шкалам. Расхождения в разностях отсчетов не должны превышать 1 мм;

ошибка за неустойчивость штатива.

Под действием солнца и ветра происходит постоянное смещение штативов равномерно в течение периода измерений, поэтому важно, чтобы меньше затрачивалось времени на переход

от одного пролета к другому. Влияние этой ошибки ослабляется при измерении линии в прямом и обратном направлениях.

При измерении линий проволокой на весу относительная ошибка составляет 1 : 25 000. При измерении базисов и выходных сторон специальными базисными приборами (БП1, БП2) получают высокую точность 1 : 400 000—1 : 200 000.

### § 32. ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Это посредственный, или косвенный, способ измерения линий при помощи базиса, разбиваемого поперек измеряемой линии, и параллактических углов, под которыми базис усматривается из концов линии (параллактическое звено).

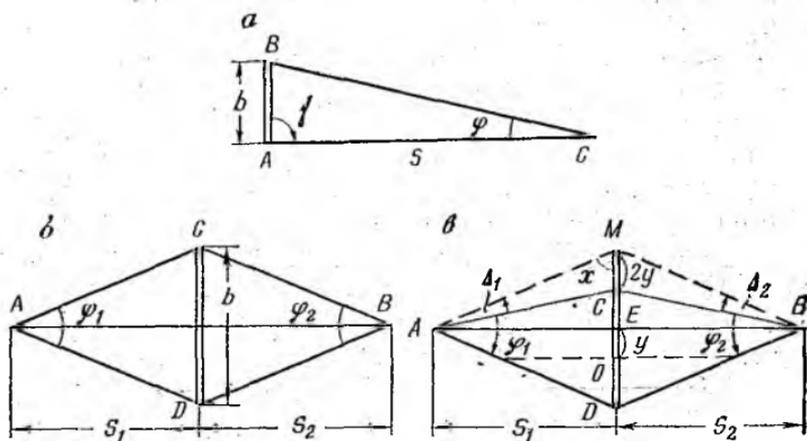


Рис. 44. Параллактические звенья

Если через реку или овраг непосредственно измерить расстояние нельзя, то разбивают параллактическое звено треугольной или ромбической формы. В звене треугольной формы (рис. 44, а) угол  $\gamma = 90^\circ$  называется прибазисным, а  $\varphi \approx 5^\circ$  — параллактическим. На местности измеряют базис и параллактический угол, прибазисный угол строят эккером или теодолитом.

Длину линии вычисляют по теореме синусов

$$\frac{S}{b} = \frac{\sin(\varphi + \gamma)}{\sin \varphi},$$

$$S = \frac{b \sin(\varphi + \gamma)}{\sin \varphi}. \quad (91)$$

или приближенно в радианной мере

$$S = \frac{b\rho}{\varphi}. \quad (92)$$

Если  $\sin(\varphi + \gamma)$  разложить в ряд и разделить на  $\sin \varphi$ , то получается контрольная формула

$$S = b \cos \gamma + b \operatorname{ctg} \varphi \sin \gamma. \quad (93)$$

Точность определения стороны  $S$  зависит в основном от точности измерения параллактического угла, так как базис можно измерить с высокой степенью точности, т. е.

$$\frac{m_S}{S} = \frac{m_\varphi}{\varphi}. \quad (94)$$

При  $\varphi = 5^\circ$ ,  $m_\varphi = 2'' \frac{m_S}{S} = 1 : 10\,000$ . Определим, какой длины необходимо разбить на местности базис для измерения стороны  $S$  длиной 800 м.

$$\text{При } \frac{m_S}{S} = 1 : 10\,000, \quad m_\varphi = 2''$$

$$b = \frac{S \varphi}{\rho} = \frac{800 \text{ м} \cdot 5^\circ}{57,3^\circ} \approx 80 \text{ м.}$$

Следовательно,

$$\frac{b}{S} = \frac{1}{10}.$$

Звено ромбической формы может быть с симметричным (рис. 44, б) и с асимметричным базисом (рис. 44, в). Расстояние для звена с симметричным базисом определяют по формуле

$$S = S_1 + S_2; \quad S = \frac{b}{2} \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right) \quad (95)$$

или в радианной мере по формуле

$$S = b \left( \frac{\rho}{\varphi_1} + \frac{\rho}{\varphi_2} \right). \quad (96)$$

Контрольные формулы для определения расстояний имеют вид:

$$S_1 = b \operatorname{ctg} \varphi_1 + \frac{1}{S_1} \left( \frac{b}{2} \right)^{2*},$$

$$S_2 = b \operatorname{ctg} \varphi_2 + \frac{1}{S_2} \left( \frac{b}{2} \right)^2.$$

$$* \operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\cos 2\alpha}{\sin 2\alpha} = \frac{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{2 \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{1}{2} (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha) =$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \alpha - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = 2 \operatorname{ctg} 2\alpha + \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\alpha = \frac{\varphi}{2}; \quad \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} = 2 \operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2};$$

$$S_1 = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} = \frac{b}{2} \left( 2 \operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) = b \operatorname{ctg} \varphi_1 + \frac{b}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \frac{2b}{2b} =$$

$$= b \operatorname{ctg} \varphi_1 + \frac{1}{S_1} \left( \frac{b}{2} \right)^2.$$

Для нахождения средней квадратической ошибки определения стороны воспользуемся формулой (96); продифференцируем ее

$$ds = \left( \frac{\rho}{\varphi_1} + \frac{\rho}{\varphi_2} \right)^2 db - \frac{b\rho d\varphi_1}{\varphi_1^2} - \frac{b\rho d\varphi_2}{\varphi_2^2}$$

и перейдем к средним квадратическим ошибкам

$$m_S^2 = m_b^2 \left( \frac{\rho}{\varphi_1} + \frac{\rho}{\varphi_2} \right)^2 + \frac{b^2 \rho^2}{\varphi_1^4} m_{\varphi_1}^2 + \frac{b^2 \rho^2}{\varphi_2^4} m_{\varphi_2}^2.$$

Для расчета примем  $\varphi_1 = \varphi_2 \approx \varphi$ ;  $m_{\varphi_1} = m_{\varphi_2} = m_\varphi$ , тогда

$$m_S^2 = \frac{4m_b^2 \rho^2}{\varphi^2} + \frac{2b^2 \rho^2}{\varphi^4} m_\varphi^2, \quad S = 2 \frac{b\rho}{\varphi};$$

$$\left( \frac{m_S}{S} \right)^2 = \left( \frac{m_b}{b} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{m_\varphi}{\varphi} \right)^2. \quad (97)$$

В формуле (97) множитель  $1/2$  уменьшает ошибку в углах в два раза, общий результат будет в  $\sqrt{2}$  точнее, чем в звене треугольной формы.

В ромбическом звене с асимметричным базисом середина базиса  $CD$  (точка  $O$ ) не совпадает со створом;  $OE$  — линейная асимметрия  $y$ , величину которой измеряют на местности. При выводе формул для определения расстояний необходимо мысленно удлинить базис до получения звена симметричной формы (см. рис. 44, в). Параллактические углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  увеличиваются на величины  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ . Расстояние между точками  $AB$  определяют по формулам симметричного базиса

$$S = S_1 + S_2; \quad S = \frac{b + 2y}{2} \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1 + \Delta_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2 + \Delta_2}{2} \right). \quad (98)$$

Из треугольников  $AMC$  и  $ACD$  можно найти

$$\frac{2y}{\sin \Delta_1} = \frac{AC}{\sin x} \quad \text{и} \quad \frac{b}{\sin \varphi_1} = \frac{AC}{\sin x}.$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} \sin \Delta_1 &= \frac{2y \sin \varphi_1}{b}, \\ \sin \Delta_2 &= \frac{2y \sin \varphi_2}{b}; \end{aligned} \right\} \quad (99)$$

У звена треугольной формы есть свои преимущества: простота измерения базиса, гибкость звена, т. е. его легче можно приспособить к условиям местности. Ромбическое звено более жесткое, результаты измерений получаются точнее. Практически при измерении линий в полигонометрии составляют комбинацию из ромбических и треугольных звеньев при условии равноточности измерений.

### § 33. КОРОТКОБАЗИСНЫЙ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Способ заключается в том, что на местности в одной из точек устанавливают металлический жезл длиной 2—3 м перпендикулярно к измеряемой линии и симметрично расположенный относительно нее, который является базисом  $l$ . В другой точке уста-

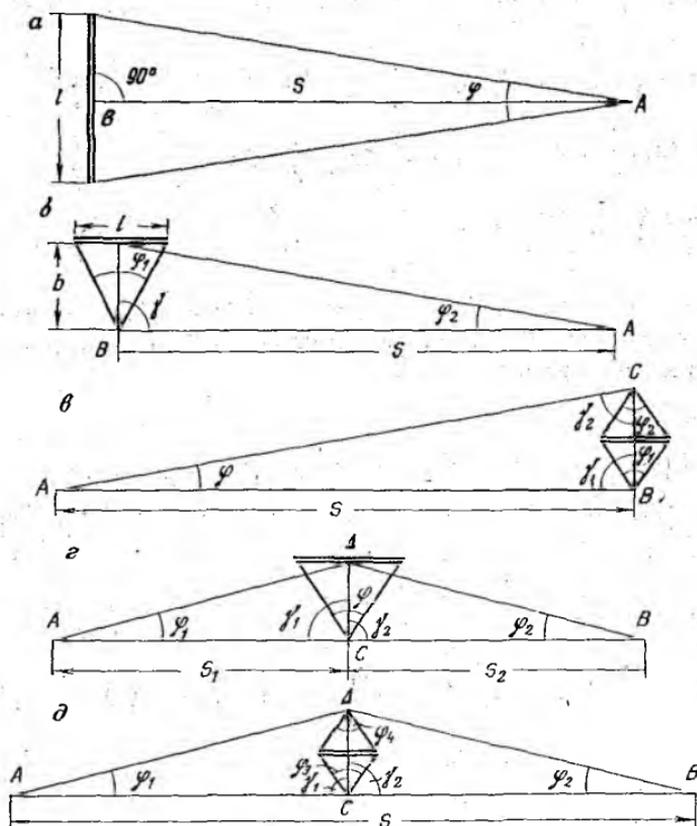


Рис. 45. Короткобазисные звенья

навливают оптический теодолит типа Т2 и измеряют параллактический угол.

В практике используют различные типы звеньев в зависимости от измеряемых длин линий.

Простое параллактическое звено (рис. 45, а) используется при измерении линий до 30 м. Горизонтальное проложение линии определяют по формуле

$$S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}, \quad (100)$$

а оценку точности — по формуле

$$m_S^2 = \left( \frac{Sm_l}{l} \right)^2 + \left( \frac{S^2 m_\varphi}{4\rho} \right)^2.$$

При измерении расстояний более 70 м линию разбивают на равные части и определяют длину линии по частям.

Сложное звено (рис. 45, б) используют при измерении расстояний от 70 до 250 м. При выборе вспомогательного базиса ( $b$ ) используют отношение  $b \approx \sqrt{IS}$ . Теодолитом измеряют параллактические углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  и прибазисный угол  $\gamma$ .

Вычисление расстояния и оценку точности выполняют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } 70^\circ < \gamma < 110^\circ \quad S &= \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} \frac{\sin(\varphi_2 + \gamma)}{\sin \varphi_1}; \\ \text{при } \gamma = 90^\circ \pm 10' \quad S &= \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} \operatorname{ctg} \varphi_2; \\ m_S^2 &= \left( \frac{Sm_l}{l} \right)^2 + \left( \frac{Sbm_{\varphi_1}}{l\rho} \right)^2 + \left( \frac{S^2m_{\varphi_2}}{b\rho} \right)^2. \end{aligned} \right\} (101)$$

Другое сложное звено (рис. 45, в) применяют при измерении расстояний от 250 до 400 м. Величину вспомогательного базиса выбирают из соотношения

$$b = 1,65 \sqrt{IS}.$$

Жезл устанавливают в створе вспомогательного базиса с ошибкой не более  $\frac{l}{500}$ . Для вычисления расстояния и оценки точности используют формулы:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } 70^\circ < \gamma < 110^\circ \quad S &= \frac{l}{2} \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right) \frac{\sin(\varphi + \gamma)}{\sin \varphi}; \\ \text{при } \gamma = 90^\circ \pm 10' \quad S &= \frac{l}{2} \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right) \operatorname{ctg} \varphi; \\ m_S^2 &= \left( \frac{Sm_l}{l} \right)^2 + \left( \frac{Sbm_{\varphi_1}}{l\rho \sqrt{2}} \right)^2 + \left( \frac{S^2m_{\varphi_2}}{b\rho} \right)^2. \end{aligned} \right\} (102)$$

Сложное звено вида, приведенного на рис. 45, г, используется при измерении расстояний от 250 до 400 м. Точку С намечают примерно в створе и середине линии АВ с ошибкой не более 0,2 м. Параллактические углы измеряют четырьмя полуприемами, а углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — двумя полуприемами.

При измерении линий более 400 м используют звено типа, приведенного на рис. 45, д.

Для определения длины линии с точностью 1 : 10 000 параллактические углы не должны быть менее  $5^\circ 43'$ , а отношение  $\frac{l}{b}$  и  $\frac{b}{S} = \frac{1}{10}$ . На концах измеряемой линии штативы устанавливают с помощью оптического центрира, а для измерения пролетов — в створе при помощи теодолита.

Жезлы используют разборные (стыковые) и цельные. Разборные — рейки Бала (ГДР) и ТА (ВНР) имеют марки в виде про-

зрачных треугольников с вертикальными штрихами, укрепленные на инварных стержнях, помещенных в предохранительные трубки. Перед работой два инварных стержня стыкуются, а предохранительные трубки стягиваются муфтой.

Цельные жезлы представляют собой полые металлические трубки, внутри которых укреплены под натяжением инварные проволоки и к ним припаяны визиры — марки.

Определение длины жезла выполняют на полевом компараторе длиной 24, 48 или 120 м. Длину компаратора измеряют двумя проволоками с точностью 1 : 50 000.

Жезл устанавливают в горизонтальное положение при помощи уровня и перпендикулярно к измеряемой линии — при помощи визира. Контролем правильности установки жезла служит равенство углов между направлениями на левую и среднюю, среднюю и правую марки (расхождение не более 7"). Измеряют температуру жезла.

Параллактические углы измеряют при установке лимба на 10—15°. Расхождения в отсчетах при двух совмещениях не должны превышать 2", расхождения в углах из полуприемов не более 4", расхождения из полуприемов при измерении при базисных углах не более 20".

#### § 34. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Дальномеры — это приборы, которыми измеряют расстояния, не прибегая к способу непосредственного измерения линий.

По принципу действия и устройству они делятся на оптические и свето- и радиодальномеры.

#### Принцип измерения расстояний оптическим дальномером

Определение расстояний при помощи оптических дальномеров основано на решении треугольника. Из прямоугольного треугольника  $F_1NK$  (рис. 46, а) по углу  $\psi$  и стороне  $l_0$  можно определить расстояние

$$S_1 = \frac{1}{2} l_0 \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2}. \quad (103)$$

Конструкция дальномера основана на том, что одна величина известна, а другая измеряется. Такой принцип измерения расстояний заложен во всех оптических дальномерах. Треугольник может располагаться в вертикальной или горизонтальной плоскостях, поэтому дальномеры бывают с вертикальной или горизонтальной рейками.

Оптические дальномеры классифицируются на два типа: дальномеры с постоянным параллактическим углом  $\psi$ ; в каче-

стве переменной измеряемой величины служит дальномерный отсчет по рейке  $l_0$ . Постоянную величину, называемую коэффициентом дальномера, обозначим через  $K = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2}$ , тогда  $S_1 = Kl_0$ ;

дальномеры с постоянной базой;  $l_0$  — величина постоянная, называемая базой и обозначаемая буквой  $b$ ; в качестве переменной измеряемой величины служит угол  $\psi$ .

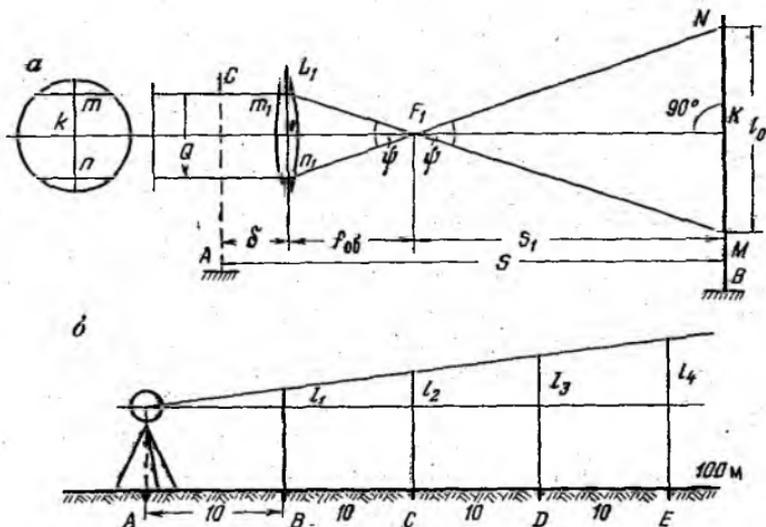


Рис. 46.

*a* — нитяный дальномер; *b* — определение постоянных дальномера

### § 35. НИТЯНЫЙ ДАЛЬНОМЕР В ЗРИТЕЛЬНЫХ ТРУБАХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Нитяный дальномер имеется во всех зрительных трубах геодезических приборов. Кроме перекрестия сетки нитей, имеются еще два штриха (нити), симметрично расположенных относительно перекрестия — дальномерные нити.

Нитяный дальномер относится к оптическим дальномерам с постоянным параллактическим углом  $\psi$ . Вершина параллактического угла  $F_1$  является аналатической точкой (занимающей неизменное положение). Если в точке  $A$  установить прибор, а в точке  $B$  — рейку (см. рис. 46, *a*), то расстояние можно определить по формуле

$$S = Kl_0 + C, \quad (104)$$

где  $C$  — постоянное слагаемое дальномера  $C = f_{об} + \delta$ ,  $\delta$  — расстояние от объектива до вертикальной оси прибора;  $K$  — коэффициент дальномера.

Расстояние по формуле (104) удобно определять, если коэффициент дальномера  $K$  целое число, например 100, тогда параллактический угол равен  $\psi = 34,38'$ .

Если расстояние между нитями сетки обозначить через  $Q$ , тогда из треугольника  $m_1oF_1$  получим  $\operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} = \frac{f_{об}}{Q/2}$  или

$$K = \frac{f_{об}}{Q}. \quad (105)$$

В трубе с внутренним фокусированием коэффициент дальномера и слагаемое дальномера ( $K$  и  $C$ ) — величины переменные, так как фокусное расстояние эквивалентной линзы изменяется в зависимости от расстояний. Поэтому формулу (104) можно представить в виде

$$S = (100 + q) l + C,$$

где  $l$  — отсчет по рейке;  $q$  — переменное число, отличное от 100.

Обозначив  $ql + C = P$  (поправка), расстояние можно определить по формуле

$$S = 100l + P. \quad (106)$$

Значение поправки  $P$  определяют опытным путем на базисе. На местности разбивают базис с отрезками по 10 или 20 м (базис длиной 100—150 м) и в створе закрепляют кольшками точки. Отрезки измеряют лентой дважды с относительной ошибкой 1 : 3000 (рис. 46, б).

На каждой точке последовательно ставят рейку и берут отсчеты по трем нитям. Контролем служит сходимость разности отсчетов между дальномерными нитями с отсчетом по средней горизонтальной нити. Каждое наведение на рейку с отсчетами по трем нитям составляет один прием. При последующих приемах визирную ось несколько перемещают наводящим винтом трубы, чтобы отсчеты брать на разных частях рейки. Измерения выполняют не менее чем тремя приемами на каждом отрезке. Предельные расхождения в отсчетах по дальномерным нитям в приемах не должны превышать 0,5 см. На каждое расстояние получают свою поправку

$$P_{10} = 10 \text{ м} - 100l_1,$$

$$P_{20} = 20 \text{ м} - 100l_2,$$

$$P_{30} = 30 \text{ м} - 100l_3,$$

• • • • •

и составляют таблицу поправок, которой пользуются при вычислении расстояний.

Для трубы с внешним фокусированием коэффициент дальномера также можно определить опытным путем. На ровной местности выбирают линию длиной 200 м и тщательно измеряют лентой ее отрезки через 50 м в прямом и обратном направлениях

с точностью 1 : 3000. Над одной точкой устанавливают теодолит, а над другими последовательно рейку, по которой берут отсчеты между дальномерными нитями. Коэффициент дальномера вычисляют по формуле

$$K = \frac{S - C}{l}, \quad (107)$$

где  $S$  — расстояние, измеренное на местности лентой.

Если полученные значения коэффициента дальномера не различаются более чем на 0,4, то за окончательную величину принимают среднее из всех значений.

Коэффициент дальномера не всегда равен 100, поэтому в некоторых случаях изготавливают рейку для данного дальномера.

### Точность измерения линий нитяным дальномером

Точность измерения линий нитяным дальномером невысокая: в лучшем случае 1 : 500 — 1 : 600, в худшем — 1 : 300 — 1 : 200, в среднем относительная ошибка измерения линий нитяным дальномером составляет 1 : 400. Такая точность объясняется действием ряда источников ошибок, уменьшить влияние которых в данной конструкции дальномера не представляется возможным.

Основными источниками ошибок являются:

неодновременность отсчитывания по дальномерным нитям;  
влияние вертикальной дифференциальной рефракции. Нижние лучи больше искривляются, чем верхние. Влияние ошибки больше, если луч проходит ниже 1,5 м от земли. Ослабить влияние данного источника ошибок можно, используя горизонтальную рейку; наклон рейки. Для ослабления влияния этой ошибки рейку снабжают уровнем (круглым) и подпорками, чтобы она была устойчивее;

турбулентное движение в атмосфере (конвекционные токи) влияет на качество изображения рейки. Колеблющееся изображение рейки влияет на точность отсчета;

толщина сетки нитей.

При измерении расстояний нитяным дальномером рекомендуется брать линии не более 200 м; если расстояние больше, то линию делят на части. Необходимо выбирать благоприятное время для измерения линий. Для контроля отсчеты следует брать по двум сторонам рейки. При измерении теодолит нужно держать под зонтом, чтобы не изменялось значение коэффициента дальномера.

### Горизонтальное проложение линии, измеренной нитяным дальномером

Пусть над точкой  $A$  местности установлен теодолит, а над точкой  $B$  — рейка (рис. 47). Визирный луч  $JK$  не перпендикулярен к рейке. Дальномерные нити пересекают рейку в точках  $N$ ,  $K$ ,

М. Пусть  $l$  — отсчет по рейке  $NM$ ,  $s$  — горизонтальное продолжение линии  $AB$ ,  $JF = C$ ,  $\psi$  — угол  $NFM$ .

Повернем рейку вокруг точки  $K$  так, чтобы она стала перпендикулярна к визирному лучу  $JK$ , тогда  $M'N' = l_0$ , угол  $N'KF = 90^\circ$ .

По формуле (104) можно определить расстояние, но неизвестно  $l_0$ . Из треугольников  $KN'N$  и  $MKM'$  выразим  $l_0$  через  $l$ .

$$\begin{aligned} N'K &= NK \cos \nu \\ + \quad M'K &= MK \cos \nu \\ \hline l_0 &= l \cos \nu \end{aligned}$$

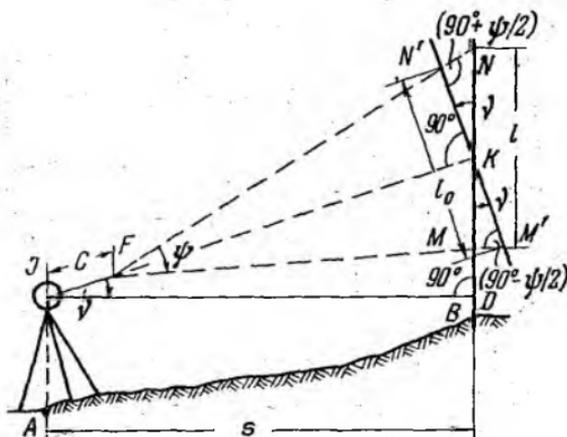


Рис. 47. Горизонтальное проложение линии, измеренной нитяным дальномером

Тогда горизонтальное проложение линии можно определить по формуле (89):

$$s = (Kl \cos \nu + C) \cos \nu = Kl \cos^2 \nu + C \cos \nu,$$

$$\cos \nu \approx \cos^2 \nu,$$

$$s = S \cos^2 \nu, \tag{108}$$

или через поправку за приведение линии к горизонту:

$$s = S - \Delta S_\nu,$$

$$\Delta S_\nu = S \sin^2 \nu. \tag{109}$$

### § 36. ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКОГО ДАЛЬНОМЕРА ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В оптических дальномерах с постоянным параллактическим углом в сочетании со зрительной трубой используются оптические клинья или линзы. Если перед объективом трубы (рис. 48, а) поставить клин  $I$ , то точка  $K$  переместится в положение  $K_1$ . По величине смещения изображения одной и той же точки можно

судить об измеряемом расстоянии. Если поставить клин 2, то точка  $K$  сместится в положение  $K_2$  и получится равнобедренный измерительный треугольник, а расстояние можно определить по формуле (104). Закрывая половину поля зрения трубы, можно увидеть два изображения одной и той же точки. Если представить вертикальный разрез поля зрения трубы, то видно, что половина поля зрения закрыта сбоку или сверху в зависимости от используемой рейки (вертикальной или горизонтальной).

Клинья ахроматические, их подбирают с таким преломляющим углом и из такого материала, чтобы параллактический угол  $\psi = 34,38'$ , а  $K = 100$ .

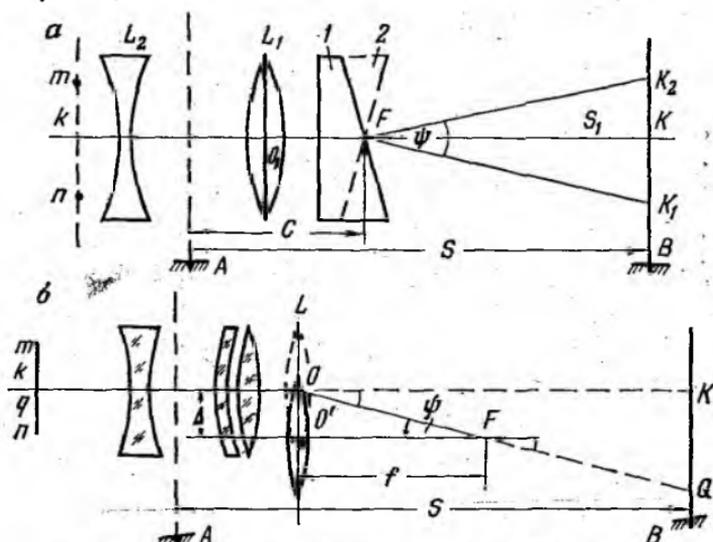


Рис. 48. Схема дальномера двойного изображения

Таким образом, в дальномере одно изображение получается через открытую часть объектива, а второе — через закрытую клиньями или линзами. В поле зрения трубы имеется двойное изображение и можно отсчитать дальномерный интервал. Если такую трубу вращать вокруг горизонтальной оси, то оба изображения будут перемещаться как единое целое.

В оптических дальномерах с постоянной базой для измерения параллактического угла используют линзовые компенсаторы. Если перед объективом трубы поставить длиннофокусные линзы, плоско-выпуклые и плоско-вогнутые с одинаковыми фокусными расстояниями, то такая система афокальна, т. е. не влияет на масштаб изображения, даваемого зрительной трубой. При совпадении оптических осей объектива и линз изображение точки  $K$  рейки увидим на перекрестии сетки нитей в точке  $k$ . Если одну из линз сместить на некоторую величину  $\Delta$  относительно оси зрительной трубы, то луч, идущий вдоль этой оси, отклонится на угол  $\psi$  (рис. 48, б), изображение точки на рейке сместится в точку  $Q$ .

Если подвижную линзу  $L$  разрезать по диаметру на две половины, одна из которых неподвижна, а другая перемещается вдоль разреза, то в поле зрения трубы увидим два изображения, смещенные на некоторую величину.

Из треугольника  $FOO'$  можно определить  $\psi = \frac{\Delta p}{f}$ . Фокусное расстояние линзы  $f$  известно, а величину  $\Delta$  можно измерить с помощью шкалы, которая прикреплена к подвижной линзе и видна в поле зрения микроскопа. При измерении линзу перемещают, а шкала неподвижна; поэтому можно произвести отсчет. Линза смещает базис на такую величину, чтобы изображение точки  $Q$  рейки видеть в той же точке, что и  $k$ .

Дальномеры двойного изображения делятся на два типа: с постоянным и переменным параллактическим углом.

### § 37. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ДАЛЬНОМЕРНЫЕ НАСАДКИ ДН-04 И ДН-10

Дальномерная насадка ДН-04 относится к дальномерам двойного изображения с постоянным параллактическим углом и представляет собой насадку на объектив зрительной трубы теодолита с диаметром оправы, равным 46 мм.

Перед объективом трубы помещена система клиньев. Клинья 3 и 4 (рис. 49, а) и плоскопараллельная пластина 1 заключены в общую оправу 5, прикрепленную к корпусу насадки 6 четырьмя винтами 7. Винты закрыты колпачком 2 со шторкой 8, которой можно закрывать половину отверстия объектива с клиньями (рис. 49, б).

Дальномерная насадка закрепляется на оправе объектива при помощи зажимного винта 9. При работе с вертикальной рейкой головка винта 9 должна быть сверху; при работе с горизонтальной рейкой насадку поворачивают на  $90^\circ$ . Для уравнивания зрительной трубы на фокусирующее кольцо насажен противовес.

При измерении расстояний шторка 8 должна быть открыта полностью. Расстояния измеряют только при одном положении вертикального круга, поэтому насадку надевают и закрепляют при том положении вертикального круга, при котором будут измеряться расстояния.

При измерении горизонтальных и вертикальных углов шторка должна быть закрыта, тогда труба как дальномер двойного изображения не работает.

В комплект дальномера входят две дальномерные рейки: вертикальные или горизонтальные (рис. 50). Одна рейка длиной 2 м с ценой деления 2 см, другая — длиной 3 м с ценой деления 5 см. Рейки двусторонние, штриховые, шкалы нанесены на инварной полосе и оцифрованы: одна от 2 до 9, другая — от 1 до 9. На рейках неподвижно прикреплены к шкалам прямые верньеры 1,

имеющие 10 делений, причем на одной стороне рейки верньер прикреплен по отношению к шкале так, что постоянное слагаемое дальномера  $C = 0$ , а на другой стороне верньер сдвинут на величину, соответствующую  $C = 111,11$  м. Рейка (см. рис. 50) снабжена круглым уровнем 5, двумя съемными подпорками 3 и съемной подставкой 4 длиной 0,5 м. Для проверки уровня на рейке имеются откидные штырь и крючок для подвешивания центрира. Подпорки имеют рукоятки с накаткой 2, при вращении которых длина подпорок плавно изменяется, позволяя быстро и точно устанавливать рейку по уровню.

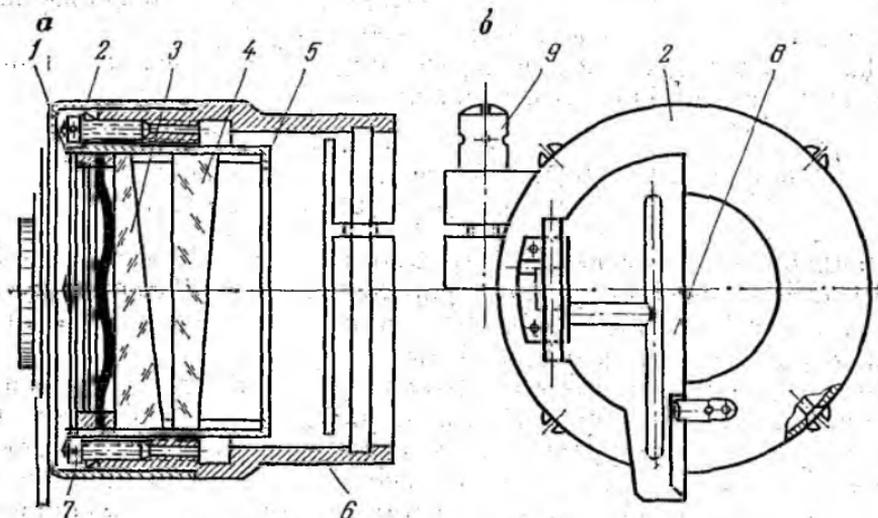


Рис. 49. Устройство дальномерной насадки ДН-04

Горизонтальную рейку устанавливают в подставку на штативе.

Одна сторона горизонтальной рейки имеет шкалу с сантиметровыми делениями для измерения расстояний от 10 до 80 м, вторая сторона — с двухсантиметровыми делениями для измерения расстояний от 20 до 125 м. Сантиметровая шкала имеет один верньер, а двухсантиметровая — два, причем второй верньер служит для уменьшения влияния ошибки за асимметрию базы при измерении больших расстояний. Величина смещения второго верньера соответствует на местности расстоянию 50 м.

Клинья, закрывающие половину поля зрения трубы, устанавливаются так, что система из двух клиньев и объектива дает дополнительное увеличение. Эта разница в увеличениях используется для повышения точности отсчитывания. Изображение верньера получается через часть объектива, которая закрыта клиньями, а изображение рейки — через плоскопараллельную пластину. При вращении трубы верньер смещается относительно рейки. Увеличение подбирается таким, чтобы при перемещении горизонтальной нити на всю длину верньера верньер сместился

относительно рейки на величину, равную точности верньера  $i$ . Это явление используется для оптического микрометра

Для определения дополнительного увеличения системы прием отрезок на рейке равным  $n\mu$ . Длина верньера, видимая в трубу, будет равна  $n\mu/\Gamma$ , тогда

$$n\mu - \frac{n\mu}{\Gamma} = \frac{\mu}{n+1}; \quad n\Gamma - n = \frac{\Gamma}{n+1};$$

$$\Gamma = n\Gamma(n+1) - n(n+1); \quad \Gamma[n(n+1) - 1] = n(n+1);$$

$$\text{при } n=9 \quad \Gamma = \frac{n(n+1)}{n(n+1)-1} = \frac{90}{89}.$$

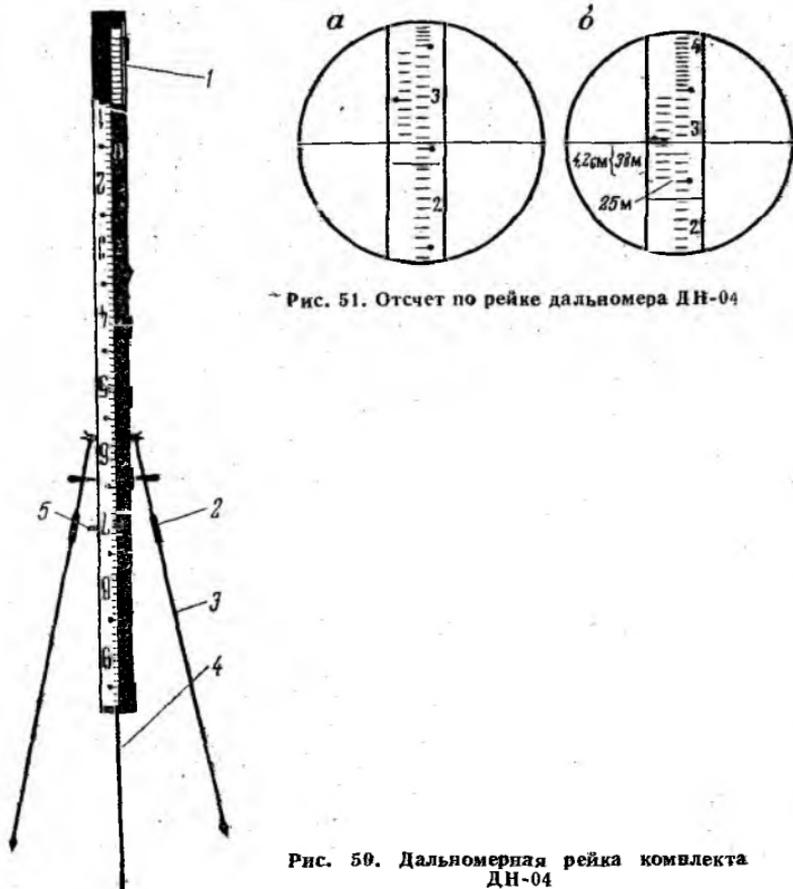


Рис. 51. Отсчет по рейке дальномера ДН-04

Рис. 50. Дальномерная рейка комплекта ДН-04

Если посмотреть в трубу (рис. 51, а), то ни один из штрихов верньера не совпадает со штрихом на рейке. Горизонтальную нить перемещают наводящим винтом трубы вверх или вниз до тех пор, пока какой-нибудь штрих верньера не совпадет со штрихом на рейке (рис. 51, б). Затем берут отсчет по рейке: целое число метров по рейке до начального штриха верньера — 25 м,

десять доли — совпадающий штрих верньера 3, сотые и тысячные доли берутся по верньеру до горизонтальной линии — 42. Полный отсчет равен 25,342 м.

Расстояние определяют по формуле (104), где коэффициент дальномера  $K = 100$ , а слагаемое дальномера  $S$  зависит от стороны рейки. Коэффициент дальномера определяют на базисе длиной 140 м так же, как и для нитяного дальномера. Юстировочные винты на оправе позволяют сделать коэффициент дальномера равным 100.

Горизонтальное проложение линии определяют по формуле

$$s = S \cos^2 (\nu + 17,2') \quad (110)$$

или

$$s = S - \Delta S_\nu,$$

где

$$\Delta S_\nu = S \sin^2 (\nu + 17,2'), \quad (111)$$

$(\nu + 17,2')$  — угол наклона биссектрисы параллактического угла, который определяют наведением средней горизонтальной нити на совмещенный штрих верньера.

Дифференциальная насадка ДН-04 позволяет измерять расстояния по вертикальной рейке от 20 до 200 м с относительной средней квадратической ошибкой порядка 1 : 1500 и по горизонтальной рейке — от 10 до 125 м с относительной средней квадратической ошибкой 1 : 2500 (4 см на 100 м).

Горизонтальное проложение линии, измеренной по горизонтальной рейке, определяется по формуле

$$s = S - \Delta S_\nu, \quad (112)$$

где  $\Delta S_\nu = 2S \sin^2 \frac{\nu}{2}$  — поправка за наклон.

### Дальномерная насадка ДН-10

В отличие от дальномерной насадки ДН-04 насадка ДН-10 вместо клиньев имеет оптический линзовый компенсатор. Он состоит из двух отрицательных полулинз 10 и 6 (рис. 52, а) и двух положительных полулинз 1 и 7, изготовленных из одной положительной линзы и одной отрицательной, что обеспечивает равенство их фокусных расстояний. Полулинзы 1 и 10 заключены в общую оправу 9, расположенную в корпусе насадки 4. Четырьмя юстировочными винтами 3 полулинзы передней пары можно смещать в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Полулинзы 6 и 7 заключены в оправу 8, которая соединена с оправой 9 втулкой 5. Юстировочными винтами полулинзы второй пары можно перемещать в вертикальном направлении.

Юстировочные винты закрыты колпачком 2, имеющим на передней стенке откидывающуюся крышку.

Насадку, имеющую посадочный диаметр 38 мм, устанавливают на объектив теодолитов Т20, Т30.

Дальномерная рейка двусторонняя, штриховая, шкалы нанесены на инварных полосах. Верньер имеет пять делений и установлен так, что постоянное слагаемое дальномера равно нулю.

Постоянный параллактический угол образуется путем сдвига оптических осей полулинз с оси насадки.

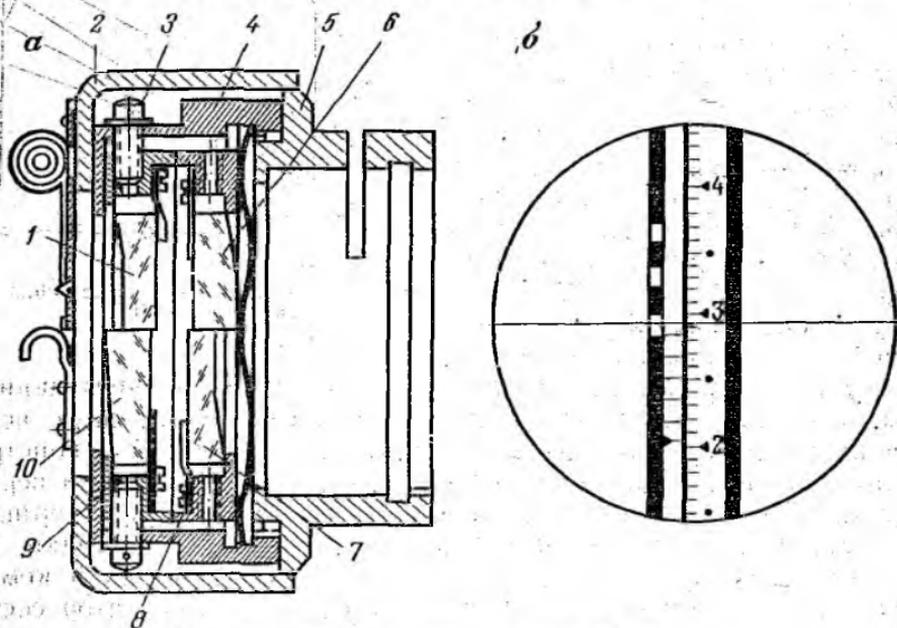


Рис. 52. Дальномерная насадка ДН-10

В поле зрения зрительной трубы видны одновременно два изображения рейки, смещенные друг относительно друга. Точность верньера соответствует пятой доли деления шкалы рейки, поэтому необходимо эти доли удвоить, для чего берут отсчет, совмещая штрихи перемещением основной горизонтальной нити снизу вверх, например 20,357 (рис. 52, б), и перемещением горизонтальной нити сверху вниз, например 20,362. Один полуприем — 20,719. Второй полуприем выполняется так же. Сумма отсчетов из двух полуприемов дает измеренное расстояние в метрах.

Горизонтальное положение линии, измеренной дальномерной насадкой ДН-10, определяется по формуле

$$s = Kl + C + \Delta S_v, \quad (113)$$

где  $C = c_1 + c_2$  — постоянное слагаемое дальномера;  $c_1$  — расстояние от вершины параллактического угла до вертикальной оси теодолита;  $c_2$  — расстояние от плоскости штрихов рейки до точки установки рейки;  $K$  — коэффициент дальномера, равный

200 (при постоянном угле  $\psi = 17^\circ 11,3'$ );  $\Delta S_v = S \sin^2 (\nu \mp + 8,5')$  — поправка за наклон.

Схема измерения расстояния показана на рис. 53.

Дальномерная насадка ДН-10 применяется для измерения расстояний от 20 до 200 м со средней квадратической ошибкой 10 см на 100 м, т. е. с точностью 1 : 1000.

### § 38. ДАЛЬНОМЕРНАЯ НАСАДКА РЕДУКЦИОННАЯ ДНР-06

Дальномерная редуцирующая насадка ДНР-06 позволяет измерять расстояния от 20 до 200 м со средней квадратической ошибкой 6 см на 100 м (с точностью порядка 1 : 2000) на местности с углами наклона до  $20^\circ$ . Применяется с теодолитами Т2, Т5, Т10, Т15 и другими, имеющими посадочный диаметр, равный 46 мм.

Дальномерный комплект состоит из насадки, устанавливаемой на объектив зрительной трубы, противовеса, двух вертикальных реек с приставками. Рейки имеют такую же конструкцию, как и в комплекте насадки ДН-04, но с обратными верньерами. Нулевым штрихом является верхний штрих верньера.

На рис. 54, а показан разрез дальномерной насадки (вид сверху). В корпусе насадки 4 расположены оптический компенсатор и телескопическая линза. Оптический компенсатор состоит из неподвижного оптического клина 12 и качающегося редуцирующего клина 10, закрывающих половину поля зрения трубы. Телескопическая линза 3 и плоскопараллельная пластина 6 закрывают вторую половину поля зрения.

Оптический клин 12 и телескопическая линза 3 склеены и заключены в оправу 14. Оправа соединена с обоймой 13 и скреплена с ней четырьмя юстировочными винтами 2. С помощью этих винтов оправу можно наклонять и тем самым изменять значение коэффициента дальномера во время его исправления. Юстировочные винты закрыты колпачком 1.

Редуцирующий клин 10 склеен по торцу с плоскопараллельной пластиной 6 и заключен в оправу 11. Оправа подвешена в корпусе на двух полуосях и может покачиваться на них. Положение редуцирующего клина регулируется балансировочными винтами 5. Поролоновые подушечки 9 предохраняют редуцирующий клин от повреждения при наклоне зрительной трубы.

Насадка со зрительной трубой скрепляется винтом 7. После снятия насадки посадочное отверстие закрывается заглушкой 8, являющейся арретиром редуцирующего клина.

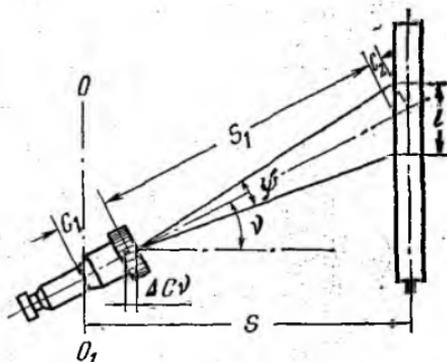


Рис. 53. Схема измерения расстояний насадкой ДН-10

Дальномер автоматически преобразует измеренные наклонные расстояния в горизонтальные проложения. Это достигается за счет компенсатора со свободно подвешенным оптическим клином, который во время наклона трубы, оставаясь в отвесном положении, изменяет отсчет по дальномерной рейке, автоматически вводя в отсчет поправку за наклон измеряемой линии. Оптический редуцирующий клин покачивается вокруг горизонтальной оси, расположенной выше центра тяжести.

Изменение параллактического угла, необходимое для редуцирования наклонных расстояний, должно обеспечиваться изме-

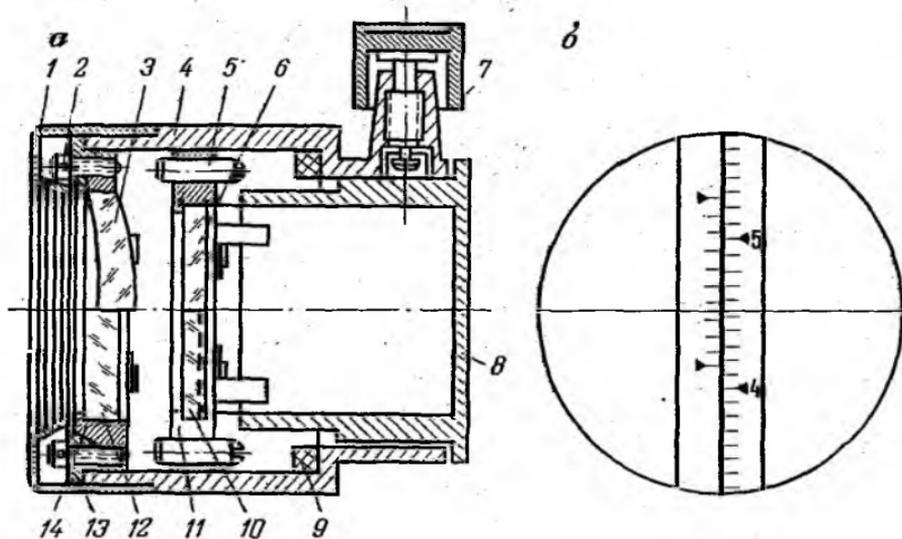


Рис. 54. Дальномерная насадка редуциционная ДНР-06

нением угла отклонения редуцирующего клина при изменении наклона визирного луча. Это главное условие автоматического редуцирования выполнено в дальномерной насадке ДНР-06 путем расчета параметров оптической системы. Редуцирующий механизм уменьшает расстояния пропорционально  $\cos^2 \nu$ .

Угловое увеличение телескопической линзы  $\Gamma = \frac{110}{111}$ .

Насадка имеет разделительное устройство, состоящее из бипризмы и щелевой диафрагмы, которое дает возможность совмещать изображения штриховой рейки и верньера с большей точностью. Бипризма устанавливается на место сетки нитей, а щелевая диафрагма навинчивается на окуляр зрительной трубы и позволяет срезать нижнюю часть изображения с верньером и верхнюю часть изображения со шкалой; таким образом устраняется возможность накладывания одного изображения на другое.

Отсчет по рейке берется так же, как показано на рис. 51, б, только счет ведется от верхнего штриха верньера. Например, отсчет по рейке на рис. 54, б равен 52,565. Измеренное расстоя-

ние выражается суммой двух отсчетов из одного приема плюс постоянное слагаемое дальногомера.

При работе с насадкой на измерения оказывают влияние следующие источники ошибок.

1. Параллакс при изображении шкалы и верньера: если отсчет по рейке меняется более чем на 0,02—0,03 деления шкалы, то нужно заменить компенсатор или работать осторожно, располагая глаз прямо перед окуляром.

2. Изображение рейки нечеткое, окрашено по краям. Необходимо ослабить винты, оставить насадку на 1—2 дня в таком положении, после чего на базисе установить коэффициент дальногомера.

3. Неисправность подшипников. Если при измерении расстояний на некоторых углах наклона получаются недопустимые ошибки, то необходимо провести чистку подшипников механиком в мастерской.

4. Неточность делений верньера. Если 10 делений верньера не соответствуют 11 делениям на рейке, то измерять расстояния нельзя.

Перед измерением расстояний дальномерный комплект проверяется и выявленные нарушения исправляются.

### § 39. РЕДУКЦИОННЫЙ ТАХЕОМЕТР РЕДТА

Редукционный тахеометр Редта, выпускаемый народным предприятием «Карл Цейсс» в Йене (ГДР), используется для измерения углов и линий в дальномерной полигонометрии и характеризуется точностью измерения углов 4—5" и относительной средней квадратической ошибкой измерения линий 1 : 5000 (рис. 55).

Тахеометр Редта представляет собой сочетание теодолита с точным оптическим дальномером двойного изображения с постоянным параллактическим углом и редуцированной системой.

Отсчетное устройство Редта представляет собой шкаловой микроскоп, окуляр которого расположен справа от окуляра зрительной трубы. В поле зрения микроскопа передается изображение градусных делений горизонтального и вертикального кругов, на которые накладываются изображения шкал микроскопов для отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам.

Зрительная труба Редта отличается от других теодолитов тем, что в передней части ее вставлен оптический дальномер двойного изображения с редуцирующим механизмом. Зрительная труба имеет два входных отверстия: верхнее 2 (см. рис. 55), через которое видно прямое изображение рейки, и нижнее 1, предназначенное для рассматривания верньера через оптические клинья. При помощи поворотного кольца переключателя 3 дальногомера зрительная труба может быть включена на полное или двойное изображение. При полном изображении в поле зрения трубы

видна сетка нитей и прямое изображение предмета. При включении дальномерного устройства нижняя половина поля зрения трубы перекрывается оптическими клиньями, поэтому она немного затемнена и отделяется от верхней половины разделительной линией. По величине смещения изображения, отсчитываемого по специальной рейке, определяется расстояние от дальномера до рейки.

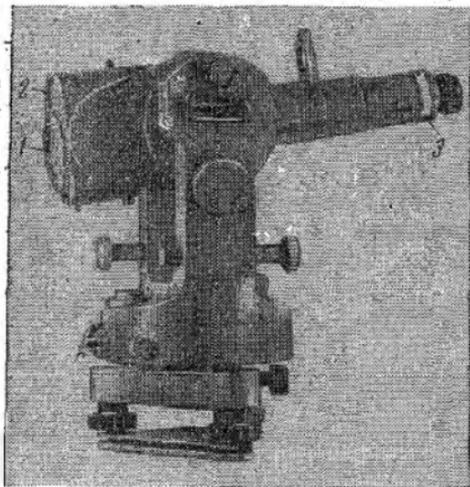


Рис. 55: Редукционный тахомер Редта

В верхней части поля зрительной трубы перед объективом 1 расположена ромбическая призма 4 (рис. 56), которая смещает визирную ось трубы при круге лево на 22 мм выше горизонтальной оси вращения трубы и при круге право на 22 мм ниже ее. Призма может вращаться вокруг вертикальной оси, действуя как плоскопараллельная пластина. Вращение призмы достигается при повороте дистанционного винта

5 со шкалой, при этом визирная ось перемещается по горизонтали.

В нижней части поля зрительной трубы перед объективом расположена пара подвижных оптических клиньев 2, за-

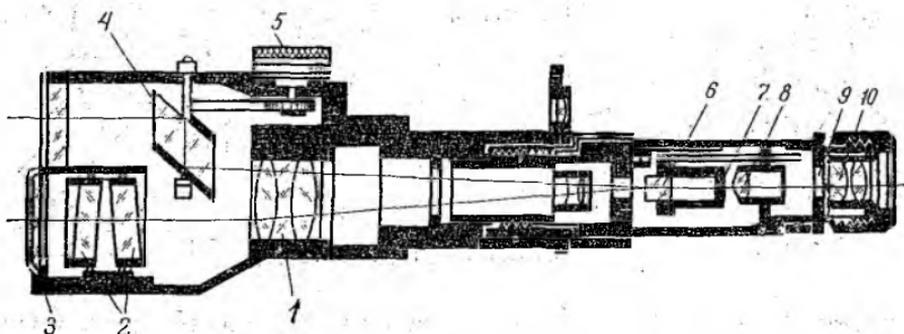


Рис. 56. Разрез зрительной трубы Редта

ключенных в круглую оправу, представляющую дальномерное устройство. Посредством этих клиньев достигается смещение изображения горизонтальной дальномерной рейки, соответствующее величине угла отклонения клиньев и удалению рейки от дальномера.

Неподвижный клин 3 (коррекционный) заключен в круглую оправу с делениями и предназначен для точной установки коэф-

фициента дальномера, равным 100. Деления на оправе клина служат для фиксации его установки. С помощью коррекционного клина можно вводить поправки за приведение к уровню моря, редуцирования на плоскость. Поворот клина на одно деление шкалы, помещенной на его оправе, соответствует изменению 100-метрового расстояния на 1 см.

Разделительное устройство в дальномере состоит из бипризмы 6, диафрагмы 7, объектива 8, щелевой диафрагмы 9 и окуляра 10.

В комплект дальномера входят две горизонтальные рейки с подставками. Длина рейки 2,09 м. Рейка имеет 14 дециметровых делений (рис. 57) со штрихами через 2 см, нанесенными на тонкой стальной полосе, скрепленной с деревянным бруском рейки



Рис. 57. Рейка дальномера Редга

В нижней части левой половины рейки нанесены два верньера. внутренний 1 и внешний 2, расположенный в 50 см от внутреннего

На обоих концах рейки нанесены треугольные визирные марки 3 для точного наведения при измерении параллактических углов при короткобазисном способе измерения линий. Длина базиса на рейке между марками равна 2 м.

Подставки для установки реек бывают двух видов: для установки рейки на штативе и для непосредственной установки рейки над точкой.

### Измерение расстояний

Горизонтальную рейку устанавливают перпендикулярно к измеряемой линии с помощью коллиматора 4 (см. рис. 57). Положение рейки на вертикальной штанге должно быть таким, чтобы верньер и место отсчета, соответствующее измеряемому расстоянию, размещались симметрично относительно штанги 5.

Вращением рукоятки 5 (см. рис. 56) точно совмещают наиболее близко расположенные штрихи верньера и рейки. Отсчитывают по рейке слева направо от нуля верньера количество десятков метров и четное количество метров. Затем находят совмещенный штрих верньера и, умножив его на два, получают четное число дециметров, которое суммируют с первым отсчетом. Сантиметры и миллиметры в пределах 20 см отсчитывают по индексу шкалы винта. Одно деление шкалы соответствует 1 см на местности, а миллиметры оценивают на глаз. Смещение штрихов делают

Дважды: при вращении винта вправо и влево, что составляет один прием.

Внутренний верньер используют при измерении расстояний до 122 м, внешний — от 50 до 172 м, при этом к отсчитанному по рейке расстоянию прибавляют 50 м. Например, отсчет по внутреннему верньеру (рис. 58, б)  $122 + 7 \times 2 = 123,4$ ; по внешнему верньеру (рис. 58, а) отсчет  $72 + 1,4 + 50 = 123,4$ ; по шкале винта — 115 мм (рис. 58, в). Полный отсчет равен 123,515 м.

Горизонтальное проложение линии получается по формуле

$$s = 100l,$$

где 100 — коэффициент дальномера (параллактический угол равен  $34,38'$ ).

Постоянное слагаемое дальномера

$$C = c_1 + c_2,$$

где  $c_1 = 88$  мм — расстояние от вершины параллактического угла до горизонтальной оси вращения трубы;  $c_2 = 44$  мм —

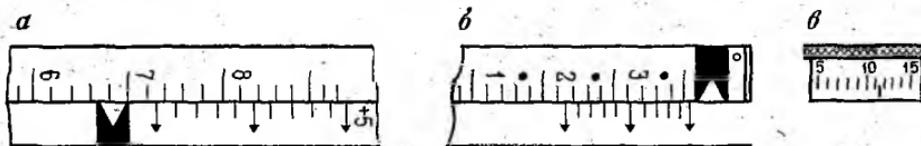


Рис. 58. Отсчет по дальномерной рейке Редта

расстояние от передней плоскости рейки до оси вертикальной штанги,  $C = 132$  мм исключается соответствующей установкой шкалы дистанционного винта, связанной с ромбической призмой, и смещением верньера на рейке. Если на шкале установить 10 делений, то ромбическая призма перпендикулярна к визирной оси и ось не изменяет своего положения. Если повернуть винт и установить отсчет 0, то визирная ось сместится параллельно по горизонтали на 1 мм вправо. Оставшиеся 0,32 мм учитываются посредством смещения вправо (к центру рейки) верньера на рейке.

### Р е д у ц и р у ю щ е е у с т р о й с т в о

Расстояние определяется дальномером Редта независимо от углов наклона. Редуцирование расстояний на горизонтальную плоскость осуществляется автоматически, посредством вращения оптических клиньев при наклоне зрительной трубы. Клинья при наклоне трубы на угол  $\gamma$  поворачиваются в своей плоскости также на этот угол, причем вращение их происходит в противоположных направлениях.

В результате величина угла отклонения клиньев по горизонтали и, следовательно, величина параллактического угла дальном-

мера  $\psi$  изменяется пропорционально  $\cos \nu$  угла наклона трубы, т. е.  $\psi = \psi' \cos \nu$ . Горизонтальное расстояние равно

$$s = S \cos \nu = 100l. \quad (114)$$

Фиксирование горизонтальной плоскости в редуцирующем механизме осуществлено механической связью редуцирующего механизма с уровнем вертикального круга. Для правильного редуцирования расстояний на горизонтальную плоскость уровень вертикального круга должен быть установлен на середину.

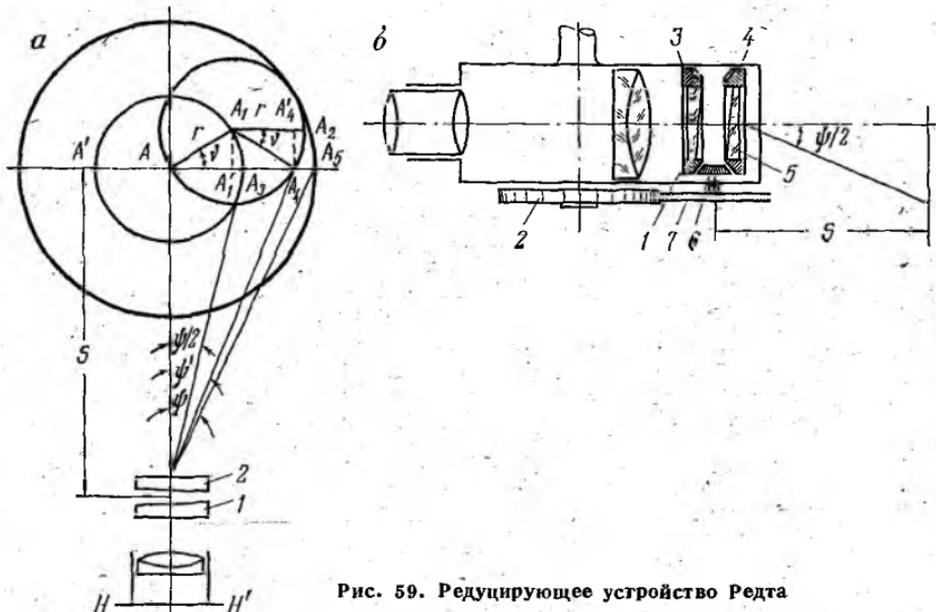


Рис. 59. Редуцирующее устройство Редта

Если главные сечения клиньев 1 и 2 (рис. 59, а) совпадают и их вершины направлены в одну сторону, то угол отклонения ими лучей равен  $34' 22,6''$ . В таком положении клинья находятся при горизонтальном положении оси зрительной трубы.

Если вершины клиньев направлены в разные стороны, то угол отклонения ими лучей равен 0, так как оба клина — дополнения до плоскопараллельной пластины.

В зависимости от угла поворота клиньев могут быть углы отклонения от 0 до  $34' 22,6''$ .

Клин 1 при вращении перемещает луч по боковой поверхности конуса с основанием  $A'A_1A_3$ . При наблюдении в трубу видим, что на перекрестии сетки нитей поочередно располагаются точки предмета, лежащие на окружности основания этого конуса.

Если клин 1 повернуть на угол  $\nu$ , то в поле зрения трубы увидим на перекрестии сетки нитей точку  $A_1$ . Разложив вектор  $r$  отклонения луча  $AA_1$  на составляющие, получим горизонтальную составляющую  $AA'_1$  и вертикальную  $A_1A'_1$ .

Поместим перед клином 1 клин 2 так, чтобы направление главного сечения клина было горизонтально; тогда в трубе вместо точки  $A_1$  появится точка  $A_2$ , лежащая на расстоянии  $r$  от точки  $A_1$ .

Если клин 2 повернуть на угол  $\nu$  в противоположную сторону, то в поле зрения трубы появится точка  $A_4$ . Эта точка лежит на горизонтали  $AA_4$ , и тогда вертикальная составляющая  $AA_4'$  при действии обоих клиньев будет равна 0. Сумма горизонтальных составляющих

$$AA_1' + A_1'A_4 = 2AA_2 \cos \nu = 2r \cos \nu = AA_5 \cos \nu.$$

Общий угол отклонения лучей в горизонтальной плоскости равен сумме углов отклонения лучей парой клиньев, умноженной на косинус угла поворота каждого клина, т. е.

$$\psi' = 2 \frac{\psi}{2} \cos \nu = \psi \cos \nu.$$

При вращении зрительной трубы (рис. 59, б) шестерня 2 остается неподвижной, шестерня 7 обкатывается по ней и при этом вращает коническую шестерню 6, которая в свою очередь поворачивает в разные стороны шестерни 3 и 4 с закрепленными в них клиньями 1 и 5.

Редуцирующее устройство приспособлено для автоматического приведения на горизонтальную плоскость расстояния от вершины параллактического угла до плоскости рейки. Часть постоянного слагаемого  $C$  (отрезок от вершины параллактического угла до горизонтальной оси вращения трубы) не редуцируется. Вследствие этого при больших углах наклона в измеренное расстояние надо вводить поправку  $\Delta C_\nu$  (см. рис. 53) по формуле

$$\Delta C_\nu = C - C \cos \nu; \quad \Delta C_\nu = 2C \sin^2 \frac{\nu}{2}. \quad (115)$$

Эти поправки, вычисленные для разных углов наклона, нанесены белыми штрихами на кожухе вертикального круга. Оцифровка этих штрихов выражает поправку в сантиметрах.

### Проверка редуцирующего механизма

При горизонтальном положении трубы и пузырька уровня при вертикальном круге в нуль-пункте преломляющие ребра призмы должны быть вертикальны.

Выбирают местность с углами наклона  $\nu = 15-20^\circ$  и расстояние 30—50 м измеряют 8—10 раз. Рейку и тахеометр меняют местами и измерения повторяют. Если расхождения находятся в пределах точности измерений (1 : 5000), то редуцирующее устройство отрегулировано правильно; если больше, то берут среднее значение, которое свободно от ошибки редуцирующего устройства. Например,  $S_{пр} = 45,560$ ,  $S_{об} = 45,500$ ,  $S_{ср} = 45,530$ . С левой стойки подставки трубы нужно снять боковую заслонку и открыть доступ к исправительным винтам. Для исправления редуцирующего устройства дистанционный винт ставят на отсчет,

выражающий сантиметры среднего значения измеряемого расстояния (13 см). После приведения уровня вертикального круга на середину исправительными винтами редуцирующего устройства совмещают соответствующие штрихи верньера и рейки (7 штрих), чтобы сохранить требуемый средний отсчет ( $44 \text{ м} + 1,4 \text{ м} + 0,13 \text{ м} = 45,530$ ), после чего снова многократно измеряют расстояние.

### Определение постоянных слагаемых дальномера Редта

*Постоянное слагаемое дальномера при горизонтальном визи-ровании должно быть равно нулю ( $C = 0$ ).*

На ровной местности разбивают и точно измеряют стальной рулеткой базис длиной 4—10 м. Базис многократно (10—12 раз) измеряют дальномером и среднее значение его длины сравнивают с длиной, полученной при измерении рулеткой. Если имеется расхождение, то вводят поправку в измеренное расстояние. При расхождениях более 10—15 мм нужно произвести юстировку, для чего отверткой открепляют винты на верхнем круге винта со шкалой. Вращением винта совмещают штрихи на рейке и верньере, соответствующие длине базиса. Винт со шкалой устанавливают на нужный отсчет, придерживая рукой верхний круг его. В этом положении закрепляют винты. Затем многократно измеряют базис.

*Коэффициент дальномера при измерении расстояний должен быть равен 100.*

На ровной местности разбивают базис и измеряют его проволокой. Рекомендуется полевой компаратор делать длиной 120 м и разбивать на три секции: 6, 94 и 20 м. Секция 1—2 (6 м) служит для определения величины постоянного слагаемого  $C$ , а секции 1—3 (100 м) и 1—4 (120 м) — для определения коэффициента дальномера. Длину базиса определяют с точностью 1 : 50 000 — 1 : 25 000.

Над точкой 1 устанавливают дальномер Редта, а на точках 3 и 4 — последовательно горизонтальные рейки. Длину базиса многократно (10—12 раз) измеряют дальномером. Среднее значение измеренного расстояния (1—2 или 1—4) сравнивают с длиной компаратора, полученной из измерений проволокой или шкаловой лентой. Коэффициент дальномера вычисляют по формуле

$$K = \frac{s}{S}. \quad (116)$$

Если разница между расстояниями, измеренными дальномером  $S$  и проволокой  $s$ , не более 5 см на 100 м, то его не исправляют. При определении коэффициента дальномера предельные расхождения в отсчетах по шкале винта не должны быть более 1 : 5000 длины измеряемого отрезка; расхождения в значениях коэффи-

циентов дальномера, определенных по разным секциям и рейкам, не должны превышать 1 : 10 000. Если расхождения больше, то значение коэффициента исправляют с помощью коррекционного клина 3 (см. рис. 56).

Для этого дистанционный винт 5 устанавливают на отсчет, соответствующий длине секции компаратора. Например, при длине секции 98,865 м на шкале винта устанавливают отсчет 6,5 см. После приведения пузырька уровня на вертикальном круге в нуль-пункт, смотря в трубу на рейку, коррекционный клин вращают ключом до тех пор, пока необходимый штрих верньера совместится с соответствующим штрихом на рейке, так чтобы получился полный отсчет расстояния (98,00 м + 0,80 м + 0,065 м = 98,865).

После юстировки снова многократно определяют коэффициент дальномера.

### Ошибки, возникающие при работе с дальномером Редта

1. Ошибки определения коэффициента и постоянного слагаемого дальномера.

Отклонение коэффициента дальномера от номинальной величины 100 зависит от изменения параллактического угла и от ошибок, допущенных при изготовлении вращающихся клиньев. Ошибка измерения параллактического угла не должна быть более 0,2", тогда ошибка преломляющего угла клиньев должна быть не более 0,4".

Ошибку изготовления клиньев можно исправить с помощью коррекционного клина.

Величину постоянного слагаемого  $C$  учитывают смещением начала шкалы рейки и поворотом на некоторый угол ромбической призмы. Это приводит к тому, что при перпендикулярном положении ромбической призмы к оптической оси прибора отсчет по шкале винта не равен 0. Исправление производят путем поворота шкалы.

2. Ошибка за счет неправильного положения пузырька уровня на вертикальном круге.

Если ошибка юстировки уровня 0,5', то при угле наклона визирного луча в 30° ошибка измерения расстояния получается порядка 7 мм. Эту ошибку можно исключить, если измерять расстояния в прямом и обратном направлениях.

3. Ошибка за счет неперпендикулярности горизонтальной рейки к измеряемой линии на точность определения расстояний.

При повороте рейки  $l$  на угол  $\varepsilon$  (рис. 60) измеренное расстояние будет больше действительного на величину поправки  $\Delta_1$ , которую можно вычислить по формуле

$$\Delta_1 = -\frac{\varepsilon}{2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{\rho^2}.$$

(117)

Ошибка визирования через коллиматор, прикрепленный к подставке рейки, с помощью которого рейку устанавливают перпендикулярно к измеряемой линии, порядка  $1'$ . Так как коллиматор немного смещен относительно центра вертикальной штанги (на 6 см вправо), то при установке рейки по коллиматору ее видимая от прибора левая половина будет всегда повернута назад на угол  $\varphi$ , величина которого определяется из соотношения

$$\psi' = \frac{0,06 \text{ м}}{S_M} \rho'; \quad \psi' = \frac{206'}{S_M}. \quad (118)$$

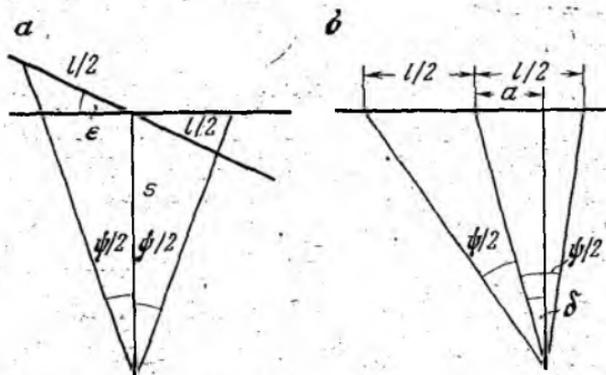


Рис. 60. Ошибки при измерении расстояний Редта

Если принять, что отдельные ошибки результатов измерения линии не должны превышать 20% от величины допустимой относительной невязки хода, т. е.

$$\frac{\Delta}{S} = \frac{1}{5M}, \quad (119)$$

где  $M$  — знаменатель дроби, характеризующей точность хода, тогда из выражений (117) и (119) получим

$$\varepsilon < \frac{0,6\rho}{\sqrt{M}}. \quad (120)$$

По этой формуле можно определить предельные величины поворота рейки в ходах различной точности (например,  $31'$  для хода точности  $1 : 5000$ ).

Наблюдатель контролирует правильность установки рейки, визируя прибор на коллиматор, в котором виден яркий белый штрих. Заметное искривление штриха наступает при повороте рейки на угол  $6'$ , а полное исчезновение — при повороте на  $1^\circ 12'$ . При сильно искривленном штрихе расстояние измерять нельзя.

4. Ошибки несимметричной установки рейки относительно вертикальной штанги.

При данной ошибке измеряемое расстояние будет больше действительного, и поправку  $\Delta_2$  можно вычислять (см. рис. 59, б) по формуле

$$\Delta_2 = S \frac{\delta^2}{\rho^2}, \quad (121)$$

где  $\delta$  — угол поворота биссектрисы параллактического угла  $\psi$  от правильного положения ( $\delta = \frac{a}{S}$ );  $a$  — асимметрия рейки.

Подставив эти данные в формулу (121), поправку определим по формуле

$$\Delta_2 = \frac{0,1a^2 \text{ см}}{S_M}. \quad (122)$$

Допустимое значение асимметрии рейки  $a$  можно определить как

$$a \ll S \sqrt{\frac{1}{5M}}. \quad (123)$$

Наиболее целесообразно устанавливать рейку относительно вертикальной штанги на деление около 5, т. е. почти посредине.

Дальномером Редта расстояния измеряются в прямом и обратном направлениях с одной постановки прибора в обе стороны до 360 м по трехштативной системе.

#### § 40. ДАЛЬНОМЕР ВНУТРИБАЗНЫЙ ДВ-20

Внутрибазный дальномер используется для измерения расстояний до недоступных или труднодоступных точек, для измерения горизонтальных и вертикальных углов и магнитных азимутов.

Дальномер позволяет измерять расстояния до недоступных предметов со средними квадратическими относительными ошибками:

$$1 : 1500 \text{ для } K = 100,$$

$$1 : 1200 \text{ » } K = 200,$$

$$1 : 600 \text{ » } K = 500.$$

Дальномер ДВ-20 относится к дальномерам двойного изображения с постоянным параллактическим углом и переменной базой на приборе. Постоянный параллактический угол образуется с помощью двух оптических клиньев, расположенных на каретках в точках  $A$  и  $B$  (рис. 61).

Для измерения расстояния до предмета, например дерева, необходимо перемещением одной или обеих кареток с клиньями и отражательными призмами добиться слияния двойного изображения в одно, тогда лучи  $AO$  и  $BO$  пересекутся в той точке, до которой измеряют расстояние. Длину базы  $AB$  определяют по шкалам, нанесенным на базовых линейках, по которым перемещают каретки с оптическими клиньями; тогда наклонное расстояние  $BO = S_1$  можно определить по формуле

$$S_1 = b \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2}, \quad (124)$$

где  $b$  — величина переменной базы.

Горизонтальное проложение определяют по формуле

$$s = S_1 + C - \Delta S_v$$

или

$$s = bK + C - \Delta S_v. \quad (125)$$

Замена коэффициентов дальномера осуществляется вращением оптических клиньев компенсатора на определенный угол в противоположных направлениях. Так как преломляющие углы клиньев равны между собой, а углы поворота клиньев равны, но противо-

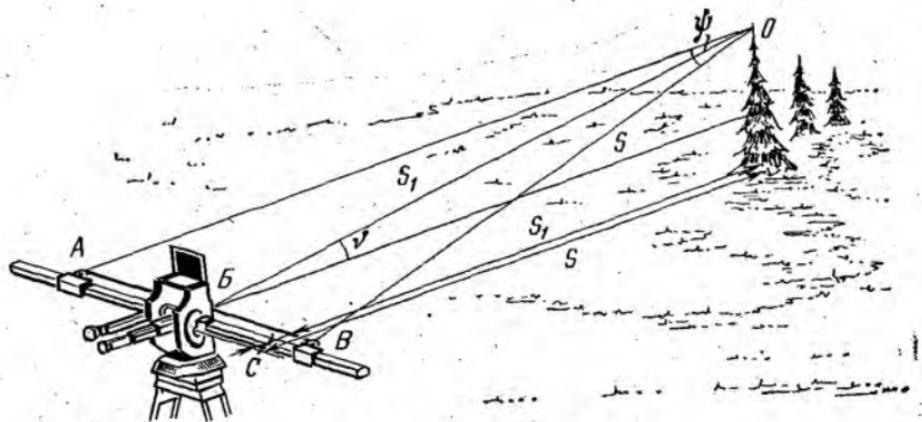


Рис. 61. Измерение расстояний дальномером внутрибазным ДВ-20

положны по направлению, то величина параллактического угла будет изменяться пропорционально  $\cos \nu$ .

Точность отсчитывания по горизонтальному кругу  $6'$ , по вертикальному  $1'$ , по базовым линейкам  $0,1$  мм.

Дальномером внутрибазным можно измерять расстояние по вехе  $1$  или марке  $4$  (рис. 62), которые входят в комплект. Дальномер устанавливают на одном конце измеряемой линии, а веху — на другом. Марку закрепляют винтом  $2$  на вехе и направляют в сторону дальномера, наблюдая в оптический визир  $3$ . За положением вехи следят по уровню  $5$ .

Перемещением кареток вдоль линеек совмещают два изображения вехи или марки. Винтом по высоте совмещают изображение горизонтального штриха марки или кольца вехи по высоте так, чтобы при наклоне зрительной трубы и переходе изображения через ребро бипризмы видимая его ширина оставалась неизменной.

Совместив изображения марок или вехи, берут отсчеты по левой и правой кареткам, и, сложив их, получают базу  $b$ ; берут отсчет по вертикальному кругу и вычисляют расстояние по формуле (125).

Марку со штрихами используют для измерения небольших расстояний, до  $18$  м. Длину линии вычисляют по формуле

$$s = (b - a) K + C - \Delta S_v, \quad (126)$$

где  $a$  — дополнительная база (расстояние между серединами штрихов марки, указанное на ее обратной стороне).

При измерении больших расстояний для вычисления длины линии используют формулу

$$s = (b + a) K + C - \Delta S_v, \quad (127)$$

Внутрибазным дальномером измеряют расстояния от 20 до 300 м со средней квадратической ошибкой 20 см на 100 м.



Рис. 62. Веха дальномера внутрибазного ДВ-20

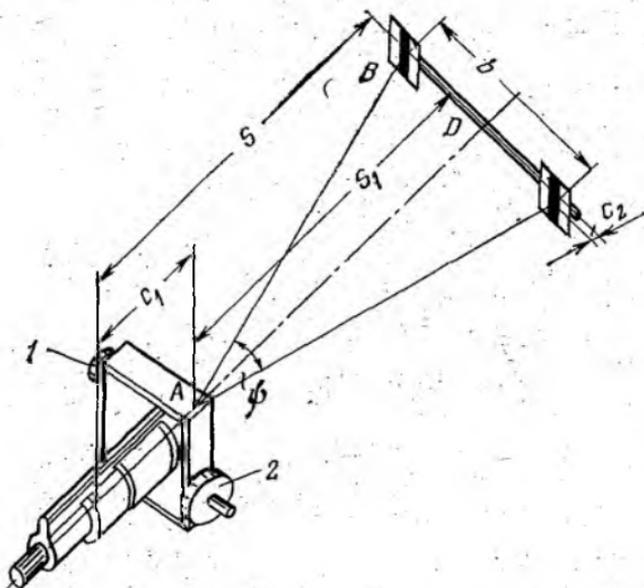


Рис. 63. Измерение расстояний дальномерной насадкой ДН-08

#### § 41. ДАЛЬНОМЕРНАЯ НАСАДКА С ПЕРЕМЕННЫМ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ УГЛОМ (ДН-08)

На рис. 63 показана схема измерения расстояния дальномером с постоянной базой и переменным параллактическим углом. Горизонтальная рейка с двумя марками, оси которых удалены на определенное расстояние друг от друга, — база рейки  $b$ . Рейку устанавливают перпендикулярно к визирному лучу. Расстояние  $S_1$  можно определить из треугольника  $ABD$

$$S_1 = \frac{1}{2} b \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} = \frac{bp}{\psi}; \quad S_1 = \frac{K}{\psi}, \quad (128)$$

где  $K = bp$  (коэффициент дальномера).

Параллактический угол  $\psi$  измеряется обычным теодолитом или специальным приспособлением.

Расстояние с учетом постоянных слагаемых дальномера определяют по формуле

$$S = S_1 + c_1 + c_2,$$

где  $c_1$  — расстояние от вершины параллактического угла до вертикальной оси теодолита;  $c_2$  — расстояние от оси штанги до плоскости марок.

### Устройство дальномерной насадки ДН-08

Дальномерная насадка надевается на объектив теодолитов типов Т10, Т15 и других и предназначена для измерения расстояний

Рис. 64. Дальномерная насадка ДН-08

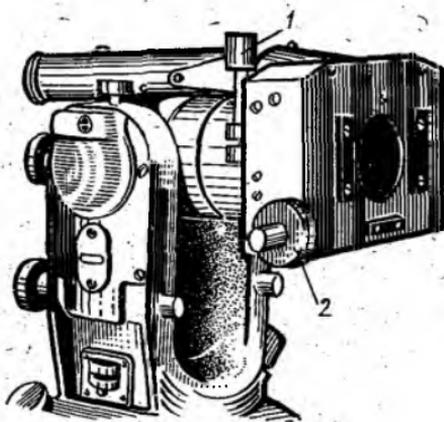
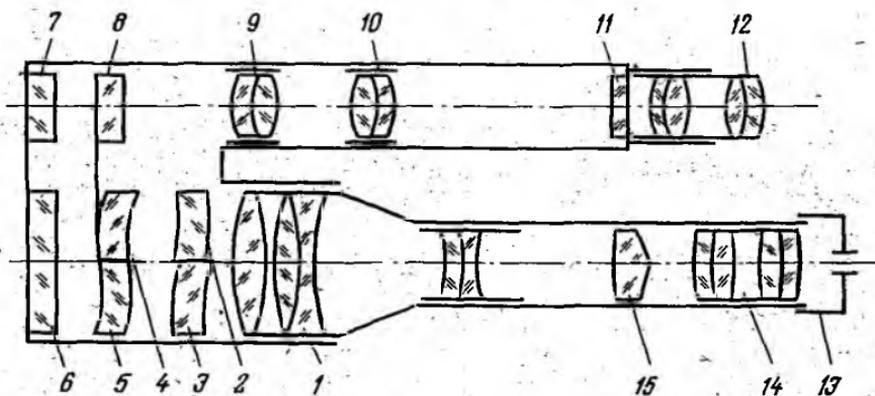


Рис. 65. Оптическая схема трубы с насадкой ДН-08



от 50 до 700 м по горизонтальной рейке со средней квадратической ошибкой 8 см на 100 м, т. е. порядка 1 : 1500. Общий вид насадки показан на рис. 64.

Оптическая схема трубы с насадкой и микроскопом показана на рис. 65. Перед объективом зрительной трубы 1 помещены две длиннофокусные линзы. Линзовый компенсатор состоит из двух пар полулинз: положительных 4 и 3 и отрицательных 2 и 5. Полулинзы в сочетании 4, 5 и 2, 3 дают афокальную систему, которая не изменяет телескопичности зрительной трубы. Полулинзы за-

креплены в отдельных оправах. Оправа с полулинзами 2, 3 перемещается установочной рукояткой 1 (см. рис. 63), а с полулинзами 4, 5 (см. рис. 65) — измерительной рукояткой 2 (см. рис. 63). К измерительному компенсатору прикреплена шкала 8 (см. рис. 65), оцифрованная через 5 делений от 0 до 120, изображение которой объективом 9, 10 микроскопа передается в поле зрения окуляра 12 на пластинку со шкалой 11. Десять делений неподвижной шкалы 11 микроскопа соответствуют одному делению шкалы компенсатора. Шкала 8 и полулинзы компенсатора закрыты защитными стеклами 6 и 7.

В поле зрения трубы видны два изображения марок: одно дает измерительный компенсатор, другое — установочный. При изме-

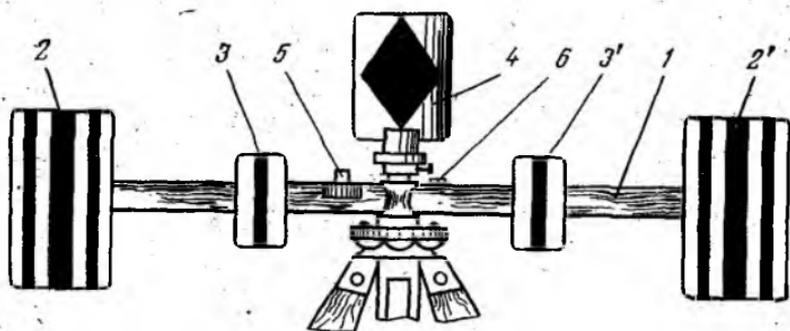


Рис. 66. Рейка дальномерного комплекта ДН-08

рении изображения марок нужно наложить одно на другое. Наложение изображений марок не может быть выполнено точно. Чтобы повысить точность совмещения изображений в окулярную часть трубы поставлено разделительное устройство в виде бипризмы 15 и щелевой диафрагмы 13, навинченной на окуляр 14. Бипризма устанавливается на место сетки нитей и раздваивает изображения, а щелевая диафрагма разрезает их, т. е. одна половина будет продолжением другой.

Рейка представляет комбинацию из двух баз (рис. 66). Две большие марки 2 и 2' укреплены на штанге 1 из алюминия на расстоянии 102 см и две малые марки 3 и 3' — на расстоянии 55 см друг от друга. На рейке установлен круглый уровень 5 с ценой деления 5—8' для установки рейки в горизонтальное положение и оптический визир 6 для установки рейки перпендикулярно к измеряемой линии. В подставку рейки устанавливают марку 4 для измерения углов. В комплект входят две рейки.

Насадка закрепляется на объективе зрительной трубы винтом 1 (см. рис. 64) так, чтобы нижняя грань корпуса была параллельна горизонтальной оси вращения трубы. Ребро бипризмы и щель диафрагмы устанавливают параллельно горизонтальной оси. Насадку надевают на трубу при круге лево.

## Поверки дальномерного комплекта

1. *Разделительное ребро бипризмы должно быть параллельно горизонтальной оси вращения трубы.*

Наводят разделительное ребро бипризмы на точку, вращая наводящим винтом алидады; смотрят, не смещается ли ребро с точки. Если условие не выполнено, то исправляют поворотом оправы бипризмы.

2. *Щель диафрагмы, навинченной на окуляр, должна быть параллельна разделительному ребру бипризмы.*

Осматривают установку щелевой диафрагмы. Исправляют ее поворотом на глаз. Если имеются побочные изображения, то нарушен размер щели, который должен быть равен 0,75 мм.

3. *Изображения марок, разделенные ребром бипризмы, не должны быть растянуты по высоте или сжаты.*

Проверка выполняется до установки бипризмы. Изображения должны быть на одной высоте. Если условие не выполнено, то исправительными винтами оправы измерительного компенсатора смещают ее вверх или вниз до нужного положения.

4. *Одно деление шкалы должно быть равно 10 делениям отсчетной шкалы.*

Если рен более 0,25 деления шкалы, то исправляют перемещением линзы объектива микроскопа.

## Проверки реек

1. *Ось круглого уровня на дальномерной рейке должна быть параллельна оси вращения втулки подставки.*

Проверяют и исправляют так же, как цилиндрический уровень у теодолита (см. § 24).

2. *Визирная ось трубки визира должна быть перпендикулярна к плоскости щитков марок рейки.*

На местности на расстоянии 40—50 м разбивают теодолитом прямой угол и на сторонах его устанавливают вехи. В вершину прямого угла вместо теодолита ставят рейку и визируют с помощью коллиматора на веху, стоящую в одной точке угла. Смотря вдоль верхних срезов марок нужно увидеть веху, стоящую в другой точке угла.

Если условие не выполнено, то исправительными винтами визира поворачивают его по горизонту до совмещения изображения визира с перекрестием сетки нитей.

3. *Ось марки для угловых измерений должна совпадать с осью втулки подставки.*

Устанавливают теодолит и рейку. К штативу с рейкой подвешивают центрир; смотрят в окуляр теодолита — ось марки и нить центрира должны располагаться на одной линии.

## Измерение параллактического угла

Расстояние от 100 до 180 м измеряют по малому базису, а от 200 до 700 м — по большому базису. При расстояниях менее 100 м измеряют половину угла по малому базису.

Устанавливают рукояткой измерительного компенсатора 2 отсчет по шкале микроскопа вблизи 60, а рукояткой установочного компенсатора 1 (см. рис. 63) совмещают изображения марок (рис. 67, а) и берут отсчет по шкале микроскопа  $n_1$ .

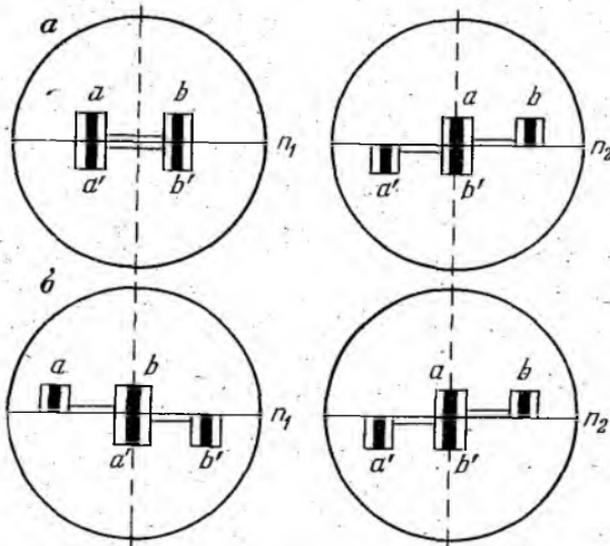


Рис. 67. Схема измерения параллактического угла ДН-08

Рукояткой измерительного компенсатора перемещают изображения марок навстречу друг другу (см. рис. 67, а) и берут отсчет  $n_2$ . По разности отсчетов  $n_2 - n_1 = \frac{\psi}{2}$  вычисляют половину параллактического угла. Таких приемов делают 4—6. Перед каждым приемом необходимо немного сдвинуть изображения рукояткой установочного компенсатора, а рукояткой измерительного компенсатора снова совместить изображения марок. Допустимые расхождения между приемами не должны превышать 0,15 делений шкалы.

Полный параллактический угол измеряют по схеме, показанной на рис. 67, б. Марки разводят в противоположные направления. Параллактический угол вычисляют как разность отсчетов  $n_2 - n_1 = \psi$ .

### Вычисление горизонтального проложения линии

Горизонтальное проложение линии, измеренной дальномерной насадкой ДН-08, вычисляют по формуле

$$s = \frac{K}{\psi} + C + \Delta S_T - \Delta S_V. \quad (129)$$

Коэффициент дальномера  $K$  определяют опытным путем на базе. Для этого 24-метровой лентой или проволокой измеряют с точностью 1 : 5000 в прямом направлении расстояния длиной: 216, 240, 264, 360 м и в обратном направлении расстояния длиной: 240, 264, 288, 360 м для больших марок. Измеряют расстояния длиной: 72, 96, 120 м в прямом направлении и 96, 120, 144 — в обратном направлении для малых марок. Вычисляют коэффициент дальномера по формуле

$$K = (s - C) \psi, \quad (130)$$

где  $s$  — длина базы в метрах.

Коэффициент дальномера для больших марок равен 21 000, для малых марок — 11 000. Постоянное слагаемое дальномера  $C = 0,10$  м.

Поправку за наклон вычисляют по формуле

$$\Delta S_v = 2S \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (131)$$

Угол наклона определяют при наведении средней горизонтальной нити на середину штанги.

Поправку за температуру вычисляют по формуле

$$\Delta S_T = \frac{K}{\psi} 16 \cdot 10^{-6} (T - T_0), \quad (132)$$

где  $T$  — температура, при которой измерялась линия;  $T_0$  — температура, при которой определялся коэффициент дальномера;  $16 \times 10^{-6}$  — коэффициент расширения стекла и материала, из которого изготовлена рейка ( $\alpha_p = 23 \times 10^{-6}$  — дюралюминий,  $\alpha_{ст} = 7 \times 10^{-6}$  — стекло).

Температуру измеряют термометром, который помещен внутри штанги рейки.

## § 42. ДАЛЬНОМЕР ОТД

Оптический топографический дальномер ОТД двойного изображения с постоянной базой (рис. 68) является прецизионным дальномером; сконструирован в виде самостоятельного прибора и предназначен для измерения расстояний от 35 до 400 м с относительной средней квадратической ошибкой порядка 1 : 6000.

Дальномер работает с горизонтальной и вертикальной рейками, снабжен оптическим центриром и приспособлен для измерения расстояний по трехштативной системе.

Дальномер снабжен оптическим комбинированным компенсатором, позволяющим измерять параллактические углы до  $5200''$ . Принцип измерения расстояний показан на рис. 63.

Оптическая схема дальномера приведена на рис. 69. Оптический компенсатор состоит из перекидного оптического клина  $b$ , позволяющего попеременно включать верхнюю или нижнюю часть

дальномера, и линзовой части, состоящей из измерительного (5 и 4) и установочного (3 и 2) компенсаторов. Измерительный компенсатор соединен с дальномерной шкалой 9. Измерительный и установочный компенсаторы состоят из двух полулинз (отрицательной и положительной) с одинаковыми фокусными расстояниями, заключенными в оправу.

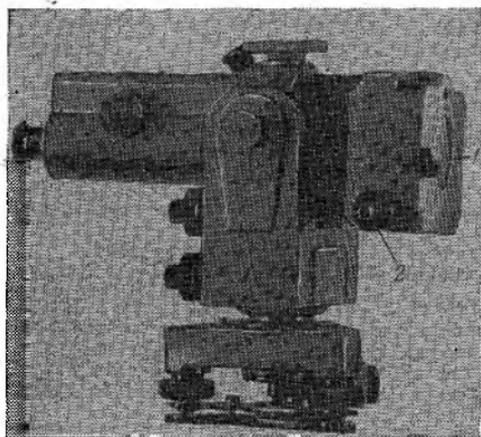


Рис. 68. Оптический топографический дальномер ОТД

с черной полосой. На каждой стороне рейки имеется по шесть оцифрованных марок, расстояния между штрихами марок образуют базы: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 и 2 м.

Введение оптического клина уменьшает параллакс изображений.

Зрительная труба с объективом 1, фокусирующей линзой 16, окуляром 13 имеет бипризму 15 и щелевую диафрагму 14.

Отсчетный микроскоп имеет линзы объектива 10 и 11 и призму 12. Входные отверстия дальномера закрыты защитными стеклами 7 и 8.

Дальномерная рейка (рис. 70) длиной 2,16 м имеет каркас 2 из дюралюминевых труб, по обе стороны которого расположены марки 1 в виде желтых пластин с черной полосой.

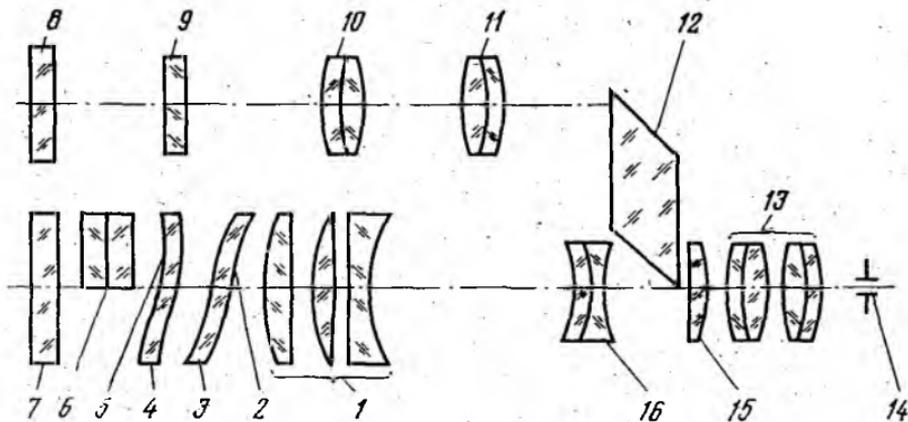


Рис. 69. Оптическая схема дальномера ОТД

Рейка снабжена двумя круглыми уровнями 4 и 6 для установки ее в горизонтальное и вертикальное положения.

Оптический визир 5 служит для установки плоскости рейки перпендикулярно к визирной оси дальномера.

В верхней трубке каркаса расположен термометр 3 для измерения температуры воздуха при определении длины линии.

Рейку можно устанавливать на подставке — штативе в горизонтальном и вертикальном положениях с помощью цилиндрических втулок 7.

Подставка 8 имеет оптический центрир.

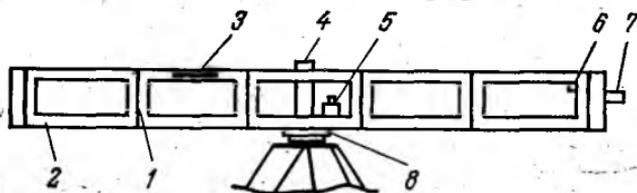


Рис. 70. Рейка дальномера ОТД

### Измерение расстояний

Дальномер и рейку устанавливают над точками измеряемой линии. Поворачивают рычаг 1 (см. рис. 68) перекидного клина вверх и наводящим винтом 2 измерительного компенсатора совмещают изображения марок рейки (рис. 71). Берут отсчет  $n_1$  по

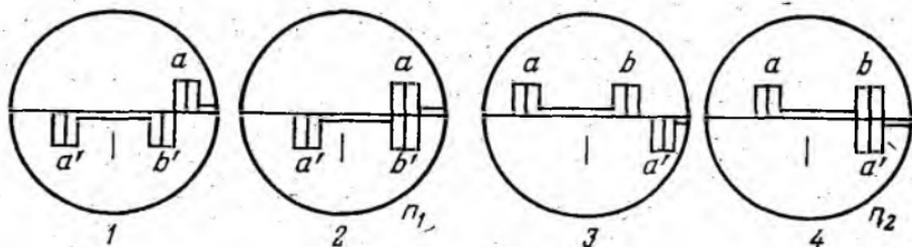


Рис. 71. Схема измерения параллактического угла ОТД

дальномерной шкале и записывают число малых баз  $N_1$  между номерами совмещенных марок. Затем поворачивают рычаг 1 (см. рис. 68) вниз до упора и измерительным компенсатором 2 совмещают марки, берут отсчет  $n_2$  по дальномерной шкале, записывают разность  $N_2$  между номерами совмещенных марок.

Разность отсчетов дает значение переменной части параллактического угла  $n_2 - n_1 = \psi_n$ . На рис. 71, 1 показано положение: клин расположен сверху и изображения марок разошлись; на рис. 71, 2 — линзовым компенсатором изображения марок совмещены; на рис. 71, 3 клин расположен внизу (изображения разошлись); на рис. 71, 4 линзовым компенсатором изображения марок совмещены. Цена деления дальномерной шкалы занижена вдвое, чтобы значение параллактического угла не делить пополам. Схема поля зрения отсчетного микроскопа показана на рис. 72, отсчет равен 88,14. Совмещение марок реек видно в поле зрения трубы.

Перед началом второго приема наводящим винтом установочного компенсатора смещают изображения марок, а измерительным компенсатором 2 вновь их совмещают, как и в первом приеме.

Измерение параллактического угла выполняется 4—6 приемами, предельное расхождение в значениях параллактического угла не должно превышать 1,5 деления шкалы микроскопа. За окончательное значение принимается среднее арифметическое из всех измерений. Количество малых баз при измерении угла определяется как  $N = \frac{N_1 + N_2}{2}$ .

При измерении расстояний стремятся к равенству  $N_1 = N_2$ , тогда совмещение изображений производится в середине поля зрения.

Затем измеряют расстояние по другой стороне рейки и приводят значение параллактического угла к масштабу первой стороны рейки.

$$\psi_2 = \psi_1 + 0,01.$$

Используют разные варианты схемы измерения параллактического угла. Клиновый компенсатор отклоняет луч на постоянный угол и образует постоянную часть параллактического угла  $\psi_k$ , т. е. совмеще-

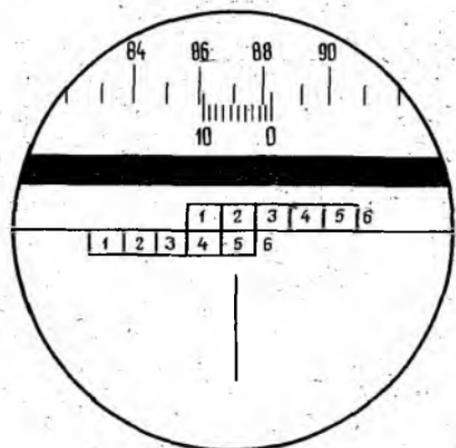


Рис. 72. Отсчет по шкаловому микроскопу ОТД

ние марок осуществляется с помощью оптического клина (линзы отсутствуют).

Переменная часть параллактического угла  $\psi_n$  измеряется с помощью линзового компенсатора (см. рис. 67, а, б) (клиньев нет).

В общем случае параллактический угол является переменной величиной

$$\psi = \psi_k \pm \psi_n.$$

Горизонтальное проложение определяют по формуле

$$s = \frac{NK}{\psi_k \pm \psi_n} + C + \Delta S_T - \Delta S_V. \quad (133)$$

Коэффициент дальномера  $K$  определяют для одной малой базы и увеличивают на число баз  $N$ . Коэффициент дальномера и постоянное значение параллактического угла определяют на базе длиной 360 м, разделенном на 12 интервалов, которые измеряются проволокой с точностью 1 : 20 000.

Поправку за температуру вводят тогда, когда температура, при которой измеряют линию, отличается от температуры определения коэффициента дальномера более чем на  $5^\circ \text{C}$ .

Для определения поправки за наклон линии измеряют угол наклона. Если используют горизонтальную рейку, то отсчет по вертикальному кругу берут после наведения ребра бипризмы на

середину рейки; при работе с вертикальной рейкой штрих би-призмы должен быть наведен на совмещенную пару марок.

Измерение параллактического угла с помощью комбинированного оптического компенсатора, когда работает клин и линзовый компенсатор (см. рис. 71), дает ряд преимуществ:

1) для измерения больших параллактических углов  $\psi$  нет необходимости сильно раздвигать линзы компенсатора, что ведет к появлению аберраций и мешает совмещению изображений марок. Линзовый компенсатор измеряет небольшие углы, а основную часть параллактического угла измеряют ахроматизированным оптическим клином; изображение реек остается четким;

2) наблюдают симметричным способом, когда совмещение изображений производится в центре поля зрения трубы. Это позволяет повысить точность совмещения изображений, применять способ двойного измерения одного и того же параллактического угла, что повышает точность измерений;

3) попеременно можно включать оптический клин, что необходимо для симметричного совмещения штрихов марок и снижения инструментальных ошибок, а также для устранения влияния дополнительного увеличения;

4) сокращается время на измерение параллактического угла.

При измерении расстояний дальномером ОТД на результаты оказывают влияние ошибки: внешних условий, совмещения изображений, отсчитывания, определения коэффициента дальномера и постоянной части параллактического угла, положения марок на рейке; параллакса, измерения углов наклона и др. Ослабление влияния различных ошибок достигается определенной методикой измерения и многократностью измерения параллактических углов в благоприятных условиях.

#### § 43. КЛАССИФИКАЦИЯ ДАЛЬНОМЕРОВ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Оптические дальномеры двойного изображения изготавливались и выпускались в соответствии с требованиями ГОСТ 11356—65. «Типы. Основные параметры и размеры» и 13626—68 «Технические требования».

Основные параметры и размеры применяемых дальномеров приведены в табл. 8.

Дальномеры двойного изображения согласно ГОСТ 22549—77 «Общие технические условия» делятся на следующие типы:

Д-2 — с переменным параллактическим углом, предназначен для измерения расстояний по горизонтальной или вертикальной рейкам в полигонометрии 2 разряда, теодолитных ходах, аналитических сетях с относительной ошибкой не более 1 : 5 000;

ДНР-5 — редуцированный дальномер в виде насадки на зрительную трубу теодолита с постоянным параллактическим углом; используется для измерения горизонтальных проложений по вер-

тикальной рейке в теодолитных ходах с относительной ошибкой 1 : 1000 — 1 : 2000 и для горизонтальной съемки застроенных территорий;

ДН-8 — в виде насадки с переменным параллактическим углом; используется для измерения линий по горизонтальной рейке в теодолитных ходах и аналитических сетях с относительной ошибкой не более 1 : 1000.

Основные параметры и размеры перечисленных дальномеров приведены в табл. 9.

При работе с дальномерами необходимо выполнять следующие требования:

рен отсчетного устройства дальномеров Д-2 и ДН-8 не должен превышать 0,1 цены деления отсчетной шкалы;

дальномер типа Д-2 должен иметь вертикальный круг с ошибкой отсчитывания не более 1' ;

Т а б л и ц а 9

Параметры	Типы дальномеров				
	ДН-04	ДНР-06	ДН-08	ДН-10	ДВ-20
Коэффициент дальномера	100	100	—	200	100, 200, 500
Пределы измеряемых расстояний, м	10—125	20—200	50—700	20—200	20—300
Средняя квадратическая ошибка, см на 100 м	4,0	6,0	8,0	10,0	20 и 40
Установка рейки	Гориз.	Вертик.	Гориз.	Вертик.	—
Длина рейки, не более, м	1,5	2,5	1,2	1,7	—
Длина базы при дальномере, см	—	—	—	—	60
Наименьшее расстояние между осями марок, см	2 и 1	2	102 и 55	1 и 5	20
Диапазон работы для углов наклона, градус	±30	±20	±30	±30	±40
Цена деления уровня на рейке, минута	5	5	5	10	—
Посадочный диаметр насадки, мм	46	46	46	38	—
Масса комплекта, кг	24	11	23	7	15
Параллакс (допустимое значение в делениях шкалы):					
между штрихами шкалы и верньера	0,010	0,015	—	0,025	—
между изображениями штрихов марок	—	—	0,2	—	0,1
между изображениями штрихов дальномера и шкалы микроскопа	—	—	0,1	—	0,1
Разница в длинах основных шкал или в расстояниях между осями марок, не более, мм	0,2	0,4	0,1—0,2	0,4	—

горизонтальные рейки должны иметь визиры, обеспечивающие их расположение перпендикулярно к измеряемой линии с ошибкой не более 20';

ошибка нанесения штриха основной шкалы у реек ДНР-5 не должны быть более  $0,07 \sqrt{n}$  мм, где  $n$  — число дециметров от начального до исследуемого штриха;

ошибка нанесения штриха шкалы верньера не должна быть более 0,05 мм, где  $l$  — длина шкалы верньера в дециметрах;

относительная ошибка определения базы на рейке не должна превышать 1 : 4000 для ДН-8 и 1 : 8000 для Д-2;

стрелка прогиба рейки и отклонение оси подставки относительно рейки не должны быть более 5 мм;

дальномеры должны обеспечивать возможность измерения линий при температуре воздуха от  $-40$  до  $+50^\circ$  С и относительной влажности воздуха 95 %;

штрихи верньера должны быть параллельны штрихам основной шкалы дальномерной рейки. Расхождения не должны превышать 30".

Крепление дальномерных насадок на оправке объектива зрительных труб теодолитов должно обеспечивать неизменным положение насадки при измерении линий.

Дальномеры с горизонтальной рейкой должны быть приспособлены для измерения расстояний по трехштативной системе.

Т а б л и ц а 9

Параметры	Типы дальномеров		
	Д-2	ДНР-5	ДН-8
Диапазон измерений, м	40—400	20—120	50—700
Средняя квадратическая ошибка измерения на 100 м, см	2	5	8
Диапазон работы для углов наклона, не менее, градус	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 30$
Диапазон автоматического редуцирования, не менее, градус	—	$\pm 10$	—
Посадочный диаметр насадки, мм	—	46	46
Увеличение зрительной трубы, не менее	25 $\times$	—	—
Длина рейки, не более, м	2,2	1,5	1,2
Цена деления уровня дальномера	45—5"	—	—
То же, рейки	5—1'	5—1'	10—1'
Масса, не более, кг	4	0,6	0,6

## § 44. ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ СВЕТО- И РАДИОДАЛЬНОМЕРАМИ

Бурное развитие науки и техники в XX в., особенно радиотехники и электроники, открыло возможности создания принципиально новых геодезических приборов для измерения расстояний, основанных на принципах электронного измерения времени прохождения измеряемого расстояния электромагнитными волнами. В зависимости от длины волны такие приборы подразделяются на светодальномеры, использующие поддиапазон видимых и инфракрасных длин волн, и радиодальномеры, использующие поддиапазон радиоволн.

Приоритет в разработке теории и конструировании светодальномеров принадлежит советским ученым и инженерам. Первый светодальномер был сконструирован в 1936 г. под руководством академика А. А. Лебедева в Государственном оптическом институте. В дальнейшем конструкции светодальномеров совершенствовались и в настоящее время известно достаточное количество как отечественных, так и зарубежных образцов, позволяющих решать многочисленные практические задачи в геодезии.

Свето- и радиодальномеры по сравнению с оптическими дальномерами обладают преимуществом измерения больших расстояний со значительно более высокой точностью измерений.

Качественное развитие электронной светодальномерной техники произошло в последнее время в связи с освоением новых источников излучения — лазеров, светодиодов, а также новых типов транзисторов и интегральных микросхем.

Для измерения расстояния передатчик и приемник электромагнитных волн устанавливаются на одном конце измеряемой линии, а на другом — переизлучатель, активный или пассивный.

Время прохождения измеряемого расстояния определяется по формуле

$$t = \frac{2S\pi}{c} = \frac{2S\sqrt{\mu\varepsilon}}{c}, \quad (134)$$

где  $S$  — измеряемое расстояние;  $c$  — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме;  $\pi$  — показатель преломления среды;  $\mu$  — магнитная проницаемость среды;  $\varepsilon$  — диэлектрическая постоянная среды (для вакуума  $\varepsilon = \mu = 1$ ). Величины  $\mu$  и  $\varepsilon$  зависят от влажности и температуры среды, а также от длины волны электромагнитных колебаний.

Существуют несколько методов определения времени прохождения электромагнитными волнами измеряемого расстояния; наиболее часто используемые: импульсный, фазовый, фазово-импульсный.

Сущность импульсного метода заключается в измерении временного промежутка между излучаемым и принимаемым от переизлучателя импульсом. Формирование импульсов электромагнитных

колебаний и измерение временных промежутков между излучаемым и принимаемым импульсом представляет определенные технические трудности. Поэтому импульсный метод применяется при измерениях больших расстояний, не требующих высокой точности.

При конструировании приборов для точных геодезических измерений наибольшее распространение получил фазовый метод, при котором измеряемое расстояние определяется по разности фаз излучаемых и принимаемых колебаний, прошедших измеряемое расстояние.

В общем случае при фазовом методе измеряемое расстояние

$$S_1 = \frac{v l}{2} = \frac{v}{2f} \left( N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \quad (135)$$

$$\text{при } \Delta\varphi = 0 \quad S_1 = \frac{\lambda N}{2},$$

где  $v$  — скорость распространения электромагнитных волн в среде измерения;  $f$  — частота электромагнитных волн;  $N$  — целое число периодов колебаний, укладывающихся в измеряемом расстоянии;  $\lambda$  — длина волны;  $\Delta\varphi$  — разность фаз излучаемого и принимаемого колебаний.

В зависимости от конструкции дальномера частота колебаний является постоянной или может плавно изменяться в небольших пределах. В первом случае измерение расстояний сводится к измерению разности фаз  $\Delta\varphi$ . Во втором случае в процессе измерения изменяют частоту  $f$  до такого значения, при котором разность фаз  $\Delta\varphi$  становится равной нулю или половине периода колебаний. В обоих случаях число целых периодов колебаний  $N$  определяют по известным значениям частоты и фазы колебаний.

При конструировании фазовых электронных дальномеров выбор рабочих частот оказывает существенное влияние на работу фазового дальномера. На относительно низких частотах (5—30 м) сравнительно просто измеряется разность фаз колебаний. Распространение волн этого поддиапазона в пространстве происходит не прямолинейно, поэтому большие помехи возникают в месте приема сигнала за счет различных переотражений.

Более короткие волны, менее 1 м, распространяются прямолинейно, лучше формируются в узкие пучки, но возрастают трудности в измерении разности фаз.

Используя преимущества обоих поддиапазонов, применяют модулированные колебания, в качестве несущей частоты используются частоты видимой и инфракрасной областей спектра частот (светодальномеры) и частоты УКВ и СВЧ поддиапазонов радиоволн (радиодальномеры). В качестве модулирующих колебаний применяются частоты от единиц до сотен мегагерц. Ширина диаграммы направленности светодальномеров составляет несколько угловых минут, для сантиметровых волн радиодальномеров — единицы градусов. При измерении расстояний светодальномерами достаточно в качестве отражателя использовать пассивный эле-

мент (трипельпризмы или обыкновенные зеркала), к отражателю в этом случае приходит значительная часть излучаемой передатчиком энергии. При использовании радиодальномеров вследствие больших потерь энергии из-за широкой диаграммы направленности в качестве отражателя приходится устанавливать переизлучающую станцию.

## § 45. СВЕТОДАЛЬНОМЕРЫ

Устройство и принцип действия светодальномера заключаются в том, что электромагнитные колебания видимого или инфракрасного участка спектра источника излучения подаются на модулятор. В модулирующем устройстве колебания несущей частоты модулируются напряжением генератора масштабных (модулирующих) частот. Тип модуляции зависит от применяемого источника излучения и выбранного метода модуляции. Модулированные световые колебания подаются на оптическое излучающее устройство. Направление максимума излучения на отражатель достигается с помощью визирного устройства. Отражатель направляет падающие на него электромагнитные волны к приемному устройству, совмещенному с передающим.

Оптическое приемное устройство формирует и передает принятые отраженные сигналы на усилитель и демодулятор. В результате демодуляции и усиления на устройство обработки подается напряжение модулирующей частоты принятого отраженного сигнала, отличающееся по фазе от напряжения генератора модулирующих частот, подаваемого для сравнения на устройство обработки.

Устройство обработки производит сравнение фаз напряжений излучаемого и принимаемого сигналов автоматически или с помощью оператора и выдает результат на индикаторное устройство. В зависимости от степени автоматизации конструкции светодальномера на табло индикаторного устройства выдается результат измерения в конечном виде или в промежуточных значениях, и тогда измеряемое расстояние получается путем вычислений.

В качестве источника излучения в светодальномерах применяются лампы накаливания, газоразрядные лампы, светодиоды, оптические квантовые генераторы (ОКГ). Лампы накаливания применяются только в светодальномерах, измеряющих небольшие расстояния.

Циркониевые и ртутные лампы дают яркость, примерно в 100 раз большую, чем лампы накаливания. Это позволяет значительно увеличить измеряемые расстояния даже в дневное время. Такие светодальномеры потребляют большую мощность.

Еще больший поток излучения дают ОКГ.

Светодиоды меняют интенсивность излучения в соответствии с изменением протекающего тока. Работают в диапазоне до сотен

МГц. Наиболее часто применяется светодиод из арсенида галлия, работающий в инфракрасной области спектра, излучающий поток мощностью несколько милливатт. Реже применяют светодиоды в видимой области спектра, у которых меньше мощность излучения.

Модуляторы для светодиодамеров бывают нескольких типов.

1. Модуляция изменением интенсивности излучения за счет изменения силы протекающего тока. Таким эффектом обладают полупроводниковые светодиоды. Рабочая частота до сотен мегагерц.

2. Модуляция плавным изменением частоты модуляции (ячейка Керра, механический модулятор).

Ячейка Керра представляет собой стеклянный сосуд, наполненный нитробензолом, в который помещены два электрода. Свет от источника при прохождении через поляризатор поляризуется в одной плоскости. При подаче на электроды напряжения нитробензол под действием электрического поля приобретает свойство двойного лучепреломления. В результате линейно поляризованный свет получается поляризованным в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и сдвинутым по фазе на величину, зависящую от величины приложенного напряжения. При прохождении через анализатор свет вновь линейно поляризуется, но его интенсивность будет меняться от степени поляризации. Степень поляризации зависит от величины подводимого модулирующего напряжения.

Достоинства модулятора Керра — малые габариты, надежность, работа с модулирующими частотами до 30 МГц, недостатки — большие потери света (до 80%), потребность в высоком напряжении и мощном генераторе, замерзание нитробензола при  $+5^{\circ}\text{C}$ .

В механическом модуляторе модуляция света осуществляется вращением диска с нанесенными на нем штрихами.

3. Модуляторы, работающие на постоянных частотах (все виды модуляторов с кварцевыми резонаторами; ультразвуковые модуляторы).

В кристаллических модуляторах под воздействием внешнего электрического поля возникает электрооптический эффект, накладывающийся на пьезоэлектрический эффект. В результате пластинка приобретает свойства двойного лучепреломления. Под воздействием переменного напряжения кристалл (кварц) получает свойства конденсатора Керра. Вместе с двумя поляроидами пластинка кварца образует модулятор света.

В ультразвуковых модуляторах используются колебания ультразвуковой частоты, создаваемые пьезокварцем, титанатом бария и другими веществами, создающими пьезоэффект. Эти колебания создают решетку; проходящий через нее свет образует дифракционные спектры. В сочетании с щелевой оптической системой, используя дифракцию света, осуществляют модуляцию светового потока по интенсивности. При приложении и снятии возбуждающего напряжения интенсивность света будет дважды меняться за

Таблица 10

Тип и наименование светодиодного номера	Страна-изготовитель	Дальность	Ошибка измерения	Тип излучателя	Тип модуляции	Индикация	Температурный предел, °С	Время измерения	Потребляемая мощность, Вт	Масса, кг
ЕОК 2000	ГДР	2000 м	10 мм	Светодиод GaAs	30 МГц		-30 + 40	2 мин	8	12
EOS	ГДР	Днем — 15 км, ночью — 25 км	$(5 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ мм	Лампа накаливания 10 Вт	Ультразвуковая ячейка с твердым веществом; 4 частоты модуляции 54—60 МГц		—	15 мин	70	70
HP3800B	США	3000 м	$(5 + 1 \cdot 10^{-7} S)$ мм	GaAs	4 масштабные волны — 10, 100, 1 000, 10 000 м		-10 + 40	2 мин	12	13
Д110	Швейцария	1 + 2000 м	1—2 см	GaAs	15 МГц		-25 + 50	15 с	12	21
Дистомат ДМ-1000	Швейцария	1 призма — 1500 м 3 призмы — 2500 м	До 1000 м 4 мм	GaAs	15 МГц	Автоматическая	-20 + 50	15 с	11	43
HP3805A	США	1 призма — 500 м; 3 призмы — 1000 м	$(14 + 30 \cdot 10^{-6} S)$ мм	GaAs		Цифровая				Прибор 2,5
ЕЛД1-2	ФРГ	1 режим — 2000 м 2 режим — 3000 м	5 мм 20 мм	GaAs		Автоматическая		5 с	4	3,5

Геоди- метр 12	Швеция	0,2— 1700 м	$(5 + 10 \cdot 10^{-6} S)$ мм	GaAS	14,98553 МГц	То же	-20 + 50	15 с	17	10
Микро- рейнджер	США	1—3000 м	$(5 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ мм	GaAS		»	-7 + 55	3 с	12	5,2
DM60	США	1—2000 м	$(5 + 1 \cdot 10^{-6} S)$ мм	GaAS		»	-10 + 50	15 с	15	4
Кубитейп 6BL	Швеция	1—3000 м	$(10 + 1 \cdot 10^{-6} S)$ мм	ОКГ		»	-20 + 50	30 с		8,2
Геодиметр MA-100	Англия		$(0,9 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ мм							
Теллури- метр										
ME-3000	Швейцария	3000 м	$(0,2 + 1 \cdot 10^{-6} S)$ мм	Ксеноновая импульсная лампа	5 разл. 500 МГц	Цифро- вое табло		2 мин	18	20
Мекометр										
NASM4B	Швеция	Днем — 1,5 км ночью — 15 км	$(1 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ см		Ячейка Керра 30 МГц				70	45
NASM-3	Швеция	Ночью — 0,02—15 км	$(1 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ см		Ячейка Керра 1,5 МГц				75	65
Кварц	СССР	Днем 1 м — 30 км Ночью 1 м — 50 км	$(1 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ см	ОКГ $\lambda =$ $= 0,6328$ мкм	4 частоты			40 мин	140	150
2CM2	СССР	2—2000 м	2 см		149,85; 1 498,5; 14 985 кГц					58
CM-3	СССР	2—1600 м	$(3 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ см	GaAS 0,9 мкм	30, 27, 29,9 МГц					
ГД-300	СССР	Днем — 10 км, ночью 0,4—17 км	$(1 + 2 \cdot 10^{-6} S)$ см		Ультразв. модулятор				300	250
МСД-1	СССР	1—300 м	1,5 мм		2 частоты		-10 + 40	5 мин	3	34,6

счет дифракции. Свет будет модулирован с удвоенной частотой возбуждения  $2f$ .

Достоинства ультразвукового модулятора — малые потери света (до 35%) за счет отсутствия поляризатора и анализатора, малое потребление энергии, возможность более высоких частот модуляции. Недостаток — необходимость термостатирования кварцевой пластины.

Оптическая система светодальномеров состоит из передающей и приемной частей и отражателя. Оптические системы передатчика и приемника должны обладать большими отверстием и фокусным расстоянием, чтобы получить на приемной стороне достаточную для сравнения силу света, значительно превышающую световые помехи.

Отражатели должны отражать падающий свет без потерь и не требовать точной ориентировки. Применяются обычные плоские зеркала, трипельпризмы, зеркально-линзовые системы.

В качестве демодулятора в большинстве случаев применяется фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), в котором происходит преобразование световых колебаний, падающих на катод ФЭУ, в электронный фототок с последующим его усилением. На дополнительный электрод ФЭУ подается сигнал от вспомогательного генератора, частота которого незначительно (единицы кГц) отличается от частоты модуляции. В результате преобразования в токе ФЭУ образуется переменная составляющая с частотой, равной разности частот вспомогательного генератора и модулирующей частоты отраженного сигнала. Преобразование применяется с целью упрощения схем усилителя и фазового детектора; усиление и детектирование осуществляются на более низкой частоте. Это сигнальное напряжение сравнивается в фазовом детекторе или в устройстве сравнения с напряжением опорной частоты, получаемой смещением напряжения генератора масштабной частоты с напряжением вспомогательного генератора. Иногда в качестве демодулятора применяют конденсатор Керра.

При измерениях светодальномерами используются различные методы и устройства для измерения разности фаз излучаемого и принимаемого сигналов. В автоматических светодальномерах это осуществляется электронными импульсными цифровыми устройствами. Часто измерение разности фаз осуществляют компенсационным методом. Разность фаз компенсируется электрическими фазовращателями, изменением длины оптической линии задержки и др.

Индикаторные устройства служат для индикации разности фаз. В автоматических светодальномерах на табло индикаторного устройства индицируется величина измеряемого расстояния. В других конструкциях применяются индикаторы разности или равенства фаз различных принципов действия: оптические, осциллографические, стрелочные и др.

Постоянно совершенствуясь, светодальномеры все в большей мере вытесняют механические средства измерения расстояний как весьма трудоемкие, дорогостоящие и недостаточно точные. В настоящее время в СССР и ряде зарубежных стран перешли к выпуску небольших по габаритам и массе электронно-оптических приборов, имеющих высокую точность измерения и экономичных. В табл. 10 приведены основные параметры и данные наиболее распространенных отечественных и зарубежных светодальномеров. Приведенная таблица может быть полезна при выборе типа прибора для выполнения геодезических работ.

#### § 46. СВЕТОДАЛЬНОМЕР СМ-3

Квантовый геодезический светодальномер малый с полупроводниковым излучателем предназначен для измерения расстояний от 2 до 1600 м со средней квадратической ошибкой  $m_{s_1} = 3$  см. Имеет фазовую электроннооптическую систему с фиксированными частотами и фотоэлектрической регистрацией фазы отраженного сигнала.

Принцип работы светодальномера показан на блок-схеме (рис. 73). Источник излучения 2 — светодиод из арсенида галлия с  $\lambda = 0,9$  мкм. Модулированное напряжением кварцевого генератора 1 излучение направляется оптической системой 3 на отражатель 4. Отраженный сигнал фокусируется приемной оптической системой 5 на фотоумножителе 7. Напряжение кварцевого генератора 1 подается на смеситель 10, куда также подается напряжение стабилизированного кварцем гетеродина 11. С выхода смесителя напряжение промежуточной частоты (100 кГц) через фазовращатель 9 и коммутатор фазы 8 подается на модулятор фотоумножителя, на который одновременно подается напряжение с гетеродина. Двойное модулирование фототока, вызываемого в ФЭУ принятым излучением, приводит к появлению в фототоке переменной составляющей, равной разности частот задающего генератора и гетеродина, т. е. с частотой 100 кГц. Переменная составляющая фототока взаимодействует с электрическим полем, создаваемым напряжением, подаваемым на модулятор ФЭУ со смесителя через фазовращатель и коммутатор фазы. Происходит фазовое детектирование, так как фототок зависит от разности фаз между излучаемым (опорным) и принимаемым сигналами. Фазовращателем 9 плавно изменяется фаза опорного сигнала так, чтобы разность фаз между опорным и отраженным сигналами была 90 или 270°. Отсчет по шкале фазовращателя соответствует разности фаз между опорным и отраженным сигналами.

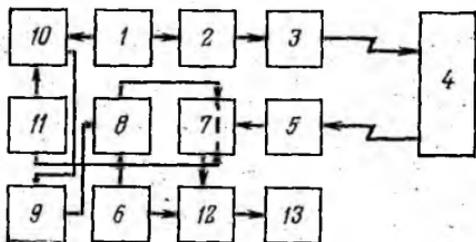


Рис. 73. Блок-схема светодальномера СМ-3

Для повышения точности измерений фаза опорного сигнала модулируется фазовым модулятором (коммутатором фазы) 8, меняющим фазу опорного напряжения на  $180^\circ$  с частотой 1 кГц; напряжение коммутации подается с генератора 6. В ФЭУ появляется составляющая тока частоты коммутатора с амплитудой, зависящей от разности фаз между опорным и отраженным сигналами. Синхронным детектором 12 сигнал выделяется и амплитуда регистрируется нуль-индикатором 13.

Оптическая схема светодальномера СМ-3 приведена на рис. 74 и состоит из трех основных частей: приемно-передающей, визир-

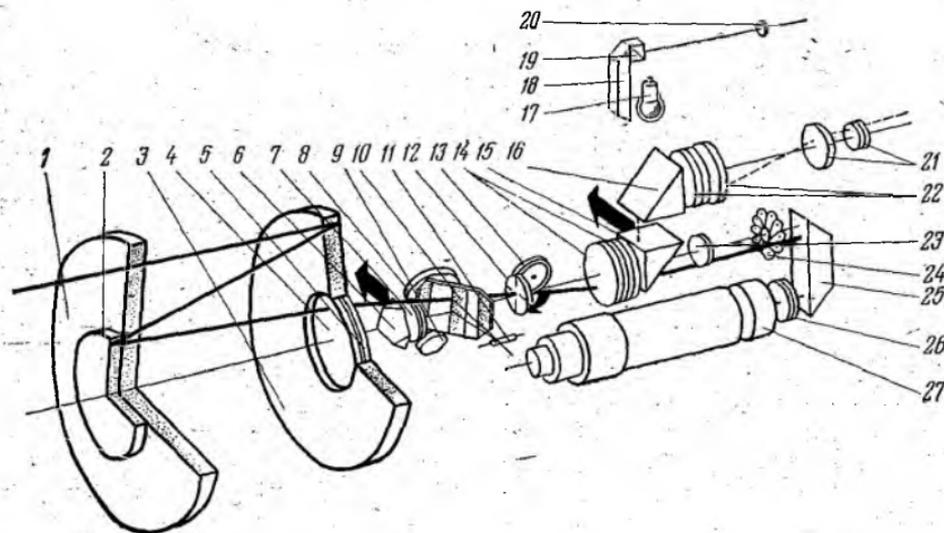


Рис. 74. Оптическая схема светодальномера СМ-3

ной и нулевого отсчета. Зеркально-линзовый объектив 1—5 направляет модулированное излучение на отражатель и принимает отраженные лучи. Совмещение достигается светоделительным стеклом 10 с нанесенными зеркальными полосами. Излучение сквозь просветы светоделительного стекла попадает на светопоглотитель, состоящий из наклонной вогнутой линзы 8 и плоскопараллельной пластины из цветного стекла 9, поглощающего излучение источника. Приемная оптика состоит из оборачивающей системы 14, призмы 25, линзы 23, интерференционного фильтра 26, переносящих изображение приемной диафрагмы на фотокатод ФЭУ 27. За линзой оборачивающей системы 14 находится апертурная диафрагма 24, обеспечивающая регулировку принимаемого сигнала для повышения точности измерений.

Изображение визирной сетки 12 передается в поле зрения окуляра 21 оборачивающей системой 22, призмой 16 и включающейся призмой 15. Визирование осуществляется через объектив приемно-передающей системы.

Система нулевого отсчета состоит из трипельпризмы 6 и объектива 7, фокальная плоскость которого совпадает с сеткой 12.

Световой поток излучателя 11, отраженный зеркальными полосо-сами светоделительного стекла, оборачивается и переносится на приемную диафрагму 13 и затем на фотокатод ФЭУ 27. На рис. 74 17 — лампа подсветки в кожухе, 18 — призма, 19 — светодели-тельный куб, 20 — линза.

Измеряемое светодальномером расстояние определяется по фор-муле

$$S = \left( N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \frac{v}{2f} + C, \quad (136)$$

где  $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)$ ,  $(\varphi_2 - \varphi_1)$  — разность фаз между опорным и отраженным сигналами;  $C = c_1 + c_2$  — постоянная светодаль-номера;  $c_1$  — расстояние от вертикальной оси прибора до его передней плоскости;  $c_2$  — расстояние от вертикальной оси отра-жателя до его плоскости.

Постоянная светодальномера  $C$  определяется на базе из срав-нения известной длины линии с длиной, измеренной светодально-мером.

Формула (136) не дает однозначности из-за неизвестности зна-чения  $N$ . Для разрешения неоднозначности в светодальномере предусмотрены три частоты модуляции:  $f_1 = 30$  МГц,  $f_2 = 27$  МГц,  $f_3 = 29,9$  МГц. Такой подбор частот позволяет однозначно опре-делять расстояние до 1500 м.

По формуле (136) для одного и того же расстояния, измерен-ного на трех частотах, можно записать:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{2} N_1 \lambda_1 + \frac{1}{2} \Delta\lambda_1, \\ S_1 &= \frac{1}{2} N_2 \lambda_2 + \frac{1}{2} \Delta\lambda_2, \\ S_1 &= \frac{1}{2} N_3 \lambda_3 + \frac{1}{2} \Delta\lambda_3, \end{aligned} \right\} \quad (137)$$

где  $N_1, N_2, N_3$  — целые числа,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  — длины волн на часто-тах  $f_1, f_2, f_3$ ;  $\frac{1}{2} \Delta\lambda_1, \frac{1}{2} \Delta\lambda_2, \frac{1}{2} \Delta\lambda_3$  — дробные части фазовых циклов, определенные на частотах  $f_1, f_2, f_3$ .

Так как  $S_1, N_1, N_2, N_3$  неизвестны, то для однозначного их определения нужно образовать разностные частоты:  $f_{1,2} = f_1 - f_2$  с длиной волны  $\lambda_{1,2}$ ,  $f_{1,3} = f_1 - f_3$  с длиной волны  $\lambda_{1,3}$ .

Поэтому измерение расстояний на трех фиксированных частот-тах сводится к измерениям на одной основной измерительной ча-стоте  $f_1$  и на двух разностных частотах  $f_{1,2}$  и  $f_{1,3}$ .

Частоте  $f_1 = 30$  МГц соответствует фазовый цикл  $\lambda_{1,2} = 5$  м,  $f_{1,2} = 3$  МГц соответствует фазовый цикл  $\frac{\lambda_{1,2}}{2} = 50$  м,  $f_{1,3} = 0,1$  МГц соответствует фазовый цикл  $\frac{\lambda_{1,3}}{2} = 1500$  м.

В комплект прибора СМ-3 (КДГ-3) входят: светодальномер (рис. 75), два отражателя (рис. 76), два соединительных кабеля, 3 двусторонних оптических центрира, термометр-пращ, два блока питания, 3 штатива и барометр.

Зеркально-линзовый отражатель (см. рис. 76) изготовлен из одного блока, состоящего из металлического корпуса 2, двух плат 3 с линзами-зеркалами имеющими закрепительные винты 1 и 4 горизонтальной и вертикальной осей.

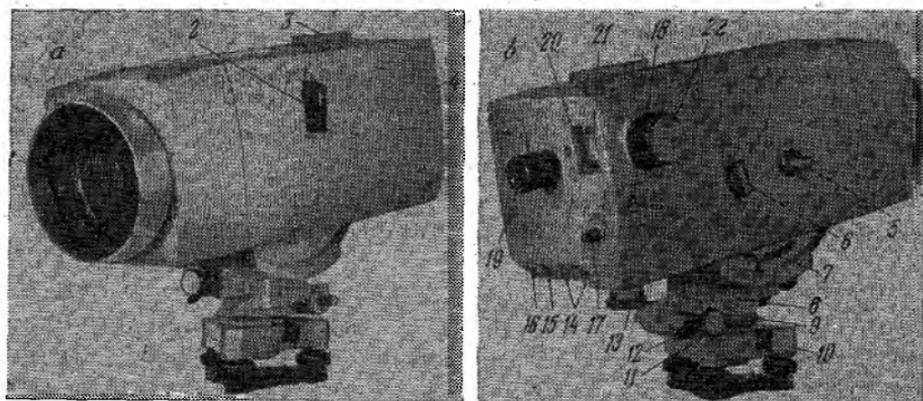


Рис. 75. Светодальномер СМ-3

Штативы светодальномера и отражателей центрируют над точками с помощью оптических центриров. После установки светодальномера производят прогрев термостата и проверку электрических цепей согласно инструкции по эксплуатации прибора завода-изготовителя.

Наводят объектив 1 зрительной трубы 4 светодальномера (см. рис. 75, а) с помощью визира 3 на отражатель и отражатель с помощью оптического визира на светодальномер.

Для измерения расстояний переключатель «частота» 2 устанавливают в положение I на указателе частот, что соответствует частоте  $f_1 = 30$  МГц. Включают тумблеры «питание» 16 и «подсветка шкал» (см. рис. 75, б). Ручку «нуль-визир — дистанция» 5 ставят в положение «нуль», ручку «визир — измерение» 6 — в положение «измерение». Тумблер «фаза 0 — фаза 90» 15 устанавливают в положение «фаза 0». Тумблер «грубо—точно» 18 устанавливают в положение «точно». Вращая ручку «фазовращатель» 22, добиваются, чтобы стрелка нуль-индикатора установилась на нуль (допускаются симметричные колебания стрелки индикатора относительно нуля).

Для правильного снятия по шкале фазовращателя 21 начального нулевого отсчета необходимо следить, чтобы движение стрелки нуль-индикатора к нулю совпадало с направлением вращения ручки «фазовращатель» (отсчет  $A_0^*$ ).

Верхний индекс (н) или (д) у буквы А обозначает нулевой отсчет или отсчет с дистанции, нижний — положение тумблера «фаза 0 — фаза 90».

Ручку «фазовращатель» 22 поворачивают на 180° и снимают нулевой отсчет по шкале фазовращателя 21, когда стрелка нуль-индикатора 20 подходит к нулю со стороны, противоположной направлению вращения ручки «фазовращатель» (отсчет  $B_0^n$ ).

Нулевые отсчеты  $A_0^n$  и  $B_0^n$  необходимо снять не менее 3 раз. Сняв нулевой отсчет, переводят ручку «нуль-визир — дистанция» 5 в положение «визир-дистанция». Снимают отсчеты с дистанции  $A_0^д$   $B_0^д$  (не менее 5 раз) аналогично снятию нулевых отсчетов. Полученные отсчеты записывают в журнал измерений.

На рис. 75: 7 — шкала наклонов; 8 — поворотное устройство; 9 — лимб, 10 — подставка; 11 — наводящий винт; 12 — закрепительное устройство; 17 — ручка апертурной диафрагмы.

Для исключения ошибок при снятии отсчетов необходимо: вращать ручку «фазовращатель» в одном направлении; следить, чтобы стрелка индикатора подходила к нулю шкалы при измерениях с дистанции с той же стороны, что и при снятии аналогичного нулевого отсчета.

По окончании цикла измерений тумблер 13 переключают в положение «фаза 90» и производят отсчеты  $A_0^n$ ,  $B_0^n$ ,  $A_0^д$ ,  $B_0^д$ .

Измерения на частотах  $f_2$  и  $f_3$  производят два раза.

Атмосферное давление измеряют с помощью любого анероида или высотомера с точностью 5 мм рт. ст.

Температуру воздуха определяют с точностью до 1° С.

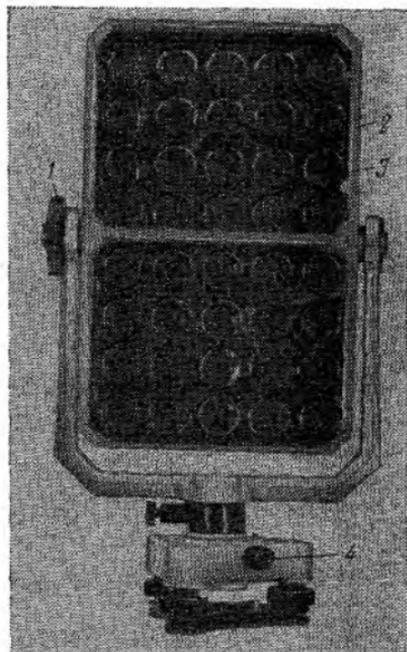


Рис. 76. Отражатель светодальномера СМ-3

### Обработка результатов измерений

1. Каждый цикл измерений контролируют по формуле

$$\Delta(A_{0,90}^n, \Delta \pm 180^\circ) - (B_{0,90}^n, \Delta) \leq 2^\circ.$$

2. Измерения, при которых  $|\Delta| > 2^\circ$  для  $f_1$  и  $|\Delta| > 5$  для  $f_2$  и  $f_3$ , из последующих результатов исключают.

3. Вычисляют средние значения отсчетов (нулевых и с дистанции):  $(A_{0,90}^H)_{\text{ср}}$ ,  $(B_{0,90}^H)_{\text{ср}}$ ,  $(A_{0,90}^D)_{\text{ср}}$ ,  $(B_{0,90}^D)_{\text{ср}}$ .

4. Вычисляют фазовые углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  для частоты  $f_1$  как разность между средними отсчетами с дистанции и средними нулевыми отсчетами при обоих положениях тумблера «фаза 0» и «фаза 90»:

$$\varphi_1' = (A_{0,90}^D)_{\text{ср}} - (A_{0,90}^H)_{\text{ср}},$$

$$\varphi_2' = (B_{0,90}^D)_{\text{ср}} - (B_{0,90}^H)_{\text{ср}}.$$

Для частот  $f_2$  и  $f_3$  вычисляют фазовые углы  $\varphi_1''$  и  $\varphi_2''$  как разности между средними отсчетами с дистанции и средними нулевыми отсчетами при положении «фаза 0»:

$$\varphi_1'' = (A_0^D)_{\text{ср}} - (A_0^H)_{\text{ср}}; \quad \varphi_2'' = (B_0^D)_{\text{ср}} - (B_0^H)_{\text{ср}}.$$

5. Вычисляют средние значения фазовых углов для частоты  $f_1$  при обоих положениях тумблера 15 (см. рис. 75, б)

$$\varphi_{f_1} = \frac{(\varphi_1' + \varphi_2') f_1}{2}; \quad \varphi_{f_1+90} = \frac{(\varphi_1' + \varphi_2') f_1 + 90}{2};$$

при этом должно выполняться условие:  $(\varphi_{f_1} - \varphi_{f_1+90}) \leq 2^\circ$ . В противном случае выполняют повторные измерения.

Для частот  $f_2$  и  $f_3$  вычисляют значения фазовых углов:

$$\varphi_{f_2} = \frac{(\varphi_1'' + \varphi_2'') f_2}{2}; \quad \varphi_{f_3} = \frac{(\varphi_1'' + \varphi_2'') f_3}{2}.$$

6. Вычисляют среднее значение  $\varphi_1$  фазовых углов  $\varphi_{f_1}$  и  $\varphi_{f_1+90}$  для частоты  $f_1$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{f_1} + \varphi_{f_1+90}}{2};$$

для частот  $f_2$  и  $f_3$  имеем

$$\varphi_2 = \varphi_{f_2} \quad \text{и} \quad \varphi_3 = \varphi_{f_3}.$$

7. Вычисляют разности фазовых углов, полученные при измерениях на разностных частотах

$$\varphi_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2; \quad \varphi_{1,3} = \varphi_1 - \varphi_3.$$

Измеряемое на одной частоте  $f_1$  расстояние вычисляют по формуле

$$S_{f_1} = S_1 + S_{1,2} + S_{1,3}, \quad (138)$$

где значения  $S_1$ ,  $S_{1,2}$ ,  $S_{1,3}$  находят из таблицы, приложенной к прибору, по соответствующему значению фазового угла.

При определении расстояния свыше 1500 м необходимо к полученной величине  $S$  прибавить значение целого фазового цикла на разностной частоте  $f_1 - f_3$ , т. е. 1498,552 м.

Пример вычисления линии приведен в табл. 11.

Для каждой частоты вычисляют средние значения отсчетов «нуль» и «дистанция». Затем вычисляют фазовые углы как раз-

Фаза	№ приема	Нуль		Дистанция		$A_0^Д - A_0^Н$ $B_0^Д - B_0^Н$	Среднее $\varphi$
		$A_0^Н$	$B_0^Н$	$A_0^Д$	$B_0^Д$		

## Частота 1

0	1	105	285	90	269		342,8
	2	107	287	89	268	343,7	
	3	106	286	90	269	342,7	
	Среднее	106,0	286,0	89,7	268,7	343,2	
90	1	353	173	335	156		
	2	353	173	335	156	342,0	
	3	354	174	336	157	343,0	
	Среднее	353,3	173,3	335,3	156,3	342,5	

## Частота 2

0	1	329	150	59	238		88,5
	2	330	150	58	240	89,0	
	3	331	151	60	240	89,0	
	Среднее	330,0	150,3	59,0	239,3	89,0	
90	1	79	259	168	348		
	2	80	260	167	347	88,0	
	3	79	259	167	347	88,0	
	Среднее	79,3	259,3	167,3	347,3	88,0	

## Частота 3

0	1	93	273	127	308		33,9
	2	94	273	127	308	33,3	
	3	95	275	128	308	34,3	
	Среднее	94,0	273,7	127,3	308,0	33,8	
90	1	338	159	11	191		
	2	338	160	13	194	34,0	
	3	338	157	12	193	34,0	
	Среднее	338,0	158,7	12,0	192,7	34,0	

ности между средними значениями отсчетов с дистанции и нулевых и среднее значение для каждой частоты. Вычисляют разности фазовых углов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 342,8 - 88,5 = 254,3;$$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = 342,8 - 33,9 = 308,9.$$

Разности фазовых углов можно найти по таблицам \*. В нашем примере они равны  $\varphi_1 - \varphi_2 = 250,8$  и  $\varphi_1 - \varphi_3 = 308,5$ . Затем определяют разности между табличным значением и вычисленным ( $\Delta_1 = -3,5$  и  $\Delta_2 = -0,4$ ), находят сумму этих разностей ( $\Sigma \Delta = -3,9$ ).

Состояние для первой частоты вычисляют по формуле

$$S_1 = 0,013876\varphi_1 + 4,995173N_1,$$

\* Таблицы определения  $N$  см. в работе [42, стр. 134].

где  $N_1$  — число циклов, величину которых находят из таблиц. В данном примере полное число циклов равно 196, тогда расстояние

$$S_1 = 0,013876 \cdot 342,8 + 4,995173 \cdot 196 = 983,811 \text{ м.}$$

Среднее значение расстояния, вычисленное по трем частотам, находят по формуле

$$S_{cp} = S_1 + 5 \text{ мм } \sum \Delta,$$

т. е.  $S_{cp} = 983,811 - 0,020 = 983,791 \text{ м.}$

Горизонтальное проложение линии, измеренной светодальнономером, определяется по формуле

$$s = S_1 + C + \Delta S_T + \Delta S_P - \Delta S_V. \quad (139)$$

В измеренное расстояние вводят поправки: за наклон линии, за температуру, за давление и постоянную светодальномера ( $C$ ),

#### § 47. СВЕТОДАЛЬНОМЕР 2СМ-2

Светодальнономер предназначен для измерения расстояний от 2 до 2000 м в дневное и ночное время со средней квадратической ошибкой 2 см. Вид прибора со стороны объектива и окуляра показан на рис. 77 а, б, отражатель из трипльепризм — на рис. 78.

Светодальнономер 2СМ-2 — электронно-оптическая фазовая система. Для разрешения неоднозначности измерения производят на трех частотах: 1 — 149,85 кГц, 2 — 1498,5 кГц, 3 — 14 985 кГц. Выбранная сетка частот дает результат измерений непосредственно в метрах и долях метра, не требуя дополнительных преобразований в процессе вычисления расстояний.

Принцип действия светодальномера показан на блок-схеме (рис. 79) и заключается в том, что излучение полупроводникового излучателя 1, модулированное напряжением генератора модулирующих частот 2, направляется с помощью оптической системы 3 к отражателю 4. Одновременно напряжение генератора модулирующих частот и напряжение гетеродина 5 подаются на смеситель опорного канала 6. С выхода смесителя напряжение разностной частоты подается на усилитель, ограничитель и формирователь 7. Сформированная последовательность опорных импульсов подается на счетный блок 8.

Отраженное отражателем модулированное излучение попадает на фотоприемник 9. В фотоприемнике оптический сигнал преобразуется в электрический, гетеродинируется, как и в опорном канале, и усиливается. Затем сигнал частично фильтруется контуром 10, усиливается 11, фильтруется активным фильтром 12 и в виде последовательности прямоугольных импульсов разностной частоты подается в счетный блок. Фазовращатель 13 в канале усиления сигнала служит для компенсации фазового сдвига в тракте дальномера и приведения показаний цифрового индикатора.

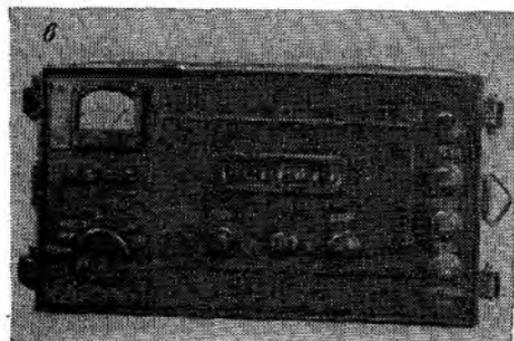
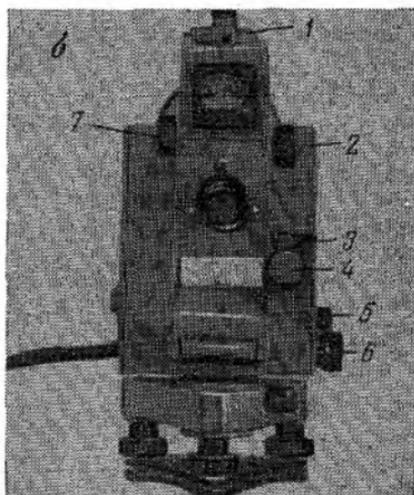
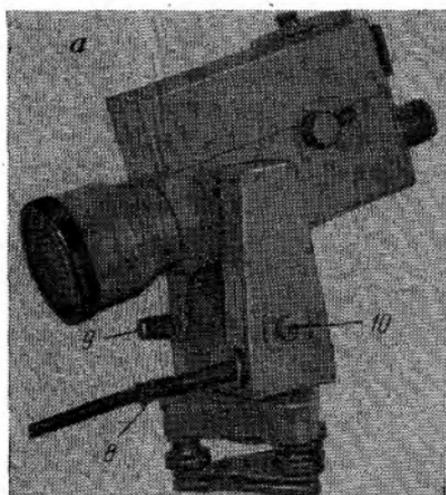


Рис. 77. Светодальномер  
2СМ-2

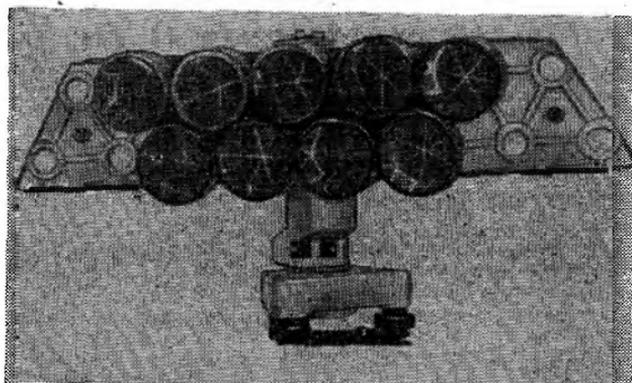


Рис. 78. Отражатель светодальномера 2СМ-2

тора при оптическом коротком замыкании к нулю с целью сокращения объема вычислений при обработке результата.

Счетный блок измеряет величину фазового сдвига между опорным и принятым сигналами путем сравнения по длительности сформированных эталонных временных интервалов с временным интервалом между опорным и измерительным импульсами.

Результат измерения просчитывается двоичнодесятичными счетчиками и высвечивается на цифровом табло.

Оптическая схема приемопередатчика показана на рис. 80. В приемопередатчике передающая, приемная и визирная опти-

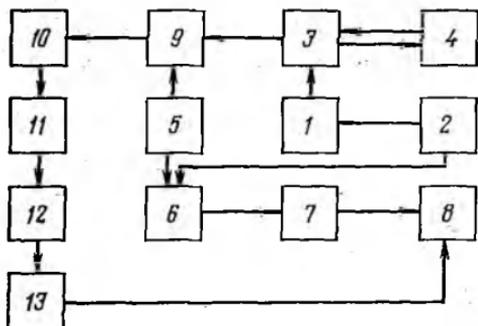


Рис. 79. Блок-схема светодальномера 2СМ-3

ческие системы соосно совмещены. Визирная система обеспечивает возможность наблюдения за положением отражателя в целях контроля в течение всего процесса измерения. Для всех трех систем используется один трехлинзовый объектив 4. Светоделительная пластинка 3, наклоненная на угол  $45^\circ$  к оптической оси объектива, разделяет визирную и передающую системы. Нанесенное на ней покрытие отражает инфракрасное излучение излучателя, но пропускает лучи видимой части спектра.

Лучи, идущие от излучателя 1, пройдя линзу 2 и отразившись от поверхности светоделительной пластинки 3, направляются на объектив 4, который формирует пучок и направляет на отражатель. Отраженный пучок лучей снова попадает на объектив, который фокусирует его в плоскость полевой диафрагмы 6. Зеркало 5 изменяет направление хода лучей на  $90^\circ$ . Изображение полевой диафрагмы проецируется объективом 7 с помощью призмы 8 на фотоприемник 10, при этом лучи предварительно проходят через интерференционный светофильтр 9. Линза 2 в передающей системе служит для увеличения светового потока и уменьшения фазовой неоднородности излучателя.

Полевая диафрагма ограничивает величину поля размерами изображения отражателя, срезая засветки фона.

Интерференционный светофильтр 9 служит для снижения уровня помех, т. е. выделяет из принятого излучения полезный сигнал.

Для исключения влияния фазовых задержек, возникающих в электрической части дальномера в процессе измерения расстояний, в оптическую систему периодически вводят блок оптического короткого замыкания ОКЗ, состоящий из трипельпризмы 12 и положительной линзы 11, точка фокуса которой совпадает с плоскостью полевой диафрагмы.

Визирная система состоит из объектива 4, сетки 13 и окуляра 14.

Электронный блок (см. рис. 77, в) служит для создания сетки высокостабильных масштабных и гетеродинных частот, обработки принятого сигнала и выдачи результатов измерения на цифровое электронное табло.

На лицевой панели электронного блока расположен контрольный прибор, позволяющий контролировать работоспособность отдельных блоков, цепей и прибора в целом (источника питания «акк», термостата «терм», фильтра сигнального канала «настр», нулевых отсчетов, счетного блока).

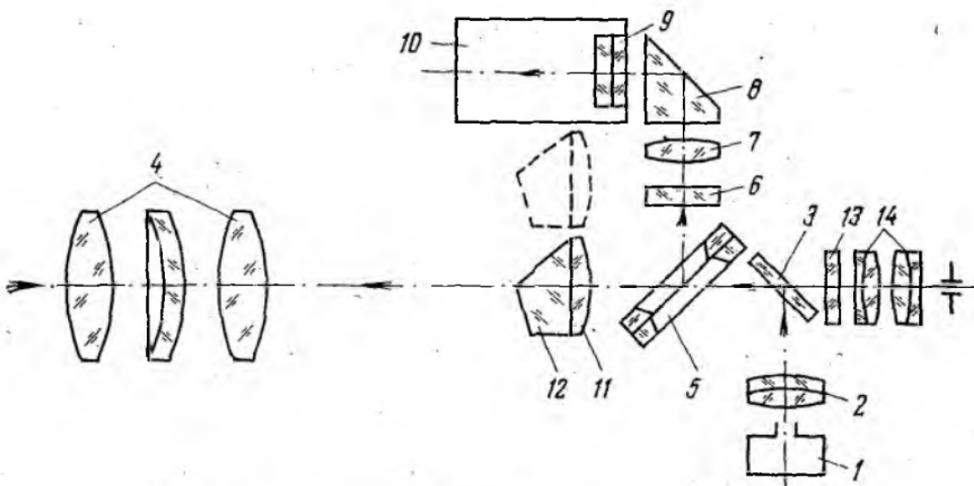


Рис. 80. Оптическая схема светодальномера 2СМ-2

### Измерение расстояний

Устанавливают светодальномер над точкой с помощью оптического центра 10 (см. рис. 77 а, б) и наводят его на отражатель, а отражатель — на светодальномер с помощью коллиматорного визира 1. Кабель приемопередатчика 8 присоединяют к электронному блоку. Переключатель «контроль» устанавливают в положение «акк» и включают питание.

Показание прибора должно быть не менее 24 делений. Проверку производят после нажатия кнопки «пуск» в момент свечения цифр счетного табло. Переключатель «контроль» переводят в положение «терм». Стрелка контрольного прибора должна отклоняться на 20—30 делений.

После уменьшения показаний контрольного прибора до 0—2 переводят переключатель «контроль» в положение «дист».

Устанавливают флажок рукоятки ОКЗ 7 приемопередатчика в горизонтальное положение, ослабляют закрепительные винты 3 и 5 наводящих винтов 4 и 6 и наводят визуально приемопередатчик на отражатель.

Наведение на максимальный уровень сигнала производят следующим образом: устанавливают ручку ФЭУ 9 приблизительно

В среднее положение. Вращением рукоятки апертурной диафрагмы 2 устанавливают показание стрелки индикаторного прибора на 10—20 делений; вращая винты горизонтальной и вертикальной наводки, добиваются максимального отклонения стрелки.

Тумблер устанавливают в положение I или II в зависимости от отсчетов. Нажимают на кнопку «пуск» и берут 2—3 отсчета по табло в положении «дист» переключателя режимов работы. Переводят переключатель в положение II и берут 4—5 отсчетов по табло. Поворачивают рукоятку 7 флажком вертикально, вращением рукоятки 2 устанавливают тот же уровень сигнала; нажимая кнопку «пуск», берут 4—5 отсчетов по табло. Такое измерение составляет один прием. При измерении расстояний делают не менее двух приемов.

Измеренное расстояние определяют по формуле

$$S = S_n + S_{\text{окз}}, \quad (140)$$

где  $S_n$  — полный отсчет измерения дистанции, снятый при положении «дист» переключателя режимов работы, уточненный со средним значением из всех отсчетов во всех приемах;  $S_{\text{окз}}$  — среднее арифметическое значение из всех отсчетов во всех приемах при измерении ОКЗ на частоте  $f_3$ .

Горизонтальное положение линии определяется по формуле (139).

#### § 48. СВЕТОДАЛЬНОМЕР ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ (СТ)

Предназначен для измерения расстояний от 100 до 2000 м днем и до 5000 м ночью со средней квадратической ошибкой 2 см при расстоянии до 2 км или 1 : 100 000 при расстоянии от 2 до 5 км.

Светодальномер фазовый с плавно изменяемой частотой модуляции в диапазоне от 23,8 до 26,8 МГц. Частота, модулирующая свет, определяется при наблюдении минимумов светового сигнала, расстояние определяется компенсационным способом экстремума. В 1961 г. по идее и конструкции В. Д. Большакова и А. И. Демускина был изготовлен светодальномер СТ-61, затем были выпущены модифицированные модели СТ-62, СТ-64, СТ-65, СТ-66.

Принцип действия заключается в следующем. Световой поток от источника 1 (рис. 81) через конденсатор 2 и поляририд 3 поступает на конденсатор Керра 4. В качестве источника света используется лампа накаливания СГ-2. Модулированный световой поток через фокусирующую линзу 5 и объектив 6 направляется на отражатель 7.

Отраженный световой сигнал через объектив 8 и фокусирующую линзу 9 подается на конденсатор Керра 10 и через поляририд 11 на окуляр 12. На модулятор 4 и конденсатор 10 подается напряжение модулирующего генератора 14. Поляририд 11 и конденсатор 10

выполняют функцию фазового детектора. Частота модулирующего генератора калибруется точным кварцевым генератором 13.

Наблюдая в окуляр 12 и плавно изменяя частоту модулирующего генератора, фиксируют минимальную яркость отраженного светового потока и соответствующую модулирующую частоту. С помощью кварцевого калибратора точно определяют частоту. Расстояние получают по формуле (135).

Для однозначного определения расстояния необходимо найти число  $N_1$ . Для этого изменяют частоту модуляции светового потока до следующего минимума и определяют частоту  $f_2$ . При этом число  $N_2$  будет на 1 больше числа  $N_1$ , если частота увеличилась, и на 1 меньше, если частота уменьшилась. Фиксируя частоты минимума в диапазоне частот генератора высокой частоты, всегда можно узнать разность порядковых номеров минимумов  $n$ , которая равна в то же время разности числа волн в наблюдаемых минимумах

$$n = N_2 - N_1. \quad (141)$$

Подставив в формулу (135) найденные из наблюдений значения  $f_1$  и  $f_2$  и учтя (141), решают два уравнения относительно  $N_1$  и  $N_2$ ; получают

$$S_1 = \frac{vN_1}{2f_1}; \quad S_2 = \frac{vN_2}{2f_2}; \quad N_1 = \frac{f_1}{f_2 - f_1} n; \quad N_2 = \frac{f_2}{f_2 - f_1} n. \quad (142)$$

За окончательное значение принимают среднее арифметическое,

$$S_{\text{ср}} = \frac{S_1 + S_2}{2}. \quad (143)$$

Основными частями комплекта светодальномера являются приемопередатчик (рис. 82 а, б) и отражатель (рис. 83).

В корпусе приемопередатчика смонтированы: светопередатчик, содержащий передающую трубу 6, модулятор и осветитель; светоприемник, содержащий приемную трубу 5 и визуальный фазовый детектор, отсчетное устройство лимба генератора высокой частоты; электронную систему, состоящую из генератора высокой частоты, электронного кварцевого калибратора, преобразователя напряжения питания.

На кронштейне светодальномера размещены закрепительный 4 и наводящий 3 винты для перемещения прибора в горизонтальной плоскости.

Подставка 2 как у теодолита, в котором расположен оптический центр 1. В комплект входит аккумуляторная батарея, рассчитанная на 6 ч работы. Подзаряжается она от сети 127/220 В через

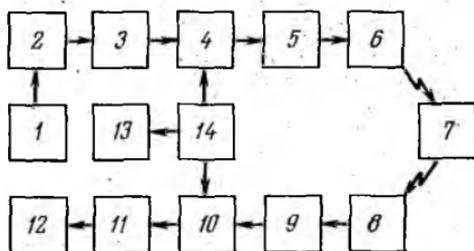


Рис. 81. Блок-схема светодальномера СТ

выпрямитель. Аккумуляторная батарея 12,6 В дает питание генератору и кварцевому калибратору. Потребляемая прибором мощность 30 ВА.

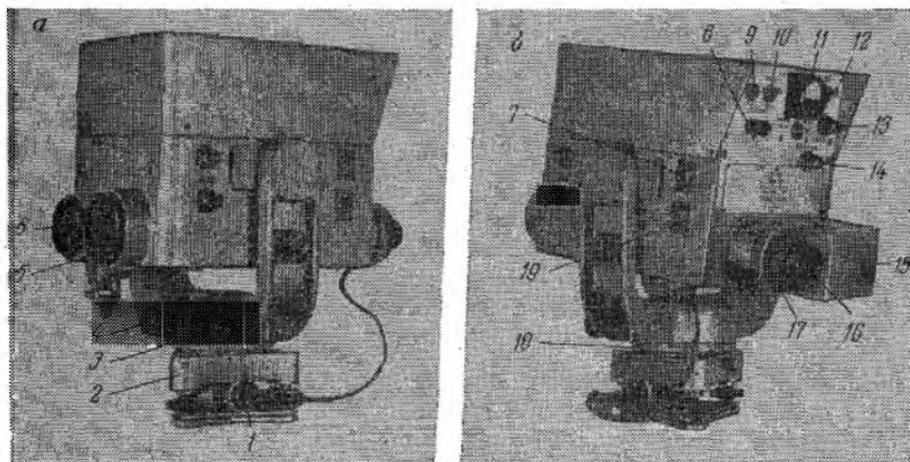


Рис. 82. Светодалномер топографический СТ

Отсчеты по шкале лимба 18 генератора производят при помощи отсчетного устройства через окуляр приемной системы 16.

Калибровку шкалы производят по точкам нулевых биений частоты, расположенным по шкале через 10 кГц (тумблер включения калибровочных точек 9). Таких точек на рабочей части шкалы (от 0 до 1000 делений) три. Гармоника частоты 10 кГц получается как разность частот эталонных кварцевых генераторов-калибраторов с частотами 110 и 100 кГц (тумблер включения 10 калибровочных точек 100 и 110 кГц). Момент равенства частот (нулевых биений) устанавливается по звуку при помощи головных телефонов 8.

Отражатель (см. рис. 83) состоит из корпуса 1, кронштейна 2 и подставки 3. В корпусе отражателя размещена

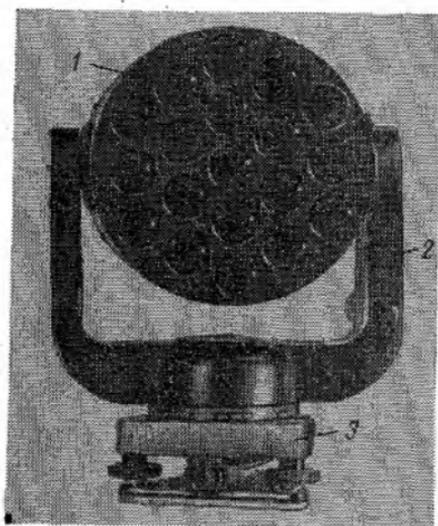


Рис. 83. Отражатель светодалномера СТ

зеркально-линзовая система, состоящая из 19 зеркал и 19 объективов. Фокусное расстояние объективов 120 мм, диаметр 28 мм. 18 объективов предназначены для отражения светового по-

тока, а 19-й для визирной трубы отражателя, в поле зрения окуляра которого расположен крест сетки нитей, служащий для наведения отражателя на приемопередатчик.

Параллельный пучок света от приемопередатчика, пройдя через объектив, фокусируется на зеркалах и, отразившись от них, выходит в виде параллельного пучка.

### Измерение линии светодаальномером

После центрирования и приведения осей прибора и отражателя в отвесное положение устанавливают тумблеры «свет» 19 (см. рис. 82) и «накал ламп» 7 в положение «выключено», а тумблеры регулировки напряжения 12 и 13 и контрольного прибора 11 — в крайнее левое положение. Кабель присоединяют к прибору и батарее. Стрелка контрольного прибора должна показывать 12,6—14 В. Включив тумблер 19 источника света, наводят прибор на отражатель. Включают тумблером лампы высокочастотного генератора, затем анодное напряжение 12. После подстройки 14 в резонанс производят поверки и необходимые юстировки прибора.

Измеряют высоту приемопередатчика и отражателя с точностью до 0,01 м. Определяют углы наклона на отражатели, температуру и давление воздуха.

Добиваются остроты минимума. Наводят приемопередатчик на отражатель и, вращая ручку «частота», добиваются минимума светового потока.

Прослушивают все калибровочные точки с частотой, кратной 100—110 кГц. Наблюдают все минимумы в диапазоне шкалы генератора высокой частоты. Выбирают в зависимости от расстояний необходимое число рабочих минимумов (вблизи калибровочных точек). Пример определения калибровочных точек дан в табл. 12.

На расстояниях 0,1—0,2 км наблюдают 2 минимума, при этом каждый минимум — 10 полуприемами; 0,2—1,0 км — 4 минимумами и пятью полуприемами; при длине свыше 1 км — 6—10 минимумов двумя полуприемами. Один полуприем состоит из четырех индикаций минимума с отсчетами по шкале генератора.

Из табл. 12 видно, что имеются три точки совпадения отсчетов в рабочем диапазоне шкалы на частотах 100 и 110 кГц: 213, 572 и 886. Первому совпадению отсчетов соответствует частота модуляции 24 200, последующим совпадениям — 25 300 и 26 400. Эти исходные частоты и используются для вычисления длины линии.

Пример наблюдения каждого отдельного минимума показан в табл. 13. Опознают ближайшую к минимуму калибровочную точку с частотой, кратной 100 кГц. Для этого устанавливают тумблер «100—110 кГц» в положение «100 кГц» и, вращая ручку «частота», фиксируют с помощью головного телефона ближайшую к минимуму точку нулевых биений, кратную 100 кГц. Отсчет с точностью до 0,1 деления шкалы записывают в журнал в графу «кварц» (в табл. 13—252,8).

Выполняют калибровку шкалы на узком участке, внутри которого находят рабочие минимумы, для чего тумблер «0—10 кГц» устанавливают в положение «10 кГц», включая калибровочные точки, кратные 10 кГц. Отсчеты на нулевую или десятую калибровочную точки должны совпадать с отсчетами соответствующих точек 100 кГц. Если отсчеты отличаются на величину, большую 0,1, калибровку повторяют. Отсчеты записывают в журнал (см. табл. 13) в графу «отсчеты точек нулевых биений» (241,6; 245,3; 248,9; 252,8).

Наблюдают минимум необходимым числом приемов. В каждом полуприеме берут четыре отсчета: первый при выходе из минимума со стороны младших отсчетов шкалы, второй — при выходе со стороны старших отсчетов, третий и четвертый аналогично первому и второму соответственно.

Т а б л и ц а 12

№ п/п	Отсчет	Частота	№ п/п	Отсчет	Частота
1	94	23 900			
2	135	24 000	1	127	23 980
3	175	24 100	2	176	24 090
4	213	24 200	3	213	24 200
5	250	24 300	4	253	24 310
6	285	24 400	5	293	24 420
7	320	24 500	6	330	24 530
8	352	24 600	7	364	24 640
9	382	24 700	8	398	24 750
10	411	24 800	9	428	24 860
11	441	24 900	10	464	24 970
12	473	25 000	11	500	25 080
13	506	25 100	12	536	25 190
14	540	25 200			
15	572	25 300	13	573	25 300
16	605	25 400	14	608	25 410
17	635	25 500	15	641	25 520
18	665	25 600	16	674	25 630
19	694	25 700	17	705	25 740
20	722	25 800	18	736	25 850
21	750	25 900	19	767	25 960
22	778	26 000	20	797	26 070
23	805	26 100	21	827	26 180
24	832	26 200	22	857	26 290
25	860	26 300	23	886	26 400
26	886	26 400			
27	912	26 500	24	915	26 510
28	938	26 600	25	944	26 620
29	965	26 700	26	973	26 730

Отсчеты записывают в журнал в графу «отсчеты по шкале генератора», первый и третий в левую колонку (243,1; 243,1), второй и четвертый в правую (255,0 и 255,0) с точностью до целых делений (до 1 км) и до 0,1 деления (свыше 1 км).

Вычисляют средние значения из отсчетов (243,1; 255,0; 249,05).

Выполняют повторную калибровку на рабочем участке шкалы. Записывают в правую графу «отсчеты точек нулевых биений» (252,8; 248,8; 245,2; 241,5). Так наблюдают каждый минимум (2, 3, 8, 9).

Из средних отсчетов по шкале генератора вычисляют среднее арифметическое из всех полуприемов. Эту величину сравнивают со средним значением, полученным при отсчетах.

Т а б л и ц а 13

Журнал наблюдений

Отсчеты по шкале (счет минимумов)

1	155	5	497	9	797	
2	246	6	578	10	863	
3	337	7	653	11	928	
4	416	8	726	12	997	
Минимум 2, кварц 252,8						
Отсчеты по шкале генератора		Средний отсчет	Отсчеты точек нулевых биений		Средний отсчет	Частота
243,1	255,0		241,6	241,5	241,6	24 270
243,1	255,0		245,3	245,2	245,2	24 280
243,1	255,0	249,05	248,9	248,8	248,8	24 290
243,1	256,0		252,8	252,8	252,8	24 300
244,1	255,0					
243,6	255,5	249,55				
244,1	256,0					
243,1	257,0					
243,6	256,5	250,05				
243,1	257,0					
243,1	256,0					
243,1	256,5	249,80				
244,1	256,0					
244,1	255,0					
244,1	255,5	249,80				
243,5	255,8	249,65				
$f = 24\ 292,22$						

Из калибровочной табл. 12 выписывают частоту модуляции, соответствующую 100 кГц, частоту модуляции в соответствии с отсчетами точек нулевых биений (10 кГц).

Вычисляют средний отсчет точек нулевых биений.

Определяют частоту модуляции по среднему отсчету шкалы генератора путем интерполирования.

Измеренное расстояние  $S$  вычисляют по формуле (135). Значение числа длин волн, укладываемых в двойном измеренном расстоянии, определяют по формуле

$$N_i = \frac{f_i}{\Delta f_{\text{cp}}} n, \quad (144)$$

где  $\Delta f_{\text{cp}}$  — средняя разность частот различных диапазонов наблюдаемых минимумов,

$$n = \frac{\Delta f_{\text{cp}}}{\delta f_{\text{cp}}},$$

$\delta f_{\text{cp}}$  — разность частот двух соседних минимумов в одном диапазоне.

Для контроля  $N_i$  вычисляют по формуле

$$N_i = \frac{f_i}{\delta f_{\text{cp}}} p, \quad (145)$$

где  $p$  — разность номеров соседних минимумов.

Пример вычисления линии дан в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Номер минимума	$f$	$\Delta f$	$N$	$\delta f$
2	24 292,2	1524,7	95,7	252,6
3	24 544,9	1526,7	96,7	
8	25 816,9		101,7	254,6
9	26 071,6		102,7	

$$\Delta f_{\text{cp}} = 1525,7 \quad \delta f_{\text{cp}} = 253,6$$

Номер минимума	$N$	$N \frac{\nu}{2}$	$f$	$S_1$	
2	95,7	14 341 056,5	24 292,2	590,356	$\Delta S_H = 0,018$ $\Delta S_U = 0,031$
3	96,7	14 490 910,8	24 544,9	590,386	
8	101,7	15 240 182,3	25 816,9	590,318	
9	102,7	15 390 036,6	26 071,6	590,298	

$$\nu = 149 854,3$$

$$S_{1\text{cp}} = 590,339$$

$$S = 590,339 + 0,210 - 0,018 + 0,031 = 590,562$$

Для получения горизонтального проложения в длину линии вводят поправки: постоянную приемопередатчика и отражателя, за температуру, давление, приведение длины линии к горизонту, к уровню моря, на плоскость в проекции Гаусса. Постоянная светодальномера и отражателя дается в паспорте или ее можно определить на контрольном базисе длиной 0,3—1 км, измеренном с точностью 1 : 100 000 ( $C = 0,210$ )

$$C = C_{\text{пр}} + C_{\text{отр}} = S_{\text{баз}} - S_{\text{свет}}. \quad (146)$$

Поправки находят по таблицам, приложенным к прибору, или вычисляют по формулам.

При измерениях на станции необходимо выполнять контроль: расхождения частот модуляции между приемами, выраженные в делениях шкалы генератора, не должны превышать при наблюдении каждого минимума 4—6 делений шкалы.

Допустимое расхождение в расстояниях, полученных на разных минимумах, не должно превышать

$$\Delta S = 2,83m_S \sqrt{n}, \quad (147)$$

где  $m_S$  — средняя квадратическая ошибка определения расстояния,

$$m_S = (15 + 3 \cdot S \text{ км}) \text{ мм}, \quad (148)$$

$n$  — число наблюдаемых минимумов.

Светодальномер СТ-66 работает в интервале температур от  $-20$  до  $+35^\circ\text{C}$  при наклонах линий до  $\pm 20^\circ$ , имеет новый калибратор на транзисторах, повышающий точность калибровки шкалы в 10 раз. Новый калибратор позволяет исключить применение дорогостоящих калибровочных таблиц и значительно облегчить изготовление и эксплуатацию прибора. Время измерения линии 15 мин.

#### § 49. КЛАССИФИКАЦИЯ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОВ

По ГОСТУ 19223—73 «Типы. Основные параметры и технические требования» для измерения расстояний при геодезических и маркшейдерских работах предусматривается выпуск светодальномеров, приведенных в табл. 15.

Основные параметры светодальномеров приведены в табл. 16.

Светодальномеры позволяют измерять расстояния при температурах: СБ-6 от  $-15$  до  $+30^\circ\text{C}$ , СМ-02 от  $-10$  до  $+40^\circ\text{C}$ , СМ-2 от  $-30$  до  $+40^\circ\text{C}$ , СМ-5 от  $-30$  до  $+40^\circ\text{C}$ .

Приемопередаточные оптические системы могут выпускаться как в виде самостоятельных приборов, так и в виде насадок на теодолиты (например, СМН-5).

Светодальномеры изготавливаются со следующими отсчетными устройствами:

механический счетчик, выдающий результаты измерений в метрической системе;

устройство, выдающее результаты измерений на световое табло в метрической системе или автоматически регистрирующее их на перфоленте или магнитной ленте;

фазометрическое устройство, шкала которого отградуирована в условных делениях.

Значение средней квадратической ошибки измерения расстояний одним приемом вычисляют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[\Delta_i^2]}{kn}}, \quad (149)$$

где  $\Delta_i$  — уклонения измеренных значений от длины контрольного базиса;  $n$  — число приемов измерений;  $k$  — количество контрольных базисов.

Т а б л и ц а 15

Тип светодальномера	Измеряемые расстояния	По точности	Использование
СБ-6	Большие	Высокоточный	Трилатерация и полигонометрия, базисы в триангуляции 1, 2 и 3 классов
СМ-02	Малые	Высокоточный	Инженерно-геодезические и маркшейдерские работы
СМ-2	Малые	Точный	Базисы в триангуляции, трилатерация и полигонометрия IV классов, полигонометрия 1 разряда
СМ-5	Малые	Технический	Полигонометрия 2 разряда, теодолитные ходы

Т а б л и ц а 16

Параметры	Типы светодальномеров			
	СБ-6	СМ-02	СМ-2	СМ-5
Средняя квадратическая ошибка определения расстояния одним приемом, не более, см	$1 + \frac{S_{км}}{5}$	0,2	2	5
Длина измеряемых расстояний:				
минимальная, не более, м	500	2	2	5
максимальная, не менее, км	50	0,3	2	0,5
Потребляемая мощность, не более, Вт	150	20	20	5
Время измерения линии, не более, мин	20	10	2	10
Углы наклона, не менее, градус:				
прибора	$\pm 5$	$\pm 40$	$\pm 20$	$\pm 20$
отражателя	$\pm 5$			
Относительная нестабильность частоты, не более	$5 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-5}$
Время предварительного прогрева прибора, не более, мин	30	10	10	10
Масса комплекта, не более, кг	150	60	70	35
Напряжение источника питания, не более, В	220	12	12	12

Показатели	Типы светодальномеров			
	СБ-6	СМ-02	СМ-2	СМ-5
Количество контрольных базисов, не менее	4	3	6	3
Длина контрольных базисов, км	1,5; 5,0; 10,0; 20,0	0,1; 0,2; 0,3	0,1; 0,3 0,5; 1; 1,5; 2,0	0,05 0,2 0,5
Число приемов измерения базисов, не менее	6	9	6	9
Ошибка в длине базиса, не более	$1 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$ ; $2 \times 10^{-6}$ при $S > 0,5$ км	$1 \times 10^{-5}$

Рекомендованные величины приведены в табл. 17. Фактические длины базисов не должны отличаться от номинальных более чем на 30%.

Постоянная поправка прибора определяется на контрольных базисах одновременно с калибровкой фазовращателя.

Штативы для светодальномеров изготавливаются по ГОСТу 11897—66.

### § 50. РАДИОДАЛЬНОМЕРЫ

Одновременно с широким внедрением в практику геодезических измерений светодальномеров значительное распространение получили электронные дальномеры, работающие в диапазоне радиоволн—радиодальномеры.

На работу светодальномеров существенное влияние оказывают атмосферные условия: лишь в последнее время с изобретением и внедрением в геодезическую практику лазерной техники существенно повысилась дальность действия светодальномеров без значительного увеличения габаритов и потребляемой мощности.

От этих недостатков избавлены радиодальномеры. Они могут работать практически в любых атмосферных условиях в любое время суток (кроме очень сильного дождя) на больших расстояниях (порядка 150 км) с малой ошибкой измерений, порядка  $(1 + 3 \times 10^{-6}S)$  см. Потребляемая мощность и масса увеличиваются незначительно.

Принцип работы радиодальномера незначительно отличается от работы светодальномера. Наибольшее распространение получили радиодальномеры, работающие по фазовому методу (измерение разности фаз излучаемого и принимаемого от активного переизлучателя сигналов). В качестве активного переизлучателя практически применяется аналогичная излучающей (ведущей) ведомая станция.

В диапазоне радиоволн диаграммы направленности передающей и приемной антенн значительно шире, чем в видимом и инфракрасном диапазонах волн. Вследствие этого основная часть излучаемой энергии рассеивается в пространстве, а на приемную антенну попадает неизмеримо больше колебаний, отраженных от поверхности грунта и шумов. Для устойчивого усиления и обеспечения уровня сравнения излучаемых и отраженных сигналов необходимо взамен пассивного отражателя применение активного переизлучателя.

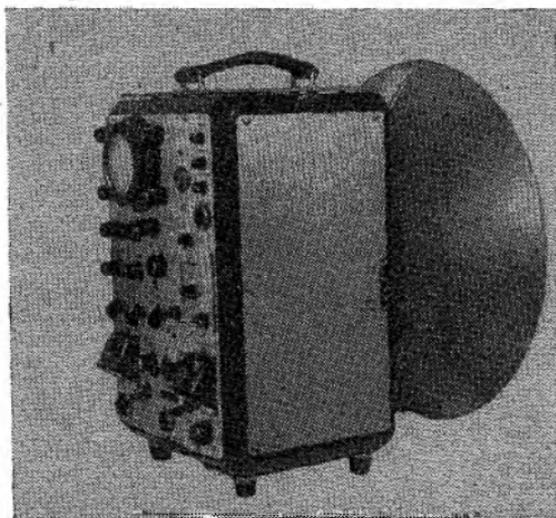


Рис. 84. Радиодальномер РДГВ

Антенные устройства радиодальномеров более громоздки по сравнению со светодальномерными излучающими и приемными устройствами. Однако технология изготовления радиодальномерных антенн гораздо проще изготовления оптических систем светодальномеров.

В качестве генераторов несущих частот в радиодальномерах применяют приборы сверхвысоких частот (СВЧ) — клистроны, магнетроны и др.

Часто в комплект радиодальномеров входят телескопические мачты высотой 15—30 м и соединительный кабель, что позволяет использовать вместо геодезических сигналов дистанционноуправляемый приемопередатчик, установленный на мачту.

В новых разработках радиодальномеров ведущие и ведомые станции могут работать в двух режимах передатчика и переотражателя. Это существенно увеличивает возможности радиодальномеров.

На рис. 84 изображен приемопередатчик радиодальномера РДГВ. Характерной особенностью радиодальномера является

Возможность работы в режиме как ведущей, так и ведомой станций. Конструктивно приемопередатчик представляет единое целое с антенной.

Формула для определения расстояний фазовым радиодальномером не отличается от формулы (135)

$$S = \frac{\lambda}{2} \left( N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right).$$

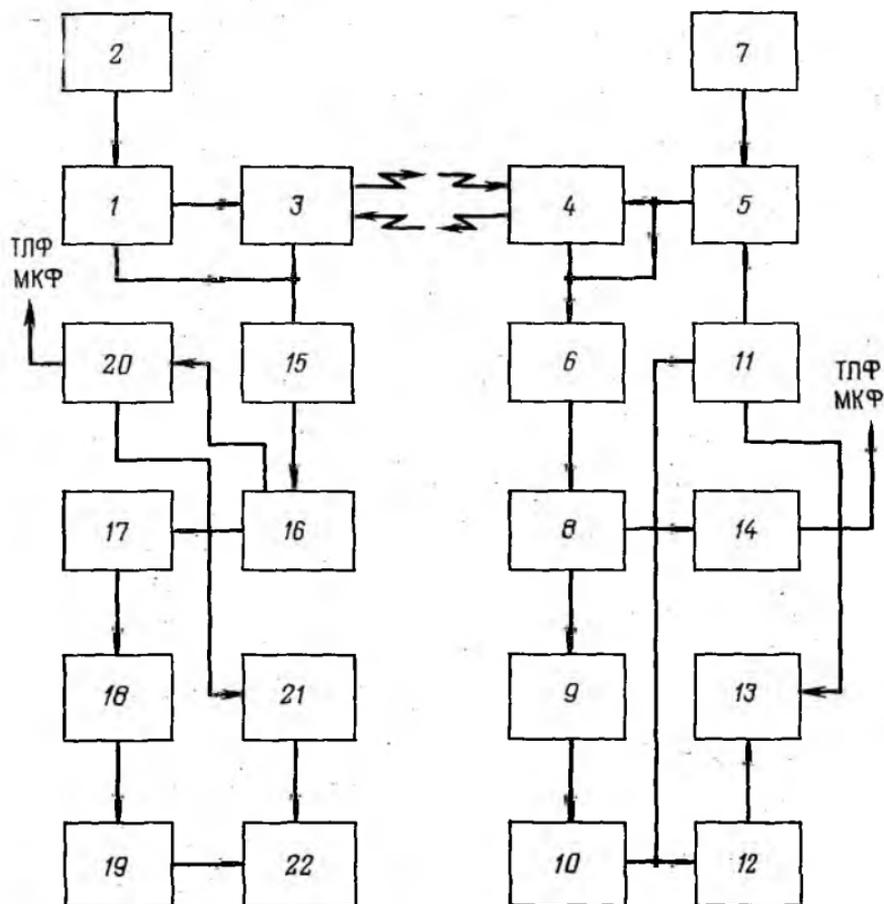


Рис. 85. Блок-схема радиодальномера РДГ

Принцип действия радиодальномера можно пояснить с помощью блок-схемы радиодальномера РДГ (рис. 85). Высоко-частотный генератор 1 ведущей станции генерирует сигналы частоты  $f_1 = 3000$  МГц частотно-модулированные напряжением частоты  $F_1 = 10$  МГц модулятора 2 колебания передающей антенной 3 излучаются в пространство в направлении на ведомую станцию. Принятые антенной 4 ведомой станции колебания подаются на смеситель 6, на который также подается напряжение собственного высокочастотного генератора 5 с частотой, отличающейся на

Таблица 18

Тип и наименование	Страна-изготовитель	Дальность, км	Ошибка измерения, см	Время, с	Индикатор	Несущая частота	Модулирующие частоты, МГц	Диаграмма антенны, градус	Мощность, Вт	Масса, кг
МД-60 Сигнал	Швейцария	Ясно 0,02—150; дождь 0,02—70	$(1 + 3 \cdot 10^{-6} S)$	30	Цифровой	Вед. 10 324,3; ведом. 10 335 МГц	149,8483 14,98483 14,977357 14,834982 13,486347	6	40	29
GET-A1	Венгрия	0,2—15	$(3 + 2 \cdot 10^{-6} S)$		»	2,75—3,15, 9,2—9,7 ГГц	10 10 10	18 6 10		8
GET-B1	Венгрия	0,2—50	$(5 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		Осцилло- графиче- ский	2,73— 3,18 ГГц	10	10		15
MRA-3	ЮАР	0,1—50	$(1,5 + 4 \cdot 10^{-6} S)$		Цифровой	10,025— 10,450 ГГц	7,5	9		52
MRA-4	ЮАР	0,05—60	$(0,3 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		»	34,5— 35,1 ГГц	75	2		25
MRA-101	ЮАР	0,1—50	$(1,5 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		»	10,05— 10,45 ГГц	7,5	6		50
ДМ-20 Электротейп Дистаметер	США	0,05—50	$(1 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		»	10,0— 10,5 ГГц	7,5	5		
	ФРГ	0,05—50	$(2 + 1 \cdot 10^{-5} S)$		»	10,0— 10,5 ГГц				10
РЕМ-2	ГДР	0,1—100	$(3 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		Осцилло- графический	9,0—9,3 ГГц	10	5		13,5
OG-2	ПНР	0,1—20	$(3 + 5 \cdot 10^{-6} S)$		То же	8,8—9,7 ГГц	15			12
ДИ-50 Дистомат	Швейцария	0,1—50	$(2 + 1 \cdot 10^{-5} S)$		Цифровой	10,2— 10,5 ГГц	15	6		52
Луч	СССР	2—40	$(3 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		Индикатор с фазовра- щателем	8600— 8900 МГц		4,5	80	95
РДГ	СССР	0,2—30	$(5 + 3 \cdot 10^{-6} S)$		Осцилло- графиче- ский	3000 МГц ведом. 3033 МГц	10; 9,939			16

33 МГц от несущей частоты ведущей станции. Модулирующая частота модулятора 7 ведомой станции отличается от модулирующей частоты ведущей на 1 кГц. Полученный после смещения сигнал усиливается в усилителе 8 и поступает на амплитудный детектор 9. Выделенные в результате детектирования синусоидальные колебания с частотой 1 кГц после усиления в усилителе 10 поступают в устройство формирования импульсов 11, которые модулирует генератор 5. Антенна ведомой станции излучает в сторону ведущей сигналы частотой  $f_2 = 3033$  МГц, модулированные по частоте синусоидальными колебаниями с частотой  $F_B = 9,9999$  МГц и импульсным напряжением с частотой следования 1 кГц.

В ведомой станции имеется формирователь горизонтальной развертки ЭЛТ 12, применяемой для контроля формы модулирующего импульса с формирователя 13.

Частотный детектор 14 служит для выделения сигналов радиосвязи между ведущей и ведомой станциями.

Принятые антенной ведущей станции сигналы одновременно с колебаниями несущей частоты  $f_1 = 3000$  МГц, промодулированные частотой  $F = 10$  МГц, подаются на смеситель ведущей станции 15. Выделенные колебания с частотой 33 МГц, промодулированные по амплитуде напряжением с частотой  $F - F_B = 1$  кГц и по частоте импульсным сигналом с частотой 1 кГц, усиливаются усилителем 16 и подаются на детекторы.

С амплитудного детектора 17 синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц после усиления усилителем 18 подается на формирователь круговой развертки ЭЛТ 19, а с частотного детектора 20 импульсный сигнал частотой 1 кГц после усиления усилителем 16 подается на управляющий электрод ЭЛТ 22. Модулируя круговую развертку по яркости, получают отметку разности фаз по затемнению части круговой развертки. Круговая шкала ЭЛТ имеет 100 делений. Для основной стабилизированной кварцем измерительной частоты  $F$  это соответствует изменению фазы в один период, т. е.  $S = 15$  см.

Для исключения неоднозначности измерение повторяют на вспомогательных частотах  $F_A, F_B, F_C$ . Разности между отсчетами при измерениях на основной частоте и на вспомогательных частотах позволяют определить однозначно расстояние более 15 м.

В табл. 18 приведены типы и основные параметры наиболее распространенных современных геодезических радиодальномеров как отечественных, так и зарубежных.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ

## § 51. СПОСОБЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ

При изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений для изображения рельефа на топографических картах необходимо знать отметки точек местности.

Для получения отметок точек местности нужно измерить превышение одной точки над другой, т. е. произвести нивелирование.

В зависимости от принципов, положенных в основу разных способов определения превышений, различают следующие виды нивелирования:

1) геометрическое, при котором превышения определяются с помощью горизонтального луча визирования;

2) тригонометрическое, при котором превышения определяются с помощью наклонного луча визирования;

3) барометрическое, основанное на зависимости атмосферного давления от высоты точек местности;

4) гидростатическое, основанное на принципе сообщающихся сосудов;

5) автоматизированное, в основе которого может быть принят любой из перечисленных методов. При нивелировании используются приборы — автоматы и полуавтоматы, а также автомашины и др.

## Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование выполняется двумя способами: нивелированием из середины и нивелированием вперед. Для определения превышения между точками  $A$  и  $B$  нивелир устанавливают посредине (рис. 86,  $a$ ), а в точках  $A$  и  $B$  — вертикально рейки. Отсчет берут по задней  $a$  и по передней  $b$  рейкам. Разность отсчетов и есть превышение.

$$h = a - b. \quad (150)$$

При нивелировании вперед нивелир устанавливают так, чтобы над точкой  $A$  находился окуляр (рис. 86,  $b$ ), а над точкой  $B$  ставят вертикально рейку. Рейкой измеряют высоту прибора  $i$  (приставляют рейку к окуляру и смотрят в объектив) и берут отсчет по передней рейке  $b$ . Превышение определяют как разность высоты нивелира и отсчета  $b$

$$h = i - b. \quad (151)$$

Нивелирование из середины имеет ряд преимуществ по сравнению с нивелированием вперед: производительность труда выше

в 2 раза; исключается влияние некоторых ошибок, влияющих на нивелирование.

Для определения превышения между точками  $A$  и  $D$ , расположенными на значительном расстоянии (рис. 87), используют

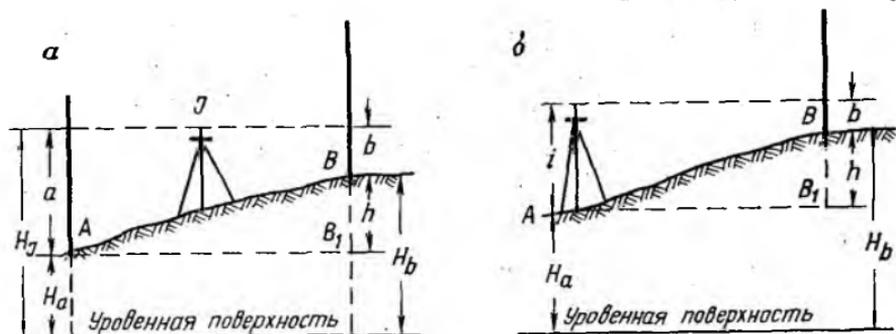


Рис. 86. Нивелирование способами из середины и вперед

метод последовательного нивелирования. На станции  $J_1$  устанавливают нивелир и берут отсчеты по задней  $a_1$  и передней  $b_1$  рейкам. Затем рейку из точки  $A$  переносят в точку  $B_2$  и со станции  $J_2$

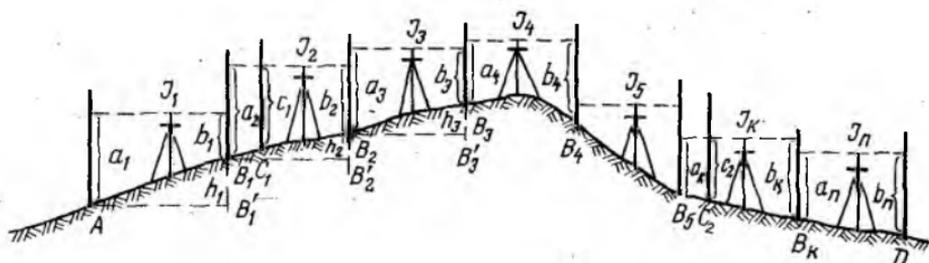


Рис. 87. Последовательное нивелирование

берут отсчеты  $a_2, b_2$  и так последовательно по всему ходу. Точки, которые в процессе нивелирования являются задними и передними, называются связующими точками ( $A, B_1, B_2, B_3, \dots, D$ ). Рейки устанавливают на башмаки, костыли или колышки, вбитые вровень с землей. Определяют превышения по ходу

$$h_1 = a_1 - b_1,$$

$$h_2 = a_2 - b_2,$$

$$\dots$$

$$h_n = a_n - b_n.$$

Зная отметку точки  $A$  ( $H_A$ ) и превышения между связующими точками, можно вычислить отметки точек

$$H_{B_1} = H_A + h_1,$$

$$H_{B_2} = H_{B_1} + h_2,$$

$$\dots$$

$$H_D = H_{B_k} + h_n.$$

Если отметки связующих точек не требуется определять, то можно вычислить отметку конечной точки хода по формуле

$$H_D = H_A + \sum_1^n h_i. \quad (152)$$

При нивелировании по ходу иногда возникает необходимость в определении отметок характерных точек местности, например  $C_1, C_2$ , которые называются промежуточными точками. Отметка промежуточной точки определяется через горизонт инструмента. Горизонт инструмента — это высота визирного луча над уровенной поверхностью. Например

$$H_{J_2} = H_{B_1} + a_2 = H_{B_2} + b_2. \quad (153)$$

Отметка промежуточной точки  $C_1$  определяется по формуле

$$H_{C_1} = H_{J_2} - c_1. \quad (154)$$

## § 52. КЛАССИФИКАЦИЯ НИВЕЛИРОВ

По ГОСТу 10528—76 «Нивелиры. Технические условия» нивелиры делятся на три типа:

Н-05 высокоточный с оптическим микрометром, позволяющий определять превышения при нивелировании I и II классов со средней квадратической ошибкой 0,5 мм на 1 км двойного хода;

Н-3 точный, используемый для нивелирования III и IV классов со средней квадратической ошибкой 3 мм на 1 км двойного хода;

Н-10 технический, применяемый при создании обоснования для крупномасштабных топографических съемок и для решения различных инженерных задач с точностью 10 мм на 1 км двойного хода.

Нивелиры типов Н-3 и Н-10 могут быть с лимбом для измерения горизонтальных углов; тогда в шифре нивелира добавляют букву Л, например Н-3Л. Если нивелиры изготавливают с компенсатором, то в шифре добавляется буква К, например Н-10КЛ.

Основные параметры нивелиров приведены в табл. 19.

Параметры для нивелиров с компенсаторами приведены в табл. 20.

Основными частями нивелира являются труба и уровень.

Главное требование, предъявляемое к нивелиру с уровнем: взаимная параллельность визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня, а к нивелиру с самоустанавливающейся линией визирования — горизонтальность визирной оси в пределах углов стабилизации компенсатора. Точность визирования горизонтальным лучом должна соответствовать разрешающей способности объектива, а соответственно и увеличению трубы.

Точность приведения визирной оси в горизонтальное положение у нивелира с уровнем зависит от цены деления уровня, а

у нивелира с компенсатором — от физических и геометрических свойств чувствительного элемента компенсатора.

Нивелиры классифицируются по двум признакам: по точности и установке визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение. По первому признаку, как видно из ГОСТа, нивелиры делятся на высокоточные, точные и технические. По второму признаку: нивелиры с уровнем при зрительной трубе и компенсатором углов наклона.

За последние 20 лет широкое распространение получили нивелиры с компенсаторами или с самоустанавливающейся линией визирования. Созданию таких нивелиров способствовало изобретение ряда компенсаторов, при помощи которых в горизонтальное положение автоматически устанавливается не весь прибор, а

Т а б л и ц а 19

Параметры	Типы нивелиров		
	Н-05	Н-3	Н-10
Средняя квадратическая ошибка определения превышения на станции, не более мм, при расстоянии от нивелира до реек:			
30 м	0,15	—	—
50 м	0,20	—	—
100 м	—	2,0	5,0
Увеличение зрительной трубы, не менее	40 <sup>×</sup>	30 <sup>×</sup>	20 <sup>×</sup>
Наименьшее расстояние визирования, м	5	2	2
Коэффициент нитяного дальномера	100—1%	100—1%	100—1%
Цена деления уровня на 2 мм установочного при трубе	5—1' 10—1"	10—2' 15—1,5"	10—2' 45—5"
Масса, кг	6	3	2

Т а б л и ц а 20

Параметры	Типы нивелиров		
	Н-05К	Н-3К	Н-10К
Диапазон работы, не менее	8'	15'	20'
Ошибка самоустановки линии визирования, не более	0,2"	0,5"	1"
Систематическая ошибка работы компенсатора на 1' наклона нивелира, не более	0,05"	0,3"	0,5"
Время затухания колебаний подвесной системы, не более, с	2	2	2

Только его геометрический элемент — визирная ось. Предварительное нивелирование производят по круглому уровню. Практически визирная ось устанавливается автоматически горизонтально с ошибкой не более 0,5". Нивелиры с компенсаторами имеют тот же размер и массу, что и с цилиндрическим уровнем.

Компенсаторы устанавливают внутри зрительной трубы, обычно между сеткой нитей и фокусирующей линзой, или перед

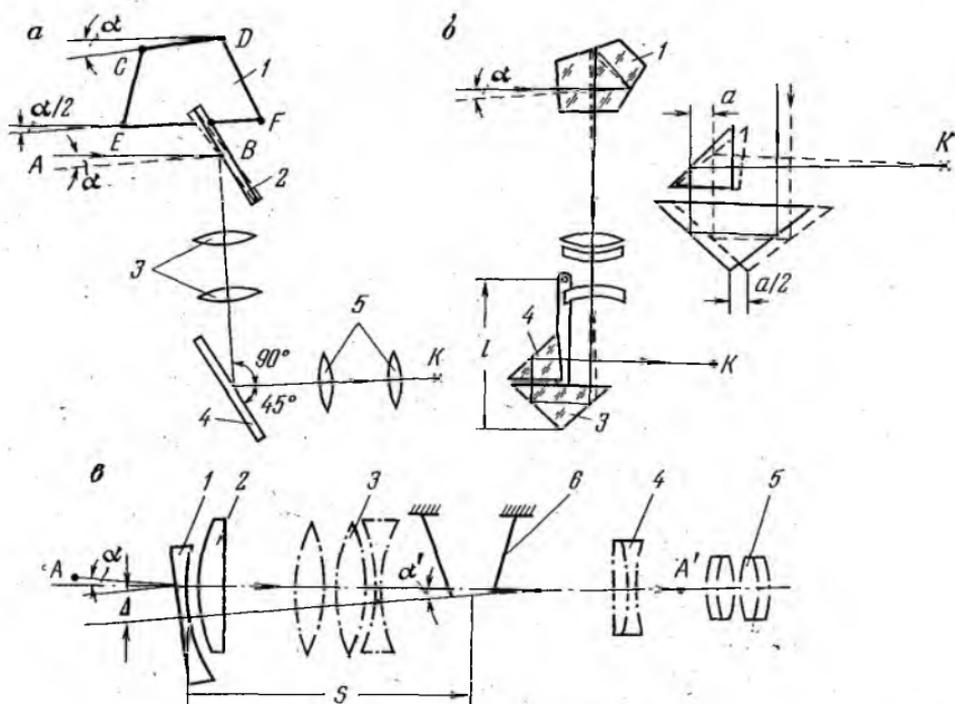


Рис. 88. Типы компенсаторов

объективом в параллельном пучке лучей. По принципу работы компенсаторы подразделяют на механические, оптические и оптико-механические.

Принцип работы компенсаторов заключается в том, что возникающее отклонение от горизонтального положения зрительной трубы и, следовательно, ее визирной оси может быть автоматически скомпенсировано смещением сетки нитей, изломом и смещением визирной оси. Все это достигается различными конструкциями компенсаторов, расположенными в трубе. Работа компенсаторов, расположенных перед объективом трубы, основана на принципе излома линии визирования.

Рассмотрим работу некоторых компенсаторов, применяемых в нивелирах. Компенсатор нивелира НЗК-1 зеркальный, установлен в ломаной (типа перископа) зрительной трубе. Зеркало 2 (рис. 88, а) подвешено на нитяной трапеции 1 так, что расстояние  $CD = 1/2 EF$ . При наклоне нивелира на угол  $\alpha$  зеркало изменит

наклон на  $\alpha/2$ . Из законов геометрической оптики известно, что при повороте зеркала на угол  $\varphi$  отраженный луч повернется на угол, равный  $2\varphi$ . Следовательно, луч, несущий информацию, отразившись от зеркала 2, повернувшегося на угол  $\alpha/2$ , изменит свое направление на угол  $90^\circ \pm \alpha$ . Отражившись от неподвижного зеркала 4, луч пройдет через перекрестие сетки нитей в точке  $K$ .

Работу призменного компенсатора можно проиллюстрировать на примере компенсатора нивелира Ni007 (рис. 88, б). Оптическим компенсатором служит призма 3, подвешенная в зрительной трубе перископического типа к маятнику длиной  $f/2$ . Луч, попадая в нивелир, через пентапризму 1 подается на призму 3 и через призму 4 — на перекрестие сетки нитей  $K$ . При наклоне нивелира свободно подвешенная призма 3 под действием силы тяжести переместится относительно лучей, идущих от рейки через пентапризму. Призма компенсирует наклон нивелира и луч снова попадет в перекрестие сетки нитей  $K$ .

Компенсация (смещение) составляет

$$\Delta = 2a = 2l\alpha,$$

где  $l$  — длина маятника;  $a$  — величина отклонения призмы;  $\alpha$  — предельный угол наклона трубы.

Автоматическая компенсация наклона визирного луча осуществляется при выполнении условия

$$f\alpha = 2l\alpha \quad (155)$$

и длины маятника  $l = 1/2f$ , где  $f$  — фокусное расстояние телеобъектива.

Демпфирование воздушное.

Линзовый компенсатор нивелира НСМ-2А состоит из двух линз: положительной 2, закрепленной неподвижно перед телеобъективом 3, 4 зрительной трубы, и отрицательной 1, оправа которой подвешена на нитях 6, противовеса и дополнительного грузика. Обе линзы в совокупности афокальны.

При горизонтальном положении трубы отрицательная линза не изменяет направления визирной оси. При наклоне трубы нивелира на угол  $\alpha$  (рис. 88, в) подвешенный на нитях рычаг с противовесом и линзой наклонится на угол  $\alpha' = K\alpha$  и сместит линзу на расстояние

$$\Delta = \alpha'S = K\alpha S,$$

где  $S$  — расстояние от линзы до средней точки крепления нитей к рычагу;  $K$  — коэффициент стабилизации, равный  $K = \alpha'/\alpha$  (отношению угла перемещения рычага к углу перемещения визирной оси).

Отрицательная линза сместит визирный луч в противоположном направлении на угол

$$\frac{\Delta}{f} = \frac{K\alpha S}{f} = \alpha, \quad (156)$$

т. е. вернет луч в прежнее горизонтальное положение.

В результате этого горизонтальный луч, идущий от рейки, преломляется линзой 1 и направляется в новое положение сетки нитей, которая рассматривается через окуляр 5.

Коэффициент стабилизации зависит от расстояния между точками крепления нитей, упругости нитей, геометрических и весовых характеристик устройства компенсатора. Предельный угол наклона  $\alpha = 8'$ .

Демпфирование компенсатора происходит за счет малого воздушного зазора между отрицательной линзой и защитным стеклом.

Конструкции компенсаторов постоянно совершенствуются. В настоящее время наибольшее распространение получили маятниковые компенсаторы. Основное различие заключается в способах подвески оптических элементов: на скрещивающихся нитях, на нитях шарнирного четырехугольника, на нитях простого физического маятника, на плоских пружинах и т. д.

Новейшие разработки используют для этих целей магнитные подвески, действие которых основано на взаимодействии полюсов магнитов, на одном из которых укреплен оптический элемент. Отсутствие механических связей и, следовательно, трения позволяет создать очень чувствительные компенсирующие системы.

Совершенствование нивелиров и особенно компенсирующих устройств позволяет полагать, что их применение в большинстве случаев позволит заменить нивелиры с уровнем. Однако не следует забывать, что работа этих нивелиров во многом зависит от динамических условий (воздействия вибраций машин, ветра и т. д.). Поэтому применение других типов нивелиров также не исключается.

Дальнейшее совершенствование нивелиров идет также по направлению автоматизации результатов нивелирования и регистрации их различными портативными регистрирующими устройствами.

### Высокоточные нивелиры

В производстве еще находят широкое применение нивелиры Н1 и Н2. Дадим их краткую характеристику.

Нивелир Н1 (рис. 89, а) предназначен для нивелирования I и II классов с использованием прецизионных инварных реек; позволяет определять превышения со средней квадратической ошибкой 0,5 мм на 1 км двойного хода.

Нивелир Н1 имеет компенсированный цилиндрический контактный уровень 1, изображение концов пузырька которого пе-

редается в поле зрения трубы. Для точной установки уровня служит элевационный винт 2.

Винт со шкалой позволяет наклонять плоскопараллельную пластину на угол до  $15^\circ$  и смещать вниз или вверх изображение рейки относительно перекрестия сетки нитей. На шкале винта 110 делений, цена одного деления 0,05 мм. Около шкалы винта к кожуху трубы прикреплен неподвижный отсчетный индекс. При отсчете по шкале винта, равном 50, плоскопараллельная пластина перпендикулярна к оптической оси трубы.

Цилиндрический уровень имеет цену деления 8—10". На ампуле уровня нанесена шкала, имеющая 25 делений (длина штриха деления 0,8 мм).

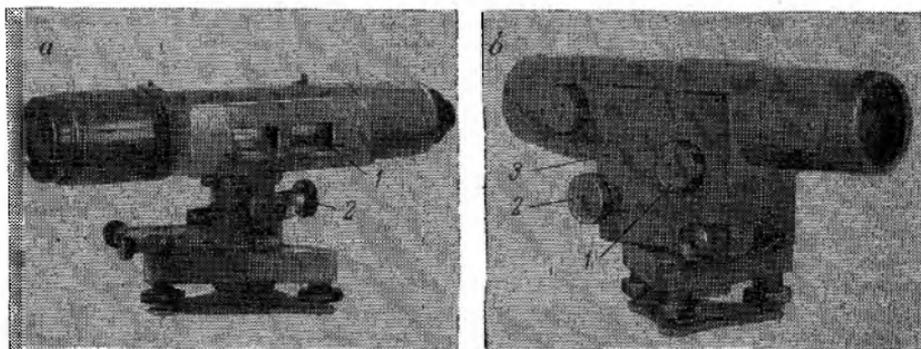


Рис. 89. Высокоточные нивелиры: Н1, Н2

Нивелир Н2 (рис. 89, б) с контактным цилиндрическим уровнем и элевационным винтом 2 предназначен для нивелирования II класса со средней квадратической ошибкой не более 1 мм на 1 км двойного хода. Нивелир снабжен оптическим микрометром (рукоятка винта 1 которого расположена на кожухе 3), состоящим из плоскопараллельной пластины, расположенной перед объективом, отсчетной шкалы и механизма наклона. Изображение отсчетной шкалы, концов пузырька и шкалы ампулы цилиндрического уровня передается в поле зрения трубы. Зрительная труба, цилиндрический уровень и механизм оптического микрометра заключены в металлический кожух для предохранения частей нивелира от неравномерного нагрева.

Микрометр работает в пределах 5 мм, т. е. одного наименьшего деления рейки. Шкала его разделена на 100 делений, наименьшее деление шкалы равно 0,05 мм.

Нивелир имеет дополнительную линзу, выполненную в виде насадки на объектив трубы и позволяющую сократить расстояние визирования до 1 м. Для юстировки визирной оси служит оптический клин, установленный перед плоскопараллельной пластиной и выполняющий роль защитного стекла, который может изменять положение визирной оси в пределах  $\pm 40''$ .

Согласно ГОСТу вместо нивелиров Н1 и Н2 выпускаются нивелиры Н05.

Из зарубежных высокоточных нивелиров заслуживает внимания нивелир прецизионный Ni002 с компенсатором (рис. 90, а) Народного предприятия «Карл Цейсс» (ГДР) выпускаемый с 1974 г.; обеспечивает нивелирование 1 класса со средней квадратической ошибкой не более 0,2 мм на 1 км двойного хода.

В нивелире Ni002 нет плоскопараллельной пластины, а роль микрометра выполняет объектив зрительной трубы, перемещающийся в вертикальной плоскости перпендикулярно к линии ви-

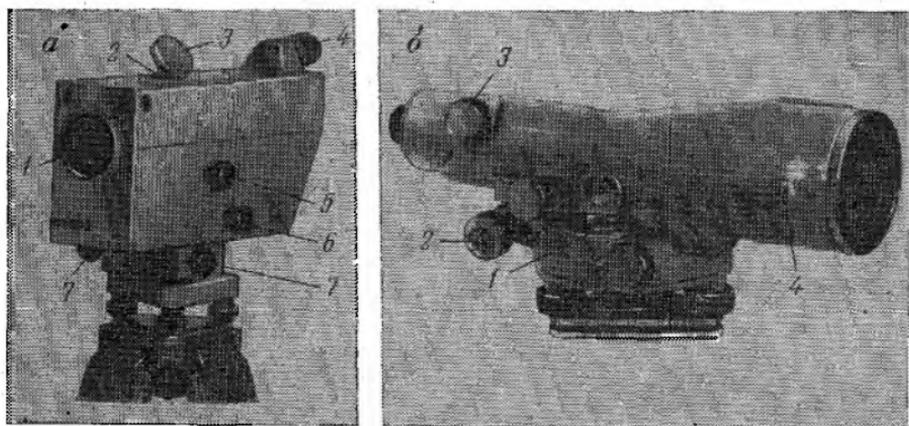


Рис. 90. Высокоточные нивелиры Ni002, NiA1

зирования вместе с сеткой нитей и шкалой микрометра. Перемещение объектива осуществляется наводящим винтом 6. Шкала микрометра связана с отсчетным индексом, укрепленным на оправе трубы. Изображение шкалы микрометра и смещенное изображение индекса через систему призм и линз передается в плоскость изображения окуляра 4, куда передается изображение и круглого уровня 2, снабженного зеркалом подсветки 3. Диапазон работы микрометра 5 мм. Цена деления отсчетного устройства 0,05 мм.

Оптическая система микрометра позволяет автоматически стабилизировать линию визирования в горизонтальном положении с помощью поворотного зеркала.

Объектив 1, сетка нитей, склеенная с ним, и подвешенное зеркало образуют измерительную систему прибора. Остальные оптические детали вместе с окуляром 4 относятся к наблюдательной системе.

Компенсатор при наблюдении поворачивают на  $180^\circ$  вокруг вертикальной оси нивелира, что освобождает результаты измерений от влияния «недокомпенсации» и позволяет вести наблюдения при неравенстве расстояний до реек в пределах до 10 м. Угол наклона компенсатора  $10'$ , точность установки компенсатора  $0,05''$ .

Расположение наводящих винтов 7 с обеих сторон, наличие у винта 5 фокусирующей линзы устройства для двускоростного быстрого, грубого и точного фокусирования, наличие поворачивающегося окуляра 4, позволяющего измерять превышения, не изменяя положения наблюдателя, — все это позволяет использовать нивелир при «моторизованном» нивелировании, когда нивелир и рейки в процессе работ устанавливаются на автомашинах.

Прецизионный нивелир NiA1 (рис. 90, б), выпускаемый заводом МОМ (ВНР), предназначен для нивелирования I и II классов со средней квадратической ошибкой 0,5 мм на 1 км хода. Глухой нивелир с элевационным винтом 2 и встроенным микрометром перед объективом с плоскопараллельной пластиной, вращающейся вокруг оси 4. Для приведения нивелира в рабочее положение служит круглый уровень 1, пузырек которого рассматривается при помощи призмы через окуляр отсчетного микроскопа, расположенного слева от окуляра зрительной трубы. Шкала микрометра имеет 100 делений с ценой деления 0,05 мм. Зрительная труба фокусируется винтом 3 и имеет 3 сложных окуляра с увеличениями 40, 32, 24×. Цена деления цилиндрического уровня 10"/2 мм.

### Точные нивелиры

Точный глухой нивелир НЗ (рис. 91, а) до 1962 г. выпускался под шифром НВ-1; он предназначен для нивелирования III класса со средней квадратической ошибкой 3 мм на 1 км двойного хода.

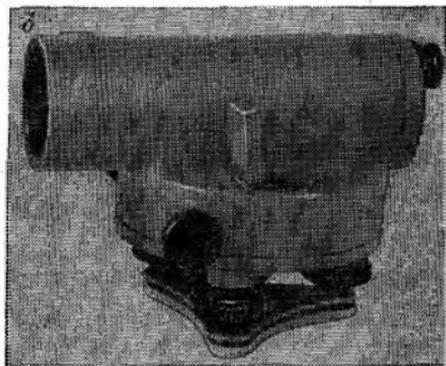
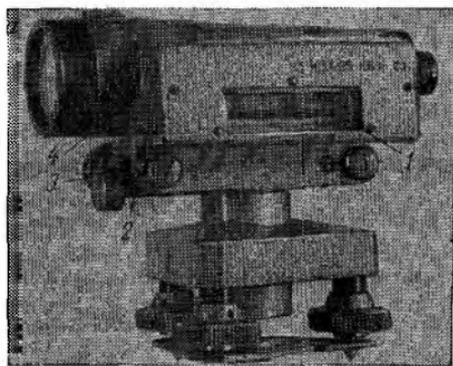


Рис. 91. Точные нивелиры НЗ, НС4

Приведение визирной оси в горизонтальное положение осуществляется при помощи контактного цилиндрического уровня 1, жестко скрепленного со зрительной трубой 4. Изображение концов пузырька уровня передается в поле зрения трубы. Юстировка цилиндрического уровня выполняется с помощью исправительных винтов, расположенных в гнезде, закрытом крышкой 2, а положение визирной оси — исправительными винтами сетки

нитей. Предварительную установку нивелира в рабочее положение проводят по круглому уровню путем вращения подъемных винтов. Точное совмещение концов пузырька цилиндрического уровня осуществляют с помощью элевационного винта 3.

Нивелир НС4 (рис. 91, б) предназначен для определения превышений при нивелировании IV класса и техническом. Нивелир снабжен призмным компенсатором, расположенным в сходящемся пучке лучей и обеспечивающим автоматическую установку линии визирования в горизонтальное положение при углах наклона прибора в пределах  $15'$ .

Успокоение чувствительного элемента компенсатора обеспечивается поршневым воздушным демпфером 8 (рис. 92) в теч-

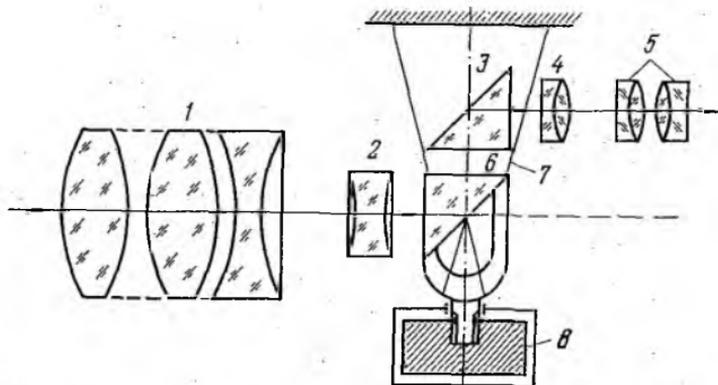


Рис. 92. Оптическая схема зрительной трубы нивелира НС4

ние 1 с. Точное визирование на рейку осуществляется с помощью винта бесконечной наводки вращением одного из двух его маховичков, расположенных с обеих сторон прибора. Быстрая установка нивелира в рабочее положение производится по круглому уровню вращением подъемных винтов с увеличенным шагом резьбы.

Высокое качество изображения, нечувствительность к температурным воздействиям, быстрое и надежное демпфирование обеспечивают достаточно высокую точность и скорость производства работ.

Особенностью компенсатора (см. рис. 92), состоящего из двух прямоугольных призм 3 и 6 (призма 6 подвешена к верхней части корпуса нивелира на двух парах скрещивающихся стальных нитей 7 диаметром 0,075 мм и длиной 26 мм), является то, что в нем полюс вращения призмы 6 совмещен с серединой ее отражающей грани и с центром тяжести подвески, находящимся на пересечении нитей. Это обеспечивает постоянство фокусировки и повышение точности работы компенсатора, так как сохраняется постоянство расстояния от отражающей грани призмы до сетки нитей при наклонах трубы нивелира. Труба имеет трехлинзовый объектив 1, фокусирующую линзу 2, сетку нитей 4 и окуляр 5.

Нивелир NiB3 завода MOM (ВНР) снабжен оптико-механическим компенсатором (рис. 93, а), состоящим из трех призм. Изменение линии визирования происходит при помощи одной подвешенной призмы. Нивелир имеет горизонтальный лимб

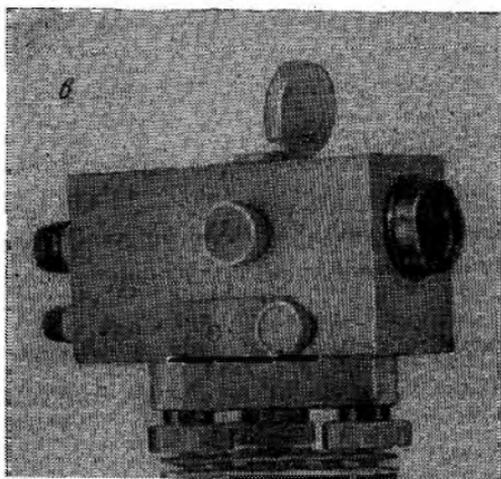
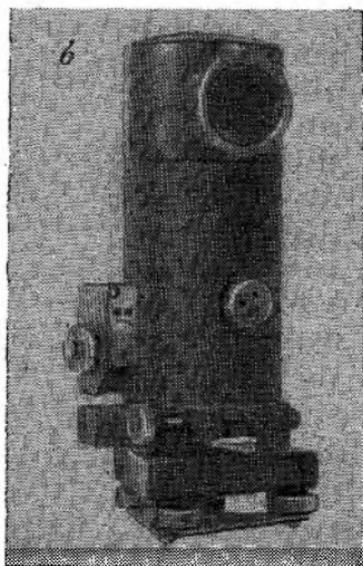
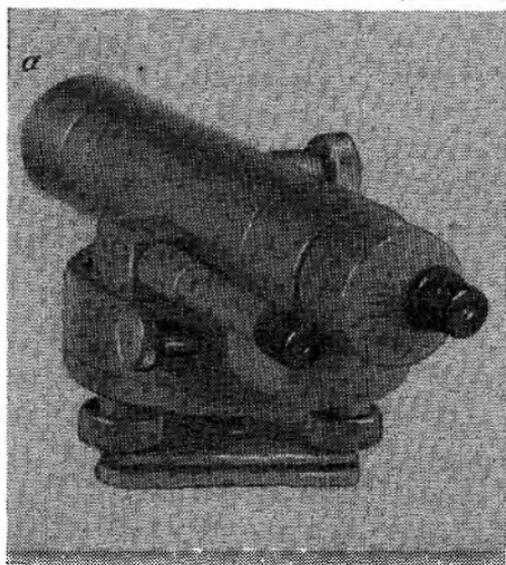


Рис. 93. Точные нивелиры NiB3, Ni007, Ni025

с односторонним шкаловым микроскопом. Угол стабилизации компенсатора 8—10', точность стабилизации 0,4". Для гашения колебаний служит двойной воздушный демпфер. Колебания погашаются за 1 с.

Нивелир Ni007 (рис. 93, б) Народного предприятия «Карл Цейсс» (ГДР) имеет перископическую зрительную трубу с оптико-механическим компенсатором, расположенным между сеткой ни-

тей и фокусирующей линзой. Компенсатором является умножительная прямоугольная призма, прикрепленная к маятнику и поступательно смещающая визирный луч. Предельный угол стабилизации  $10'$ , точность стабилизации  $2-4''$ . Колебания маятника погашаются воздушным демпфером. В рабочее положение нивелир устанавливают по круглому уровню. Для точного отсчитывания по рейке нивелир снабжен оптическим микрометром, цена деления шкалы которого равна  $0,05$  мм. Нивелир имеет горизонтальный круг с микроскопом-оценщиком. Цена деления лимба  $10'$ , точность отсчета  $1'$ . Точность определения превышений  $2-3$  мм на  $1$  км хода при работе с шашечными рейками и  $0,5-0,8$  мм с использованием микрометра и инварных штриховых реек.

Нивелир Ni025 «Карл Цейсс» (ГДР) предназначен для определения превышений с точностью  $2,5$  мм на  $1$  км двойного хода (рис. 93, в); он имеет оптико-механический компенсатор с подвеской маятникового типа. Компенсатор работает при углах наклона  $10'$ , точность стабилизации  $0,5''$ .

### Технические нивелиры

Малогобаритный глухой нивелир НТ (рис. 94, а) с цилиндрическим уровнем при трубе и горизонтальным кругом предназначен для технического нивелирования со средней квадратической ошибкой не более  $15$  мм на  $1$  км одинарного хода. Изображение концов пузырька цилиндрического уровня  $1$  передается при помощи специального призмного устройства в поле зрения трубы. Их точное совмещение осуществляется при помощи элевационного винта  $2$ , расположенного между зрительной трубой и основанием прибора. Вместо подставки нивелир имеет шаровую пятку, с помощью которой и круглого уровня устанавливают линию визирования в горизонтальное положение. Отсчетное устройство лимба  $3$  обеспечивает точность отсчитывания при угловых измерениях до  $0,1'$ .

Нивелир НТС (рис. 94, б) с компенсатором позволяет определять превышения с точностью  $8-10$  мм на  $1$  км одинарного хода.

Компенсатор (рис. 95) состоит из двух пентапризм  $1$  и  $2$ , склеенных между собой и укрепленных на мостике, наглухо скрепленном с корпусом трубы и подвижной прямоугольной равнобедренной призмой  $3$ , находящейся в подвижной прямоугольной рамке, подвешенной на двух свободно посаженных шарикоподшипниках. Изменение фокусировки трубы осуществляется призмой  $3$ .

Нивелир Ni050 Народного предприятия «Карл Цейсс» (ГДР) с компенсатором позволяет определять превышения с точностью  $7-8$  мм на  $1$  км одинарного хода. На рис. 94, в показан прибор, а на рис. 96 оптическая схема трубы. Нивелир не имеет подъем-

ных винтов, а вместо них снабжен двумя соприкасающимися между собой металлическими дисками, имеющими форму клина. Изменением положения этих дисков можно изменять наклоны нивелира в пределах  $5-6^\circ$ .

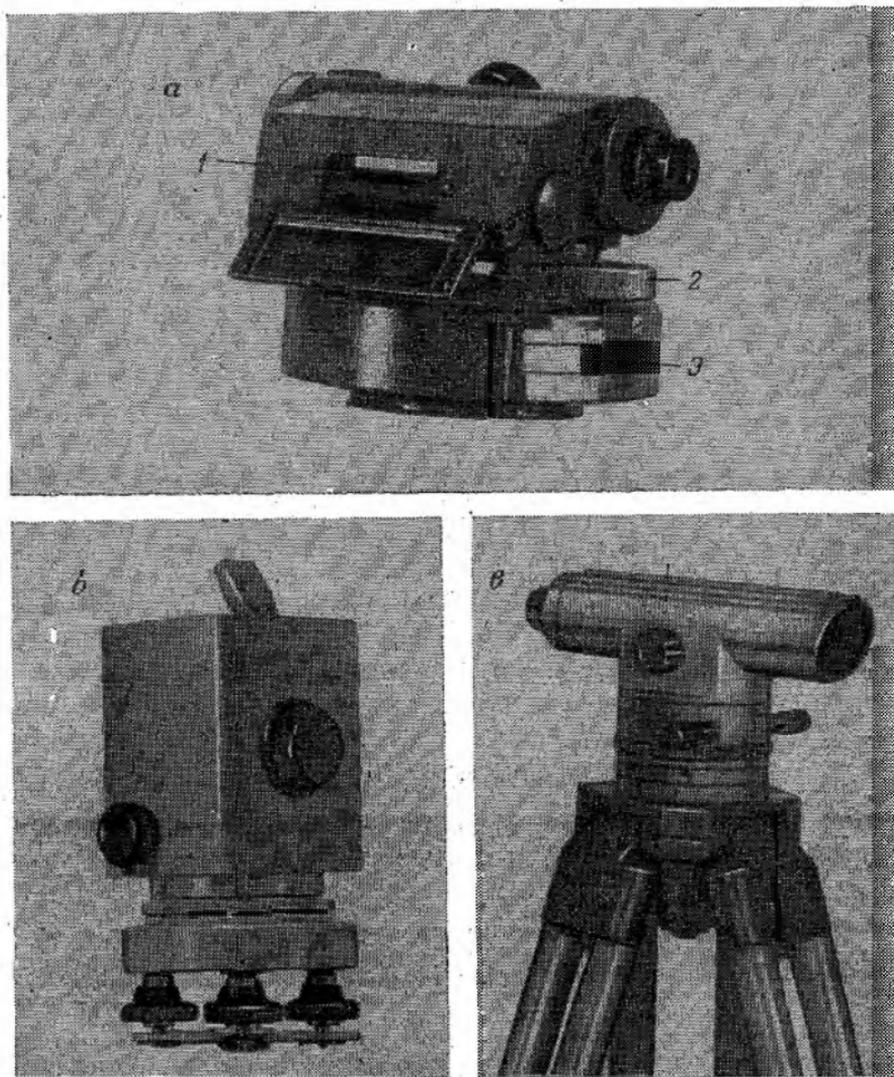


Рис. 94. Технические нивелиры НТ, НТС, N1050

Компенсатор состоит из двух прямоугольных подвижных призм 2 и 4, жестко скрепленных между собой и подвешенных на стальных ленточках, и одной призмы 3, соединенной с корпусом нивелира и выполняющей роль фокусирующей линзы.

Зрительная труба нивелира дает прямое изображение шкалы рейки.

Луч света, пройдя через объектив 1, призмы 2, 3 и 4, попадает на оборачивающую систему линз 5, сетку нитей 6 и окуляр 7.

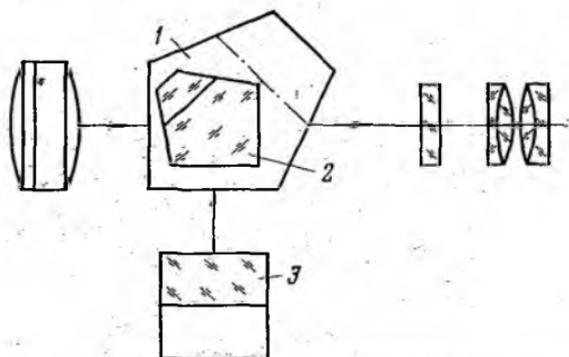


Рис. 95. Оптическая схема зрительной трубы нивелира НТС

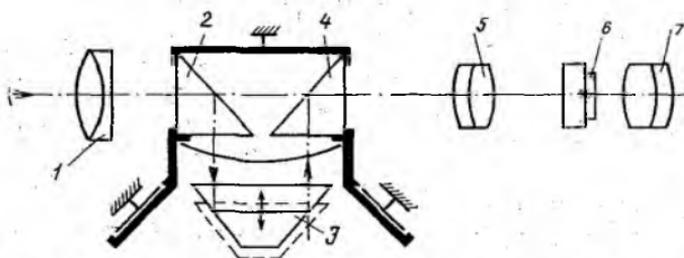


Рис. 96. Оптическая схема зрительной трубы нивелира Ni050

### § 53. НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ

Согласно ГОСТ 11158—76 «Рейки нивелирные» различают три типа реек: РН-05, РН-3, РН-10. Если рейка с прямым изображением шкалы, то в шифре прибавляется буква П; если рейка складная, то — буква С. Например, РН-3П-3000 — рейка нивелирная с прямой шкалой длиной 3000 мм, используется для нивелирования со средней квадратической ошибкой 3 мм на 1 км хода; РН-3П-3000С — рейка складная.

Вместо действующих ранее 5 типов реек по данному ГОСТу установлены только три в различных исполнениях, с высоким уровнем унификации. Предусматривается выпуск шкал и реек из полимерных материалов.

Для определения превышений при нивелировании I и II классов применяются инварные штриховые рейки (рис. 97, а). Комплект состоит из двух трехметровых инварных реек и одной подвесной рейки длиной 1,2 м.

Нивелирная рейка РН-4-4000 шашечная, используется для измерения превышений при нивелировании IV класса,

РН-4-3000 — для нивелирования III и IV классов (рис. 97, б).

Нивелирная рейка представляет собой деревянный брусок шириной 20—10 см, толщиной 2—3 см, длиной 3, 4, 2, 1,5 м. Рейки бывают цельные и складные. Основания реек имеют металлическую основу, нижняя часть которой называется пяткой; с пяткой рейки совпадает начало счета делений. Для удержания рейки в вертикальном положении имеются две ручки, а для установки ее в отвесное положение — круглый уровень.

Рейки бывают односторонние (деления нанесены с одной стороны) и двусторонние. Двусторонние рейки имеют на одной стороне черные и белые шашки (черная сторона), а на другой — красные и белые (красная сторона). Цена деления шкалы 1 или 2 см. Дециметровые деления рейки оцифрованы. На черной стороне нуль делений совпадает с пяткой рейки, на красной стороне рейки с пяткой совпадает отсчет, больший 4000 мм. Разность отсчетов по двум сторонам реек — постоянная величина, что позволяет контролировать отсчеты.

Для нивелирования подбирают пару реек с разными нулями на красных сторонах, например 4687 и 4787. При чередовании реек на связующих точках превышения, полученные по красным и черным сторонам реек, будут отличаться на 100 мм. У некоторых реек на красной стороне нуль совпадает с пяткой, а цена деления равна 1,1 см; тогда превышения, полученные по красным сторонам реек, умножают на 1,1 и сравнивают с превышениями, полученными по черным сторонам реек.

Перед производством нивелирования определяют длину метрового интервала на рейках и правильность нанесения дециметровых делений с помощью контрольной линейки. Определяют среднюю длину метра и поправку за длину метра вводят в сумму превышений. Ошибка дециметровых делений не должна превышать предела, установленного Инструкцией.

## § 54. ИССЛЕДОВАНИЕ НИВЕЛИРА

Исследование зрительной трубы — определение увеличения и поля зрения трубы — производится так же, как у теодолита (см. § 23).

Определение цены деления уровня выполняют на экзаменаторе или по рейке. Для определения цены деления уровня по рейке на расстоянии 40—60 м от нивелира уста-

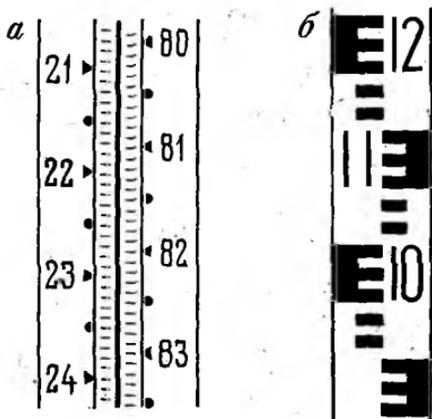


Рис. 97. Деления нивелирных реек

навливают рейку, элевационным винтом (или подъемным) перемещают пузырек уровня в сторону объектива и берут отсчеты по рейке и уровню. Перемещают пузырек уровня в сторону окуляра и берут отсчеты по концам пузырька уровня и по рейке. Таких приемов делают не менее шести с изменением горизонта нивелира. Цену деления уровня определяют по формуле

$$\tau = \frac{dl_1 \rho''}{dl_2 S}, \quad (157)$$

где  $S$  — расстояние от нивелира до рейки;  $dl_1$  — разность отсчетов по рейке;  $dl_2$  — разность отсчетов по уровню.

Определение диапазона работы компенсатора сводится к установлению наибольших продольных и боковых наклонов нивелира, при которых визирная ось практически остается горизонтальной. На расстоянии 70—75 м от нивелира по направлению одного из подъемных винтов устанавливают рейку и берут отсчет. Подъемным винтом, расположенным по направлению трубы, наклоняют трубу примерно на 2—3' (для нивелира НС4 поворот винта на один зубец соответствует наклону прибора на 2') и берут отсчет по рейке. Изменение отсчета по рейке более чем на 1—2 мм свидетельствует о том, что компенсатор не работает. Угол наклона при повороте подъемного винта  $\nu$  можно определить из соотношения

$$\nu = \frac{dl}{S} \rho, \quad (158)$$

где  $dl = l_2 - l_1$  — разность отсчетов по рейке;  $S$  — расстояние от нивелира до рейки.

Затем нивелир наклоняют при помощи подъемного винта до тех пор, пока компенсатор начнет работать, т. е. можно определить одну границу работы компенсатора. Наклоняют нивелир компенсатора до тех пор, пока компенсатор перестает срабатывать. Считают число оборотов  $n$  и вычисляют диапазон работы компенсатора как  $n\nu$ .

Более точно диапазон работы компенсатора можно определить на столике экзаменатора, измеряя углы наклона по шкале винта экзаменатора, вместо рейки используя коллиматор с окулярным микрометром. Измерения производят в прямом и обратном направлениях.

Ошибку компенсации углов наклона определяют по превышениям, измеренным на станции (при длине визирного луча 50 и 25 м и при наклоне трубы на одну минуту), и вычисляют по формулам

$$\Delta\nu'' = \frac{(h_\nu - h_0) \rho''}{2S\nu} \quad \text{или} \quad \Delta\nu'' = \frac{(h_\nu - h_3) \rho''}{2S\nu}, \quad (159)$$

где  $h_\nu$  — среднее превышение, полученное при наклоне нивелира на угол  $\nu$ ;

$h_0$  — среднее превышение, полученное при положении пузырька уровня в нуль-пункте;  $h_s$  — значение превышения, принимаемое за безошибочное;  $S$  — длина визирного луча;  $v$  — максимальный угол наклона нивелира, при котором компенсатор еще работает.

Ошибка компенсации на 1' наклона нивелира для любого расстояния от нивелира до реек не должна превышать: 0,05" для НС1; 0,15" — для НС3 и НС4; 0,30" — для НТС.

Цену деления шкалы оптического микрометра определяют измерением интервалов шкалы с миллиметровыми делениями, установленной отвесно на каменном столбе в 5—8 м от нивелира. Исследование выполняют шестью приемами; каждый прием состоит из прямого и обратного ходов.

В прямом ходе наведение биссектора нитей на штрихи линейки заканчивают ввинчиванием головки микрометра, в обратном ходе — вывинчиванием. Число наблюдаемых штрихов должно быть не менее 6. У нивелиров типа Н-05 перед снятием отсчета совмещают изображения концов пузырька уровня. Цену деления шкалы оптического микрометра определяют по формуле

$$\mu = \frac{l_0}{l_n}, \quad (160)$$

где  $l_0$  — величина интервала шкалы линейки, известная из компарирования;  $l_n$  — то же, из измерений оптическим микрометром нивелира.

Отклонение средней цены деления шкалы оптического микрометра у нивелиров типа Н-05 от номинального значения не должно превышать 0,003 мм.

Для оценки работы механизма, наклонающего плоскопараллельную пластинку, вычисляют разности («ввинчивание» минус «вывинчивание») и среднюю разность. Если средняя разность не более одного деления шкалы микрометра, то качество работы механизма достаточное, чтобы при нивелировании можно было наводить биссектор на штрихи рейки вращением винта в любую сторону.

Исследование хода фокусирующей линзы выполняют так: на ровной открытой местности разбивают полуокружность радиусом 50 м и на продолжении линии  $AB$  закрепляют точку  $C$  на расстоянии 10 м от точки  $A$  (рис. 98). На полу-

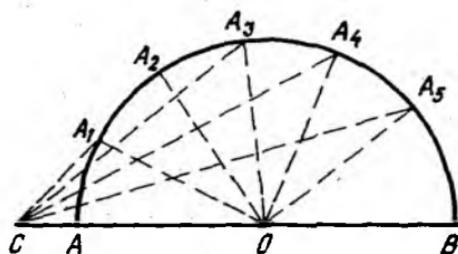


Рис. 98. Определение положения фокусирующей линзы

окружности кольями закрепляют точки  $A, A_1, A_2, \dots$ , на расстояниях 20, 30, ..., 100 м от точки  $C$ . В точке  $O$  устанавливают нивелир и берут отсчеты по рейке, последовательно устанавливаемой в точках  $A, A_1, \dots, A_5$  в прямом и обратном направлениях. Вычисляют средние превышения точек  $A, A_1, A_2, \dots, B$  над точкой  $A$  при постоянной фокусировке трубы. Затем устанавливают нивелир в точке  $C$  и определяют средние превышения точек  $A_1, A_2, \dots, B$  над точкой  $A$  из прямого и обратного ходов при изменении фокусировки. Расхождения в одноименных превышениях не должны превышать 2 мм для технических нивелиров.

При вращении верхней части нивелира, приведенного в рабочее состояние, наклон вертикальной оси не должен изменяться более  $15''$  у нивелиров типа Н-05; на  $30''$  — у Н-3 на  $45''$  — у Н-10.

Оценку правильности вращения верхней части прибора вокруг вертикальной оси выполняют с помощью уровня при трубе. У нивелиров с компенсатором устанавливают вспомогательный уровень, который закрепляют на верхней части прибора.

При рабочем положении нивелира берут отсчеты по двум концам пузырька уровня на установках через  $60^\circ$  при вращении верхней части нивелира в пределах двух последовательных оборотов по ходу и против хода часовой стрелки.

## **§ 55. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ НИВЕЛИРА**

Перед производством поверок проверяют чистоту оптики зрительной трубы нивелира, четкость изображения сетки нитей, наличие пузырька уровня, плавность вращения окулярной трубочки и фокусирующей линзы, легкость вращения отсчетного устройства, крепление винтов, исправность штатива.

Поверки нивелира типа Н-3 выполняются в такой последовательности.

1. *Ось круглого уровня нивелира должна быть параллельна вертикальной оси вращения нивелира.*

Эту поверку выполняют так же, как поверку цилиндрического уровня у теодолита (см. § 24).

2. *Вращение верхней части прибора вокруг вертикальной оси должно быть плавным.*

При тугом вращении верхней части прибора производят чистку оси и смазку, для чего снимают верхнюю часть прибора. Выполняют это в закрытом помещении, оберегая нивелир от пыли.

При правильно установленной сетке нитей вертикальная нить ее должна совпадать с отвесом.

В 20—25 м от нивелира подвешивают отвес. Совмещают один конец вертикальной нити с отвесом. Если другой конец нити отходит от отвеса более чем на 0,5 мм, исправляют установку сетки нитей. Отделяют окулярную часть от корпуса зрительной трубы. Ослабив винты пластинки, несущей сетку нитей, слегка поворачивают в нужную сторону.

4. *Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы* (проверка главного условия нивелира).

Проверку выполняют двойным нивелированием вперед. На расстоянии 50—75 м забивают два колышка или костыля. Нивелир

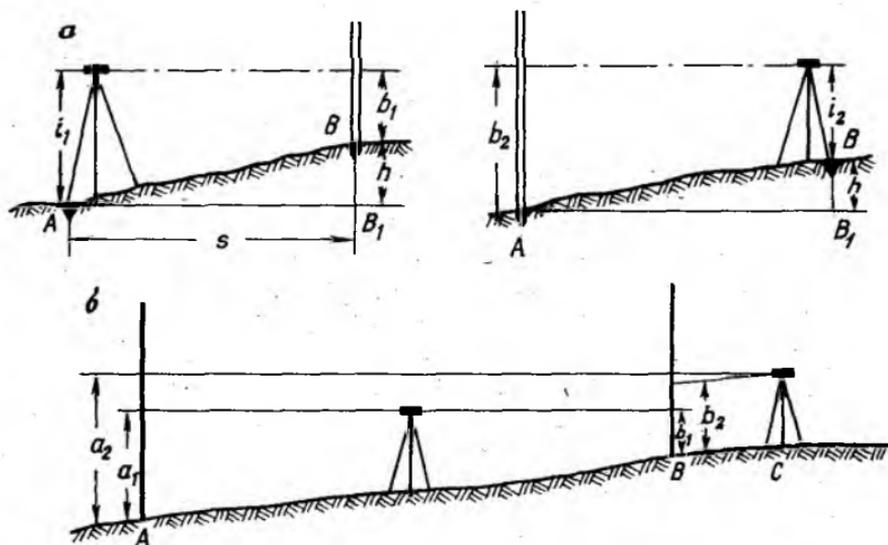


Рис. 99. Проверка главного условия нивелира

(окуляр) устанавливают над точкой  $A$  (рис. 99,  $a$ ), измеряют рейкой высоту нивелира  $i_1$  с точностью до 1 мм и берут отсчет  $b_1$  по рейке, установленной в точке  $B$ . Затем меняют местами нивелир и рейку и измеряют  $i_2$  и  $b_2$ . Вычисляют ошибку  $x$  за несоблюдение главного условия по формуле

$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2}. \quad (161)$$

Если ошибка  $x$  окажется более 4 мм, то элевационным винтом наводят среднюю нить на правильный отсчет по рейке  $b'_2 = b_2 - x$  и вертикальными исправительными винтами уровня точно совмещают изображения концов пузырька уровня. Проверку и исправление установки уровня повторяют до тех пор, пока величина  $x$  не будет менее 4 мм.

Эту проверку можно производить также нивелированием на равных и значительно не равных визирных расстояниях. Устанавливают нивелир посередине в створе между двумя рейками,

расположенными на расстоянии 50—80 м, берут отсчеты  $a_1$  по задней и  $b_1$  по передней рейкам (рис. 92, б). Затем нивелир устанавливают на расстоянии 3—5 м за передней рейкой и производят отсчеты  $a_2$  по дальней и  $b_2$  по ближней рейкам. Предвычисленный (правильный) отсчет по дальней рейке  $a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2$  не должен отличаться от фактического отсчета  $a_2$  более чем на 4 мм. Если расхождение больше, то устанавливают отсчет по рейке, равный отсчету  $a'_2$ , с помощью юстировочных винтов.

Ошибка за несоблюдение главного условия можно выразить углом  $\nu$  (вертикальный угол, образованный визирной осью зрительной трубы и горизонтальной линией), который не должен быть более  $10''$  при  $t = +20 \pm 2^\circ \text{C}$ .

Значение угла  $\nu$  вычисляют по формуле.

$$\nu = \frac{[(i_1 + i_2) - (b_1 + b_2)] \rho''}{2S}, \quad (162)$$

где  $S$  — расстояние между точками  $A$  и  $B$ .

Т а б л и ц а 21

Номера приемов	Номера точек	Высота нивелира $i$ , мм	Отсчеты по рейке $b$ , мм	$(i_1 + i_2) - (b_1 + b_2)$ , мм	$\nu''$
1	A	1430	1744	+5	+10
	B	1489	1170		
2	B	2919	2914	+4	+8
	A	1469 1448	1151 1762		
3	A	2917	2913	+4	+8
	B	1400 1466	1714 1148		
		2866	2862		

Среднее значение угла  $\nu = +8,7''$ .

Угол  $\nu$  измеряют не менее трех раз. Расхождения между значениями угла  $\nu$  не должны превышать 3" для нивелиров типа Н-05 и 5" — для Н-3 и Н-10. Если расхождения не превышают допуск, то вычисляют среднее арифметическое значение угла  $\nu$ . Пример определения угла  $\nu$  показан в табл. 21.

Поверки нивелира с компенсатором выполняют по следующей программе.

1. Поверка установочного круглого уровня — *ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.*

Отклонение пузырька уровня от нуля-пункта при повороте на 180° не должно быть более 0,2—0,3 мм.

2. Поверка положения сетки нитей производится так же, как у нивелира с уровнем.

3. Поверка главного условия нивелира — *в пределах работы компенсатора визирный луч зрительной трубы должен быть горизонтальным.*

Поверка производится так же, как и поверка главного условия нивелира с уровнем (см. рис. 95, а, б). Юстировка выполняется установкой исправленного отсчета при помощи исправительных винтов сетки нитей.

4. *Определение ошибки недокомпенсации.*

Устанавливают нивелир посередине в створе между рейками на расстоянии 100 м. Определяют пятью приемами превышения на станции последовательно при разных положениях круглого уровня. Если средние значения превышений, полученные при разных положениях круглого уровня, отличаются от среднего при положении уровня посередине более чем на 1 мм, то нивелир нужно исправлять в заводских условиях, и для нивелирования II класса он не может быть использован.

При определении ошибки недокомпенсации у нивелиров для нивелирования III и IV классов берут расстояния между рейками 50, 100 и 200 м. Расхождения в средних превышениях не должны превышать 3 и 5 мм.

## **§ 56. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ**

Нивелирование I, II, III и IV классов выполняется согласно требованиям «Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов» (М., Недра, 1974), а техническое нивелирование — согласно Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500» (М., Недра, 1973).

Нивелирные ходы прокладывают между двумя исходными реперами или в виде системы ходов с одной или несколькими узловыми точками.

Требования, предъявляемые к нивелирам, рейкам и производству работ при различных классах нивелирования приведены в табл. 22.

Показатели	Класс нивелирования				
	I	II	III	IV	Техническое
Увеличение не менее, крат	44	40	30	25	20
Цена деления уровня, не более	12"	12"	15" (30")	25" (30")	45"
Приборы	Н1, НБ, Ni004	НА-1, Н1, Н2, НБ, Ni004, Ni007	НЗ, НВ, НА-1, НПГ, Ni007, NiB3, 4, 5	НВ, НЗ, НГ, НСЗ, НС4, NiB34. 5, 6, Ni025	НТ, НТС, НЛС, НВ, НГ, НСМ-2, НЛ-3
Рейки	Штриховые инварные	Штриховые инварные	Штриховые и шашечные	Шашечные двусторонние	Шашечные дву- и односторонние, складные
Случайная ошибка дециметровых делений, не более, мм	0,10	0,20	0,5	1,0	—
Программа наблюдений	Метод совмещений по основной и дополнительной шкалам	Метод совмещений по четной и нечетной сторонам	Задняя черная (3 нити), передняя черная (3 нити), передняя красная (средняя нить), задняя красная (средняя нить)	Задняя черная (верхняя и средняя нити), передняя черная (верхняя и средняя нити), передняя красная (средняя нить), задняя красная (средняя нить)	Задняя черная и красная (средняя нить), передняя черная и красная (средняя нить) 2-й горизонт на 10 см

Допустимое расхождение в превышениях, мм	0,5	0,7
Нормальная длина визирного луча, м	50	65
Предельная длина визирного луча в благоприятных условиях, м	—	75
Неравенство плеч на станции, м	0,5	1
Накопление неравенства плеч на секцию, не более, м	1	2
Высота визирного луча, не менее, м	0,8	0,5
Нивелирование	В двух направлениях	В двух направлениях
Предельная невязка по ходу, мм	$2\sqrt{L}$ и $3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$ и $6\sqrt{L}$
Измерение расстояний от нивелира до реек при помощи	Троса, ленты	Троса, ленты

3

75

100

2

5

0,3

В двух  
направлениях

$10 \sqrt{L}$

Троса, бечевы

5

100

150

5

10

0,2

В одном  
направлении

$20 \sqrt{L}$

Шагами

5

120

200

10

—

—

В одном  
направлении

$50 \sqrt{L}$

Шагами

## § 57. ОШИБКИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

По характеру действия ошибки при геометрическом нивелировании делятся на случайные и систематические. К случайным ошибкам относятся (на примере нивелирования III класса):

ошибка в превышениях за счет неточного нанесения делений на рейке. Для их исключения рейку компарируют и определяют фактическую длину метра, на которую умножают сумму превышений;

ошибка из-за колебаний изображений делений рейки;

ошибка, вызванная перемещением слоев воздушных масс. Эта ошибка прямо пропорциональна квадрату расстояния. Для ослабления влияния этой ошибки на отсчет по рейке измерения нужно проводить в утренние и вечерние часы или пасмурную погоду;

ошибка в отсчете, вызванная неточностью установки пузырька уровня в нуль-пункт.

Средняя квадратическая ошибка может быть определена из соотношения

$$m_{ур} = \frac{m_{уст}S}{\rho}, \quad (163)$$

где  $m_{уст} = 0,1\tau$ ; при  $\tau = 30''$ ,  $S = 75$  м  $m_{ур} = 1,1$  мм; ошибка, связанная с разрешающей способностью трубы, она зависит от прозрачности воздуха, толщины сетки нитей и других факторов и может быть определена из соотношения

$$m_{тр} = \frac{m_{виз}S}{\rho}. \quad (164)$$

При  $m_{виз} = \frac{60''}{30} = 2''$   $m_{тр} = 0,7$  м; ошибка за несоблюдение главного условия нивелира.

Если визирная ось не горизонтальна, то при вычислении превышения между двумя точками в отсчеты по рейкам входит ошибка  $x$ , которая исключается при равенстве расстояний от нивелира до реек

$$h = a - x_1 - (b - x_2).$$

$$\text{При } S_1 = S_2$$

$$h = a - b.$$

Предельная ошибка в превышении может быть найдена по формуле

$$\Delta h = \frac{\Delta\tau S}{\rho}, \quad (165)$$

где  $\Delta\tau = 0,3\tau$  — предельная ошибка установки уровня. При  $\tau = 30''$ ,  $S = 2$  м (неравенство плеч на станции)  $\Delta h = 0,09$  мм.

Для ослабления данного источника ошибок нивелир нужно устанавливать на станции посередине с точностью не более 2 м (такой допуск указан в Инструкции для нивелирования III класса);

ошибка, вызванная неполным устранением влияния кривизны Земли на высоту точек, которая зависит от разности расстояний

$$h = a - b + \frac{1}{2R} (S_2^2 - S_1^2).$$

При нивелировании из середины влияние этой ошибки исключается;

ошибка округления отсчета по рейке зависит от цены деления рейки. Средняя квадратическая ошибка соответствует 0,1 м. Например, для шашечной рейки с ценой деления  $\mu = 1$  см ошибка округления  $m_{окр} = 1$  мм.

К систематическим ошибкам относятся:

ошибка, вызванная изменением положения нивелира в процессе наблюдения.

За пять минут величина выпучивания штатива достигает от 0,01 мм на твердом грунте до 0,1 мм — на торфянике.

Если предположить, что положение нивелира изменяется пропорционально времени, то уменьшения влияния этой ошибки можно добиться путем наблюдений по специальной программе. Рекомендуется выполнять симметричные наблюдения и выбирать твердый грунт для установки нивелира. Обходить нивелир рекомендуется на расстоянии не ближе 0,5 м;

ошибка, вызванная оседанием «башмаков».

Ошибка особенно ощутима в течение 10—20 с. Через 4—5 мин положение башмаков стабилизируется.

При нивелировании в двух направлениях сумма средних превышений свободна от влияния этой ошибки.

Для ослабления влияния данной ошибки башмаки можно заменить костылями; снимать дерн, отсчет по рейке делать спустя 30 с после установки нивелира;

ошибка за наклон рейки.

Для ослабления влияния этой ошибки рейки необходимо снабжать круглыми уровнями с ценой деления  $\tau = 20'$ ;

ошибка из-за коробления реек.

Чтобы ошибка в отсчете не превышала 0,1 мм, стрелка провеса не должна превышать 10 мм;

ошибка за длину метра.

Накопление ошибок пропорционально сумме превышений, поэтому длину метра нужно определять в начале и конце работы;

ошибка за влияние вертикальной рефракции.

Эта ошибка зависит от длины визирного луча и высоты его над землей. Предельные величины длины и высоты визирного луча для каждого класса нивелирования приведены в табл. 22.

Для ослабления влияния вертикальной рефракции рекомендуется нивелирование проводить в период спокойных изображений;

ошибка в дециметровых делениях на рейке.

Проводится компарирование реек с помощью контрольной линейки и определяются ошибки делений, которые не должны превышать допуска, указанного в Инструкции; например, для нивелирования III класса  $m_{\text{дел}} = 0,5$  мм. Если ошибки превышают предел, то такими рейками работать нельзя;

ошибка из-за деформации верхних слоев Земли.

Деформация верхних слоев Земли происходит от тектонических движений, термических изменений, перемещения воздушных масс, выпучивания и оседания, поэтому не реже чем через 25 лет выполняют повторное нивелирование по всем ходам I класса и некоторым ходам II класса. Это позволяет установить количественные характеристики современных вертикальных движений земной коры;

ошибки исходных данных.

Для ослабления влияния данного источника ошибок необходимо производить привязку нивелирных ходов к знакам более высокого класса.

### Точность геометрического нивелирования III класса

Рассмотренные ошибки влияют на отсчет по рейке, т. е. на ошибку взгляда на станции, поэтому средняя квадратическая ошибка взгляда может быть определена по формуле

$$m_{\text{взг}}^2 = m_{\text{ур}}^2 + m_{\text{тр}}^2 + m_{\text{дел}}^2 + m_{\text{окр}}^2. \quad (166)$$

Если подставить расчетные данные, то ошибка взгляда

$$m_{\text{взг}} = 1,7 \text{ мм.}$$

Среднюю квадратическую ошибку определения превышения на станции можно вычислить по формуле

$$m_{\text{ст}} = m_{\text{взг}} \sqrt{2}, \quad (167)$$

$$m_{\text{ст}} = 2,4 \text{ мм.}$$

Среднюю квадратическую ошибку определения превышений на 1 км хода можно вычислить по формуле

$$m_{\text{км}} = m_{\text{ст}} \sqrt{n}, \quad (168)$$

где

$$m_{\text{км}} = 5,3 \text{ мм};$$

$n$  — число станций ( $n = 5$ ).

По Инструкции средняя квадратическая ошибка на 1 км хода равна 5 мм, а предельная невязка по ходу для нивелирования III класса

$$f_n = 10\sqrt{L}, \quad (169)$$

где  $L$  — длина хода в км.

### § 58. ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ. ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ

Лучи света распространяются прямолинейно только в однородной среде. *Рефракция* — это явление преломления световых лучей при прохождении их через слои атмосферы различной плотности. В приземном слое атмосферы плотность увеличивается по мере приближения к поверхности Земли. Если в атмосфере имеет место состояние равновесия, то можно считать, что слои атмосферы одинаковой плотности располагаются параллельно уровенной поверхности Земли. Луч света  $GB$  (рис. 100,  $a$ ) на границе двух слоев атмосферы различной плотности преломится и приблизится к перпендикуляру, восстановленному к границе двух слоев и пойдет в направлении  $ED$  и т. д. Следовательно, в приземном слое луч света имеет форму кривой  $BCDEG$ , называемой *рефракционной кривой*. Поэтому, если в точке  $G$  поместить глаз наблюдателя, то он увидит точку  $B$  не в направлении  $GB$ , а по касательной  $GA$  к рефракционной кривой в точке  $G$ . Под влиянием рефракции наблюдаемые предметы видны несколько приподнятыми на величину  $r$ . Влияние рефракции  $r$  возрастает пропорционально расстоянию. Из рис. 96,  $a$  видно, что влияние рефракции аналогично влиянию кривизны Земли, поэтому можно записать

$$r = \frac{S^2}{2R_1} \quad \text{или} \quad r = pK, \quad (170)$$

где  $R_1$  — радиус рефракционной кривой в 6—7 раз больше радиуса Земли;  $R$  — радиус Земли;  $p$  — влияние кривизны Земли ( $p = \frac{S^2}{2R}$ );  $\frac{R}{R_1} = K$  — коэффициент земной рефракции, зависящий от ряда факторов; по результатам исследований его величина равна 0,14—0,16.

Найдем величину совместного влияния кривизны Земли и рефракции

$$= p - r. \quad (171)$$

Принимая  $K = 0,16$ , получим

$$f = 0,42 \frac{S^2}{R}. \quad (172)$$

Из этой формулы видно, что совместное влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования пропорционально квадрату расстояния от нивелира до рейки.

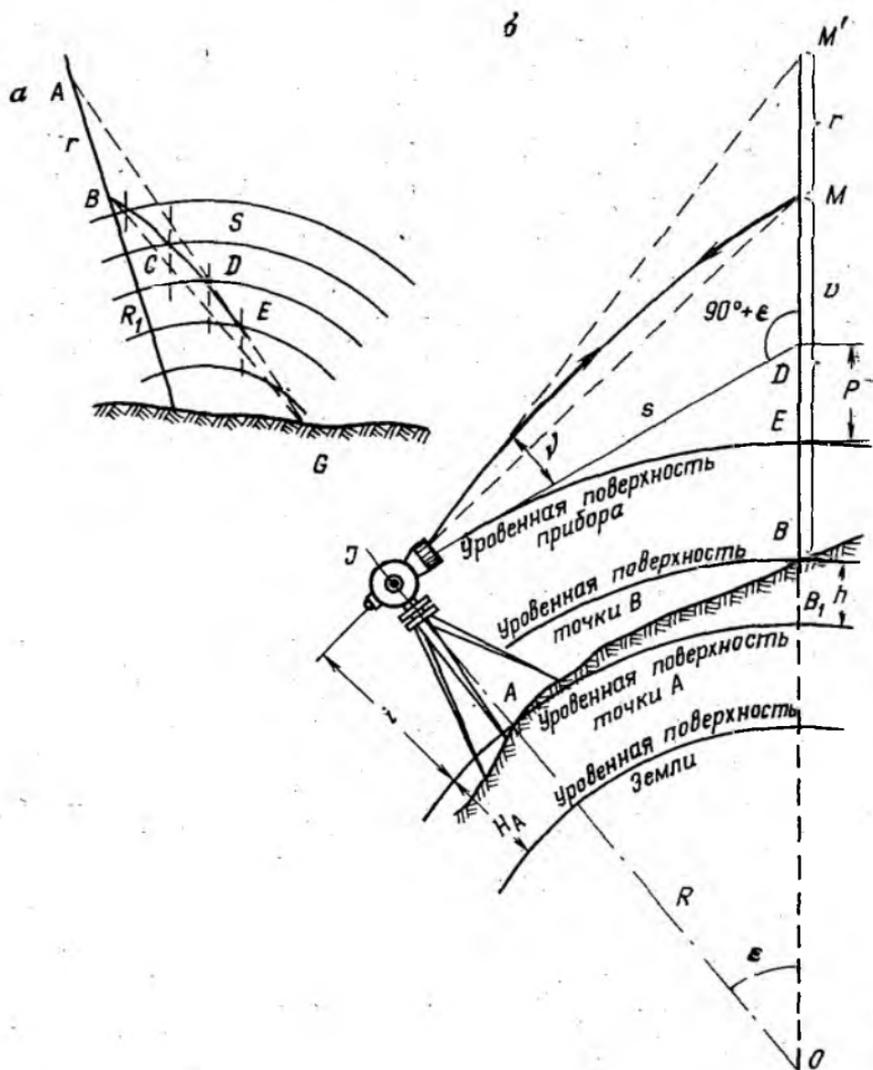


Рис. 100.

*a* — влияние вертикальной рефракции на определение превышений; *b* — определение превышения тригонометрическим нивелированием

Если в формулу (172) подставить численное значение радиуса Земли  $R$ , а расстояние до рейки выразить в сотнях метров, то можно вычислить  $f_{\text{мм}} = 0,66S^2$ ; при  $S = 300$  м  $f = 1$  мм, т. е. является существенной величиной и пренебрегать ею нельзя.

**§ 59. ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПРЕВЫШЕНИЯ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ  
НИВЕЛИРОВАНИЕМ**

Для определения превышения  $h$  между точками  $A$  и  $B$  местности (рис. 100, б) в точке  $A$  устанавливают тахеометр, а в точке  $B$  рейку или вежу. Измеряют рулеткой высоту теодолита  $JA = i$ , дальномером определяют длину линии  $AB$  и вычисляют ее горизонтальное проложение  $JD = s$ . Наводят трубу теодолита на точку  $M$  рейки и по вертикальному кругу отсчитывают угол наклона  $v$ ; затем измеряют высоту визирования  $BM = v$ .

Когда на перекрестии сетки нитей находится изображение точки  $M$  рейки, вследствие влияния рефракции зрительная труба оказывается наведенной на точку  $M'$ , а  $MM' = r$ . Из рис. 100, б можно написать равенство

$$h + v + r = i + p + DM',$$

откуда найдем превышение

$$h = DM' + i - v + f. \quad (173)$$

Так как угол  $\varepsilon$  мал, то практически угол  $JDM'$  ( $90^\circ + \varepsilon$ ) можно считать прямым, тогда из треугольника  $DJM'$  найдем  $DM' = s \operatorname{tg} v$ . Подставляя эту величину в формулу (173), получим

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v + f. \quad (174)$$

Поправку  $f$  находят из таблиц по расстоянию  $s$ .

Если расстояние измеряют дальномером с вертикальной рейкой, то

$$h = \frac{1}{2} S \sin 2v + i - v + f. \quad (175)$$

Для расстояний, измеренных дальномером с горизонтальной рейкой или лентой, превышение можно определить по формуле

$$h = S \sin v + i - v + f. \quad (176)$$

При работе стараются сделать высоту визирования  $v$  равной высоте нивелира  $i$ . Обозначим  $s \operatorname{tg} v = h'$ , тогда при расстояниях до 300 м ( $f = 0$ ) формула (174) принимает вид

$$h = h' = s \operatorname{tg} v. \quad (177)$$

По формулам (174), (175), (176) составлены многочисленные таблицы, из которых значения  $h'$  получают по аргументам  $s$  и  $v$  или  $S$  и  $v$ . Превышения вычисляют с точностью до 0,01 м.

Тригонометрическим нивелированием можно определять превышения между точками, расположенными на значительном расстоянии друг от друга, используя последовательное нивелирование. Такой ход называется высотным. Для контроля и повышения точности измерений расстояния и превышения между двумя

связующими смежными точками высотного хода определяют дважды: в прямом и обратном направлениях или при наведении трубы тахеометра на разные части рейки. Если расхождение между двумя превышениями не более 4 см на 100 м хода, то находят среднее арифметическое, а знак берут прямого превышения. Алгебраическая сумма всех средних превышений по ходу соответствует превышению конечных точек хода. Отметки точек хода вычисляют по формуле (152).

### § 60. ТОЧНОСТЬ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Для определения средней квадратической ошибки превышения воспользуемся формулой (175), считая ошибки измерения величин  $i$ ,  $v$  и  $f$  настолько малыми, что ими можно пренебречь. Установим зависимость между ошибками величин  $S$ ,  $v$  и их функции  $h$ , для чего определим полный дифференциал функции, считая переменными расстояние и угол наклона. Умножим и разделим первое слагаемое правой части на  $S$ . Перейдем к средним квадратическим ошибкам аргументов и функции. Используя функцию общего вида и принимая для малых углов наклона  $\cos 2v = \cos^2 v$ , получим

$$\begin{aligned} dh &= \frac{1}{2} \sin 2v dS + \frac{1}{2} S \cos 2v \frac{dv}{\rho} \cdot 2 = \\ &= \frac{1}{2} \sin 2v dS + S \cos 2v \frac{dv}{\rho}. \end{aligned}$$

$$m_h^2 = h^2 \left( \frac{m_S}{S} \right)^2 + S^2 \left( \frac{m_v}{\rho} \right)^2. \quad (178)$$

Если принять  $m_v = 0,5'$  и  $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{400}$  (при измерении расстояний нитяным дальномером), то будем иметь

$$m_h^2 = \left( \frac{h}{400} \right)^2 + \left( \frac{S}{7000} \right)^2.$$

Выражая  $h$  и  $S$  в сантиметрах, найдем

$$m_{h_{\text{см}}} = \sqrt{\left( \frac{h_{\text{м}}}{4} \right)^2 + \left( 1,5 \frac{S_{\text{м}}}{100} \right)^2}.$$

При измерении расстояний дальномерными насадками (при  $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{2000}$ )

$$m_{h_{\text{см}}} = \sqrt{\left( \frac{h_{\text{м}}}{10} \right)^2 + \left( 1,5 \frac{S_{\text{м}}}{100} \right)^2}.$$

При малых углах наклона (до  $2^\circ$ ) первое слагаемое в правой части формулы (178) мало по сравнению со вторым слагаемым, поэтому можно принять

$$m_h = S \frac{m_v}{\rho}. \quad (179)$$

Для повышения точности определения превышений нужно уменьшать расстояния между нивелируемыми точками.

Прямое и обратное превышения между двумя точками местности должны быть равны по величине и противоположны по знаку, но вследствие влияния ошибок измерения превышения отличаются на величину  $d$ , которая характеризует качество полученных превышений

$$h_{пр} + h_{обр} = d.$$

Поэтому нужно определить допустимое значение в разностях превышений. Найдем среднюю квадратическую ошибку  $m_d$  и предельную  $\Delta_d$  разности между прямым и обратным превышениями

$$m_d = m_h \sqrt{2}.$$

Примем пред  $\Delta_d = 2m_d$ , тогда пред  $\Delta_d = 2m_h \sqrt{2}$  или  $2S \frac{m_v}{\rho} \sqrt{2}$ . Подставив значение  $\frac{m_v}{\rho} = \frac{1}{7000}$ , умножив и разделив на  $\sqrt{2}$ , получим

$$\text{пред } \Delta_d = 4 \text{ см } \frac{S_m}{100}, \quad (180)$$

т. е. расхождение между прямым и обратным превышениями не должно быть более 4 см на каждые 100 м расстояния.

Для определения предельной ошибки в сумме средних превышений высотного хода найдем среднюю квадратическую ошибку среднего превышения

$$h_{ср} = \frac{h_{пр} + h_{обр}}{2} \quad \text{или} \quad m_{h_{ср}} = \frac{m_h}{\sqrt{2}}.$$

Определим сумму средних превышений по ходу и среднюю квадратическую ошибку суммы средних превышений

$$\sum h_{ср} = h_{ср_1} + h_{ср_2} + \dots + h_{ср_n},$$

$$m_{\sum h_{ср}} = m_{h_{ср}} \sqrt{n}.$$

Переходя к предельной ошибке или невязке в сумме превышений  $\Delta_{\Sigma h}$ , примем пред  $\Delta_{\Sigma h} = \text{пред } f_h = 3m_{\Sigma h}$  или

$$\text{пред } f_h = 3m_{h_{ср}} \sqrt{n} = \frac{3m_h \sqrt{n}}{\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot S_m \sqrt{n}}{\rho \sqrt{2}}.$$

Умножив и разделив на  $\sqrt{n}$  и подставив значение  $\left(\frac{m_v}{\rho\sqrt{2}} = \frac{1}{10000}\right)$ , обозначив произведение  $Sn$  через периметр хода  $P$ , получим

$$\text{пред } f_n = \left(\frac{0,03P_m}{\sqrt{n}}\right) \text{ см.} \quad (181)$$

## § 61. КЛАССИФИКАЦИЯ ТАХЕОМЕТРОВ

Тахеометр служит для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий и превышений. Тахеометры классифицируются по типам в зависимости от используемых в них дальномеров.

Согласно ГОСТ 10812—74 «Тахеометры. Типы. Основные параметры. Технические требования» тахеометры делятся на следующие типы.

1. ТЭ — регистрирующий тахеометр электрооптический с автоматической регистрацией результатов измерений на световом табло в цифровом виде и на перфоленте в условном коде. Используется в полигонометрии 4 класса и 1 разряда, а также при производстве городских съемок. Тахеометры данного типа имеют светодальномерное устройство для измерения расстояний, кодовые горизонтальный и вертикальный круги для измерения углов, электронное устройство для автоматической выдачи результатов измерений. Передающее и приемное устройства дальномера и оптическое устройство зрительной трубы объединены в единую систему. Компенсатор вместо уровня на алидаде вертикального круга должен работать при наклоне прибора в пределах  $1,5'$ .

Характеристики некоторых типов регистрирующих тахеометров приведены в табл. 23. К электрооптическим тахеометрам относятся ряд зарубежных приборов: Геодиметр 710 (АГА Швеция), Рег Элта (ФРГ), ЭОТ-2000 (ГДР), TAG-1 (Швейцария) и др.

Геодиметр 710 состоит из кодового теодолита и светодальномера. В тахеометре используют в качестве излучающего устройства гелийнеоновый лазер мощностью излучения 1 мВт. Отраженный сигнал принимается и обрабатывается автоматически с выдачей результатов измерений на табло (две группы цифр по 7 разрядов). Результаты фиксируются также на перфорационной ленте для последующего ввода в ЭВМ.

В зависимости от измеряемого расстояния применяются различные типы отражателей: до 100 м — визирные марки, прикрепляемые к вехам или местным предметам, до 500 м — специальный рефлектор, свыше 500 м — отражатели (до 1700 м однопризменный, до 3500 м — трехпризменный, до 5000 м — шестипризменный).

Характеристика	ЭОТ-2000 (ГДР)	ТахеMAT TAG-1 (Швейцария)	Геоди- метр 710 (AGA Швеция)	Рег Элта-14 (ФРГ)	T16 Дисто- мат 13 (Швейцария)	НИИПГ (СССР)	Тах. Митанодер (США)
Средняя квадратическая $\sigma$ ошибка измерения угла, с: горизонтального вертикального	2 1	3 6	2 3	3 3	В зависимости от типа теодолита В зависимости от теодолита		
Диапазон измерения расстояний, м	0—2000	0—2000	0—5000	0—2000	0—1000	В зависимости от тахеометра	
Средняя квадратическая ошибка измерения расстояний, мм	10	5	$5 + 10^{-6}S$	5—10	$5 + 5 \cdot 10^{-6}S$		
Масса комплекта, кг	16	—	52	116	29	—	—
Время измерения или регистрации, с	10	—	10—15	10—11	10	0,25	—
Регистрация на перфоленту, каналов	—	—	5—8	5—8	—	—	—
Регистрация на магнитную ленту, дорожек	—	—	—	—	—	4	4
Количество символов для кодирования	10	10	10	12	—	16	—
Емкость регистратора, символов	—	—	—	—	—	$4 \times 10^4$	960 дес. сл.
Напряжение батарей, В	13	12	6, 12, 220	10—30, 240	12	9	—

Особенностью Геодиметра является возможность автоматического ввода поправок за метеоусловия и наклон линии. Зрительные трубы теодолита и светодальномера соосны, что позволяет одновременно производить угловые и линейные измерения (при одном наведении).

Кратковременное прерывание визирного луча движущимися автомобилями, животными и людьми не вызывает дополнительных ошибок в измерении расстояний. При помощи тахеометра можно автоматически следить за объектами, движущимися со скоростью до 22 км/ч.

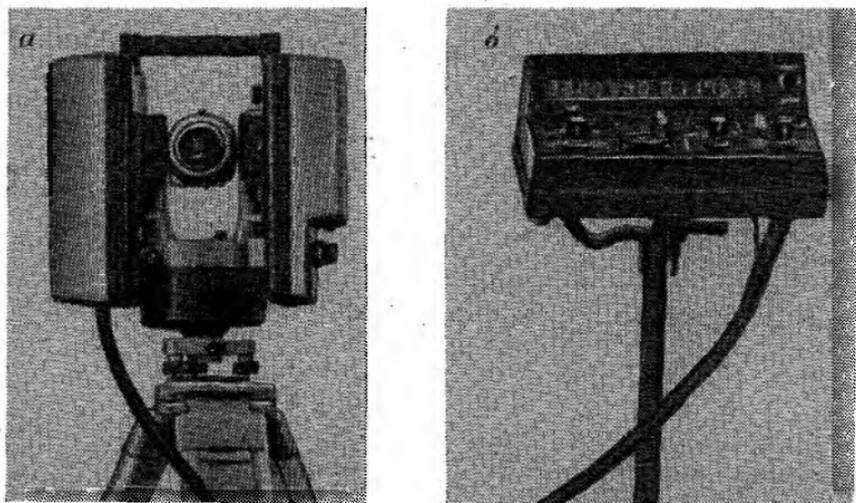


Рис. 101. Геодиметр 710

Комплект Геодиметра 710 состоит из тахеометра (рис. 101, а), вычислительного устройства Геодат, блок питания и набора отражателей. Приведение прибора в рабочее положение занимает около двух минут. Вычислительное устройство вынесено на отдельную стойку (рис. 101, б).

2. ТВ — тахеометр внутрибазный (рис. 102) используется для определения расстояний, приведенных на горизонтальную плоскость, и превышений по измеренному углу наклона на местный предмет или специальную марку. Тахеометр применяется при тахеометрических съемках труднодоступных участков местности.

Внутрибазным тахеометром можно измерять расстояния от 2 до 60 м без рейки и от 2 до 180 м — по горизонтальной рейке с марками.

3. ТН — тахеометр номограммный используется для определения расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и для определения превышений при помощи номограмм, видимых в поле зрения трубы по вертикальной рейке. Тахеометр находит применение при тахеометрических съемках.

4. ТД — тахеометр с редуционным дальномером двойного изображения используется для определения превышений и расстояний по горизонтальной рейке. Находит применение в полигонометрии 2 разряда.

Тахеометры типов ТН и ТД с использованием вертикальной рейки и нитяного дальмера с коэффициентом 100 позволяют измерять расстояния до 350 м.

Рейка ТД с двухсантиметровыми делениями имеет три верньера: средний является основным, по нему отсчитывают рас-

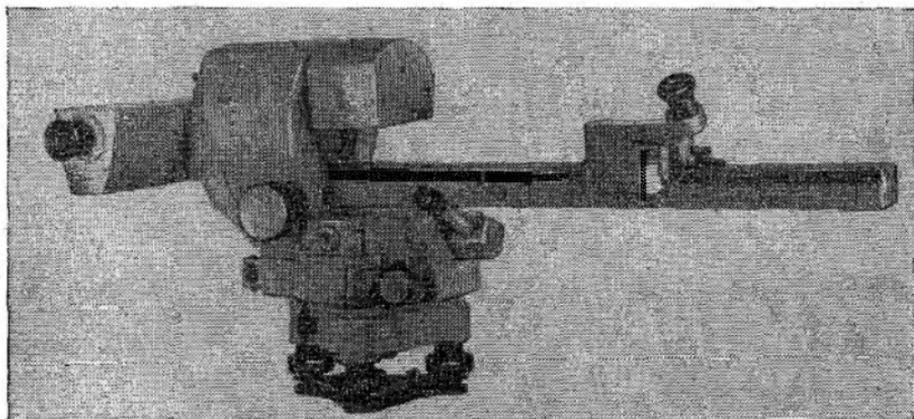


Рис. 102. Тахеометр внутрибазный ТД

стояния от 20 до 180 м и превышения в пределах 90 м; по правому измеряют расстояния от 90 до 180 м и превышения от  $\pm 90$  до  $\pm 180$  м; по левому определяют отрицательные превышения от  $-90$  до  $-180$  м.

Отсчитывают по рейке с помощью одного из обратных верньеров и оптического микрометра, роль которого выполняет телескопическая полулинза, создающая дополнительное увеличение в системе  $\Gamma = \frac{110}{111}$ . Точность измерения расстояний тахеометром ТД 1 : 5000.

Угломерная часть прибора выполнена на базе теодолита Т5К.

Как и в теодолите Т5К, у ТД уровень при вертикальном круге отсутствует и его роль выполняет компенсатор.

Компенсаторы у тахеометров типов ТД и ТН могут работать при углах наклона прибора в пределах  $\pm 3'$ . Ошибка самоустановки компенсаторов не должна превышать 3".

Рассмотрим подробнее устройство тахеометра ТД (рис. 103, а), который до 1975 г. выпускался под шифром ТП (тахеометр с постоянным параллактическим углом).

Оптический компенсатор, состоящий из двух кольцеобразных клиньев, расположен в подставке трубы 1 и работает как дально-

мер или высотомер. Смена режима работы компенсатора производится рукояткой 2.

Оптическая схема дальномерной системы показана на рис. 103, б. Лучи света, пройдя защитное стекло 1, призмой 2 направляются на компенсатор, состоящий из двух клиньев 3,

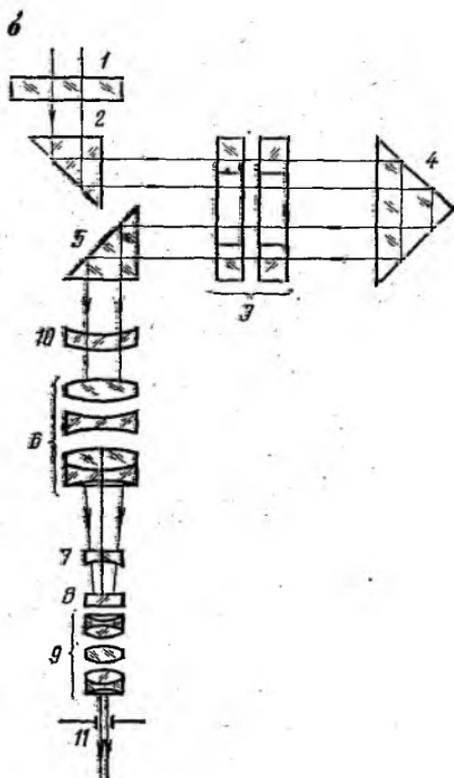
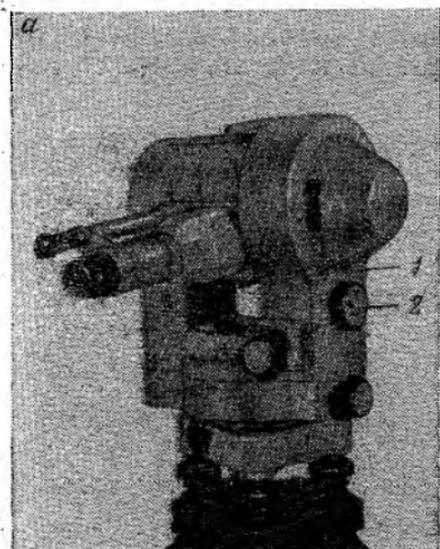


Рис. 103. Тахеометр ТД:  
а — общий вид; б — оптическая схема тахеометра ТД

причем один луч проходит клинья дважды, отразившись от призмы 4. Второй луч, минуя клинья, отражается в обратном направлении оборачивающей призмой 4. Следовательно, на грань призмы 5 попадают два полуизображения цели (в качестве цели используется горизонтальная двухметровая рейка), которые направляются в зрительную трубу, состоящую из объектива 6, фокусирующей линзы 7, бипризмы 8 и окуляра 9. Луч, который не отклонился компенсатором, проходит через телескопическую линзу 10. В поле зрения трубы видны два изображения предмета, разделенные щелевой диафрагмой 11 на верхнюю и нижнюю половины. Расстояния или превышения отсчитываются по рейке с помощью обратного верньера.

Параллактический угол изменяется пропорционально косинусу угла наклона линии визирования  $\nu$  автоматически, поэтому горизонтальное проложение линии и превышение определяются по формулам

$$s = Kl_s; \quad h = K'l_h. \quad (182)$$

Точность измерения углов из одного приема  $5''$ , расстояний — 2—3 см на 100 м, превышений — 3—4 см на 100 м.

Из зарубежных тахеометров наибольшее распространение в нашей стране получили: редуцированный тахеометр Редта 002 (см. рис. 55), которым в отличие от ТД превышения определяют с помощью тангенсной шкалы или тригонометрическим способом по измеренному углу наклона и горизонтальному проложению, и тахеометр Дальта 020 Народного предприятия «Карл Цейсс» (ГДР).

Тахеометр Дальта 020 (рис. 104) системы норвежского инженера И. Даля — оптический теодолит повторительного типа с дисковым повторительным приспособлением, который может быть использован как теодолит, позволяющий измерять горизонтальные и вертикальные углы со средней квадратической ошибкой  $5''$ , и как тахеометр с номограммой. Вертикальный круг с градусными делениями наглухо прикреплен к оси вращения трубы и вращается вместе с ней. Второй вертикальный круг соединен вращательно с осью вращения трубы и закреплен относительно колонки трубы неподвижно. На этом круге нанесены кривые номограммы дальномеров и высотометра. В поле зрения трубы видны кривые номограммы и короткие дальномерные нити с коэффициентом дальномеров  $K = 200$  (рис. 105, а). Для отсчетов по вертикальному и горизонтальному кругам служит шкаловой микроскоп с ценой деления  $\mu = 1'$ , окуляр которого расположен рядом с окуляром зрительной трубы.

При вращении трубы номограмма остается неподвижной, а против отверстия трубы при разных ее наклонах будут приходиться разные точки кривых номограммы. При отсчитывании по рейке основную кривую номограммы наводят на специальную марку на рейке, расположенную на высоте тахеометра или на высоте 1,4 м от основания рейки, и делают отсчеты по кривым расстояний и превышений как по дальномерным витям.

На рис. 105, а отсчет по кривой горизонтальных проложений  $l_s = 34$  см, а по кривой превышений с коэффициентом  $K^* = -20$   $l_b = 20$  см.

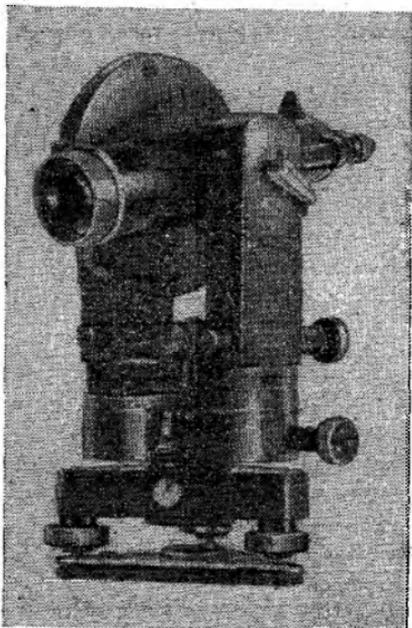


Рис. 104. Тахеометр Дальта 020

По формулам (182) вычисляют горизонтальное проложение  $s = 34,0 \text{ см} \cdot 100 = 34,0 \text{ м}$  и превышение  $h = (-20) \cdot 20,0 \text{ см} = -4,0 \text{ м}$ .

В формуле (182) постоянное слагаемое дальномера  $C = 0$ . Это достигается благодаря устройству трубы тахеометра, так как вершина параллактического угла расположена на вертикальной оси прибора. Такая зрительная труба называется аналитической. Оптическая схема трубы показана на рис. 105, б.

Лучи, идущие от рейки через объектив 1 и фокусирующую линзу 2, преломляются призмой 3 и проходят через край непод-

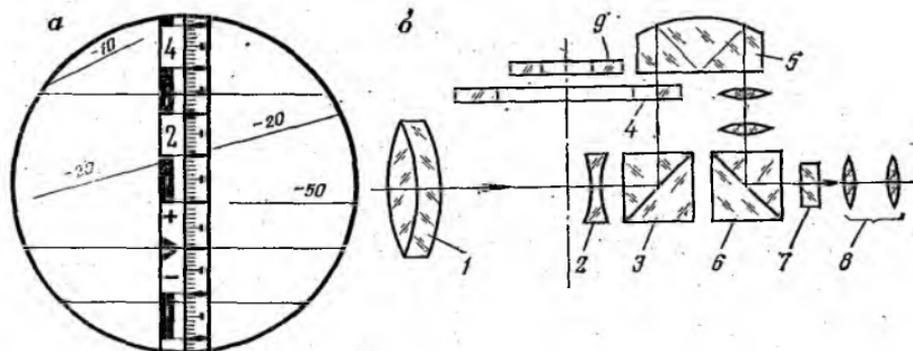


Рис. 105

а — поле зрения; б — оптическая схема тахеометра Дальта

вижного стеклянного круга 4, на котором нанесены кривые номограммы. Призмы 5 и 6 направляют лучи в плоскость сетки нитей 7. Изображения рейки и номограммы, полученные в плоскости сетки нитей, рассматривают через окуляр 8. Стекланный круг 9 используют для измерения вертикальных углов.

Кривая горизонтальных проложений действует в интервале от  $+45^\circ$  до  $-45^\circ$  с коэффициентом 100. Кривые превышений имеют 3 коэффициента:

$$\begin{aligned} K' &= \pm 10 \text{ для углов наклона от } 0 \text{ до } 10^\circ \\ K' &= \pm 20 \text{ » » » » } 6 \text{ до } 22^\circ \\ K' &= \pm 100 \text{ » » » » } 11 \text{ до } 45^\circ. \end{aligned}$$

Используются вертикальные четырехметровые рейки с выдвижным концом, чтобы уравнивать высоту прибора и визирования.

Редукционный тахеометр Дальта 010А является модификацией тахеометра Дальта 020. Предназначен для производства тахеометрической съемки, измерения углов в теодолитных ходах и микротриангуляции. По конструкции вертикальный и номограммный круги разделены. Окуляр микроскопа расположен слева от трубы. Все операции выполняются в одном месте и одной рукой, что при наборе пикетов дает существенную экономию времени и меньше утомляет наблюдателя. В конструкции тахеометра применены: лучший оптический визир, более совершенное

демпфирование индекса вертикального круга, выгодное цветовое выделение отсчетов кругов. Производительность работ при тахеометрии повышается на 5%.

Ошибка измерения расстояний равна 10 и 20 см на 100 м для коэффициентов дальномера  $K = 100$  и  $K = 200$ ; ошибки определения превышений зависят от коэффициентов кривых и не пре-



Рис. 106. Тахеометр Дальца 010 с картографическим столиком «Карти-250»

вышают 3, 5, 10 и 15 см на 100 м для  $K' = \pm 10, 20, 50$  и 100 соответственно.

Особенностью тахеометров Дальца является наличие в комплекте картографического столика «Карти-250» (рис. 106), который позволяет вести полуавтоматически съемку в полярной системе координат и сочетает преимущества мензульной и тахеометрической съемок.

Средняя квадратическая ошибка картирования столиком составляет 0,13 мм, а на окончательном оригинале — 0,3 мм. Особенно производительное применение столика с тахеометром Дальца 010А. Столик диаметром 250 мм прикрепляется к тахеометру с помощью переходной втулки, которая позволяет увеличивать высоту горизонтальной оси над головкой штатива на 32 см, что гарантирует удобство и надежность его использования.

В комплект столика входят четыре сменных линейки со шкалами для масштабов 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 2500 и 1 : 5000, которые позволяют вести съемку на расстояниях 125, 250, 312 и 625 м

от станции. Точность установки по шкале масштаба расстояний составляет 0,1 мм.

Чертежной основой для съемки служат листы фольги из астралона, калька или чертежная бумага. На чертежную основу в центре круга наносят точку расположения тахеометра. Наводят зрительную трубу тахеометра на точку местности, по определенному расстоянию иглой накалывают точку на чертежную основу. Получают линию, которая затем является основой для составления плана. Расстояния до речных точек (пикетов) и их превышения определяют по кривым номограммы. Затем по расстояниям наносят пикетные точки и подписывают их отметки.

## § 62. ТЕОРИЯ НОМОГРАММНЫХ ТАХЕОМЕТРОВ

Формулы для определения горизонтального проложения и превышения, полученные нитяным дальномером с вертикальной рейкой, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} s &= Kl \cos^2 \nu, \\ h &= \frac{1}{2} Kl \sin 2\nu, \end{aligned} \right\} \quad (183)$$

а для определения тахеометром с номограммой

$$\begin{aligned} s &= Kl_s; \\ h &= K'l_h. \end{aligned}$$

Если левые части формул равны, то можно приравнять и правые их части; тогда получим

$$\left. \begin{aligned} l_s &= l \cos^2 \nu, \\ l_h &= \frac{1}{2} \frac{K}{K'} l \sin 2\nu. \end{aligned} \right\} \quad (184)$$

Отрезки на рейке, отсекаемые нитями сетки, пропорциональны расстоянию  $Q$  между этими нитями, поэтому можно записать приближенные равенства:

$$\frac{l_s}{l} \approx \frac{Q_1}{Q} \quad \text{и} \quad \frac{l_h}{l} \approx \frac{Q_2}{Q},$$

откуда

$$l_s = \frac{Q_1}{Q} l \quad \text{и} \quad l_h = \frac{Q_2}{Q} l.$$

Если подставить эти выражения в формулы (184) соответственно, то получим

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= Q \cos^2 \nu, \\ Q_2 &= \frac{1}{2} \frac{K}{K'} Q \sin 2\nu. \end{aligned} \right\} \quad (185)$$

Угол наклона $\nu^\circ$	$\cos^2 \nu$	$\frac{1}{2} \sin 2\nu$	$Q_1$ , мм	$Q_2$ , мм
0	1,00	0	2,51	0
10	0,97	0,17	2,43	4,27
20	0,88	0,33	2,21	8,28
30	0,75	0,43	1,88	10,79

Учитывая, что расстояние между нитями сетки по формуле (105) равно

$$Q = \frac{f_3}{K},$$

где  $f_3$  — фокусное расстояние эквивалентной линзы (определяется по формуле (35) и для трубы с внутренним фокусированием равно 251 мм), расчетные формулы для построения кривых номограммы будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{f_3}{K} \cos^2 \nu, \\ Q_2 &= \frac{f_3}{2K'} \sin 2\nu. \end{aligned} \right\} \quad (186)$$

Использование данных приближенных формул в отличие от строгих формул \* при значениях коэффициентов 10, 20, 100 и углах наклона до  $30^\circ$  для расчета номограмм приводит к ошибкам в измерении расстояний и превышений не более 0,4%, т. е. в пределах точности измерений.

Составим таблицу значений  $Q$  для углов наклона от  $0$  до  $30^\circ$ , принимая  $K = 100$ , а  $K' = 10$  (табл. 24)

Из табл. 24 видно, что с увеличением угла наклона визирной оси зрительной трубы интервал  $Q_1$  между дальномерными нитями для отсчета по рейке должен уменьшаться, чтобы при умножении этого отсчета на коэффициент дальномера  $K = 100$  получить горизонтальное положение линии, а  $Q_2$  — увеличиваться. При значении угла наклона, равного нулю, расстояние между нитями также должно быть равным нулю, в этом случае и  $h' = 0$ .

На основе приведенных в табл. 24 расчетов вместо обычной сетки нитей можно построить номограмму из нанесенных на стеклянном круге тонких и четких кривых линий. Номограмму на круге получают фотографированием или пантографированием с трафарета. Трафарет изготавливается в крупном масштабе по значениям  $Q_1$  и  $Q_2$ , определенным по формулам (186') для ряда последовательных значений углов наклона, например через  $5-10^\circ$ .

$$* Q_1 = \frac{f_3 \cos^2 \nu}{K \pm \sin \nu \cos \nu}; \quad Q_2 = \frac{f_3 \sin 2\nu}{2(K' \pm \sin^2 \nu)}. \quad (186')$$

На трафарете строят круг (рис. 107) радиусом  $rM$ , где  $r$  — радиус основного круга и  $M$  — масштаб увеличения номограммы; затем от основного радиуса  $OC$  через каждые  $5^\circ$  строят вспомогательные радиусы и на каждом откладывают соответствующие отрезки  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Например, по основной оси  $OC$  откладывают  $Q_1 = 2,51$  мм; по прямым, проведенным под углом в  $10^\circ$  ( $+10^\circ$  и  $-10^\circ$ ) относительно основной оси, откладывают  $Q_2 = 2,43$  мм и т. д. Полученные точки соединяют плавной кривой — это кривая горизонтальных проложений.

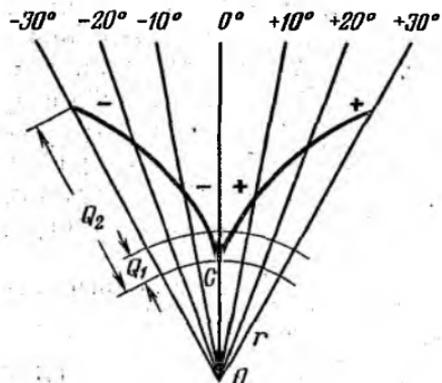


Рис. 107. Построение кривых номограммы

Построение кривых номограммы производится симметрично относительно основной оси. При горизонтальном положении трубы ( $v = 0$ ) в середине поля зрения оказывается часть номограммы, соответствующая углу наклона  $0^\circ$ . Если зрительная труба наклонена, например, на  $-10^\circ$ , то в середине поля зрения трубы окажется та часть номограммы, которая соответствует  $v = -10^\circ$ .

Для определения горизонтальных проложений и превышений необходимо произвести отсчеты по рейке ( $l_s$  — число делений между начальной окружностью (кривой) и кривой горизонтальных проложений и  $l_h$  — число делений между начальной кривой и кривой превышений) и умножить их на соответствующие коэффициенты.

Тахеометрами с номограммами измеряют расстояния порядка 200—250 м с точностью 1 : 500—1 : 600. Превышения получают с различной точностью в зависимости от коэффициентов кривых:

при $K' = \pm 10$	$m_h$ равно	2—4 см	на 100 м,
» $K' = \pm 20$	$m_h$ »	6—10 см	» 100 м,
» $K' = \pm 100$	$m_h$ »	10—15 см	» 100 м.

### § 63. ПОНЯТИЕ О БАРОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

В каждой точке местности атмосферное давление равно весу вышележащего столба воздуха, следовательно, оно зависит от высоты точки над уровнем моря. В основе барометрического нивелирования лежит зависимость между высотой точки и величиной атмосферного давления в ней. Сущность барометрического

нивелирования заключается в определении разности высот точек земной поверхности путем сравнения величин атмосферного давления в этих точках.

Для определения превышений этим способом измеряют давление и температуру воздуха в двух точках местности для одного и того же момента времени. Влияние влажности воздуха учитывается по данным измерений на государственных метеорологических станциях.

Преимущество барометрического нивелирования состоит в том, что при производстве работ не требуется взаимной видимости между точками, недостатком является его невысокая точность: порядка 0,5 м в равнинных и 1—2 м в горных районах.

Атмосферное давление выражается в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.)\* или в миллибарах (мб). 1 мб = 0,750 мм рт. ст. За нормальное давление атмосферы принято давление ртутного столба высотой 760 мм с сечением 1 см на уровне моря и географической широте 45°.

Для определения превышений используют сокращенные барометрические формулы

$$h = N(1 + \alpha T_{\text{ср}}) \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad (187)$$

$$h = K(1 + \alpha T_{\text{ср}}) \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}, \quad (188)$$

где  $N = 18\,470$  и  $K = 15\,985$  — коэффициенты, которые учитывают влияние влажности, широты местности и высоты точки над уровнем поверхности;  $\alpha = 0,003663$  (1 : 273) — температурный коэффициент расширения воздуха;  $T_{\text{ср}}$  — средняя температура наблюдения на точках;  $P_1$  и  $P_2$  — измеренное давление в двух точках.

Барометрические формулы (187) и (188) могут быть преобразованы к форме, удобной для пользования и составления специальных барометрических таблиц, которые строятся на принципе отнесения результатов наблюдений к уровню моря и к одной и той же определенной температуре

$$h = \Delta H (P_1 - P_2), \quad (189)$$

$$h = (H'_2 - H'_1) + (H'_2 - H'_1) \alpha T_{\text{ср}}, \quad (190)$$

Величина  $\Delta H$  называется *барической ступенью высоты*. Она определяет высоту столба воздуха при температуре  $\frac{T_1 + T_2}{2}$  и давлении  $\frac{P_1 + P_2}{2}$ , масса которого равна массе 1 мм рт. ст. при одинаковых площадях их поперечных сечений, или это расстояние в метрах по вертикали, на котором давление меняется на 1 мм рт. ст. В средних широтах барическая ступень примерно

\* В системе СИ принят паскаль 1 мм рт. ст. = 133,322 Па.

равна 11 м на 1 мм рт. ст. Для определения величины  $\Delta H$  по формуле (188) составлены таблицы барических ступеней высот по аргументам  $T_{\text{ср}}$  и  $P_{\text{ср}}$ . С увеличением плотности воздуха  $\Delta H$  уменьшается, и наоборот. Например, при  $T_{\text{ср}} = +10^\circ$  и  $P_{\text{ср}} = 740$  мм рт. ст.  $\Delta H = 11,24$  м, а при том же давлении, но при  $T_{\text{ср}} = +20^\circ$   $\Delta H = 11,63$  м.

По формулам (187) и (190) для определения приближенных высот  $H'_1$  и  $H'_2$  по аргументу  $P_i$  составлены таблицы приближенных высот, или альтитуд. Эти таблицы построены в предположении, что давление воздуха на уровне моря  $P_0$  равно 760 мм рт. ст., а температура слоя воздуха между уровнем моря и точкой местности, где измеряется давление, равна  $T_{\text{ср}} = +15^\circ$ . Высоты  $H'_1$  и  $H'_2$  будут приближенными потому, что их значения зависят от того, насколько действительное давление на уровне моря, имеющее место в момент измерения давления на определяемой точке, будет близким к условно принятому давлению и насколько температура слоя воздуха будет близкой к условно принятой. Например, если действительное давление на уровне моря 750 мм рт. ст. вместо принятого в таблице 760 мм рт. ст., то приближенная высота, взятая из таблиц, будет содержать ошибку в 10 барических ступеней, т. е. 112 м.

Из формулы (190) следует, что превышение между двумя точками равно разности приближенных высот точек, исправленной за уклонение средней температуры столба воздуха, расположенного между точками, от температуры, принятой при составлении таблиц. Для нахождения величины  $(H'_2 - H'_1) \alpha T_{\text{ср}}$  имеются специальные таблицы, составленные по аргументам разности приближенных высот  $(H'_2 - H'_1)$  и средней температуре.

Атмосферное давление измеряют с помощью приборов — барометров, которые можно разделить на два основных вида: жидкостные (ртутные) и с механическим приемником давления (анероиды и микробарометры).

На принципе закона гидростатики (атмосферное давление измеряется высотой столба жидкости, его уравнивающей) основано действие ртутных барометров, которые по своей конструкции делятся на чашечные, сифонные и сифонно-чашечные. Эти барометры используются на метеостанциях или в геодезических партиях для определения поправок к отсчетам по anerоидам и микробарометрам.

Чашечный барометр (рис. 108, а) состоит из пластмассовой или чугунной чашки 5, в которую опущена стеклянная калиброванная трубка с запаянным верхним концом 2. Трубка и чашка наполняются дистиллированной ртутью. Давление передается через резьбу винта 6 в чашку, уравнивая столб ртути в трубке. Для отсчитывания по шкале с точностью до 0,05 деления шкалы высоты ртутного столба используют нониус 1, который перемещают с помощью винта 3. Температуру прибора определяют с точностью 0,1° по термометру 4, вмонтированному

в среднюю часть оправы. Точность определения давления составляет 0,13 мб.

К сифонно-чашечным барометрам относятся инспекторский и контрольный барометры. В инспекторском барометре (рис. 108, б) две стеклянные трубки с ртутью опущены в чашку с ртутью 1. Длинная трубка 4 сверху запаяна, короткая 2 имеет кран и открыта для доступа воздуха. Трубки в металлических оправках. Подъемным винтом 5 поднимают ртуть в левой трубке до нулевого индекса, а в правой нониус 3 совмещают с мениском ртути и производят отсчет. Точность определения давления  $m_p = 0,08$  мб.

Контрольный барометр отличается от инспекторского большим диаметром трубок, что позволяет уменьшить ошибки при отсчете, вызванные снижением ртутного столба под действием молекулярного давления.

В показания ртутных барометров вводят поправки: температурную, учитывающую расширение ртути и шкалы; за изменение силы тяжести (удельный вес ртути зависит от ускорения силы тяжести, которая определяется широтой местности и высотой относительно уровня моря); за приведение показания барометра к нормальной силе тяжести на широте  $45^\circ$ ; за приведение к нормальной силе тяжести на уровень моря; инструментальную (вследствие изготовления, а также изменений во время эксплуатации прибора).

Барометр-анероид (пружинный) состоит из гофрированной коробки 1 (рис. 109, а), пружины 2, соединенной рычагами. К концу рычага прикреплена цепочка 3, намотанная на барабан 4.

Стрелка 5, укрепленная на барабане, перемещается по шкале 6.

Беспружинный барометр-анероид БАММ (рис. 109, б), выпускаемый в СССР, состоит из трех последовательно соединенных мембранных коробок, которые наполнены газом. Под действием давления верхняя и нижняя коробки деформируются до тех пор, пока между внешним давлением и упругими силами мембран и газа не установится равновесие. Пределы измерения атмосферного давления от 600 до 800 мм рт. ст.

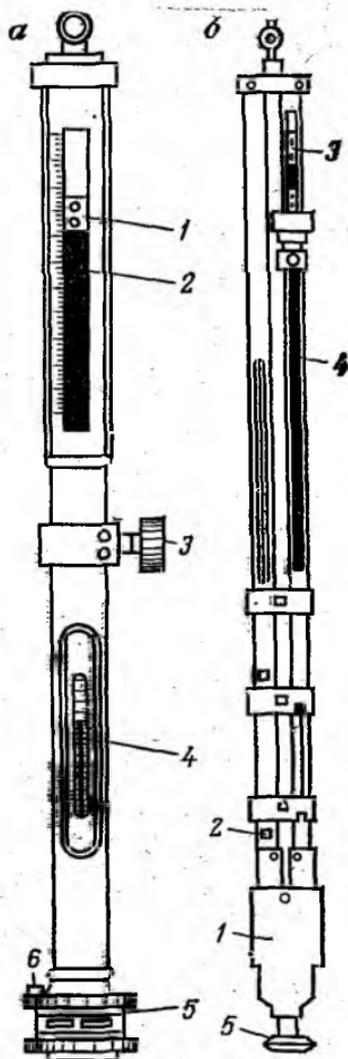


Рис. 108. Ртутные барометры

Отсчет по шкале барометра-анероида берут с точностью до 0,1 мм рт. ст., температуру прибора определяют до 0,1°.

В показания барометра-анероида вводят поправки: шкаловую, температурную и добавочную (вследствие неточного учета поправок из-за деформации прибора). Точность определения давления анероидом  $m_p = 0,3$  мм рт. ст.

а

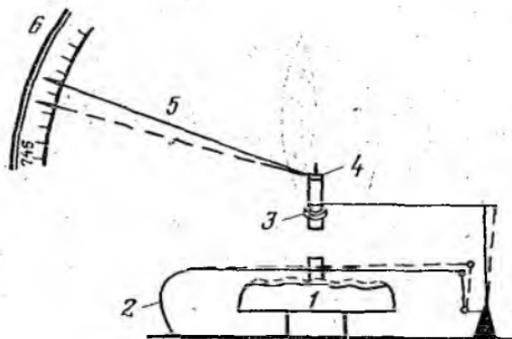
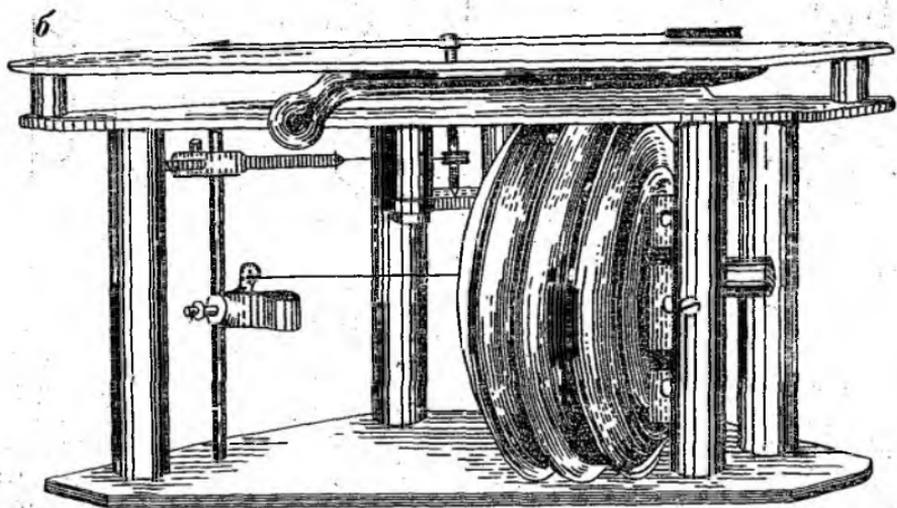


Рис. 109. Барометр-анероид



В настоящее время широкое применение находят отечественные микробарометры МБНП, ОМБ-1, ОМБ-3П и МБ-63 и зарубежные микробарометры фирм «Аскания» (ФРГ) и «Паулин» (США).

Микробаронивелир пружинный (МБНП) (рис. 110, а) состоит из двух анероидных блоков 1, укрепленных на одном основании 2 и через рычаги связанных с двойной цилиндрической ленточной пружиной 3, в середине которой расположено зеркало 4. При изменении давления происходит изменение высоты анероидных блоков, передающееся посредством рычагов на пружину, вызывая ее растяжение или сжатие. Угловое перемещение зеркала

фиксируется с помощью оптического устройства, состоящего из шкалы 6 (150 делений), дуговой призмы 5, объектива и окулярного микрометра, который содержит наводящий винт со шкалой 7, имеющей 100 делений, пластину с биссектором 8 и перекрестие нитей, неподвижную шкалу окуляра 9 из 8 делений и окуляр 10. Перемещение блоков на 1 мкм, соответствующее изменению давления на 0,1 мм рт. ст., вызывает поворот зеркала на 5 делений.

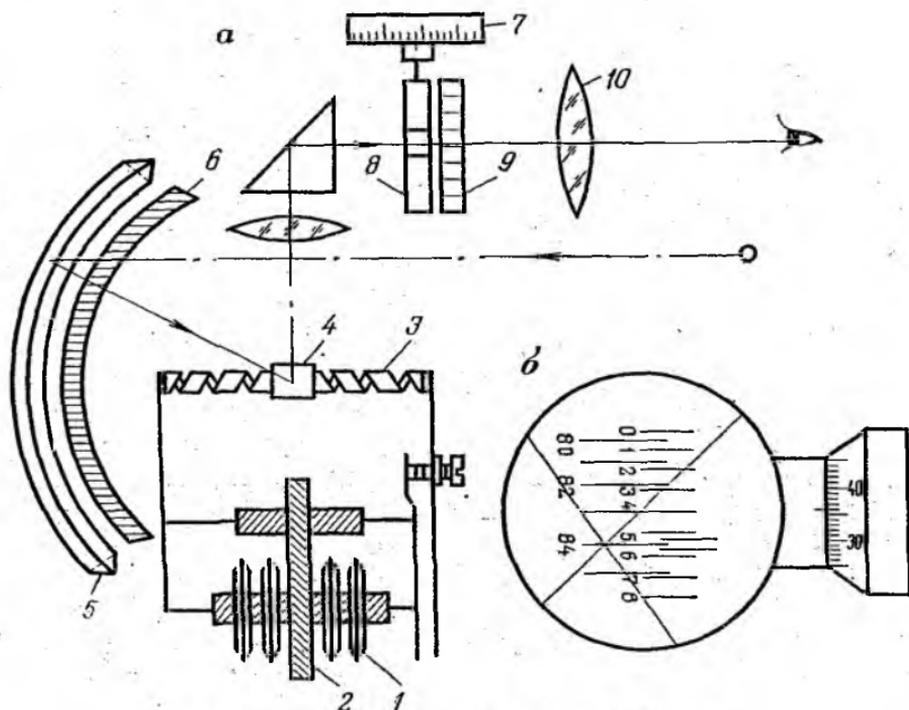


Рис. 110. Микробаронивелир пружинный МБНП

Поворотом винта окулярного микрометра биссектор наводят на штрих шкалы, находящийся справа от 3-, 4- или 5-го штрихов неподвижной шкалы окуляра и берут отсчет, например (см. рис. 110, б) 84,536. Отсчеты, взятые относительно 3- и 5-го штрихов приводят к 4-му штриху и из них находят средний отсчет. Давление вычисляют по формуле

$$P_i = P_0 + \alpha_0 S_i + \beta \frac{S_i^2}{2} + \Delta P_T, \quad (191)$$

где  $S_i$  — средний отсчет;  $P_0$  — постоянная величина, полученная путем сравнения давления с показаниями ртутного барометра;  $\alpha_0$  — цена деления шкалы;  $\beta$  — градиент цены деления шкалы; \*  $\Delta P_T$  — поправка за температуру.

\* Цена деления шкалы МБНП не постоянна для всего диапазона и находится в обратной зависимости от величины отсчета. Поэтому введен градиент цены деления шкалы.

Оптический микробарометр ОМБ-1 (рис. 111, а, б) состоит из анероидного блока 1, двух зеркал: неподвижного 2 и качающегося 3. Изменение давления вызывает поворот зеркала 3 вокруг горизонтальной оси; угол поворота измеряется оптическим устройством, состоящим из двойной автоколлимационной системы: оптического микрометра и отсчетного микроскопа. Свет от источника 4 через светофильтр 5, конденсатор 6 и стеклянную пластину 7, имеющую два параллельных штриха, попадает на плоскость полупрозрачного зеркала 8. Часть света проходит в отсчетное устройство, а другая, отразившись, выходит из объектива и попадает в призмный блок 9, откуда часть света пойдет к неподвижному зеркалу, а часть к качающемуся. Отразившись от зеркала, лучи идут в обратном направлении до зеркала 8 и через диафрагму 15 к окуляру 10. Юстировкой оптических клиньев 11 и качающегося зеркала добиваются положения, когда внутри диафрагмы наблюдается отражение биссектора от неподвижного зеркала и штриха от зеркала 3. Для измерения смещения штриха вследствие угла наклона служит компенсационная линза 12, перемещающаяся механическим устройством, которая связана со шкалой 13 и верньером 14. Шкала имеет 400 делений. Винтом наводки вводят подвижный штрих в середину биссектора и производят отсчет с округлением до 0,1 деления шкалы, например 125,5 (рис. 111, в). Точность определения давления  $m_p = 0,03$  мб.

Для производства барометрического нивелирования используется способ замкнутых полигонов с опорой на временную барометрическую станцию (при нивелировании площадей). Нивелирование выполняется от опорной высотной точки (временной барометрической станции ВБС) путем проложения одним или несколькими исполнителями замкнутых ходов, включающих определяемые точки. Назначение ВБС заключается в регистрации изменения давления и температуры окружающего воздуха. Это выполняется самописцем-термографом и барографом или барометром и термометром через промежутки времени в 10, 15, 30, 60 мин в зависимости от требуемой точности нивелирования и от численного значения барической тенденции (изменение давления во времени: за 3 часа — 1 мм). Результаты измерений давления и температуры воздуха на станции наносят на график функциональной зависимости от времени. По этому графику определяют поправки в давления, измеренные на определяемых точках. Допустимое удаление точек хода от станции может достигать 2,5—3,5 км, при ожидаемой средней квадратической ошибке  $m_n = 1,0—1,2$  м.

При способе передвижной станции ход разбивают на секции длиной от 2 до 20 км. Превышение между концами секции хода можно вычислить как по одновременным наблюдениям обоих исполнителей, так и по результатам наблюдений только одного исполнителя. Средняя квадратическая ошибка определения пре-

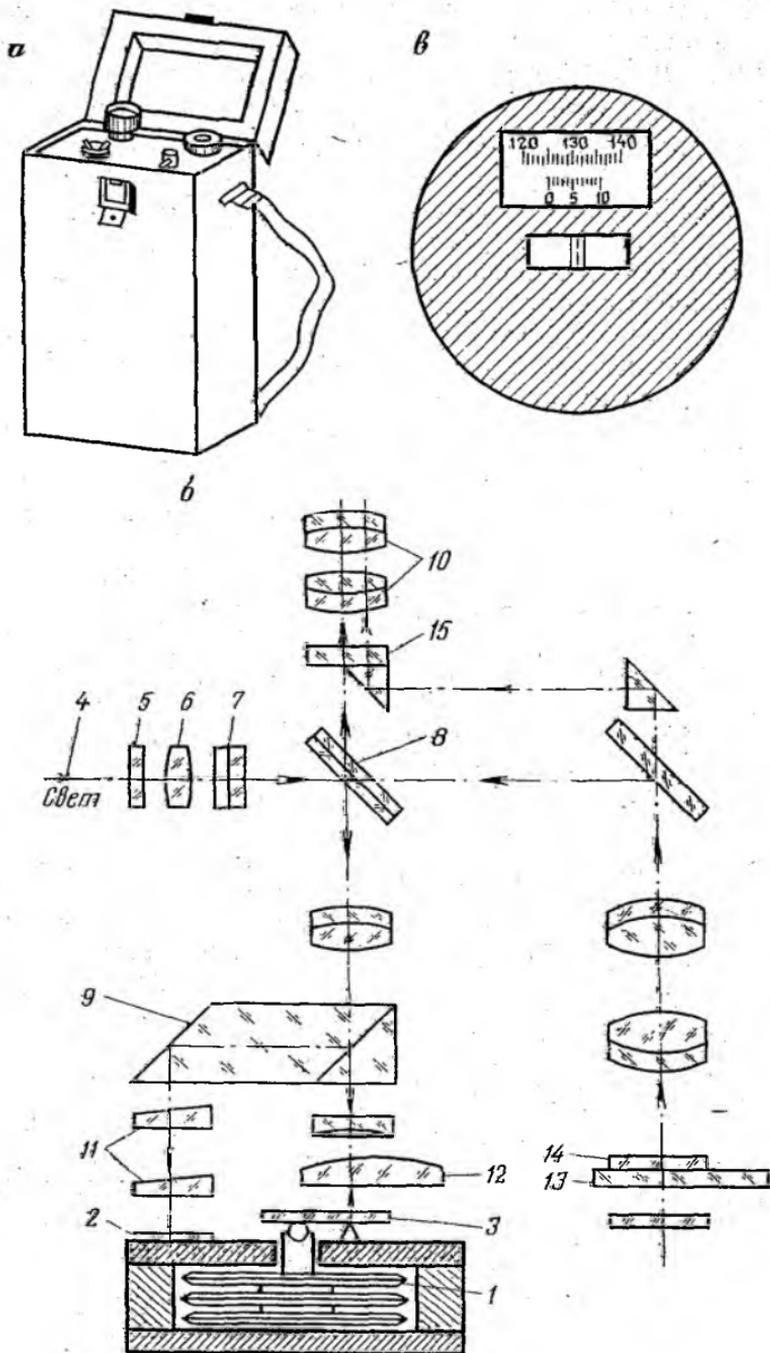


Рис. 111. Оптический микробарометр ОМБ

вышений  $m_n = 1-2$  м для превышений до 600 м. Этот способ приводит к исключению ошибок, возникающих вследствие барической тенденции. Горизонтальный барический градиент ГБГ (изменение давления в пространстве порядка 2 мм на 111 км) частично исключается путем распределения поправок, устраняющих общую невязку.

Разновидностью способа является способ «скачущей» станции, при котором наблюдения на двух промежуточных точках выполняются одновременно. В этом способе барометры обоих наблюдателей будут находиться в близких атмосферных условиях, а это важно при работе в пересеченной местности, где даже при незначительных расстояниях могут наблюдаться существенные различия в суточном ходе атмосферного давления и температуры.

Способ срочных отсчетов с опорой на несколько барометрических станций используется для нивелирования больших участков. Исходными пунктами являются высоты метеорологических станций Гидрометеослужбы СССР, а также высоты ВБС, организуемых на участке работы на период выполнения нивелирования. Густота станций зависит от требуемой точности; если требуется точность определения превышений  $m_n = 1$  м, то расстояние между станциями может быть до 50 км. Определение разности высот выбранных точек местности относительно барометрической станции производится по результатам измерения в этих точках температуры и давления воздуха в заранее обусловленные моменты времени, совпадающие с моментами измерения температуры и давления на станциях. Высоты точек определяются как среднее-весовое.

На точность барометрического нивелирования оказывают влияние следующие источники ошибок: инструментальные и личные; от условных предположений при выводе барометрических формул; неравновесия атмосферы — барическое поле (барическая тенденция, горизонтальный и вертикальный барические градиенты) и температурное поле (вертикальный температурный градиент, суточное изменение температуры, микроколебания температуры воздуха во времени). Для ослабления влияния ошибок подбирают соответствующие приборы-эталонные для определения поправок, улучшают конструкцию приборов, используют специальную методику наблюдений.

Барометрическое нивелирование используется для построения высотного обоснования аэрофототопографических съемок в масштабе 1 : 25 000, для обеспечения высотами при изысканиях, при геофизических, гравиметрических и сейсмических разведках, при геологических, географических и геоморфологических работах.

## § 64. ПОНЯТИЕ О ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

Гидростатическое нивелирование основано на законе сообщающихся сосудов. Сущность метода видна из рис. 112, а, на котором изображены сообщающиеся сосуды 1 и 2, установленные

на различных уровнях поверхностей в точках *A* и *B*. Определяемое превышение *h*, как и в геометрическом нивелировании, можно вычислить по формуле

$$h = H_1 - H_2$$

или

$$h = (a_1 - a_2) - (b_1 - b_2), \quad (192)$$

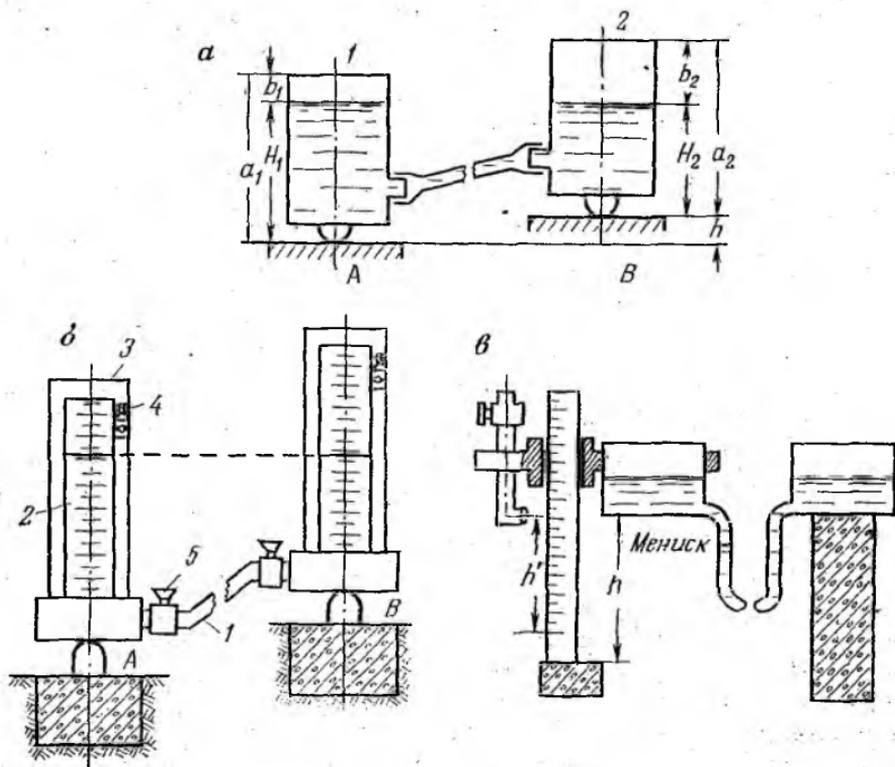


Рис. 112. Приборы для гидростатического нивелирования

где  $a_1$  и  $a_2$  — высоты сосудов или положение исходных точек отсчитывания (мест нуля) относительно рабочего основания;  $b_1$  и  $b_2$  — значения положения урвневной жидкости в сосудах или расстояния от исходной точки отсчитывания до поверхности жидкости.

Если сосуды поменять местами, то можно по аналогии записать

$$h = (a_2 - a_1) - (b'_2 - b'_1), \quad (193)$$

где  $b'_1$  и  $b'_2$  — новые значения положения урвневной жидкости в сосудах.

Решая совместно равенства (192) и (193), получим

$$h = \frac{1}{2} [(b_2 - b_1) + (b'_2 - b'_1)]$$

$$c = a_1 - a_2 = \frac{1}{2} [(b_2 - b_1) + (b'_2 - b'_1)], \quad (194)$$

где  $c$  — постоянная прибора (разность в положении точек отсчитывания в каждом гидростатическом сосуде, зависящая от точности его изготовления). Постоянную прибора можно определить путем эталонирования гидростатического сосуда относительно эталона на горизонтальной поверочной плите.

При гидростатическом нивелировании используются *визуальный* и *контактно-визуальный* методы определения положения уровня жидкости. Простейший прибор с визуальным методом отсчитывания состоит из двух головок (сосудов) в виде стеклянных цилиндров (рис. 112, б), прикрепленных к рейке-держателю 3 и сообщающихся шлангом 1. В качестве наполнителя используется вода. В нижней части головок имеются крапы 5, которыми перекрывают жидкость при переносе прибора на станцию. На стеклянные цилиндры 2 нанесены деления; отсчеты производятся непосредственно по мениску. Цилиндры устанавливают на реперы или колья и приводят в рабочее положение по круглому уровню 4. Точность нивелирования 1 мм. Для увеличения точности используются более совершенные отсчетные устройства в виде миллиметровой шкалы с нониусом и фиксатором уровня жидкости, тогда отсчеты производятся с точностью 0,1 мм.

Одной из конструкций гидростатического переносного нивелира служит широкопредельный высокоточный монтажный нивелир, основанный на методе измерения отфиксированной гидростатической плоскости (рис. 112, в). Плоскость в приборе фиксируется мениском, располагающимся в измерительной трубке и образованным двумя нерастворимыми друг в друге жидкостями разной плотности.

В СССР выпускается гидростатический прибор УГС, модель 115, который имеет посадочную полированную плиту, что позволяет устанавливать его непосредственно на нивелируемые поверхности. Работа прибора основана на принципе *контактно-визуальной* фиксации уровня жидкости. В момент касания штоком жидкости в зависимости от освещения появляется темная или светлая полоска мениска.

В некоторых приборах используются оптические средства фиксации уровня жидкости, в которых фиксирующие элементы перемещаются по вертикали, а величина перемещения регистрируется по шкале наводящего винта. Точность фиксации положения уровня в таких гидростатических головках составляет несколько микрометров.

Для определения положения уровня жидкости используют методы: гидростатический, электрический, электроконтактный (в МИИГАиК создан прибор с ртутным наполнителем, где применен электроконтактный метод фиксации уровня), емкостный,

индуктивный, кондуктометрический; фотоэлектрический (датчики предельного, дискретного и непрерывного типов) и др.

Фотоэлектрическое устройство основано на принципе изменения условий отражения света в световоде при его погружении в жидкость. Устройство состоит из датчика уровня, датчика линейных перемещений и электродвигателя. Точность регистрации уровня составляет 15—20 мкм.

Использование современных способов фиксации уровня жидкости, создание термокомпенсированных гидростатических систем и систем со стабилизированным положением уровня, дистанционный съем информации дают возможность считать метод гидростатического нивелирования высокоточным методом нивелирования.

На результаты гидростатического нивелирования оказывают влияние следующие ошибки: инструментальные, внешних условий, выбора жидкости и соединений в гидростатических системах, работающих в разных условиях.

Точность определения превышений в закрытых помещениях с постоянной температурой характеризуется средней квадратической ошибкой  $m_h = 5-8$  мкм.

Преимуществом гидростатического нивелирования является передача отметок на большие расстояния (до нескольких десятков километров), недостатком — громоздкость аппаратуры и большой период времени, используемый на подготовительные работы.

Гидростатическое нивелирование используется при решении геодезических и геофизических задач, в строительстве и при эксплуатации различных инженерных сооружений, для высокоточных передач отметок через большие водные препятствия, при создании высотного обоснования в горных районах, для изучения вертикальных смещений земной коры, измерения земных приливо-отливных явлений; для наблюдения за осадками и деформациями плотин, мостов, турбин, основания высотных сооружений и т. д. Специальные конструкции гидростатических нивелиров используются для обеспечения подводного строительства необходимыми данными, а также при создании специальных прецизионных систем дистанционного съема информации. На ускорителях заряженных частиц и других сооружениях используются стационарные гидростатические системы, позволяющие получать необходимую информацию о положении оборотов.

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

§ 65. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.  
НАЗНАЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК

На территории СССР топографические съемки разных масштабов выполняются предприятиями ГУГК при СМ СССР и проектно-изыскательскими организациями различных министерств и ведомств согласно Инструкции по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000 [21] и Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 [22], которые устанавливают основные технические требования и технологические схемы для производства съемок и предусматривают создание на их основе топографических карт и планов с обязательным применением установленных условных знаков.

В зависимости от назначения топографических съемок планы делятся на основные и специализированные. На основные планы наносят все объекты и контуры, предусмотренные Условными знаками, а рельеф изображается с точностью, установленной Инструкцией. Специализированные планы создаются для решения различных инженерных задач в разных отраслях народного хозяйства. При создании специализированных планов согласно ведомственным наставлениям и инструкциям можно изображать не всю ситуацию местности, а только необходимую, применять нестандартные сечения рельефа, предъявлять более высокие или пониженные требования к точности изображения контуров и рельефа местности.

Специализированные топографические планы могут составляться в виде цифровой модели местности, ортофотокарт и планов. Цифровая модель местности строится путем математической обработки на ЭВМ результатов геодезических или фотографических измерений и может быть преобразована в графическое изображение с помощью автоматического координатографа.

Топографические планы размножаются посредством изготовления копий с полевых или составительских оригиналов или готовятся к изданию средством офсетной печати.

Согласно Инструкции [21] основным методом топографической съемки в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000 является стереотопографический. Комбинированный способ используется при съемках в масштабе 1 : 10 000 для районов, покрытых густой и высокой растительностью.

По требованиям Инструкции [22] топографические съемки в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 выполняются

методами: стереотопографическим, комбинированным (на фото-плане), мензульным, тахеометрическим, нивелированием площадей, а также методами горизонтальной и вертикальной съемок. Основными являются стереотопографический и комбинированный. Мензульная и тахеометрическая съемки применяются в основном в крупных масштабах (1 : 1000 и 1 : 500) и на небольших территориях, а также в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000, когда нельзя использовать аэрофотосъемку. Теодолитная (горизонтальная) съемка выполняется на городских и промышленных территориях. Фототеодолитная съемка (стереотопографическая наземная) используется для составления планов горных, всхолмленных и в особых случаях инженерных изысканий равнинных районов. На небольших участках она может быть использована как самостоятельная съемка, а при картографировании больших площадей — в сочетании с другими видами съемок.

Нивелирование поверхности используется для вертикальной планировки территорий.

Способы горизонтальной и вертикальной съемок применяются при съемке застроенных территорий и съемке подземных коммуникаций.

Выбор масштаба съемки зависит от назначения съемки, размера участка, полноты отображения элементов местности и рельефа, точности их изображения, т. е. от факторов производственных, природных, технических и экономических.

Высота сечения рельефа устанавливается в зависимости от масштаба создаваемой топографической карты и плана и максимальных преобладающих углов наклона местности.

Согласно требованиям Инструкции [21] и [22] средние ошибки в положении на карте и плане предметов и контуров местности относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм в равнинных и всхолмленных районах и 0,7 мм в горных районах. На территориях с капитальной и многоэтажной застройкой ошибки во взаимном положении на плане важных контуров (капитальных сооружений, зданий и т. д.) не должны превышать 0,4 мм.

Средние ошибки съемки рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования не должны превышать по высоте:

1/4 принятой высоты сечения рельефа при углах наклона до 2° и для масштаба 1 : 10 000 при углах наклона до 1°;

1/3 высоты сечения рельефа при углах наклона от 2 до 6° и для масштаба 1 : 25 000 при углах наклона до 1°.

Для местности с углами наклона свыше 6° число горизонталей должно соответствовать разности высот, определенных на перегибах скатов.

В залесенной местности эти допуски увеличиваются в 1,5 раза.

Рельеф местности изображается горизонталями в сочетании с отметками точек и условными знаками обрывов, скал, воронок, ям, оврагов.

Средние ошибки высот характерных точек, подписываемых на карте в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000 [21], не должны превышать 75 % от средних ошибок съемки рельефа, а в горных и высокогорных районах не должны превышать  $\frac{1}{2}$  высоты сечения рельефа.

Предельные ошибки съемки контуров и рельефа, а также определения высот характерных точек не должны превышать удвоенных значений средних ошибок, приведенных выше. Количество предельных ошибок не должно быть более 10 % от общего числа контрольных измерений.

На топографических картах и планах должны быть показаны: опорные геодезические пункты, здания, постройки, промышленные объекты, линии электропередач и связи, железные дороги и сооружения на них, автострады, шоссейные и грунтовые дороги, гидрография, гидротехнические сооружения, растительность, объекты водоснабжения, границы, ограждения, леса и кустарники и др.

Топографические съемки в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000 производятся с целью создания государственных топографических карт этих же масштабов, используемых для изучения местности, измерений и расчетов при проектировании и строительстве инженерных сооружений, при геологической и геофизической разведках, при проведении различных мероприятий народнохозяйственного и оборонного значения, а также для решения научно-исследовательских задач.

Топографические карты в масштабе 1 : 10 000 используются в сельском и лесном хозяйстве, в гидротехническом, линейном, промышленном, городском, поселковом и сельском строительстве, в геологии и при мелиорации. Они служат для составления карт более мелкого масштаба.

Топографические планы в масштабе 1 : 5000 используются для разработки генеральных планов городов и проектов размещения объектов строительства, инженерных сетей и коммуникаций, транспортных путей, реконструкции сельских населенных мест и решения вопросов благоустройства, составления технических проектов промышленных предприятий, детальной разведки полезных ископаемых, землеустройства колхозов и совхозов и т. д.

Топографические планы в масштабе 1 : 2000 используются для разработки генеральных планов поселков, детальной планировки внутриквартальной застройки, мелиоративного строительства, проектирования дорог на стадии технического проекта и рабочих чертежей.

Топографические планы в масштабах 1 : 1000 и 1 : 500 предназначены для: составления генерального плана и рабочих чертежей при проектировании на застроенных и незастроенных территориях строительства, детальных разведок и подсчета запасов полезных ископаемых, при проектировании и строитель-

стве промышленных предприятий, вертикальной планировки и проектов озеленения территорий, составления планов подземных коммуникаций и сооружений.

## § 66. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ СССР И МЕТОДЫ ЕЕ ПОСТРОЕНИЯ

На территории Советского Союза создана геодезическая сеть, которая представляет собой совокупность закрепленных пунктов на земной поверхности с известными координатами и высотами в общей системе геодезических координат и высот (в проекции Гаусса и в Балтийской системе высот).

Геодезическая сеть СССР делится на государственную геодезическую сеть, геодезическую сеть сгущения и съемочную геодезическую сеть.

Государственная геодезическая сеть является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства и обороны страны при решении научных и инженерно-технических задач. Государственная геодезическая сеть обеспечивает распространение координат на территорию СССР и является исходной для построения других геодезических сетей.

Государственная геодезическая сеть СССР создается методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации и их сочетаниями. В каждом районе построение геодезической сети ведется тем методом, который дает наибольшую экономию сил и денежных средств.

Государственная геодезическая сеть подразделяется на триангуляционные и полигонометрические сети I, 2, 3 и 4 классов, различающиеся между собой точностью измерения углов и расстояний, длиной сторон и порядком последовательности развития и сети нивелирования I, II, III и IV классов.

Построение государственной геодезической сети ведется по принципу от общего к частному, от высшего класса к низшему, что позволяет быстро распространить на большую территорию координаты и высоты пунктов в единой системе.

Густота пунктов геодезической сети определяется масштабом съемки и устанавливается соответствующими Инструкциями. Средняя плотность пунктов должна быть: для масштабов 1 : 25 000 и 1 : 10 000 — 1 пункт (плановый и высотный) на 50—60 км<sup>2</sup>; для масштаба 1 : 5000 — 1 пункт (плановый) на 20—30 км<sup>2</sup> и 1 пункт (высотный) на 10—15 км<sup>2</sup>; для масштаба 1 : 2000 и крупнее — 1 пункт (плановый) на 5—15 км<sup>2</sup> и 1 пункт (высотный) на 5—7 км<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение плотности геодезической основы крупномасштабных съемок достигается развитием геодезических сетей сгущения и съемочного обоснования. Густота геодезической основы должна быть доведена развитием геодезических сетей сгущения в городах, населенных пунктах и промышленных пло-

щадках не менее 4 пунктов триангуляции и полигонометрии на  $1 \text{ км}^2$  в застроенной части и 1 пункта на  $1 \text{ км}^2$  на незастроенной территории.

Триангуляция 1, 2, 3 и 4 классов и полигонометрия 1, 2, 3 классов развиваются согласно Инструкции о построении государственной геодезической сети СССР [19]. Нивелирование I, II, III и IV классов создается в соответствии с требованиями соответствующей Инструкции [20]. Полигонометрия 4 класса на объектах крупномасштабных съемок прокладывается согласно специальным требованиям, изложенным в Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 5000, 1 : 1000, 1 : 500 [22].

Государственная геодезическая сеть 1 класса как астрономо-геодезическая предназначается для научных исследований, связанных с определением формы и размеров Земли, с изучением вековых движений и деформаций земной коры и для распространения единой системы координат на всю территорию СССР. Геодезическая сеть 1 класса строится в виде полигонов периметром 800—1000 км, образуемых триангуляционными или полигонометрическими звеньями длиной не более 200 км, располагаемыми, по возможности, вдоль меридианов и параллелей.

Звено триангуляции 1 класса состоит из треугольников (рис. 113, а), близких к равносторонним, или из комбинации треугольников, геодезических четырехугольников (*DNFE*) и центральных систем (*ENQGF*), в которых измерены все углы и базисные или выходные стороны *AB* и *PT*. По длинам выходных (базисных) сторон и измеренным углам треугольников вычисляют длины и азимуты всех сторон и координаты всех пунктов на поверхности референц-эллипсоида Ф. Н. Красовского.

Если в звене треугольников измерены все стороны, то это трилатерация.

На концах звеньев базисным прибором или светодальномером измеряются базисные стороны. На обоих концах базисных сторон определяются пункты Лапласа. Координаты пунктов *A*, *B*, *P*, *T* и азимуты выходных сторон определяют из астрономических измерений. Средняя квадратическая ошибка определений на пунктах Лапласа не должна превышать в астрономической широте  $0,3''$ , долготе  $0,03^s$ , азимуте  $0,5''$ .

Звено полигонометрии 1 класса должно быть вытянутым и состоять не более чем из 10 сторон, в котором измеряются все углы и стороны (рис. 113, б).

Государственная геодезическая сеть 2 класса создается в виде триангуляционных сетей, сплошь заполняющих треугольниками полигоны триангуляции 1 класса. Базисные стороны в сплошных сетях триангуляции 2 класса должны располагаться равномерно и не реже чем через 25 треугольников. Базисная сторона должна быть в середине полигона, на концах которой определяются пункты Лапласа (рис. 114).

Пункты государственных геодезических сетей триангуляции 3 и 4 классов определяются относительно пунктов высших классов вставкой жестких систем или отдельных пунктов (см. рис. 114).

Полигонометрия 3 и 4 классов прокладывается в виде одиночных ходов или систем, опирающихся на пункты высшего класса.

Если сети 3 и 4 классов развиваются на малых участках как изолированные сплошные триангуляционные сети, то в них из-

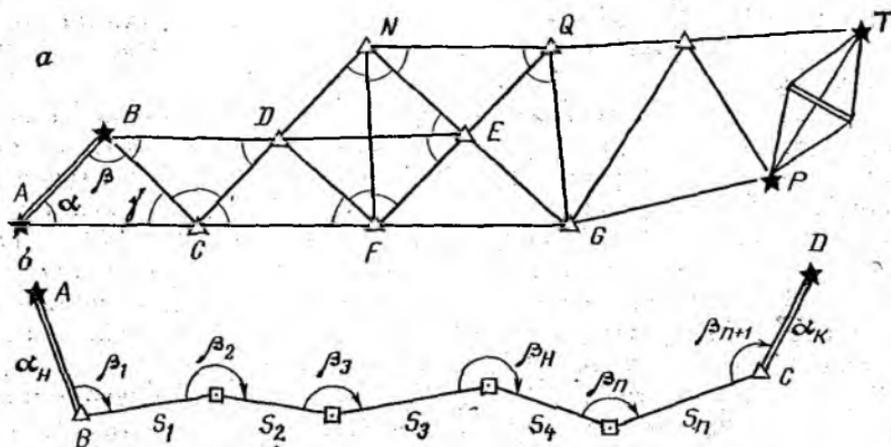


Рис. 113. Триангуляция и полигонометрия

меряются базисные стороны через 20—25 треугольников, но не менее двух базисных сторон.

Полигонометрические сети 3 и 4 классов в этом случае строятся полигонами периметром соответственно не более 60 и 35 км.

Пункты геодезических сетей всех классов должны иметь высоты, полученные из геометрического или тригонометрического нивелирования. На рис. 114 показана схема построения геодезической сети методом триангуляции, а в табл. 25 приведена характеристика триангуляции.

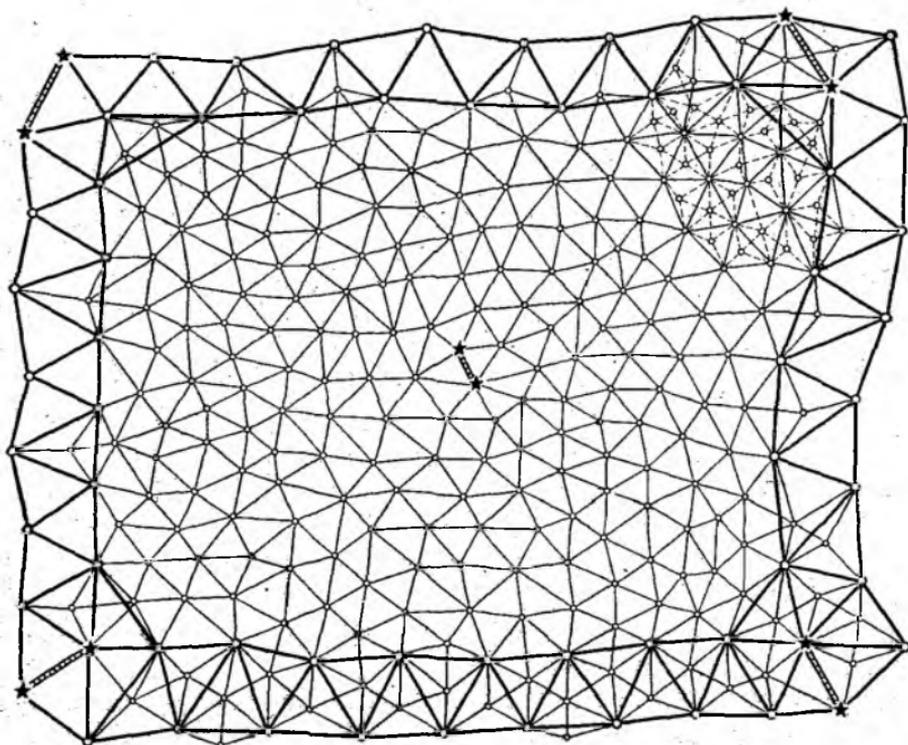
Качественная характеристика полигонометрии приведена в табл. 26.

Таблица 25

Класс	Длина стороны, км	Средняя квадратическая ошибка измерения		
		угла	базиса или выходной стороны	стороны в слабом месте
1	>20	0,7"	1 : 400 000	1 : 150 000
2	7—20	1,0	1 : 300 000	1 : 150 000
3	5—8	1,5	1 : 200 000	1 : 120 000
4	2—5	2,0	1 : 200 000	1 : 70 000

Государственная нивелирная сеть СССР является высотной основой топографических съемок всех масштабов, посредством которой устанавливается единая система высот.

Нивелирование I и II классов прокладывают по железным, шоссейным и улучшенным грунтовым дорогам, а в труднодоступных районах — по грунтовым дорогам, тропам, зимникам или



Условные знаки:

★ Пункт Лапласа ———— Сторона триангуляции 1 класса    - - - - - Сторона триангуляции 3 класса  
 ▨ Базис                      ————— Сторона триангуляции 2 класса

Рис. 114. Государственная геодезическая сеть СССР

вдоль берегов больших рек, по трассам с благоприятными условиями и с наименее сложным профилем. Нивелирные сети III и IV классов прокладывают внутри полигонов высших классов как

Т а б л и ц а 26

Класс	Длина стороны, км	Средняя квадратическая ошибка измерения	
		углов	сторон
1	20—25	0,4"	1 : 300 000
2	7—20	1,0	1 : 250 000
3	3—8	1,5	1 : 200 000
4	0,25—2	2,0	1 : 25 000

Класс	Периметр полигона, км	Средняя квадратическая ошибка на 1 км хода, мм	Невязка в полигонах, мм
I	—	С наивысшей точностью	3
II	500—600	2,5	5
III	150—300	5,0	10
IV	50	10,0	20

отдельными ходами, так и в виде систем ходов с узловыми точками. Характеристика нивелирования приведена в табл. 27.

Нивелирные ходы всех классов закрепляют на местности постоянными знаками не реже чем через 5 км (в труднодоступных районах через 6—7 км), в сейсмоактивных районах — через 2—3 км. На нивелирных ходах I и II классов через 50—60 км на узловых точках вблизи уровнетрических станций и водомерных постов закладывают фундаментальные реперы. В 50—150 м от фундаментального репера закладывают репер-спутник.

#### § 67. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ СГУЩЕНИЯ

Сеть сгущения создается в виде триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов. Триангуляция I и 2 разрядов развивается в открытой и горной местности с целью сгущения геодезических сетей до плотности, обеспечивающей развитие съемочного обоснования крупномасштабных съемок.

В зависимости от расположения и густоты исходных пунктов на объекте съемки триангуляция I разряда развивается в виде сетей, цепочек треугольников и вставок отдельных пунктов в треугольники, образованные пунктами сетей 2—4 классов.

Триангуляция 2 разряда развивается в виде сетей отдельных пунктов или групп между пунктами сетей 2—4 классов и 1 разряда. Каждый пункт триангуляции 1 и 2 разрядов должен определяться из треугольников, в которых измерены все углы, или засечками с числом измеренных направлений не менее трех. Сплошная сеть триангуляции 1 и 2 разрядов должна опираться на 3 исходных геодезических пункта и на 2 выходные стороны. Триангуляция 1 и 2 разрядов должна удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 28.

Полигонометрия 1 и 2 разрядов создается в виде отдельных ходов или системы ходов и должна удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 29.

На все пункты геодезических сетей сгущения должны быть переданы отметки нивелированием IV класса или техническим нивелированием. В горной местности с высотой сечения рельефа через 2 и 5 м допускается передача отметок точек тригонометрическим нивелированием.

Показатели	Разряды	
	1	2
Длина стороны треугольника, не более, км	5	3
Минимальный угол (градус) в сплошной сети связующий в цепочке треугольников во вставке	20 30 30	20 30 20
Число треугольников между исходными пунктами и сторонами, не более	10	10
Минимальная длина выходной стороны, км	1	1
Допустимая ошибка измерения угла, с	5	10
Относительная ошибка выходной стороны, не более	1 : 50 000	1 : 20 000
Относительная ошибка определения стороны в сла- бом месте, не более	1 : 20 000	1 : 10 000

Таблица 29

Показатели	Разряды	
	1	2
Предельная длина хода (км) отдельного между исходной и узловой точками	5 3	3 2
между узловыми точками	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	15	9
Длина (км) стороны хода:		
наибольшая	0,8	0,35
наименьшая	0,12	0,08
оптимальная	0,30	0,20
Число сторон в ходе, не более	15	15
Относительная ошибка хода, не более	1 : 10 000	1 : 5000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла	5"	10"
Угловая невязка хода или полигона, не более	$10'' \sqrt{n}$	$20'' \sqrt{n}$

### § 68. ЗАКРЕПЛЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ ПУНКТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Пункты государственной геодезической сети закрепляются надежными подземными знаками (центрами), обеспечивающими неизменность положения и сохранность геодезического пункта в течение продолжительного времени.

Для обеспечения видимости между двумя смежными геодезическими пунктами при проведении угловых и линейных измерений над геодезическими центрами устанавливается наземный геодезический знак.

Геодезические знаки имеют приспособление для установки прибора, платформу для наблюдателя и визирное устройство.

Они должны быть устойчивыми, прочными и обладать значительной жесткостью.

В зависимости от конструкции, наземные геодезические знаки подразделяются на туры, пирамиды, простые и сложные сигналы.

Туры — это каменные, кирпичные, бетонные или железобетонные столбы, сооружаемые над маркой, заложённой в скалу; их устанавливают в горных районах (рис. 115, а). Визирные приспособления устанавливают над туром или на марке тура. Над основной маркой закладывают вторую и третью марки.

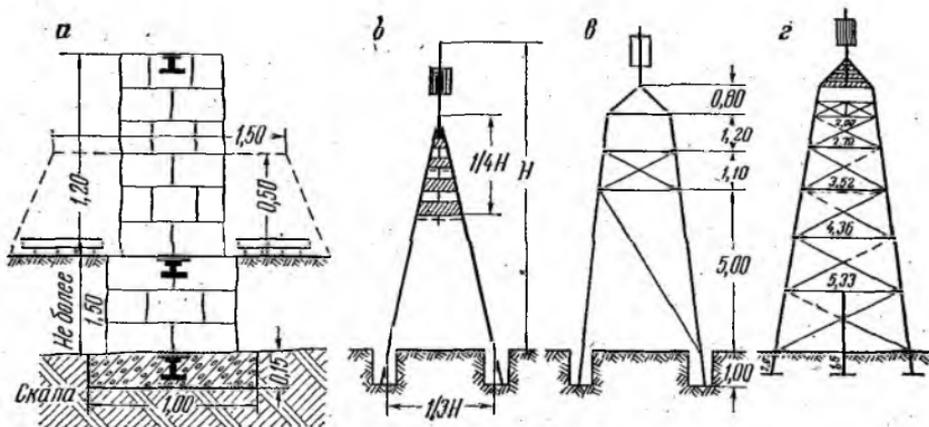


Рис. 115. Геодезические знаки

Пирамиды строят в открытых местах, где видимость на смежные пункты возможна с земли. Они бывают трех- и четырехгранными, простые, со штативом и с вехой. Высота пирамид от 5 до 8 м. Размеры пирамиды показаны на рис. 115, б.

Простые сигналы состоят из двух пирамид: внутренней, служащей подставкой для инструмента, и наружной с платформой для наблюдателя и визирной целью. Простые сигналы имеют высоту от 4 до 10 м. Наружные пирамиды в основном четырехгранные, внутренние — трехгранные (рис. 115, в).

Сложные сигналы имеют высоту от 11 до 40 м и строятся в виде сложных трехгранных и четырехгранных сигналов; внутренняя пирамида опирается на столбы наружной, т. е. они представляют собой единую конструкцию (рис. 115, г).

Типы подземных знаков (центров) устанавливаются в зависимости от физико-географических условий района работ, от состава грунта и глубины промерзания почвы. Центры изготавливаются в виде железобетонных пилонов или металлических труб. В бетонные блоки или трубы заделывают чугунные марки, в центре которых находится полусфера с отверстием или крест. К данной точке относят все линейные и угловые измерения для получения координат и высот.

На рис. 116, а показан центр пункта, закладываемый в районах с неглубоким промерзанием грунта. Он состоит из бетон-

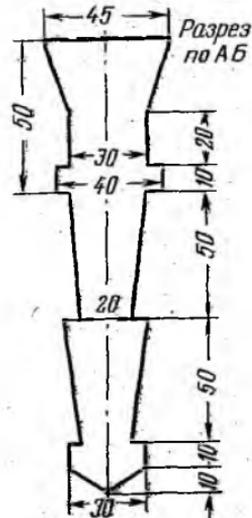
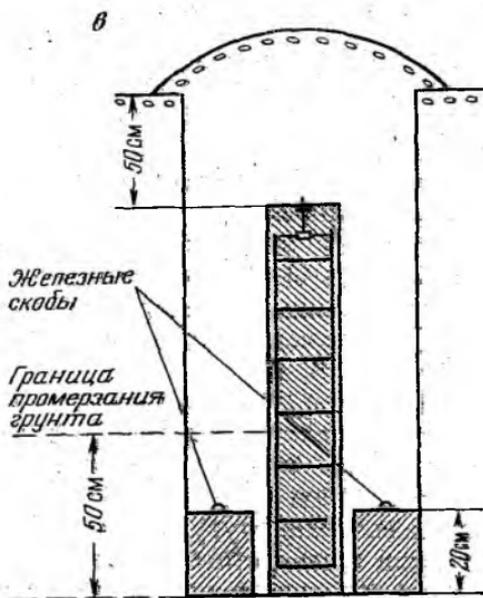
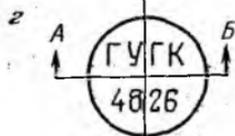
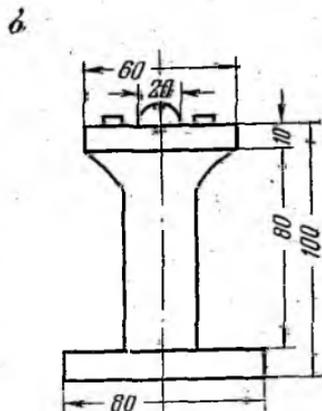
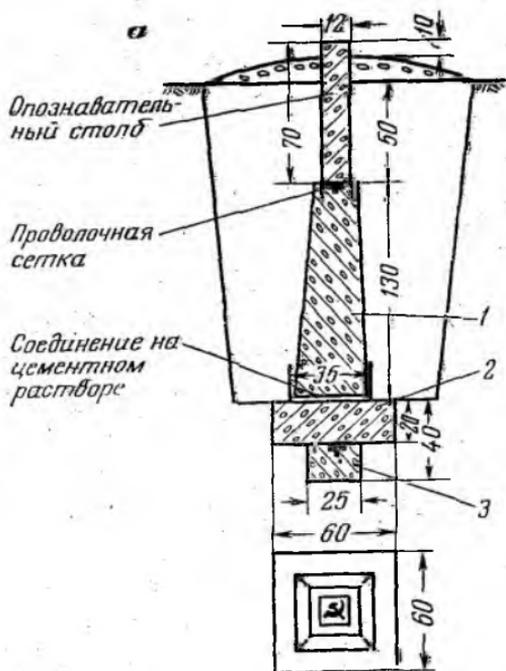


Рис. 116. Центры знаков

ного монолита 3, бетонного якоря 2, являющегося нижним центром, и бетонного пилона 1, служащего верхним центром. В верхней части монолита и пилона заложены чугунные марки. Устройство марки показано на рис. 116, б.

Пункты высотной государственной геодезической сети закрепляются грунтовыми реперами (рис. 116, в), стенными марками и стенными реперами (рис. 116, г). Грунтовый репер состоит из железобетонного пилона (или асбоцементной трубы) и бетонной плиты (якоря). В верхней части пилона зацементирована марка. Знак закладывают в пробуренную скважину ( $d = 50$  см) или в котлован.

В городах для сохранности пунктов их закрепляют грунтовыми центрами и реперами специальных конструкций (скрытые под асфальтом), а также стенными марками и реперами.

Стенные марки закладывают в стены капитальных зданий. Отметка относится к центру отверстия марки. Стенные реперы закладывают в цоколи фундаментальных зданий.

### § 69. СЪЕМОЧНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Съемочная геодезическая сеть, или геодезическое съемочное обоснование, создается для сгущения геодезической сети с целью обеспечения производства топографических съемок.

Съемочное обоснование развивается от пунктов государственных геодезических сетей, геодезических сетей сгущения и технического нивелирования. Съемочная сеть создается построением съемочных триангуляционных сетей, проложенных теодолитных, тахеометрических и мензурных ходов, прямыми, обратными и комбинированными засечками. Как правило, одновременно определяется плановое и высотное положение точек.

Пункты планово-высотной съемочной сети закрепляются на местности долговременными знаками так, чтобы на каждом планшете было порядка трех точек при съемке в масштабе 1 : 5000 и одной точки при съемке в масштабе 1 : 2000.

Средние ошибки в плановом положении точек съемочной сети (с учетом ошибок опознавания на аэрофотоснимках) относительно ближайших пунктов геодезической сети не должны превышать 0,1 мм в масштабе создаваемых карт и планов топографической съемки в открытых районах и 0,15 мм — в лесных районах.

Предельные ошибки положения пунктов уравниваемого планового обоснования (и плановых опознаков) относительно пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана в открытой местности и 0,3 мм в закрытой местности.

Высоты точек съемочной сети определяются нивелированием горизонтальным лучом нивелиром, теодолитом или кипрегелем с уровнем при трубе или тригонометрическим нивелированием. Невязки в ходах и полигонах съемочной сети по высоте не должны

превышать: 5 см  $\sqrt{L}$  при техническом нивелировании; 10 см  $\sqrt{L}$  — при нивелировании теодолитом или кипрегелем с горизонтальным лучом; 20 см  $\sqrt{L}$  — при тригонометрическом нивелировании, где  $L$  длина хода в км.

Средние ошибки в высотном положении точек съемочной сети относительно ближайших пунктов геодезической сети (реперов и марок) не должны превышать в равнинных районах  $1/10$ , а в горных —  $1/6$  высоты сечения рельефа. При съемке с высотами сечения рельефа 2 и 5 м в качестве высотной основы могут использоваться пункты, высоты которых определены тригонометрическим нивелированием с точностью, не менее  $1/5$  принятой высоты сечения рельефа.

Густота и способы создания съемочной сети зависят от метода съемки и характера снимаемой местности.

При мензуральной съемке расположение точек съемочной сети определяется целесообразным выбором стоянок мензулы для съемки рельефа и ситуации.

При комбинированном методе съемки на фотопланах густота точек и схема развития съемочной сети определяются расположением плановых опознаков, необходимых для создания фотопланов. Для съемки рельефа на фотоплане съемочную сеть строят более редкой, чем для мензуральной съемки.

При стереотопографическом методе съемки плотность и расположение точек съемочной сети зависят от технологии съемки, обработки аэрофотоснимков, высоты фотографирования, масштаба аэрофотосъемки и определяются проектом размещения плановых и высотных опознаков.

Пункты съемочной сети закрепляются в основном временными знаками: металлическими костылями, штырями, коваными гвоздями и трубками, деревянными столбами и кольями, а также гвоздями, вбитыми в пни деревьев.

В закрытой местности прскладываются теодолитные и тахеометрические ходы. Теодолитным ходом называется сомкнутый и разомкнутый многоугольник, в котором измеряют все стороны и углы между ними. Теодолитные ходы 1 разряда прокладывают с относительной ошибкой 1 : 2000, ходы 2 разряда — с ошибкой 1 : 1000, тахеометрические ходы — с ошибкой 1 : 500. В тахеометрическом ходе измеряют все стороны, углы между ними и определяют тригонометрическим нивелированием превышения между пунктами хода. С этой целью в поле измеряют вертикальные углы на смежные точки хода. Вертикальные углы и расстояния дают возможность вычислить превышение по формуле (174). Превышения по каждой стороне получают для контроля дважды. По превышениям вычисляют высоты точек.

Предельные длины ходов можно рассчитать по формуле

$$(\sum s)_{\text{пред}} = f_{s \text{ пред}} MN, \quad (195)$$

где  $f_{s \text{ пред}}$  — предельная невязка в уравненном ходе (равна 0,4 мм);  $N$  — знаменатель предельной относительной ошибки;  $M$  — знаменатель масштаба плана.

Длины сторон в теодолитных ходах не должны быть более 350 м и менее 20 м. Для измерения линий используют редуционный тахеометр ТД и Редта, 20-метровую стальную ленту, оптические дальномеры двойного изображения ДНР-06, ДН-08. Поправка за наклон вводится в длину линии при углах наклона местности более  $1,5^\circ$ .

По Инструкции [22] углы в теодолитных ходах измеряют с точностью не менее  $0,5'$  одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами на  $90^\circ$ .

Колебания углов, полученных из двух полуприемов, не должны превышать  $0,8'$ . Для измерения углов используют теодолиты: Т15, ТТ4, ОМТ-30, ТТ-5, Т10, ТТП, ТГ5, Т-30, Тео-12, ТЕ-4, ТОМ и др. При привязке теодолитных и тахеометрических ходов измеряют два примычных угла ( $\beta_1, \beta_2$ ). Сумма измеренных примычных углов не должна отличаться от твердого примычного угла более чем на  $1'$ . Угловые невязки в теодолитных и тахеометрических ходах не должны превышать

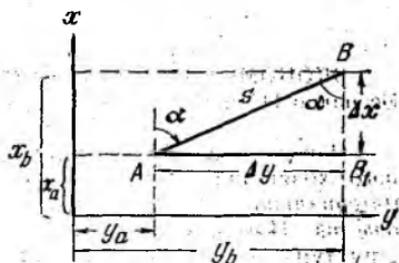


Рис. 117. Прямая и обратная геодезические задачи

$$f_{\beta} = 1' \sqrt{n}, \quad (196)$$

где  $n$  — число углов в ходе.

При проложении теодолитных и тахеометрических ходов в результате решения *прямой геодезической задачи* получают координаты пунктов. Пусть дано: точка  $A$  с координатами  $(x_A, y_A)$ , расстояние  $S_{AB}$  и дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  линии  $AB$ . Требуется определить координаты точки  $B$  ( $x_B, y_B$ ). На линии  $AB$  (рис. 117) построим прямоугольный треугольник. Приращения прямоугольных координат можно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= S \cos \alpha, \\ \Delta y &= S \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (197)$$

Для определения приращений координат пользуются таблицами тригонометрических функций, специальными таблицами приращений координат или логарифмическими таблицами. Приращения координат вычисляют до 0,01 м. Координаты определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x, \\ y_B &= y_A + \Delta y. \end{aligned} \right\} \quad (198)$$

Для контроля приращения координат вычисляют по двум разным таблицам. При решении обратной геодезической задачи дано:  $A(x_A, y_A)$  и  $B(x_B, y_B)$ , нужно определить  $S_{AB}^{\alpha_{AB}}$ .

Из треугольника  $ABB_1$  (см. рис. 117) найдем

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}. \quad (199)$$

Длина стороны определяется с контролем

$$S = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}; \quad S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \quad (200)$$

следовательно, с контролем можно вычислить дирекционный угол или румб.

В результате проложения на местности тахеометрического хода получают сеть пунктов с известными координатами и высотами. Общим является то, что в теодолитных и тахеометрических ходах получают плановое положение точек.

Различие же состоит в том, что в тахеометрических ходах получают превышения; стороны в тахеометрическом ходе измеряют дальномером любой точности.

Стороны теодолитных и тахеометрических ходов измеряют в прямом и обратном направлениях. Желательно в ходе иметь примерно равные стороны, чтобы при измерении углов не изменять фокусировку зрительной трубы. Рекомендуется прокладывать разомкнутые ходы вытянутой формы, а углы должны быть близки к  $180^\circ$ .

Координаты и высоты пунктов должны вычисляться в общегосударственной системе координат и высот. С этой целью теодолитные и тахеометрические ходы должны быть привязаны к пунктам государственной геодезической сети. Чтобы привязать разомкнутый ход, нужно начать и закончить его на исходных пунктах  $C$  и  $B$  (см. рис. 113, б), т. е. должны быть известны координаты  $(x_C, y_C, x_B, y_B)$  и исходные дирекционные углы  $\alpha_n$  и  $\alpha_k$ .

Привязать сомкнутый ход — значит начать и кончить ход на исходной точке. С нее должен быть виден, по крайней мере, один пункт. Измеряют примычный угол и все внутренние углы.

Для привязки тахеометрического хода нужно знать отметки  $H_C$  и  $H_B$ .

В открытой местности вместо теодолитных ходов прокладывают сети треугольников в виде цепочек, центральных систем, геодезических четырехугольников или вставок отдельных пунктов. Микротриангуляция, включающая более двух определяемых пунктов, должна опираться не менее чем на две исходные стороны. Исходными сторонами служат стороны триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов или специально измеренные базисные стороны с точностью 1 : 5000. Углы в треугольниках должны быть не менее  $20^\circ$ , а стороны не короче 150 м. Углы измеряют теодолитом не менее 30-секундной точности двумя приемами.

Расхождения в значениях углов из разных приемов не должны превышать  $45''$ , невязки в треугольниках не более  $1,5'$ .

Определение точек прямой засечкой производят с трех пунктов, а обратной — по четырем пунктам. Углы засечек должны быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

Визирными целями на пунктах микротриангуляции с длиной сторон до 500 м служат марки, установленные на штативах, и вешки, а при больших расстояниях — вежи и пирамиды облегченного типа.

Высоты пунктов микротриангуляции для обеспечения съемок с сечением рельефа через 2 и 5 м, а в некоторых случаях 1 м определяют тригонометрическим нивелированием в прямом и обратном направлениях одним приемом по трем нитям или двумя приемами по одной нити. Колебания места нуля на станции и вертикальных углов, полученных из разных направлений, не должны превышать  $45''$ . Расхождения между прямым и обратным превышениями не должны быть более 4 см на 100 м, а допустимая невязка по ходу не должна превышать величины, вычисленной по формуле (181).

Высоты точек съемочного обоснования могут быть получены из ходов технического нивелирования.

#### § 70. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Тахеометрическая съемка выполняется при создании планов небольших участков в крупных масштабах, используется при съемке узких полос местности при изысканиях железных и автомобильных дорог, высоковольтных линий передач, трасс трубопроводов и т. д.

Тахеометрическую съемку выполняют в основном тахеометрами типа ТД, ТВ, Редта, Дальта и теодолитами.

Тахеометрическую съемку можно выполнять одновременно с прокладкой тахеометрического хода (быстрее) или после прокладки и увязки хода (надежнее) в основном полярным способом и реже способом угловых или линейных засечек. Расстояние от прибора до рейки не должно быть более 200 м при полярном способе и 300 м — при биполярном.

В результате тахеометрической съемки получают топографический план местности (изображены контуры и рельеф).

Порядок работы теодолитом на станции следующий:

Устанавливают теодолит над точкой: центрируют, нивелируют и ориентируют его.

Определяют место нуля вертикального круга по трем точкам. Колебания не должны превышать  $1'$ .

При производстве съемки одновременно с прокладкой тахеометрического хода измеряют угол поворота и угол наклона при двух положениях круга; превышения определяют дважды.

Намечают характерные точки местности и на них устанавливают рейку (такие точки называются речными или пикетными).

Измеряют рейкой или рулеткой высоту прибора с точностью до 0,01 м.

На каждую реечную точку определяют горизонтальный и вертикальный углы, расстояние. Измерения выполняют при одном положении круга.

При углах наклона более  $2^\circ$  вводят поправку за наклон в расстояния.

После съемки 15—20 пикетов и по окончании работы на станции проводят контроль ориентирования прибора (допуск 1,5').

Результаты измерений записывают в журнал и одновременно вводят абрис. Абрис — это схематический чертеж, составленный

от руки в произвольном масштабе, на котором показывают точки хода, с которых производится съемка, все пикеты, характерные линии рельефа, части горизонталей и стрелками направления скатов (рис. 118).

По измеренным данным вычисляют горизонтальные проложения, превышения и отметки пикетов.

В равнинной местности превышения можно определять горизонтальным лучом, пользуясь теодолитом как нивелиром. Горизонтальность луча зрительной трубы тахеометра достигается установкой на вертикальном

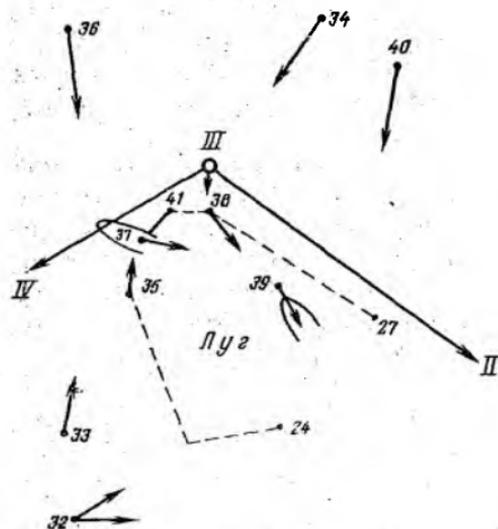


Рис. 118. Абрис

круге отсчета, равного значению места нуля.

Тахеометрический план составляют на планшете размером  $60 \times 60$  см с наклеенной на него бумагой ручного отлива. На план наносят координатную сетку с помощью линейки Дробышева, пункты главной геодезической основы и тахеометрических ходов. При помощи транспортира и измерителя или автоматическим координатографом наносят реечные точки ситуации и рельефа. Проводят горизонтали, интерполируя их положение между точками с определенными отметками.

Для контроля съемки некоторые пикеты снимают дважды с разных станций или разными методами (полярным или биполярным). Каждый планшет до вычерчивания в туши корректируют и проверяют в поле путем сопоставления рельефа и ситуации, изображенных на планшете, с местностью.

Мензульная съемка выполняется на небольших участках с помощью мензулы и кипрегеля и позволяет непосредственно в поле составлять топографический план. Производство съемки основано на графическом определении на планшете взаимного положения отдельных точек местности. Расстояния до точек измеряют с помощью дальномера кипрегеля и дальномерной рейки, а угол строят графически. При съемке застроенных территорий измерение расстояний производится дальномерной насадкой, закрепленной на объективе кипрегеля.

Достоинством мензульной съемки является наглядность, так как в процессе съемки план может быть сопоставлен с местностью. Недостаток: основная часть работы проходит в полевых условиях, невозможность работы зимой и в дождливую погоду, громоздкость оборудования.

При мензульной съемке требуется наличие густой съемочной сети. Съемочная сеть в зависимости от условий местности и требуемой точности может быть создана графическим или аналитическим методом. К аналитическим методам относятся засечки, теодолитные и тахеометрические ходы, к графическим — геометрическая сеть, засечки, мензульные и буссольные ходы. В открытой местности строят сети, а в закрытой — ходы.

При построении геометрической сети для съемки в масштабе  $1 : 5000$  и мельче каждая точка должна засекаться с трех пунктов, углы засечек должны быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Допускается треугольник погрешности со сторонами  $0,4$  мм. На трапеции должно быть не менее двух исходных пунктов.

Перед съемкой производят подготовку планшета, для чего с помощью линейки Дробышева, штангенциркуля или координатографа разбивают сетку квадратов со сторонами по  $10$  см.

По координатам на планшет наносят пункты геодезического обоснования. Определяют и подписывают координаты углов рамки трапеции и номенклатуру. Построение координатной сетки и нанесение пунктов геодезической сети контролируется. Правильность наклейки пунктов контролируется по расстояниям. Расхождения не должны превышать  $0,2$  мм, т. е. укола измерителя. Планшет прикрепляют к доске с помощью небольших медных гвоздиков.

Для ориентирования планшета, если линии менее  $5$  см на плане, вычисляют и наносят на планшет «выходы» ориентировочных линий.

Сгущение съемочного обоснования выполняется мензульными ходами: основными, съемочными и переходными точками. Относительная невязка в основном мензульном ходе должна быть не более  $1 : 300$  длины хода, в буссольном  $1 : 100$ , а линейная — не более  $0,8—1,5$  мм на плане. Распределяют невязку графически по способу параллельных линий (на линиях, прове-

денных через точки хода параллельно направлению невязки, откладывают пропорционально отрезки, соответствующие поправкам). Превышение между точками определяют дважды, расхождения не должны превышать 4 см на 100 м. Допустимая невязка по ходу вычисляется по формуле (181). Полученная невязка распределяется пропорционально длинам сторон.

Переходные точки определяют засечками с пунктов геодезической основы и точек съемочного обоснования, «усом» (как первую точку мензульного хода), а также промерами стальной лентой или рулеткой в створе между пунктами геодезической основы.

Максимальное расстояние от инструмента до рейки при съемке разных масштабов 150—350 м, а между пикетами 2 см в масштабе плана. При съемке четких контуров определяют их углы с точностью 0,4 мм на плане, которые затем соединяют линиями. При съемке дорог пикеты берут по одной стороне, измеряют ширину дороги и наносят параллельно вторую сторону, если ширина дороги выражается в масштабе, или наносят пикеты по оси, если ширина дороги не выражается в масштабе и изображается условным знаком. При обходе контура ситуации рейку устанавливают на всех точках контура, если расстояние между ними выражается в масштабе плана.

При съемке рельефа определяют линии водоразделов и тальвегов, для чего берут отметки вершин и подошвы скатов, устьев ложи и других характерных точек. Кроме высот пикетов, необходимых для проведения горизонталей на плане, нужно определять отметки плотин, дамб, плузов, мостов, труб, пересечения дорог, углов кварталов, верха и подошвы насыпи и выемки, курганов, канав, колодцев и т. д. Урезы вод с датой определения наносят через 15 см. Горизонтали, кратные 5, утолщают, направления скатов показывают бергштрихами.

В процессе съемки составляют кальку высот и контуров и вычерчивают тушью.

Контроль съемки осуществляют в результате полевой проверки. Контрольные пикеты показывают на кальке высот и контуров красной тушью. При контроле ситуации расстояния, определенные по плану и измеренные в натуре, не должны превышать 0,8 мм в масштабе плана. Расхождения в положениях горизонталей не должны превышать по высоте от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{3}$  высоты сечения рельефа.

## § 72. УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ МЕНЗУЛЬНОГО КОМПЛЕКТА

Для мензульной съемки используют мензулы (облегченные металлические) и кипрегели (КН, КА-2, КБ-1 и КБ). Мензула представляет собой небольшой столик, состоящий из штатива, подставки и доски (планшета).

В настоящее время для мензульной съемки широко используют два типа мензул: универсальный МУ (рис. 119, а) и облегченный МО. Различаются они только размерами планшета и массой.

Рис. 119. Мензула  
 Металлическая подставка (рис. 119, б) состоит из верхней части 4 с тремя винтами 3 для прикрепления планшета и нижней цилиндрической части 5, опирающейся на три подъемных винта 7

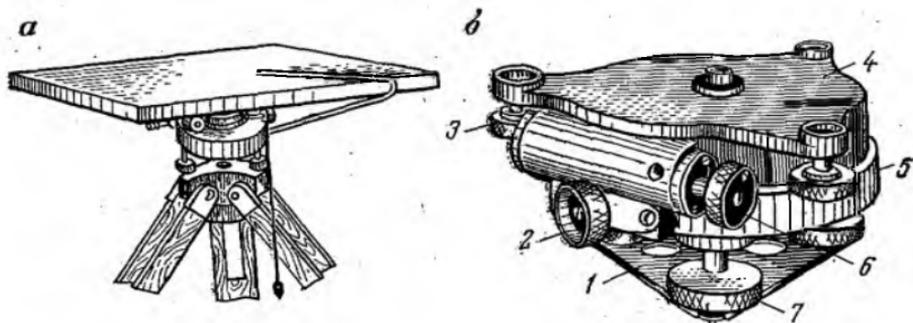


Рис. 119. Мензула

и снабженной закрепительным 2 и наводящим 6 винтами. Подъемные винты проходят через пластинчатую пружину 1.

Кипрегель — прибор, имеющий зрительную трубу, вертикальный круг и линейку с уровнем на ней.

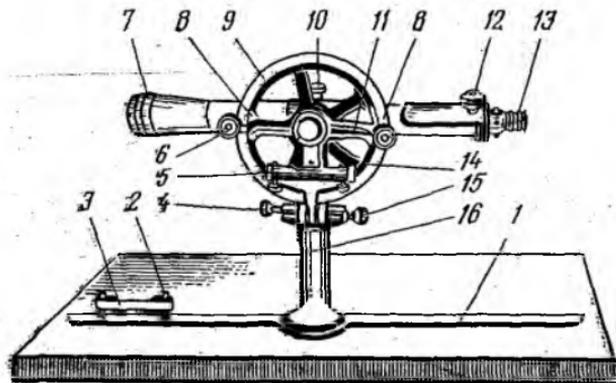


Рис. 120. Кипрегель КБ

Кипрегель КБ (рис. 120) состоит из линейки 1 с цилиндрическим уровнем 3 и исправительным винтом 2 при нем, колонки 16, укрепленной на линейке, и зрительной трубы 7, вращающейся вместе с вертикальным кругом 9. Труба переводится через зенит объективным концом. Зрительная труба имеет внешнюю фокусировку. Установка трубы по предмету осуществляется кремальерой 12, а по глазу — вращением оправы окуляра 13. Зрительная труба снабжена закрепительным 10 и наводящим 4 винтами.

Отсчет по вертикальному кругу производится при помощи верньеров 8 и лупы 6. Пузырек уровня 5 на алидаде 11 вертикального круга перед отсчетом по кругу приводят в нуль-пункт наводящим винтом 15.

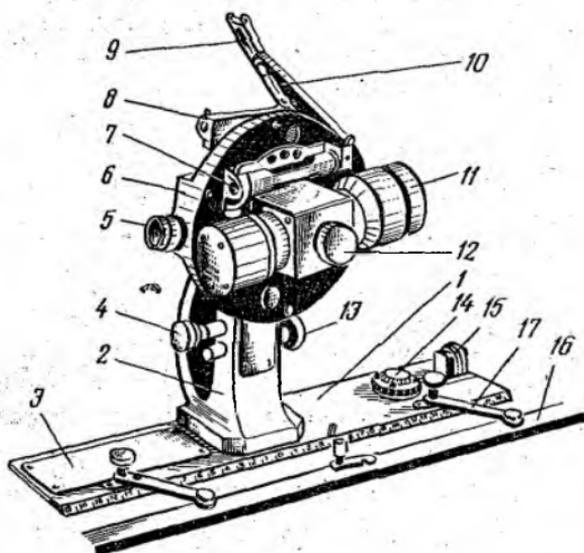


Рис. 121. Кипрегель КБ-1

Коэффициент нитяного дальномера 100. Постоянное слагаемое дальномера равно 0,57 м. Расстояние, измеренное дальномером, вычисляют по формуле (104), а превышение — по формуле (174) или (175).

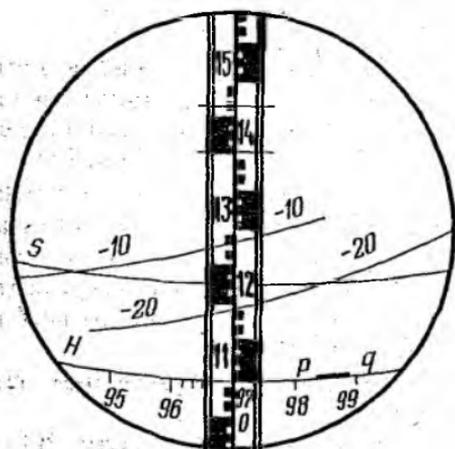


Рис. 122. Поле зрения кипрегеля КБ-1

Кипрегель КБ-1 (рис. 121) имеет стеклянный вертикальный круг, на который, кроме градуированной шкалы, нанесена такая же номограмма, как в тахеометре Дальта 020. Изображение ее передается в поле зрения трубы (рис. 122) при круге лево. Кипрегель имеет две линейки: основную 1 (см. рис. 121), к которой прикреплена колонка 2, и подвижную 16, соединенную с основной шарнирными параллелограммами 17. Линейка 16 дает возможность наносить на планшет снимаемые точки без перемещения кипрегеля. К основной линейке 1 прикреплены: масштабная линейка 3, круглый уровень 14 (в позднейших выпусках кипрегеля заменен цилиндрическим)

и ролик 15 для поворота кипрегеля в азимутальном направлении при визировании на точку.

Ломаная зрительная труба внутреннего фокусирования с объективом 11 и окуляром 5 переводится через зенит окулярным концом, имеет кремальеру 12 и наводящий винт 4. К вращающемуся с трубой кожуху 6 вертикального круга прикреплен реверсивный уровень 7 с зеркалом 10 и к вертикальному кругу — уровень 8 с зеркалом 9 и наводящим винтом 13.

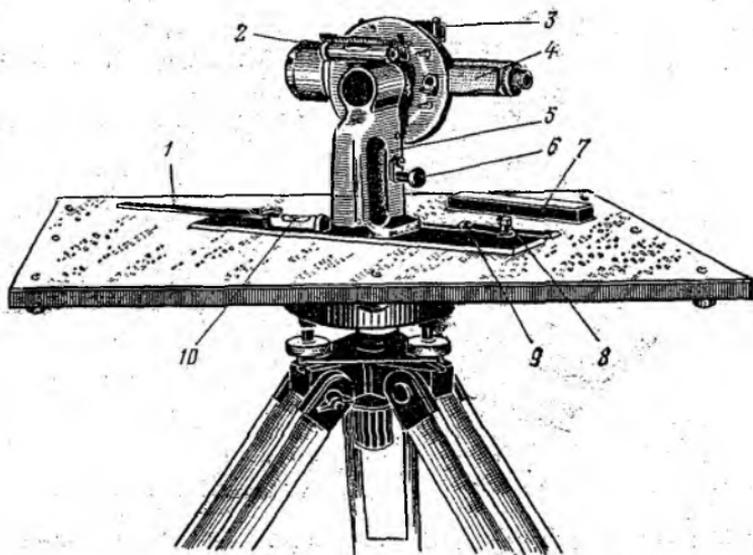


Рис. 123. Кипрегель КА-2

В поле зрения трубы (см. рис. 122) при круге лево видны: короткие дальномерные штрихи с коэффициентом дальномера, равным 200, и кривые: основная  $H$  с контрольным утолщенным штрихом  $pq$  (для исследования эксцентриситета вертикального круга), горизонтальных проложений  $s$  и превышений  $h$  с коэффициентами  $\pm 10, 20$  и  $100$ . Номограмма работает при углах наклона до  $\pm 44^\circ$ . В поле зрения трубы видна шкала вертикального круга, изображение которой совпадает с основной дугой номограммы. Из рис. 122 видно, что  $s = 13$  м,  $h' = -1,80$  м, отсчет по вертикальному кругу  $97^\circ$ , а угол наклона  $\gamma = -7^\circ$ .

При круге право расстояние и превышение определяют так же, как кипрегелем КБ.

Кипрегель КА-2 (рис. 123) в отличие от кипрегеля КБ-1 имеет прямую зрительную трубу с внутренним фокусированием, переводимую через зенит объективным концом. Частью прибора являются: подвижная линейка 1 с шарниром 8, соединяющим ее с основной линейкой 9, колонка 5, реверсивный уровень 7 на кожухе вертикального круга, наводящий винт 6 уровня 2, цилиндрический уровень 10 на линейке.

На склеенной поверхности призмы-сетки зрительной трубы имеются три коротких дальномерных штриха, видимые в поле зрения трубы. Крайние штрихи (рис. 124, а) нанесены из расчета коэффициента дальномера 100. Кривые, нанесенные на вертикальном круге, рассчитаны для углов наклона от  $+35^\circ$  до  $-35^\circ$ . На круге нанесены деления через  $10'$ , с оцифровкой через  $1^\circ$ . Поле зрения трубы показано при круге лево и отличается от КБ-1 видом номограммы. На рис. 124, б  $s = 19,2$  м,  $h' = -6,9$  м,  $v = -19^\circ$ .

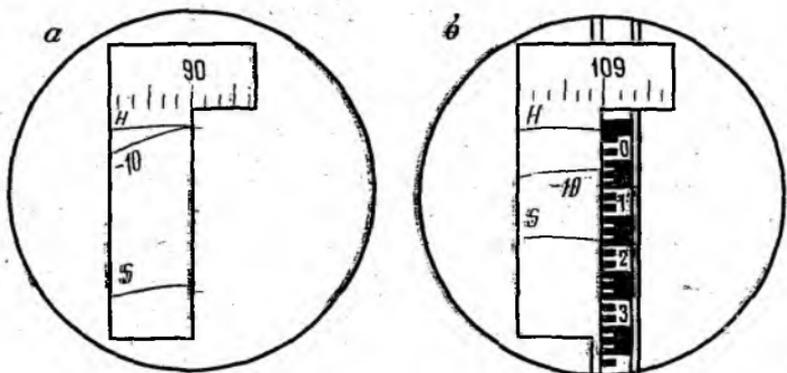


Рис. 124. Поле зрения трубы кипрегеля КА-2:  
а — вид диаграммы; б — при визировании на рейку

Ориентир-буссоль 7 (см. рис. 123) служит для ориентирования планшета по магнитному меридиану, для чего буссоль прикладывают к восточной или западной стороне рамки трапеции и вращают планшет до тех пор, пока северный конец магнитной стрелки не укажет отсчет, соответствующий склонению магнитной стрелки.

Кипрегель КН введен по ГОСТу 20778—75 «Кипрегель номограммный». Новый стандарт устанавливает один тип кипрегеля с номограммами по всему полю зрения трубы в двух видах: основной (КН) с уровнем при вертикальном круге и дополнительный (КН-К) с компенсатором при вертикальном круге. С введением ГОСТа на кипрегель КН прекращается выпуск кипрегеля КА-2 с Г-образной номограммой в поле зрения трубы, которая ухудшает эксплуатационные качества прибора, снижает производительность труда и приводит к быстрой утомляемости наблюдателя. Технические данные кипрегеля КН (рис. 125) следующие:

- увеличение трубы не менее  $25\times$ ,
- поле зрения трубы не менее  $1^\circ 20'$ ;
- диаметр объектива 46 мм, диаметр окуляра 1,5 мм;
- наименьшее расстояние для визирования 5 м;
- пределы измерения вертикальных углов  $\pm 45^\circ$ ;
- диапазон работы номограммы расстояний и превышений  $40^\circ$ ;
- средняя квадратическая ошибка измерения расстояний на 100 м не более 20 см;

средняя квадратическая ошибка измерения превышений на 100 м для  $K' = \pm 10$  — 3 см,  $K' = \pm 20$  — 6 см,  $K' = \pm 100$  — 15 см,

средняя квадратическая ошибка измерений вертикального угла из одного приема 45".

цена деления уровня на вертикальном круге 30"/2 мм,

длина линейки кипрегеля: основной 35 см, дополнительной 50 см,

масса кипрегеля 3 кг.

Кипрегель КН-К имеет компенсатор с диапазоном действия 10', и ошибкой самоустановки 5".

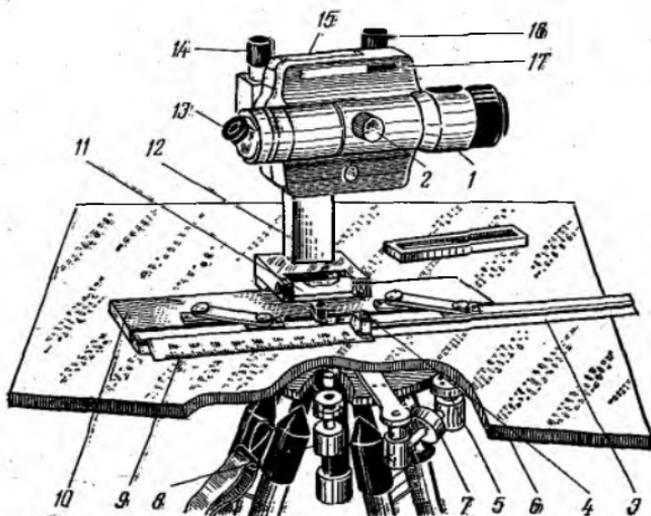


Рис. 125. Кипрегель номограммный КН

Кипрегель КН состоит из зрительной трубы 1 (см. рис. 125), колонки 12 и линеек: основной 10 и дополнительной 3. Зрительная труба для удобства наблюдений снабжена ломаным окуляром 13. Фокусирование осуществляется рукояткой 2, установленной на кожухе трубы. Зрительная труба вращается относительно круга, что позволяет при наклоне трубы видеть в поле зрения различные участки круга. Изображения кривых превышений и оцифровка изменяются в зависимости от того, какая часть вертикального круга рассматривается в окуляр. Кривые превышений рассчитаны в пределах углов наклона от  $-35$  до  $+35^\circ$ .

Уровень 15, соединенный с вертикальным кругом, служит для установки нуля круга. Уровень 17 при трубе реверсивный. Наличие цилиндрического уровня при трубе позволяет использовать кипрегель в качестве нивелира, что удобно при наборе пикетов в равнинных районах при мелиоративных работах.

В верхней части колонки 12 закреплена осевая система, на втулке которой укреплен круг, а на оси — зрительная труба. Нижняя часть колонки прикреплена четырьмя винтами к основ-

ной линейке 10. На колонке имеется наводящий винт трубы 14, совмещенный с закрепительным винтом, и наводящий винт вертикального круга 16, используемый для установки лимба на нулевой отсчет.

Основная линейка 10 служит основанием кипрегеля, а дополнительная линейка 3 при помощи двух шарниров соединена с основной и образует совместно с ней систему шарнирного параллелограмма, позволяющего наносить на планшет снимаемые точки без передвижения всего прибора. На основной линейке 10 расположена съемная масштабная линейка 9. На дополнительной

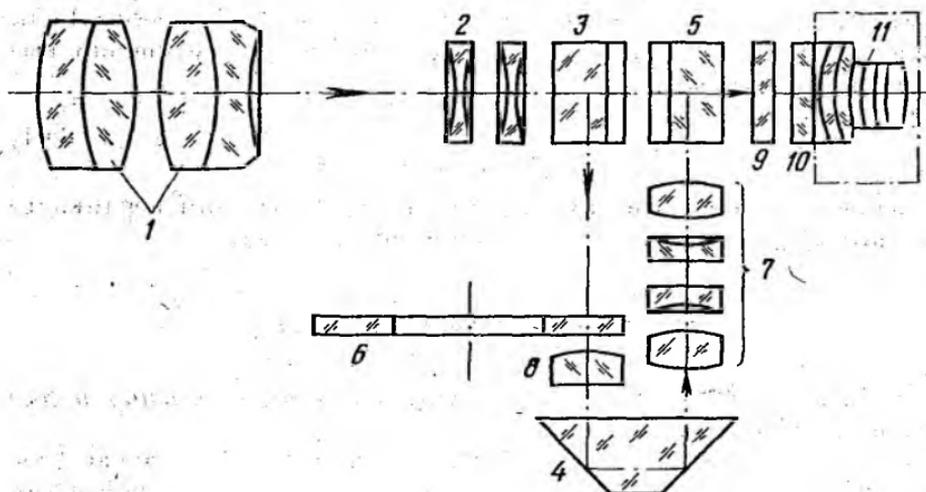


Рис. 126. Оптическая схема кипрегеля КН

линейке 3 имеется паз, по которому перемещается наколочный штифт 4 для нанесения снимаемых точек. На колонке укреплен цилиндрический уровень 11, служащий для приведения в горизонтальное положение плоскости планшета.

Мензуральная подставка с планшетом состоит из двух частей: верхней и нижней. Верхняя часть представляет диск 5, который посредством водильца и наводящего винта 7 соединен с планшетом 6.

Планшет — доска размером 60×60 см служит для установки на нем металлической основы и кипрегеля. Перемещение планшета по азимуту осуществляется наводящим винтом 7, а установка по уровню — винтами 8. Нижняя часть — металлическая конструкция соединяется с верхней закрепительным винтом.

Штатив состоит из столика и трех деревянных ножек с металлическими наконечниками. Ножки шарнирно соединены со столиком штатива.

Оптическая система кипрегеля КН (рис. 126) имеет четырехлинзовый объектив 1, отрицательную фокусирующую линзу 2, призмы 3, 4, 5, вертикальный круг 6 с делениями и кривыми;

оборачивающую систему 7 с четырьмя объективами и коллективом 8, сетку нитей 9, призму 10 для излома луча под углом  $45^\circ$  и окуляр 11.

В мензульный комплект входят: мензула облегченного типа, две рейки с выдвижной пяткой, облегчающей наведение начальной окружности на высоту прибора, раздвижной штатив типа ШР-120, полевой зонт, буссоль и центрировочная вилка (см. рис. 119, а). Рейка имеет нуль, который устанавливается с помощью выдвижной подставки на высоту прибора. При определении расстояний или превышений начальную кривую нужно наводить на нуль рейки. Измерения производят при круге лево. Можно пользоваться обыкновенной нивелирной рейкой. Если основная кривая наведена на высоту прибора, превышения вычисляют по формуле

$$h = K'l_n \quad (201)$$

Перед снятием отсчетов по рейке пузырек уровня вертикального круга должен быть приведен в нуль-пункт.

### Проверки мензулы

1. Мензула должна быть устойчивой в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Трубу кипрегеля, установленного на мензульной доске, наводят на точку и слегка постукивают рукой по мензульной доске с боков. В этот момент изображение точки сходит с пересечения сетки нитей. По прекращении постукивания изображение точки должно вернуться в прежнее положение. Если этого нет, то условие не выполняется.

Трубу кипрегеля наводят на точку и слегка постукивают сверху доски. Условие выполнено, если мензула пружинит, т. е. после прекращения нагрузки на доску труба остается наведенной на точку. Если условие не выполнено, то следует проверить крепление доски к подставке, крепление подставки к головке штатива, крепление наконечников на концах ножек штатива. Проверяют, нет ли люфта в подъемных винтах и в головке штатива. В случае необходимости регулируют вращение подъемных винтов и закручивают барашки, которыми удерживается головка штатива. Если и после этого мензула остается неустойчивой, то ее следует отдать в ремонт.

2. Верхняя поверхность мензульной доски должна быть плоской.

Проверка производится поверенной линейкой кипрегеля. Прикладывают скошенный край линейки к доске в двух взаимно перпендикулярных направлениях и смотрят, нет ли просветов между ребром линейки и поверхностью доски. Если просветы более 0,5 мм, то доску следует исправлять в столярной мастерской.

3. *Верхняя плоскость мензульной доски планшета должна быть перпендикулярна к оси вращения мензулы.*

У исправной мензулы с металлической подставкой после ее нивелирования ось вращения займет отвесное положение. Открыв крепежный винт 2 (см. рис. 119) подставки, медленно вращают доску. Если пузырек уровня на линейке кипрегеля отклоняется от нуля-пункта не более 2—3 делений, то условие выполнено. В противном случае мензулу следует отремонтировать в мастерской.

## Поверки кипрегеля

1. *Скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямой линией.*

На прикрепленной к доске бумаге прочерчивают карандашом линию вдоль скошенного ребра линейки кипрегеля. Затем поворачивают кипрегель на  $180^\circ$ , прикладывают скошенное ребро линейки к прочерченной линии с другой стороны и еще раз прочерчивают линию. Если линии совпадут или отклонятся в пределах 0,1 мм, то условие выполнено. При больших отклонениях линейку кипрегеля нужно исправить в мастерской.

2. *Нижняя поверхность линейки кипрегеля должна быть плоской.*

Поверяют прикладыванием линейки кипрегеля к какой-либо выверенной поверхности, принимаемой за плоскость. Если концы линейки несколько выгнуты кверху, то поставленный на доску кипрегель менее устойчив и линейку следует исправить в мастерской. Небольшая вогнутость концов линейки книзу значения не имеет, так как под тяжестью кипрегеля, поставленного на доску, она устранивается.

3. *Подвижная линейка, находясь на разных расстояниях от основной, должна перемещаться параллельно самой себе.*

При неподвижном положении кипрегеля на планшете устанавливают дополнительную линейку на нескольких различных расстояниях от основной линейки и каждый раз прочерчивают вдоль скошенного ребра линию. Измерителем сравнивают в разных местах расстояния между двумя прочерченными линиями. Если условие выполнено, то эти расстояния должны быть одинаковыми: колебания не должны превышать 0,2 мм. В противном случае линейку исправляют в мастерской.

4. *Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельной нижней плоскости линейки.*

Линейку кипрегеля устанавливают в середине мензульной доски по направлению двух подъемных винтов, вращением которых приводят пузырек уровня в нуль-пункт, и прочерчивают линию. Затем поворачивают кипрегель и прикладывают его к этой линии с другой стороны. Если пузырек уровня остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае пузырек нужно с помощью исправительных винтов уровня пере-

местить на половину дуги отклонения в сторону нуля-пункта. Поверку и юстировку повторяют до выполнения условия. Затем нивелируют планшет, добиваясь, чтобы при любом положении кипрегеля пузырек уровня на его линейке отклонялся от нуля-пункта на величину не более двух делений.

5. Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

Трубу кипрегеля наводят на точку и прочерчивают линию вдоль скошенного края линейки кипрегеля. Затем трубу переводят через зенит, прикладывают линейку кипрегеля к точке на линии и визируют на ту же цель. После этого вдоль ребра линейки снова прочерчивают линию. Если линии совпадут, то условие выполнено; если между ними образуется угол, то нужно провести его биссектрису и к ней приложить линейку кипрегеля. Перекрестие сетки нитей сместится с изображения цели, тогда боковыми исправительными винтами сетки нитей передвигают его до совпадения с изображением визирной цели.

6. Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля.

Проверяется так же, как третья поверка теодолита (см. § 24).

7. Одна из нитей сетки должна лежать в коллимационной плоскости трубы.

Проверяется как у теодолита (см. § 24).

8. Коллимационная плоскость трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или быть ему параллельной.

Наводят трубу на удаленную точку местности и прочерчивают линию. На этой линии ставят две иголки и смотрят, находятся ли иголки и точка, на которую наведена труба, на одной линии. Если нет, то условие не выполнено. Исправить нарушение условия нельзя. На построение углов на планшете эта ошибка не влияет, так как все прочерченные направления будут повернуты на один и тот же угол. Невыполнение условия отражается лишь на ориентировании планшета. При ориентировании планшета с помощью буссоли эту ошибку необходимо учитывать: на ее величину изменится склонение магнитной стрелки.

9. Ось реверсивного уровня на кожухе вертикального круга должна быть параллельна визирной оси трубы.

Наводят трубу на рейку, расположенную на расстоянии 100—150 м, приводят трубу в горизонтальное положение по цилиндрическому уровню и отсчитывают по рейке при двух положениях вертикального круга. Среднее значение из двух отсчетов по рейке, на которое необходимо направить визирную ось трубы, соответствует горизонтальному положению оси трубы. Исправительными винтами реверсивного уровня приводят пузырек его в нуля-пункт. В этот момент отсчет по кругу должен быть равен  $90^\circ$ , а отсчет по кривой превышений — нулю.

10. Место нуля вертикального круга должно быть постоянным и равняться  $90^\circ$ .

Место нуля для КБ-1 вычисляют по формуле

$$MO = \frac{\Pi - 180^\circ + Л}{2}. \quad (202)$$

Место нуля для КН вычисляют по формуле

$$MO = \frac{\Pi - Л}{2}. \quad (203)$$

Приведение MO к величине, близкой к нулю, при его постоянстве выполняется так же, как у теодолита. Угол наклона у кипрегеля КН вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{\Pi + Л}{2}, \\ v &= \Pi - MO = Л + MO. \end{aligned} \right\} \quad (204)$$

11. Вертикальный круг не должен иметь эксцентриситета.

Для выявления эксцентриситета у КБ-1 вращают трубу и наблюдают за положением контрольного штриха  $pq$  относительно основной кривой  $H$ . Если влияния эксцентриситета нет, то штрих должен проектироваться на изображение начальной кривой  $H$  или отклоняться от нее не более чем на три толщины самого штриха. В противном случае кипрегель следует направить в мастерскую для осуществления регулировки лимба.

12. Проверка положения номограммы: при горизонтальном положении визирной оси трубы кривые превышений с коэффициентами  $+10$  и  $-10$  должны пересекаться в точке пересечения основной кривой и вертикальной нити.

На вертикальном круге устанавливают отсчет, равный месту нуля при положении пузырька уровня на середине. Если условие не выполнено, то снимают кожух на вертикальном круге и исправительными винтами номограммы, находящимися над цилиндрическим уровнем, устанавливают номограмму в необходимое положение.

13. Определение фактических значений коэффициентов кривой горизонтальных проложений и кривых превышений.

Фактическое значение  $K_\phi$  коэффициента кривой горизонтальных проложений определяют путем сравнения значений горизонтальных проложений линии, полученного при помощи номограммы и вычисленного по результатам измерения лентой, по формуле

$$K_\phi = 100 \frac{S_{\text{лент}}}{S_{\text{ном}}}. \quad (205)$$

Если  $K_{\phi}$  отличается от 100 более чем на 0,2, то в измеряемые величины необходимо вводить поправки.

Фактическое значение коэффициентов кривых превышений  $K'_{\phi}$  определяют путем сравнения превышения, полученного из геометрического нивелирования и при помощи номограммы по формуле

$$K'_{\phi} = K \frac{h_{\text{нив}}}{h_{\text{ном}}} \quad (206)$$

Если расхождения между фактическими и номинальными ( $\pm 10$  и  $\pm 20$ ) значениями коэффициентов не превышают соответственно 0,1 и 0,2, то при съемке можно пользоваться данными значениями кривых превышений. Для  $K' = 100$  отклонения не должны превышать 0,4.

### § 73. СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Стереотопографическая съемка применяется на основе воздушной и наземной фотосъемки (фототеодолитная съемка). По Инструкции [22] стереотопографическая воздушная съемка выполняется по двум технологическим схемам.

1. Контурная часть плана создается на основе фотопланов, а съемка рельефа выполняется на универсальных стереофотограмметрических приборах; дешифрирование контуров производится путем сочетания полевых и камеральных данных.

2. Составление контурной части плана и съемка рельефа выполняется на универсальных стереофотограмметрических приборах. Дешифрирование контуров производится камерально и в поле на аэрофотоснимках или фотосхемах.

Производство стереотопографической съемки состоит из следующих этапов:

составление проекта;

аэрофотосъемка;

полевые работы: маркировка знаков, плановая и высотная привязка опознаков, дешифрирование контуров;

камеральные работы: сгущение планового и высотного съемочного обоснования, дешифрирование снимков, рисовка рельефа.

В проекте, который составляют на карте более мелкого масштаба по сравнению с масштабом съемки, намечают места расположения плановых и высотных опознаков, методы и схемы их геодезического определения, формы и размеры маркируемых знаков и места их установки. На восковке выделяют зоны перекрытия маршрутов, в которых должны быть намечены плановые и высотные опознаки.

Плановые и высотные опознаки располагают рядами поперек маршрутов на расстоянии не более восьми базисов фотографии-

рования (плановые) и четырех базисов (высотные). В каждой зоне перекрытия должно быть по одному плановому опознаку; если местность бедна контурами, то проектируют маркировку опознаков. Эти точки намечают на снимке и закрепляют на местности.

Аэрофотосъемка выполняется на черно-белых, цветных или спектральнональных аэропленках на лавсановой и триацетатной основах. Фотографирование в равнинных районах выполняется аэрофотоаппаратом (АФА) с  $f_k = 70$  мм, во всхолмленных и горных районах с  $f_k = 100$  мм. Масштаб фотографирования выбирают в зависимости от масштаба съемки, высоты сечения рельефа и приборов, на которых будет проходить обработка. Он не должен быть мельче масштаба плана более чем в 4 раза.

Выбор высоты фотографирования  $H$  зависит от масштаба фотографирования и определяется из соотношения

$$\frac{1}{M} = \frac{f_k}{H}. \quad (207)$$

Используют аэрофотоснимки размером  $18 \times 18$  см с продольным перекрытием 60—90%, поперечным 30%. Аэрофотосъемка выполняется в соответствии с действующими Основными техническими требованиями к аэрофотографии для создания топографических карт, техническим заданием и требованиями инструкций. Аэрофотосъемка производится в период, когда травяная растительность имеет минимальную высоту. Лучшим временем съемки являются весна и осень.

Перед аэрофотосъемкой маркируются необходимые пункты геодезической основы, плановые и высотные опознаки. Маркируемые опознаки должны располагаться так, чтобы их изображения на аэрофотоснимках не закрывались изображениями высоких предметов или их тенями. Для маркировки применяют: в сплошном лесу — вырубki площадок в виде квадрата или прямого угла; в редком лесу на полянах — наземные знаки в виде квадрата, кольца, прямого угла: снятие дерна, выкладки бересты и т. д.

На светлом фоне в открытых местах используют темный материал (пергамент, черную бумагу); окраску, выкладку фигур камнем или деревьями, на темном фоне (траве, пашне) — цвет маркировки белый или желтый.

В качестве плановых опознаков выбирают контурные точки, которые можно определить на аэрофотоснимке с ошибкой не более 0,1 мм в масштабе составляемого плана. Плановая привязка заключается в определении планового положения контурных точек на местности и опознавании их на аэрофотоснимках. Все плановые опознаки должны быть определены и в высотном отношении. Средние ошибки определения высот опознаков не должны быть более  $1/10$  принятой высоты сечения рельефа. Способ опре-

деления координат и высот опознаков выбирается в зависимости от характера местности и плотности пунктов геодезической сети.

9. Высотная привязка снимков состоит в определении высот плановых (оп), планово-высотных (опв), высотных (ов) опознаков и может выполняться в вариантах полной и разреженной подготовки в зависимости от масштаба фотографирования, высоты сечения рельефа, характера участка и технической характеристики аэрофотоаппарата.

В качестве плановых опознаков нельзя использовать деревья и кусты, а также постройки и предметы местности высотой 3 м, если на аэрофотоснимках не просматриваются их основания. В качестве высотных опознаков нельзя брать точки, расположенные на крутых склонах.

*Дешифрирование* заключается в распознавании на аэрофотоснимках предметов и контуров местности, установлении их характеристик и вычерчивании в соответствующих условных знаках. Оно производится на отдельных аэрофотоснимках, контактных или увеличенных отпечатках, маршрутных фотосхемах, репродукциях с уточненных фотосхем или фотопланов.

Объекты, не изобразившиеся на снимке, при дешифрировании подлежат досъемке или нанесению на фотоизображение по промерам или координатам.

В зависимости от физико-географических особенностей местности выполняются следующие виды дешифрирования: сплошное полевое, полевое по маршрутам и камеральное.

Сплошное полевое дешифрирование проводится на участках, где сосредоточено много объектов местности, имеющих особо важное хозяйственное и оборонное значение.

Маршрутное полевое дешифрирование проводится в пределах полосы: в лесных районах 250 м, в открытых — до 500—1000 м. При движении по маршруту в пределах этой полосы ведут наблюдения и сопоставляют местность с ее фотоизображением, опознают и отмечают на снимке условными знаками объекты местности. Иногда фотографируют часть объектов.

Полевое дешифрирование обычно производится на фотопланах в процессе работ по привязке плановых и высотных опознаков.

В камеральные работы входит следующее:  
фотограмметрическое сгущение опорной геодезической сети;  
изготовление фотопланов;  
камеральное дешифрирование и составление контурного плана;  
стереоскопическая рисовка рельефа.

Фотограмметрическое сгущение плановой сети производится методом пространственного триангулирования по аэрофотоснимкам на универсальных стереофотограмметрических приборах СПР и СД или аналитическим способом, с применением стереокомпараторов и ЭВМ.

Изготовление фотопланов состоит из трансформирования и монтажа трансформированных (приведенных к одному масштабу) аэрофотоснимков на жесткую основу.

Составление контурного плана производится одновременно со стереорисовкой рельефа. На стереоприборах выполняется камеральное дешифрирование всех объектов, изобразившихся на снимках, с нанесением их на топографическую основу.

Стереоскопическая рисовка рельефа выполняется на стереофотограмметрических универсальных приборах на фотоплане, на чистой основе или пластике с нанесенным гравировальным слоем. Рисовку рельефа можно производить на контактных отпечатках или диапозитивах с помощью топографического стереометра.

Точность стереоскопической рисовки рельефа контролируется в камеральных и полевых условиях.

## § 74. КОМБИНИРОВАННАЯ СЪЕМКА

Комбинируемая съемка выполняется по двум технологическим схемам.

1. Контурная часть плана создается на основе фотопланов, а съемка рельефа — наземным способом (мензульным, тахеометрическим и нивелированием поверхности) одновременно с дешифрированием контуров и досъемкой не изобразившихся на фотоплане объектов.

2. Контурная часть плана составляется на универсальных стереофотограмметрических приборах в виде графических планов при камеральном дешифрировании всех изобразившихся на аэрофотоснимках объектов, а съемка рельефа выполняется наземными способами, при этом уточняются данные камерального дешифрирования и производится досъемка отсутствующих на графическом плане объектов.

Масштаб аэрофотосъемки не должен быть мельче масштаба составляемого плана в 4—4,5 раза при использовании фототрансформаторов типа ФТБ и в 6—6,5 раз — типа «Ракти-мат».

Технология комбинированной съемки включает следующие виды:

- аэрофотосъемку;
- плановую привязку аэрофотоснимков;
- фотограмметрическое сгущение плановой сети;
- изготовление фотопланов и светоконий с них;
- дешифрирование и съемку контуров на фотоплане;
- создание высотного съемочного обоснования;
- полевую съемку рельефа на фотопланах.

Съемку выполняют на фотопланах или фотокопиях, которые изготавливают на полуматовой или матовой фотобумаге, наклеенной на жесткую основу. Фотоплан изготавливают методом оптического монтажа или ортофототрансформирования.

Высотное съемочное обоснование развивают проложением основных и съемочных высотных ходов на фотопланах и графических планах с целью определения высот точек стояния мензулы. Точки основных высотных ходов должны быть опознаны на фотоплане. Высоты основных высотных ходов уравнивают методом распределения невязок пропорционально длинам сторон. Съемочные ходы прокладывают после увязки основных высотных ходов. Предельные ошибки высот точек не должны превышать  $1/5$  высоты сечения рельефа.

При съемках с сечением рельефа 0,25; 0,5; 1 м основные высотные ходы прокладывают техническим нивелированием. При съемках с сечением рельефа через 2 м используется тригонометрическое нивелирование с измерением расстояний по фотоплану или нитяным дальномером. Расстояние от мензулы до рейки допускается 150 м, а в благоприятных условиях — до 200 м. При углах наклона менее  $5^\circ$  основной высотный ход можно прокладывать через точку; превышение определяется дважды при наведении на разные высоты рейки. Невязка в основных ходах не должна превышать 0,3 и 0,5 м, длина хода не более 6 км. В съемочных ходах невязки должны быть не более 0,6 м, длина хода — не более 3 км.

При съемке пересеченной и горной местности с сечением рельефа 5 м длина основного хода должна быть не более 12 км, допустимая невязка 1 м; предельная длина съемочного хода 6 км, допустимая невязка 1 м.

Съемка рельефа выполняется с помощью мензулы и кипрегеля. Пикеты определяют с точек основных, съемочных высотных ходов и пунктов геодезической основы.

В равнинной местности с углами наклона до  $2^\circ$  отметки пикетов определяют горизонтальным лучом с помощью кипрегеля с уровнем на трубе или нивелиром, который устанавливают рядом с мензулой. При углах наклона более  $2^\circ$  отметки пикетов определяют тригонометрическим нивелированием. Поправку за наклон вводят при углах наклона  $3^\circ$ . Полугоризонтали проводят на участках, где расстояния между основными горизонталями более 2,5 см на плане.

В процессе съемки ежедневно составляют кальку высот, на которую наносят пункты геодезической основы, точки основных и съемочных ходов, урезы воды, отметки характерных точек местности и всех пикетов, высоты которых подписаны на плане.

Дешифрирование выполняют одновременно со съемкой рельефа в поле сплошное или как дополнение к камеральному дешифрированию. В процессе дешифрирования инструментально наносят объекты местности, которых нет на фотоплане, и подписывают их названия. Если на аэрофотоснимках имеются объекты, которых нет на местности, то их нужно перечеркнуть на фотоплане синими линиями.

Съемка рельефа на фотошланге проводится с меньшими затратами труда и времени, чем при мензульной съемке. Изображение на фотошланге гидрографической сети, оврагов, дорог, лесов и т. д. помогает чтению рельефа. Ометки ниветов на контурных точках можно определять без реек (безречные точки), при этом среднюю нить кипрегеля наводят на основание объекта, изображенного на фотошланге, измеряют угол наклона, а расстояние берут непосредственно с фотошланга.

Контроль съемки осуществляется выборочно в поле.

УДК

1. *Абрамов В. И.* Теодолит Т10. — *Геодезия и картография*, 1968, № 4, с. 12—19.
2. *Алихст Д. А.* Новый высокоточный теодолит Т1. — *Труды ЦНИИГАиК*, 1975, вып. 214, с. 56—66.
3. *Большаков В. Д.* Теория ошибок наблюдений с основами теории вероятностей. М., Недра, 1965.
4. *Большаков В. Д., Гайдаев П. А.* Теория математической обработки геодезических измерений. М., Недра, 1977.
5. *Васютинский М. Ю.* Гидростатическое нивелирование. М., Недра, 1978.
6. *Гаусс К. Ф.* Избранные геодезические сочинения. Ч. II. М., Геодезиздат, 1958.
7. *Гиришберг М. А.* Геодезия. Ч. 1. М., Недра, 1967.
8. *Генике А. А., Наумов Я. В., Спиридонов А. И.* О современном состоянии и перспективах развития геодезического приборостроения. — *Геодезия и картография*, 1974, № 11, с. 15—20.
9. *Геодезия*, т. 1/Маслов А. В., Ларченко Е. Г., Гордеев А. В. М., Геодезиздат, 1958.
10. *Грейм И. А.* Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. М., Недра, 1975.
11. *Гусев Н. А.* Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы. М., Недра, 1968.
12. *Деймлик Ф.* Геодезическое инструментоведение. М., Недра, 1970.
13. *Демуркин А. И., Фокин П. И.* Методические указания по работе со светодальномерами на летних геодезических практиках. М., МИИГАиК, 1972.
14. *Дурнев А. И.* Высшая геодезия. М., Недра, 1967.
15. *Елисеев С. В.* Пути развития геодезического приборостроения. — *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, 1972, вып. 6, с. 107—117.
16. *Елисеев С. В.* Геодезические инструменты и приборы. М., Недра, 1973.
17. *Елисеев С. В.* Направления совершенствования геодезических приборов. — *Геодезия и картография*, 1974, № 12, с. 15—18.
18. *Захаров А. И.* Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., Недра, 1978.
19. *Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР*. М., Недра, 1966, 341 с.
20. *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов*. М., Недра, 1974.
21. *Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Полевые работы*. М., Недра, 1978.
22. *Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500*. М., Недра, 1973.

23. *Кочетов Ф. Г.* Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. М., Недра, 1969.
24. *Крюков Г. С.* Светодальномер ЕОК 2000 и результаты его испытаний. — *Геодезия и картография*, 1973, № 3, с. 32—35.
25. *Колодеж Ю. В.* Преобразователи кодовых и цифровых теодолитов. — *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, 1975, вып. I, с. 153—160.
26. *Кузнецов П. Н.* Методические указания к выполнению лабораторных работ по геодезическому инструментоведению. МИИГАиК, 1975.
27. *Кузнецов П. Н.* Исследование тахеометров и кипрегелей с диаграммами. М., Недра, 1975.
28. *Лебедев Н. Н.* Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970.
29. *Литвинов Б. А., Лобачев В. М., Воронков Н. Н.* Геодезическое инструментоведение. М., Недра, 1971.
30. *Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве*/Большаков В. Д., Васютинский И. Ю., Ключин Е. Б. и др. М., Недра, 1976.
31. *Михеев В. С.* Практикум по курсу «Геодезические приборы». М., Недра, 1974.
32. *Модринский Н. И.* Геодезия. Л., Гидрометеорологическое издательство, 1972.
33. *Новиков Ю. П.* О повышении точности определения расстояний дальномером ОТД. — *Геодезия и картография*, 1971, № 4, с. 42—45.
34. *Основные положения о построении государственной геодезической сети в СССР.* М., Геодезиздат, 1961.
35. *Практикум по геодезии* (под общ. ред. Модринского Н. И.). М., Недра, 1973.
36. *Прихода А. Г.* Бараметрическое нивелирование. М., Недра, 1964.
37. *Разумов О. С.* Об упрощенном изложении теории диаграммных тахеометров в курсах инженерной геодезии. — *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1977, вып. 2, с. 148—149.
38. *Редьков В. С.* Руководство по техническому нивелированию и высотным теодолитным ходам. М., Недра, 1974. 71 с.
39. *Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977.
40. *Рытов А. В.* Стандартизация геодезических инструментов и технический прогресс в геодезическом приборостроении. — *Геодезия и картография*, 1971, № 10, с. 20—24.
41. *Рытов А. В., Спиридонов А. И.* Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок, М., Недра, 1977.
42. *Селиханович В. Г., Козлов В. П., Логинова Г. П.* Практикум по геодезии. М., Недра, 1978.
43. *Светодальномер 2СМ2.* Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
44. *Светодальномер топографический СТ-62М* (краткое описание и инструкция). МИИГАиК, 1968.

45. *Спиридонов А. И.* Способы создания постоянного угла при исследовании лимбов. — *Геодезия и картография*, 1970, № 9, с. 26—32.
46. *Справочник геодезиста* (под ред. Большакова В. Д. и Левчука Г. П.) М., Недра, 1975.
47. *Сундаков Я. А.* Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М., Недра, 1972.
48. *Сысоев К. А.* Основы геодезии и картографии. М., Недра, 1974.
49. *Тарасов И. И.* О влиянии параллакса на точность измерения линий нитяным дальномером. — *Геодезия и картография*, 1976, № 5, с. 18—23.
50. *Топография и аэрофототопография*. /Измайлов П. И., Кислов В. В., Павлов В. Ф. М., Геодезиздат, 1959.
51. *Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000*. М., Недра, 1977.
52. *Федоров Б. Д.* Маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты. М., Недра, 1971.
53. *Филоненко А. С., Шипицын Н. Г.* Практикум по высшей геодезии: Исследование высокоточных геодезических инструментов. М., Недра, 1965.
54. *Центры и реперы государственной геодезической сети СССР*. М., Недра, 1973.
55. *Чеботарев А. С.* Геодезия. Ч. I. М., Геодезиздат, 1955.
56. *Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н.* Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962.
57. *Черемисин М. С.* Советские геодезические инструменты. — *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, 1973, вып. 5, с. 125—129.
58. *Черемисин М. С., Ардасенов В. Д., Кольцов В. П.* Нивелиры с компенсаторами. М., Недра, 1978.
59. *Шилов П. И.* Геодезия. М., Госгеолтехиздат, 1963.
60. *Эглит В. И., Сидельников С. П.* Редукционный тахеометр Редта 002. М., Госгеолтехиздат, 1963.
61. *Яровой Б. Д.* Краткий очерк развития геодезического инструментостроения в СССР. М., Геодезиздат, 1955.
62. *Алпар Д., Орбан А.* Развитие и успехи геодезического приборостроения в ВНР. — *Геодезия, картография, землеустройство*, 1976, 16, № 3, с. 22—27 (болгар.).
63. *Deumlich F.* Aktuelle Probleme geodatischer Höhenmeßinstrumente. *Vermessungstechnik*, 1976, 24, № 4, s. 139—142.
64. *Donnelly K. E.* The distomat: an instrument for accurate surveying. — *J. Soc. Civ. Eng. Tech.* 1975, 4, № 2, p. 6—7, 9—11.
65. *Freund Werner.* Das Reduktions—Tachymeter DAHLTA OIOA — Teil der Theodolit Typenzeihe A. — *«Vermessungsinformationen.»* 1974, № 29, с. 9—13.
66. *Freund Werner.* Das Reduktions—Tachymeter DAHLTA OIOA, Teil der Theodolit—Typenzeihe A. *«Jenaer Rasch»*, 1974, 19, № 1, с. 5—8.

67. *ibachher Genhara*. The new automatic level Ni 002 of the Optical Work for first and second order levelling Proc. Amer. Congr. Surv. and Mapp. Fall Convent, Washington, D. C., 1974, p. 365—375.

68. *Lukacs T., Thury J.* Ni—A3, das neue Prazisionschen, optischen Werke MOM — «Geod. — und Geophys. Veröff., 1973, 3, № 29, c. 74—83.

69. *Meisenheimer WJLD—T—16*—Skalentheodolit als neues Modell. — «Vermessungsingenieur», 1975, 26, № 3, 118 c.

70. *Schnudt Heinz*. Anwendung des kartiertisches. KARTJ 250 — zusatzgerät für die Tachymeter und Theodolite des VEB Care Zeiss JENA. — «Vermessungsingenieur», 1974, № 29, c. 18—20.

Предисловие . . . . .	3
<b>ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ</b> . . . . .	4
§ 1. Предмет геодезии . . . . .	4
§ 2. Значение геодезии в народном хозяйстве . . . . .	5
§ 3. История развития геодезии и геодезического приборостроения . . . . .	7
§ 4. Организация геодезической службы в СССР . . . . .	10
§ 5. Понятие о форме и размерах Земли . . . . .	11
§ 6. Метод проекций в геодезии. Координаты и высоты точек местности . . . . .	14
§ 7. Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния и высоты точек местности . . . . .	16
§ 8. План, карта и профиль местности. Аэрофотоснимок . . . . .	18
<b>ГЛАВА 2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ СССР</b> . . . . .	20
§ 9. Понятие о зональной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса . . . . .	20
§ 10. Зональная система плоских прямоугольных координат Гаусса . . . . .	21
§ 11. Масштабы . . . . .	22
§ 12. Условные знаки . . . . .	25
§ 13. Разграфка и номенклатура топографических карт . . . . .	28
§ 14. Ориентирование линии местности . . . . .	31
§ 15. Изображение рельефа на топографических картах . . . . .	35
§ 16. Решение задач по топографической карте . . . . .	39
<b>ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ</b> . . . . .	42
§ 17. Принцип измерения горизонтального и вертикального углов . . . . .	42
§ 18. Угломерный круг (лимб) . . . . .	43
§ 19. Стелечные устройства . . . . .	43
§ 20. Уровни . . . . .	50
§ 21. Зрительные трубы . . . . .	53
§ 22. Классификация теодолитов . . . . .	60
§ 23. Исследование теодолита . . . . .	69
§ 24. Проверки и юстировка теодолита . . . . .	77
§ 25. Измерение горизонтального угла . . . . .	82
§ 26. Ошибки, влияющие на точность измерения горизонтального угла . . . . .	85
§ 27. Точность измерения горизонтального угла . . . . .	94
§ 28. Устройство и теория вертикального круга . . . . .	95
<b>ГЛАВА 4. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ</b> . . . . .	103
§ 29. Непосредственный способ измерения расстояний . . . . .	103
§ 30. Эталонирование мерных приборов . . . . .	105
§ 31. Точность измерения расстояний непосредственным способом . . . . .	106

§ 32. Параллактический способ измерения расстояний . . . . .	109
§ 33. Короткобазисный параллактический способ измерения расстояний . . . . .	112
§ 34. Дальномерный способ измерения расстояний . . . . .	114
§ 35. Нитяный дальномер в зрительных трубах геодезических приборов . . . . .	115
§ 36. Принцип устройства оптического дальномера двойного изображения . . . . .	118
§ 37. Дифференциальные дальномерные насадки ДН-04 и ДН-10 . . . . .	120
§ 38. Дальномерная насадка редуцирующая ДНР-06 . . . . .	125
§ 39. Редуцирующий тахеометр Редта . . . . .	127
§ 40. Дальномер внутрибазный ДВ-20 . . . . .	136
§ 41. Дальномерная насадка с переменным параллактическим углом (ДН-08) . . . . .	138
§ 42. Дальномер ОТД . . . . .	143
§ 43. Классификация дальномеров двойного изображения . . . . .	147
§ 44. Принцип измерения расстояний свето- и радиодальномерами . . . . .	150
§ 45. Светодальномеры . . . . .	152
§ 46. Светодальномер СМ-3 . . . . .	157
§ 47. Светодальномер 2СМ-2 . . . . .	164
§ 48. Светодальномер топографический (СТ) . . . . .	168
§ 49. Классификация светодальномеров . . . . .	175
§ 50. Радиодальномеры . . . . .	177

## ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ . . . . . 182

§ 51. Способы нивелирования . . . . .	182
Геометрическое нивелирование . . . . .	182
§ 52. Классификация нивелиров . . . . .	184
§ 53. Нивелирные рейки . . . . .	196
§ 54. Исследование нивелира . . . . .	197
§ 55. Поверки и юстировки нивелира . . . . .	200
§ 56. Производство работ при геометрическом нивелировании . . . . .	203
§ 57. Ошибки, влияющие на точность геометрического нивелирования . . . . .	206
§ 58. Тригонометрическое нивелирование. Влияние вертикальной рефракции на определение превышений . . . . .	209
§ 59. Вывод формулы для определения превышения тригонометрическим нивелированием . . . . .	211
§ 60. Точность тригонометрического нивелирования . . . . .	212
§ 61. Классификация тахеометров . . . . .	214
§ 62. Теория номограммных тахеометров . . . . .	222
§ 63. Понятие о барометрическом нивелировании . . . . .	224
§ 64. Понятие о гидростатическом нивелировании . . . . .	232

## ГЛАВА 6. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ . . . . . 236

§ 65. Общие сведения. Назначение топографических съемок . . . . .	236
§ 66. Государственная геодезическая сеть СССР и методы ее построения . . . . .	239

§ 67. Геодезическая сеть сгущения . . . . .	243
§ 68. Закрепление и обозначение на местности пунктов государственной геодезической сети . . . . .	244
§ 69. Съёмочная геодезическая сеть . . . . .	247
§ 70. Тахеометрическая съёмка . . . . .	251
§ 71. Мензуральная съёмка . . . . .	253
§ 72. Устройство и поверки мензурального комплекта . . . . .	254
§ 73. Стереотопографическая съёмка . . . . .	265
§ 74. Комбинированная съёмка . . . . .	268
Список литературы . . . . .	271

Валентина Васильевна Баканова

## ГЕОДЕЗИЯ

Редактор издательства Л. М. Комарькова  
Переплет художника А. Е. Григорьева  
Художественный редактор Е. Л. Юрковская  
Технический редактор В. В. Соколова  
Корректор Е. В. Мухина

ИБ № 2628

---

Сдано в набор 20.03.80. Подписано в печать 26.08.80. Т-12194.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага книжно-журнальная.  
Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 17,5.  
Уч.-изд. л. 17,16. Тираж 24 700 экз. Заказ 131/7028—15. Цена 85 коп.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени  
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой  
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.