



Г.Д.Курошев, Л.Е.Смирнов

**ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И
ТОПОГРАФИИ**

Санкт-Петербург 1994

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Г.Д.Курошев, Л.Е.Смирнов

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург 1994

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Санкт-Петербургского университета

Куровшев Г.Д., Смирнов Л.Е. Основы геодезии и топографии:
Учебное пособие. СПб., 1994 . 152 с.

В двух частях пособия: "Геодезия" и "Топография", приведены основные этапы истории геодезических измерений и топографических съемок. Сообщаются общие сведения об ошибках измерений. Объяснены правила и методы измерения углов и расстояний и решения задач по определению плановых координат и высот пунктов местности. Описаны наиболее распространенные приборы, применяемые для проведения полевых и камеральных работ. Рассматриваются способы и технологии полевых наземных и аэрогеодезических съемок. Анализируется содержание топографических карт и показываются методы их качественного и количественного анализа.

Пособие предназначено для студентов 1-го курса всех форм обучения факультета географии и геоэкологии всех специальностей, геологического факультета специальностей "Геологическая съемка", "Геофизика", "Геохимия", "Гидрогеология и инженерная геология", биологического факультета специальности "Почвоведение".

Рецензент канд. техн. наук В.Д.Мартынов (С.-Петербург. горный ин-т)

ISBN 5-87403-31-Х



Г.Д.Куровшев, Л.Е.Смирнов, 1994 .

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие представляет собой систематизированный курс лекций для студентов, изучающих способы полевых измерений и съемок. В нем кратко изложены начала геодезии и топографии, знание которых необходимо для выработки у учащихся первичных навыков и умений в обращении с приборами и инструментами, в производстве необходимых вычислений и графических построений.

Пособие составлено в соответствии с программой курса "Геодезия", читаемого студентам географических, геологических и почвенной специальностей дневного, вечернего и заочного обучения.

При составлении пособия учитывались требования к профессиональной подготовке специалистов в области естественных наук, ведущих сбор материалов и исследование в полевых экспедиционных условиях. Вместе с тем курс "Основ геодезии и топографии" должен не только передавать учащимся определенную сумму знаний, позволяющих самостоятельно проводить необходимые измерения и съемки местности, но также давать представление о Земле, как небесном теле, имеющим определенные размеры, форму и ряд других свойств.

Авторы стремились, сохранив точность и строгость при использовании понятий и терминов, изложить суть предмета изучения в удобной и доступной для восприятия студентами 1-го курса форме.

Полный курс "Основ геодезии и топографии" делится на три части: лекционную (теоретическую), зимнюю лабораторную практику и летнюю учебную полевую практику. Данное учебное пособие предназначено для подкрепления лекционного курса и не заменяет руководств и методических пособий по практике.

В В Е Д Е Н И Е

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ

Геодезия - одна из наук о Земле. Слово “геодезия” - греческое и означает “землеразделение”. В настоящее время содержание геодезии понимается значительно шире, и геодезия характеризуется как наука о методах определения пространственных характеристик предметов и явлений. Таким образом, объектом изучения геодезии является пространство в его предметном выражении. Проще говоря, - пространство, которое окружает людей, прежде всего - это географическая оболочка Земли.

В современной познавательной деятельности геодезия выступает как самостоятельная наука, практика и метод исследования. Геодезисты делят также геодезию на высшую, собственно геодезию и прикладную (инженерную) геодезию.

Научные задачи геодезии заключаются, во-первых, в изучении фигуры и размеров Земли, ее внешнего гравитационного поля, а также их изменений во времени, и во-вторых, в разработке способов, приемов и средств геодезических измерений на земной поверхности.

Практические задачи геодезии (геодезического производства) состоят в создании сети геодезических пунктов, т.е. закрепленных на местности точек, плановые координаты и высоты которых определены геодезическими измерениями. Развитие геодезических сетей необходимо и предшествует топографическим съемкам и в целом картографированию территории, а также решению научно-исследовательских и инженерно-технических задач. Кроме того, геодезия связана с навигацией, где решается задача определения положения, курса и скорости движения судов, самолетов.

Задачи геодезического метода состоят в обслуживании других наук о Земле: географии, геологии, геофизики и др. Эти задачи включают в себя определение пространственного положения отдельных объектов, их перемещения, а также развития природных процессов, например, движения ледников, течения рек, уровня вод, роста оврагов, вертикального и горизонтального перемещения земной коры и многоного другого.

История геодезии уходит корнями вглубь веков. Геодезия возникла из практических потребностей людей еще до н.э. на Востоке, где требовалось, как например в Египте, систематически определять границы земельных участков после каждого разлива Нила.

Первоначально геодезия была лишь частью зарождавшейся геометрии. Затем прикладные методы геометрии оформились как особые задачи, решением которых и занялась геодезия.

В IV в до н.э. геодезия выделилась в самостоятельную науку для которой Аристотель предложил ее современное название. В дальнейшем геодезия приобрела тесные связи с математикой, астрономией, а также географией и картографией.

На рубеже XVII-XVIII в в. И.Ньютоном была высказана идея об эллипсоидальности Земли. С этого времени основным предметом геодезии стало определение размеров земного эллипса и его сжатия. В этот период зародились начала гравиметрии. Возникло понятие об особой форме Земли - геоиде. Выяснилось, что фигура Земли связана с ее внутренним строением, тем самым, круг интересов геодезии сомкнулся с проблемами науки, названной геофизикой.

С середины XIX в. геодезия стала изучать фигуру Земли более детально. Ее интересовали отступления геоида от первоначально принятой фигуры. Эта задача разрешалась астрономо-геодезическими и гравиметрическими методами. Так возникла геодезическая гравиметрия.

Современный период в развитии геодезии связан с запуском искусственных спутников Земли. Появилась космическая геодезия, а затем "сelenодезия" и другие геодезии планет. Геодезия усилила свои связи с геофизикой и занялась изучением динамики земной коры, а также изменениями во времени фигуры, размеров и гравитационного поля Земли. Данные геодезии стали привлекаться для решения проблем геологии и планетологии.

Историю геодезии в нашей стране обычно изучают с эпохи древней Руси и становления Московского государства. Но интенсивно геодезия начала развиваться во времена Петра I, когда были организованы первые астрономо-геодезические экспедиции и сделаны крупные географические открытия. В XIX в. астрономы и геодезисты активно работали над развитием геодезической сети по территории России, главным образом ее Европейской части.

В XX в. наша страна была полностью покрыта сплошной сетью геодезических пунктов, достаточной для того, чтобы обеспечить топографической съемкой всю территорию государства.

Топография - раздел картографии, тесно примыкающий к геодезии. В топографии карты и планы достаточно крупных масштабов получаются путем натурных съемок местности.

Термин “топография” впервые был введен знаменитым греческим географом и астрономом Птолемеем примерно во II в. н.э. Слово “топография” образовано из двух греческих слов “толос” - местность и “графо” - пишу.

Зарисовкой окружающей местности в виде примитивных планов люди стали заниматься в незапамятные времена. Более или менее точные топографические съемки начались с изобретением нивелира и почти через 100 лет теодолита. Однако следует отметить, что первые очень простые приборы для съемок появились еще до нашей эры. Например, нивелир упоминается в трудах древнегреческого ученого-механика Геона Александрийского и римского архитектора Марка Витрувия в I-м в. до н.э.

Однако в XVI в. они претерпели принципиальные изменения и стали включать в себя все те элементы, которые сохранились и до сих пор: оптические трубы, уровни, отсчетные приспособления, сетки нитей. С этого времени топографические планы и карты приобрели необходимую точность и достоверность.

В последующие столетия топография прошла длинный путь систематического совершенствования. В XIX в. топографические съемки достигли высокого исполнительского мастерства. Топографические карты России, созданные в прошлом столетии, отличаются высокой достоверностью и надежностью передачи содержания, особенно рельефа.

В начале XX в. при топографических съемках стали использовать сначала наземные, а затем аэрофотографические снимки. Была разработана и внедрена в производство аэрофототопографическая технология создания карт. Теперь она является основной в топографо-геодезическом производстве. Но и она все чаще использует для создания топографических карт материалы космических съемок.

В России систематические топографические съемки начались при Петре I, но велись медленно и к началу XX в. топографическими

картами была покрыта лишь Европейская часть государства и очень малая часть Сибири.

Громадная работа по съемкам была произведена топографо-геодезической службой страны, начиная с 30-х годов. К 50-м годам наша страна была полностью покрыта топографическими картами масштаба 1:100 000, а к настоящему времени картами масштабов 1:25 000 и частично 1:10 000.

ГЕОДЕЗИЯ

Глава 1. РАЗМЕРЫ И ФОРМА ЗЕМЛИ

1. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФИГУРЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ

Представления о мироздании, о фигуре, размерах и положении Земли в Космосе, существовавшие в разные времена, были весьма различными, порой просто фантастичными, как, например, в средние века. Однако мысль о шарообразности Земли высказывалась не один раз разными учеными.

Впервые идея о шарообразности Земли была высказана, вероятно, халдейскими жрецами в VI в. до н.э. С таким же утверждением выступал грек Фалалей. Ту же мысль высказывал Аристотель в IV в. до н.э. В качестве доказательства они ссылались на то обстоятельство, что шар - это самая "совершенная" из геометрических форм. Наблюдения за уходящими за горизонт кораблями также наталкивали на мысль о том, что Земля круглая.

Попытки измерить Землю, вероятно, делались в древние времена не один раз. Однако первое исторически достоверное измерение Земли проделал грек Эратосфен в II в. до н.э. Он заметил, что в двух египетских городах, расположенных на Ниле, в одно и тоже время солнце стоит в Сиене (нынешнем Асуане) почти в зените, тогда как в Александрии светит под углом. Зная расстояние между городами S и измерив с помощью гномона, закрепленного в полусфе-

рической чаше, угол Z (зенитное расстояние), Эратосфен вычислил радиус Земли R (рис.1), поскольку $R = (180^\circ S) / (\pi M)$, $Z = M$.

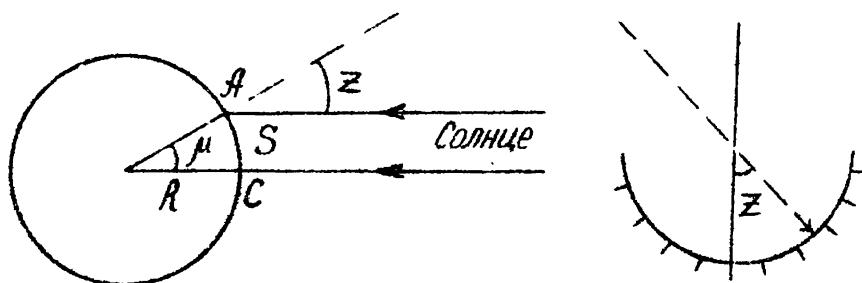


Рис.1. Определение радиуса Земли Эратосфеном.

Поскольку расстояние между городами в то время измерялось в стадиях, мы не можем сейчас сказать, насколько точен был результат измерений Эратосфена. Стадиум греки называли расстояние, которое проходил человек спокойным шагом от момента появления края солнца над горизонтом до момента появления всего его диска, что составляет примерно 158-185 м. Современные расчеты, выполненные при этих приблизительных значениях дали результат $R=6311-6320$ км, его следует признать вполне удовлетворительным, поскольку сейчас мы принимаем радиус Земли равным 6371 км.

В средние века в развитии всей науки, в том числе и геодезии, наступил провал. Церковь и инквизиция правильное представление о мироздании объявили ересью. Интерес к геодезии вновь возник в эпоху Возрождения. Известные кругосветные путешествия в период Великих географических открытий подтвердили опытным путем, что Земля - шар.

И.Ньютона в опубликованных "Математических началах натуральной философии" в 1687 г. утверждал, что из-за вращения вокруг своей оси Земля должна быть сплюснутой у полюсов и представлять собой сфероид или эллипсоид вращения, т.е. фигуру, которая получается, если вращать эллипс вокруг малой оси. Эта идея требовала подтверждения. Для этого французские ученые организовали две экспедиции, одну в Перу поближе к экватору, другую в Лапландию - на север Финляндии. Экспедиции должны были произвести измерения длин дуг меридианов, один градус которых, если Земля действительно сплюснута у полюсов, должен быть неодинаков на севере и на юге.

Для измерения длин дуг меридианов в XVII в. голландец Снеллиус предложил метод *триангуляции*. Он заключается в том, что расстояние между точками А и В определялось косвенно из вычисления рядов треугольников, в которых измерялись углы, а на концах ряда определялись длины базисных сторон b (рис.2).

Первоначально проделанные по триангуляционным измерениям расчеты показали вместо сплюснутости Земли у полюсов вытянутость. Но после обнаружения ошибки результат определений подтвердил сфероидальность Земли.

Градусные измерения неоднократно производились и другими странами. В России они впервые были проведены в первой половине XIX в. и охватывали территорию от Ледовитого океана до Дуная. Работа выполнялась под руководством астрономов и геодезистов Теннера и Струве. Результатом было вычисление параметров эллипсоида для территории России - эллипсоида Струве. В 1743 г., работая в Лапландии, французский ученый Клеро открыл зависимость периода колебания маятника от конкретной территории, т.е. связь ускорения силы тяжести с широтой места и, следовательно, сжатием Земли.

Так возник гравиметрический метод изучения фигуры Земли, который практически стал использоваться значительно позднее. Лаплас предложил свой вариант: определять фигуру Земли по колебаниям орбиты Луны. Эта идея была осуществлена лишь после запуска геодезических спутников Земли и наблюдениям ИСЗ по трассе полета.

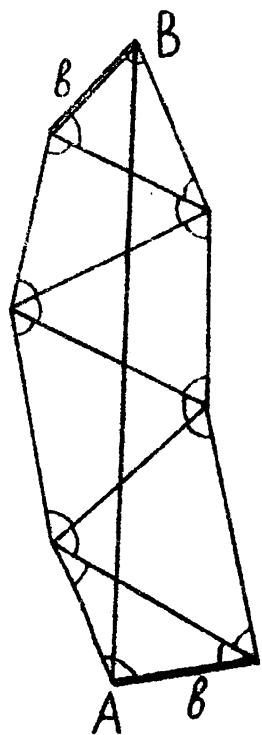


Рис. 2. Триангуляция.

2. СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗЗРЕНИЯ НА ФОРМУ ЗЕМЛИ

Физическая или топографическая поверхность Земли образует физическую или действительную форму Земли с ее неровностями, рельефом, которые изображаются на картах. Но для геодезических

построений они создают неудобство, поскольку такая поверхность сложно описывается математически, не аппроксимируется простыми геометрическими формами.

В 1873 г. физик Листинг предложил использовать для описания формы Земли понятие "геоид" (от греческих слов "ге" - земля и "ейдос" - вид). Таким образом получилось, что форма Земли "землеподобна". Несмотря на странность такого термина, он подчеркивает индивидуальность Земли и поэтому, вероятно распространился среди геодезистов.

Под геоидом понимается уровенная поверхность морей и океанов (без приливов-отливов, сгонов и нагонов), продолженная под материками. Во всех точках уровенной поверхности геоида отвесная линия перпендикулярна касательной к данной точке. Геоид - всюду выпуклая поверхность. Очевидно, что форма геоида связана с распределением масс в теле Земли, вращением ее вокруг оси, взаимодействия сил тяжести и центробежных сил. Поэтому фигура геоида оказалась достаточно сложной и, как позднее установили, принципиально неопределенной. В связи с этим выдающийся отечественный ученый М.С.Молоденский предложил перейти к поверхности "квазигеоида" (якобы геоида), которая однозначно определяется по наземным измерениям и совпадает с геоидом на морях и океанах и очень близко подходит к нему на суше.

Для научного и практического использования выбрана простая математическая аппроксимация фигуры Земли - земной эллипсоид, или эллипсоид вращения, размеры которого подбираются при условии наилучшего соответствия фигуре квазигеоида для Земли в целом или отдельных ее частей. Эллипсоид, наилучшим образом подходящий для территории отдельной страны или нескольких стран, называется "референц-эллипсоидом".

В 1940 г. отечественные ученые Ф.Н.Красовский и А.А.Изотов завершили вычисление размеров референц-эллипса для геодезических построений и картографирования территории бывшего СССР. В 1946 г. он был введен для всеобщего использования.

Параметры эллипса Красовского такие: большая полуось (радиус экватора) - 6 378 245 м, полярное сжатие 1:298,3. Как видно, Земля очень мало отличается от шара с радиусом 6 371 км.

Таким образом, форма Земли как планеты может быть представ-

лена двояко: во-первых, точной метрикой (каталоговой, осуществляющей с помощью геодезических сетей) и, во-вторых, картографически. Обе модели сформировались в середине XX в. и продолжают развиваться и совершенствоваться. В последние годы фигура и размеры Земли уточняются посредством данных, получаемых из наблюдений искусственных спутников Земли. При этом выявлен целый ряд особенностей в конфигурации поверхности планеты.

Г л а в а 2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Координаты - величины, определяющие положение любой точки на поверхности Земли или в пространстве относительно принятой системы координат.

Система координат устанавливает начальные (исходные) точки поверхности или линии отсчета необходимых величин - начало отсчета координат, единицы их исчисления,

В геодезии и топографии получили применение системы географических, прямоугольных и полярных координат.

1. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

Географическими координатами являются угловые величины, называемые широтой и долготой, определяющие положение точки земной поверхности относительно экватора и начального меридиана.

Долгота - двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, измеряемый в экваториальной плоскости (рис. 3). В качестве начального меридиана избран меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (Англия). Однако сама Гринвичская обсерватория в настоящее время не функционирует и сохраняется лишь как историческое место. Следует заметить, что на почетную роль начального меридиана в разное время претендовали Пулковский, Парижский, Лиссабонский и др. меридианы.

Долгота точки измеряется вправо и влево от начального меридиана, т.е. бывает восточная (+) и западная (-) от 0° до 180° .

Широта - угол, образованный отвесной линией к поверхности геоида в данной точке с плоскостью экватора. Строго говоря, эта линия не обязательно проходит через геометрический центр Земли, если ее считать шаром. Широта на экваторе равна 0° , на полюсах: северном $+90^\circ$, на южном -90° .

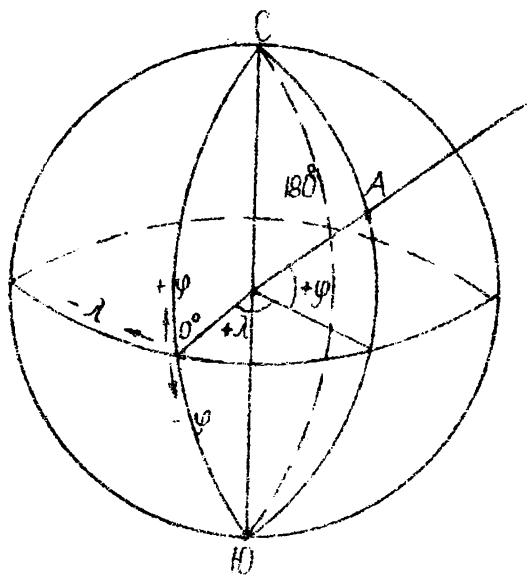


Рис. 3. Определение географических долгот и широт на шаре.

числяются все пункты астрономо-геодезической сети, распространенной на всю территорию нашей страны.

2. ПЕРЕХОД ОТ РЕАЛЬНОЙ (ФИЗИЧЕСКОЙ) ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ К ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИПСОИДА

2.1. Связь астрономических долгот и широт с геодезическими.

Астрономические долготы и широты, обозначаемые соответственно буквами ϕ и λ , как уже было сказано, получаются из прямых полевых наблюдений небесных светил, а геодезические обозначаются буквами V и L и связаны с размерами и ориентированием конкретного рефе-

Географические координаты определяются либо из астрономических наблюдений (долготы по разности времени), либо из геодезических вычислений. В первом случае они называются *географическими (астрономическими)*, во втором - *геодезическими*. Это разделение появилось в те времена, когда Землю еще считали шаром. Позднее шар был заменен эллипсоидом вращения, точности астрономических и геодезических определений повысились, появились различия между их значениями, однако термин "географические координаты" остался за обеими системами. Геодезическая система координат удобна для решения научных задач высшей геодезии.

Кроме того, в этой системе вы-

ренц-эллипсоида в теле Земли и могут быть только вычислены.

Началом координат в геодезической системе (на референц-эллипсоиде) служит точка ориентирования эллипса с известными астрономическими координатами (у нас в стране - это сигнал "А", т.е. центр Пулковской обсерватории).

Геодезические координаты относятся к нормали к поверхности эллипса, а географические - к отвесной линии, т.е. нормали к уровенной поверхности, или к геоиду. Угол между отвесной линией и нормалью к поверхности эллипса называется *уклонением отвесной линии*, оно составляет от 2-3" до 30-40" и более в аномальных районах. Угол в 1" на поверхности Земли соответствует дуге в 30 м. Это значит, что ошибка достигает 100 м и более. Поэтому для перехода от астрономических широт и долгот к геодезическим необходимо определять в разных пунктах Земли уклонения отвесных линий и учитывать их при расчетах.

2.2. Редуцирование результатов измерений на поверхность эллипса. Для математической обработки геодезических измерений необходимо перейти с реальной земной поверхности на референц-эллипсoid. Между тем расхождение поверхности геоида и тем более физической поверхности Земли с поверхностью эллипса достигает многих метров. Поэтому необходимо результаты натурных измерений проектировать (редуцировать) на поверхность референц-эллипса путем введения соответствующих поправок за переход от одной поверхности к другой.

Необходимо выбрать некоторую *поверхность относимости*. Ею может быть уже упомянутый референц-эллипсoid или сфера, или даже плоскость, если контур, выделенный на ней, не превышает площади, окаймленной окружностью радиусом не более 10 км.

Редуцирование натурных измерений на поверхность относимости приводит к тому, что искажаются длины линий (рис. 4): D - длина линии, непосредственно измеренная в натуре; D_0 - горизонтальное проложение; S - длина той же линии на поверхности эллипса, которую нужно определить. Задачу решим в два этапа. Сначала найдем D. Приближенно $D_0 = D \cdot (H_2 - H_1)^2 / (2D)$.

Но удобнее решить ее через угол наклона ψ , так как он может быть измерен непосредственно в натуре.

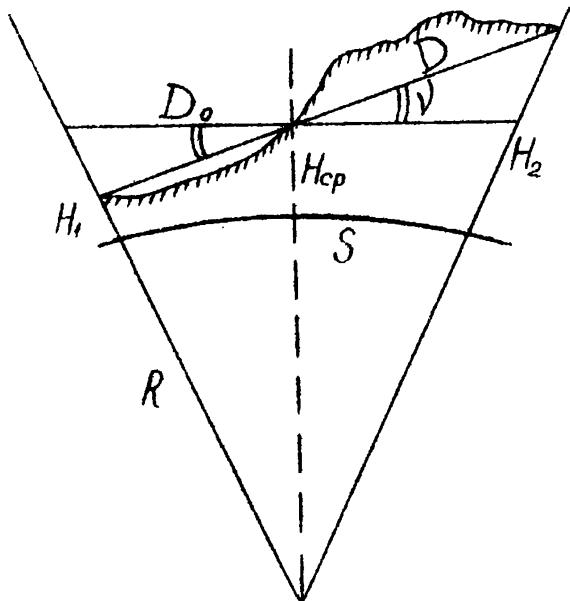


Рис. 4. Редуцирование линии на поверхность относимости.

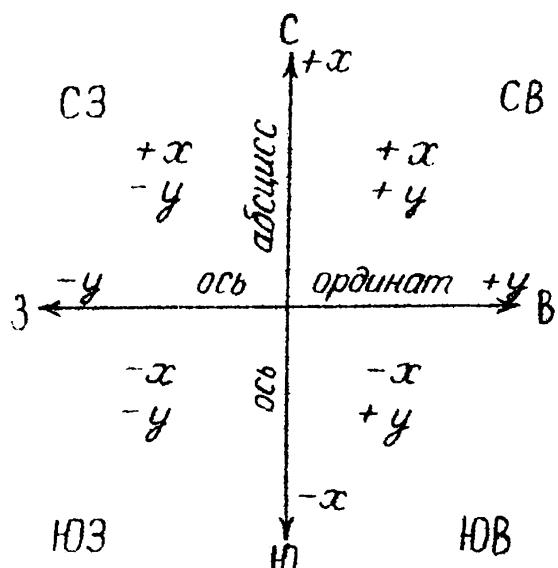


Рис.5. Оси прямоугольной системы координат с обозначением знаков абсцисс и ординат и названия четвертей.

Тогда $D_o = D \cos \psi = D(1 - 2 \sin^2 \psi)$.

Отсюда получаем $D_o = D - 2D \sin^2 \psi$,

или $D - D_o = \frac{2D \sin^2 \psi}{\text{поправка}}$.

Эта поправка достаточно велика и учитывается всегда. Теперь найдем S : $S = D_o - (H_{cp} D_o)/R$.

Эта поправка невелика. Например, при длине линии 6400 м на высоте 1000 м над поверхностью эллипсоида она будет равна 1 м. Отсюда получаем, что для длины линии в 600 м на высоте 100 м поправка всего 1 см.

3. ПЛОСКИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ

Географические астрономические и геодезические координатные системы трудно применять на практике для обоснования съемочных и инженерных работ. Ошибка их определения остается довольно большой. При определении широты она составляет в дуговой мере 0,1-0,2"; при определении долготы 0,3-0,5", что в линейной мере равно соответственно 3-6 м и 5-10 м.

Поэтому в практику геодези-

ческих и топографических работ была введена система плоских прямоугольных координат (рис. 5). По сути дела, это известные декартовы координаты, правда в геодезии принятая правая система координат - оси X и Y поменялись местами.

Особенность прямоугольных координат заключается в том, что они могут быть наложены на плоское изображение земной поверхности. Для этого она должна быть изображена в некоторой картографической проекции.

4. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ

Известно, что поверхность шара или эллипсоида нельзя развернуть в плоскость без сжатий, растяжений или разрывов. Однако возможен выбор различных правил перехода к плоскости, т.е. построение изображения в разных картографических проекциях. Математическая основа картографических проекций позволяет производить на картах точные измерения. однако для этого нужно знать закон распределения искажений каждой проекции.

Картографические проекции различаются по разнообразным признакам, прежде всего по характеру сохраняемых свойств и по виду нормальной сетки меридианов и параллелей. По первому признаку проекции делятся на следующие:

- *равноугольные* (или конформные) проекции сохраняют углы и, следовательно, формы контуров, но сильно искажают соотношение размеров (например проекция Меркатора);

- *проекции, сохраняющие длины линий* в некоторых направлениях или во всех направлениях из одной какой-нибудь точки;

- *производные проекции*, не сохраняющие полностью никаких свойств, но более или менее удобны для потребителя карты распределяющие искажения по всему изображению.

По виду нормальной сетки меридианов и параллелей проекции подразделяются на следующие основные виды (рис. 6).

В нормальной конической проекции меридианы изображаются прямыми линиями, сходящимися в одной точке. Параллели - дуги концентрических окружностей, центр которых находится в точке схода меридианов. Радиусы параллелей зависят от условий: равноугольности или равновеликости.

В нормальной цилиндрической проекции меридианы и параллели изображаются взаимно перпендикулярными прямыми линиями. По свойствам изображения они могут быть равноугольными, равновеликими и производными.

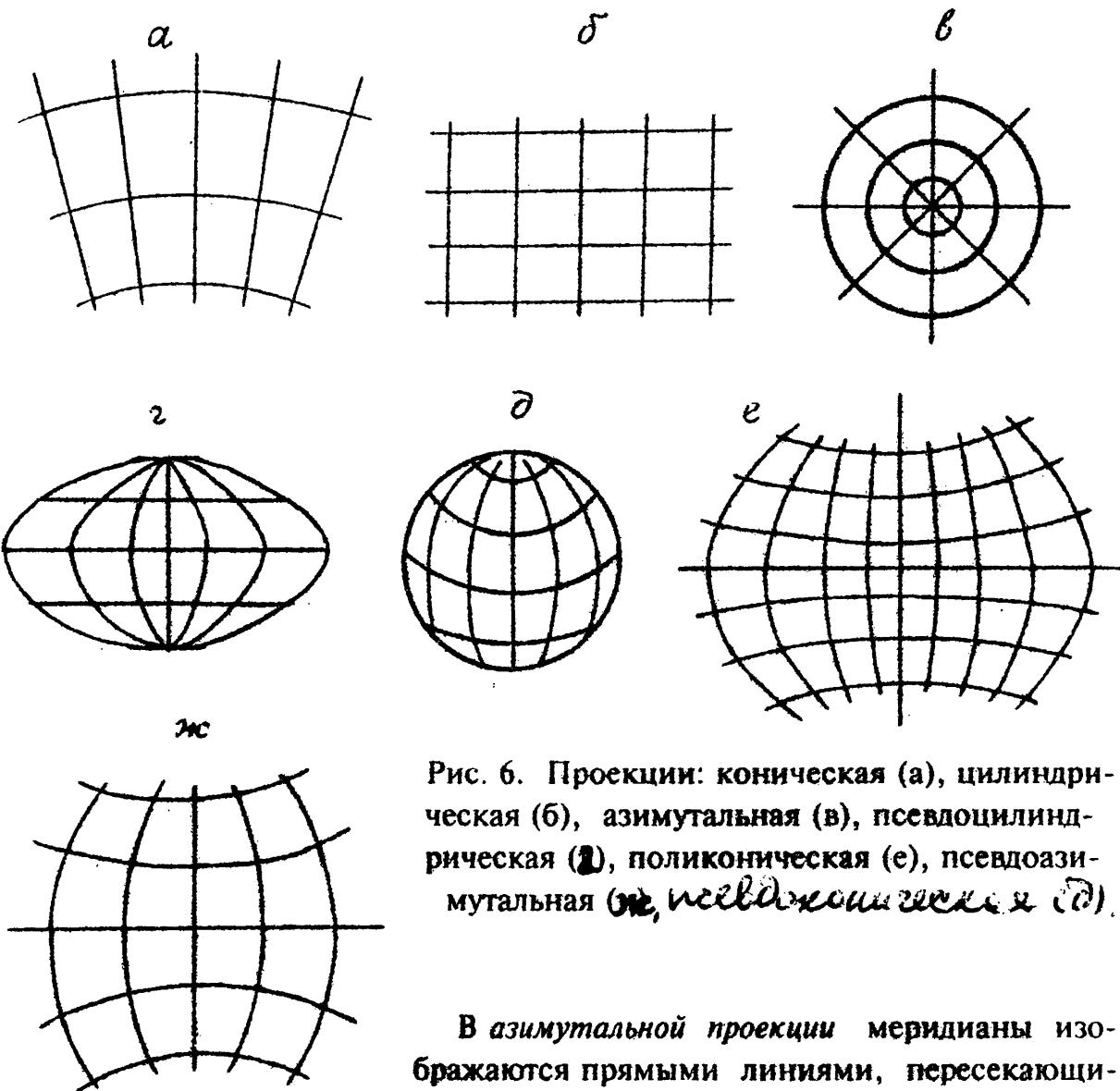


Рис. 6. Проекции: коническая (а), цилиндрическая (б), азимутальная (в), псевдоцилиндрическая (е), поликоническая (жс), псевдоазимутальная (д), исследований (жс).

В азимутальной проекции меридианы изображаются прямыми линиями, пересекающими в одной точке. Параллели - концентрические окружности с центром в точке пересечения меридианов. Применяются для территорий округлой формы и карт мелких масштабов.

На псевдоцилиндрических проекциях параллели изображаются прямыми линиями. Меридианы - кривые: синусоиды или эллипсы. Применяются при создании карт океанов или всей Земли мелкого масштаба.

На псевдоконических проекциях параллели изображаются дугами концентрических окружностей. Меридианы - кривые, симметричные относительно осевого меридиана. Применялись ранее для карт отдельных государств; теперь используются для показа поверхности всей Земли и других планет.

На поликонической проекции параллели изображаются дугами эксцентрических окружностей, центры которых находятся на осевом прямолинейном меридиане. Меридианы - кривые, симметричные относительно осевого прямолинейного меридиана. Проекция применяется для создания карт Мира.

На псевдоазимутальных проекциях параллели изображаются концентрическими окружностями. Меридианы - кривые, за исключением двух взаимно перпендикулярных, которые служат осями симметрии.

Круговые проекции имеют параллели и меридианы, изображаемые окружностями или дугами окружностей.

Производные проекции получаются различными видоизменениями имеющихся проекций.

В геодезии и топографии применяется проекция Гаусса-Крюгера - это такое конформное (равноугольное) изображение поверхности земного эллипсоида на плоскости, при котором осевой меридиан изображается прямой линией с сохранением масштаба, экватор - также прямой, перпендикулярной осевому меридиану, а все остальные меридианы и параллели - кривые линии. Проекцию Гаусса-Крюгера нередко истолковывают, как поперечную цилиндрическую равноугольную проекцию (Меркатора), но, строго говоря, это неточно.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА В ГЕОДЕЗИИ

В любой проекции изображение получается тем более искаженным чем больше картографируемая территория. Поэтому прямоугольная система координат не может быть распространена на большую территорию. Приходится решать задачу по частям.

Для этого земной шар проецируется на плоскость по частям, по зонам. Каждая такая зона представляет собой двугранник, ограниченный меридианами через 6° по долготе. Таким образом, как

это показано на рис.7, получается, что вся поверхность Земли разбивается на 60 зон, считая от начального - Гринвического

меридиана (0°). Через каждую зону от Северного полюса до Южного проходит прямолинейный осевой меридиан зон. Долгота осевого меридиана n -й зоны равна $(6n - 3)^\circ$. Нумерация зон идет с запада на восток, начиная от Гринвического меридиана. Территория России располагается примерно в 29 зонах: от 3 до 32. В пределах каждой зоны плоская координатная система располагается самостоятельно. Оси X и Y размещаются по осевому меридиану зоны и экватору. Начало отсчета координат в их пересечении.

Поскольку территория

России расположена в Северном полушарии, то все значения X всегда будут положительными. Сложнее получается со значениями координат Y, которая в каждой зоне может быть и положительной и отрицательной. Чтобы избежать этих неудобств, начало отсчета ординат искусственно сдвигают на запад на 500 км (рис. 8). Другими словами, к значению Y прибавляют 500 км. Ширина полузоны по долготе составляет всего 3° , т.е. около 333 км. Поэтому все значения Y станут положительными. Поскольку в каждой зоне координаты могут совпадать, в значении Y указывается также номер зоны. Например, если координаты точки даны в следующем виде: X=6 650 457, Y=4 307 128, то это значит, что точка расположена от экватора на расстоянии 6 650 457 м; в значении координаты Y цифра 4 означает номер зоны, а от остального следует отнять 500 000 м, тогда получим расстояние нашей точки от осевого меридиана, а именно - 192 872 м. Такие координаты называются преобразованными. Для удобства пользования плоскими координатами каждую зону покры-

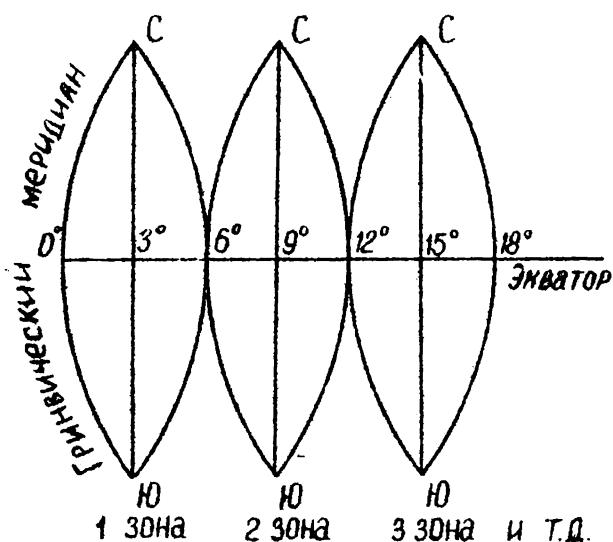


Рис. 7. Деление поверхности Земли на зоны.

вают сеткой квадратов, так называемой километровой сеткой (сторона квадрата равна 1 км), которая изображается на топографических картах.

Такая зональная система координат, принятая в качестве государственной, обеспечивает возможность построения на территории всей Земли системы плоских прямоугольных координат и позволяет получать практически без искажений довольно больших участков земной поверхности.

6. ИСКАЖЕНИЯ ПРИ ИЗОБРАЖЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИПСОИДА НА ПЛОСКОСТИ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА

6.1. Искажения в длинах линий. На чертеже (рис.9) показан порядок искажения размеров окружности в различных точках зоны. Обозначим: D - длина отрезка прямой ab в проекции Гаусса-Крюгера, S - длина того же отрезка на поверхности эллипсоида. Из чертежа следует, что $D/S = 1 + Y^2/(2R^2)$, где Y - полусумма ординат концов отрезка прямой (ордината середины отрезка), R - радиус Земли. Можно также написать

$$D - S = \Delta S = (Y^2 S)/(2R^2); \quad \Delta S/S = Y^2/(2R^2),$$

где ΔS - величина искажения длин линий, $\Delta S/S$ - значение искажения в относительной мере. На краях зоны в южных широтах оно составляет около 1:800, а в северных широтах примерно 1:16 000.

6.2. Топографический план. В геодезии изучаются небольшие участки земной поверхности, которые можно считать плоскими, а отвесные линии - параллельными между собой и совпадающими с нормалями к поверхности эллипсоида. Съемки, выполненные на таких территориях в масштабах от 1:500 до 1:5 000, не

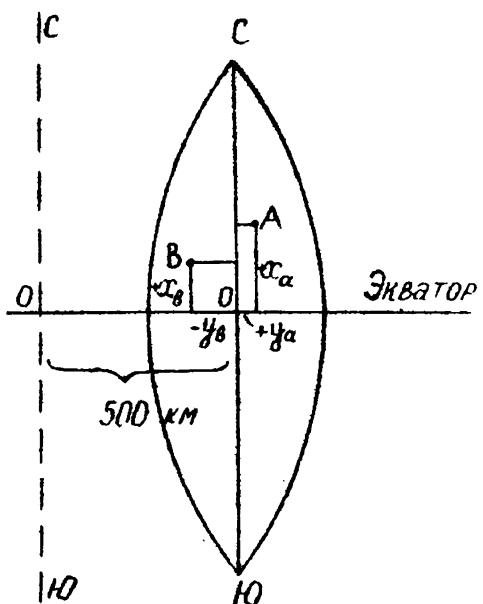


Рис. 8. Определение плоских координат в зоне

учитывают кривизны земной поверхности. Следует знать, как велик радиус такого участка земной поверхности, который можно принимать за плоскость.

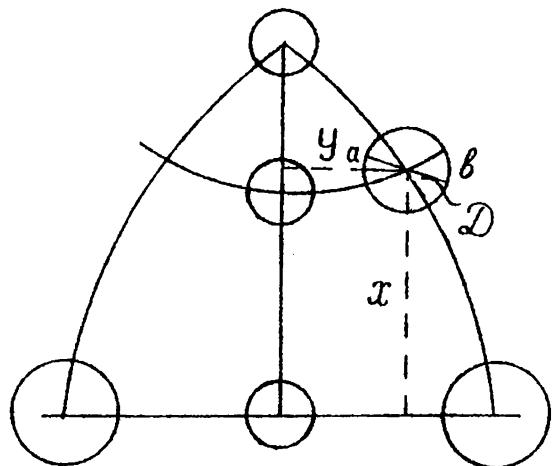


Рис. 9. Искажение длин и размеров на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера

Представим участок земной поверхности в виде части поверхности сферы радиусом R , который заменяется частью горизонтальной плоскости. Из рис. 10 видно, что с удалением от точки m разница ΔS в длине дуги S и ее проекции на плоскость S' возрастает, а расстояние между ними (высота точки местности) Δh увеличивается. Из данных рис. 10 получаем

$$S' = R \operatorname{tg} \varphi; S = R \varphi;$$

$$\Delta S = S' - S = R (\operatorname{tg} \varphi - \varphi).$$

Сделав ряд преобразований, запишем $\Delta S = S^3 / (3R^2)$. Можно также определить значение Δh , учитывая малость Δh относительно R и близость S и S' ,

$$\Delta h = S^2 / (2R).$$

Из расчетов по полученным формулам получается, что при длине линии 10 км ΔS составляет только 1:1 000 000 ее длины. Поэтому считается, что участок радиусом 10 км можно принять за плоский при съемке планов без рельефа. При пониженных требованиях к точности линейных измерений его площадь может быть увеличена. Значительно быстрее возрастают расхождения между высотами точек на сфере и на плоскости. При той же длине линии 10 км разность высот достигает уже 7,8 м. Поэтому значение Δh приходится учитывать даже при малых расстояниях.

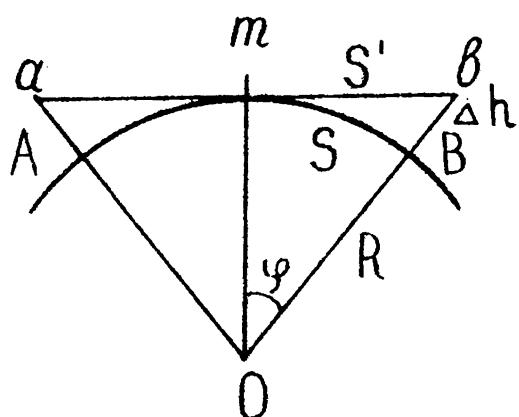


Рис. 10. Искажение длины линии и изменение высоты точки при переходе от сферической поверхности к горизонтальной.

6.3. *Искажение углов.* При проекции сферической поверхности или поверхности эллипсоида на плоскость искажаются также значения углов, образуемых линейными отрезками какой-либо фигуры. При переходе от эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера это искажение углов не принимается во внимание из-за его малости. На краю зоны при длинах до 10 км оно составляет всего $8''$. В общем случае при переходе от сферической поверхности на плоскость избыток (экцесс) угловых величин может быть подсчитан. Расчеты показывают, что при проектировании участка земной поверхности площадью 100 км искажение углов составляет $0,5''$, что соответствует точности современных высокоточных угловых измерений. В обычной топографо-геодезической практике точность измерения углов существенно ниже и поэтому угловые искажения, впрочем, как и линейные, не принимаются во внимание. Однако в высшей геодезии и при высокоточных работах инженерной геодезии эти искажения учитываются.

7. ПОЛЯРНЫЕ КООРДИНАТЫ

Система полярных координат может быть задана на плоскости, сфере или поверхности эллипсоида и состоит из точки M - начала координат (рис.11) и полярной оси MA , относительно которых положение точки определяется координатами: углом положения α (дирекционный угол или румб на плоскости, азимут на сфере и эллипсоиде) и кратчайшим расстоянием S между точками M и M_1 , считаемым по поверхности: на сфере - это дуга большого круга - геодезическая линия.

За полярную ось (начальное направление) обычно принимают: на плоскости - направление, параллельное оси абсцисс, прямоугольных координат, а на сфере и эллипсоиде - северное направление меридиана, проходящего через точку M .

2.

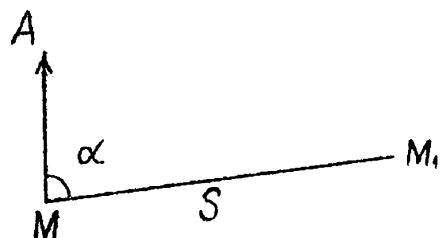


Рис. 11. Схема полярных координат точки M_1 .

8. СВЯЗЬ ПЛОСКОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМ КООРДИНАТ

8.1. Прямая геодезическая задача.

Задача формулируется так: заданы X_a и Y_a - плоские геодезические координаты точки А (рис. 12). Измерено непосредственно в натуре расстояние S между точками и

α - угол положения (направления). Из чертежа находим приращения координат: $\Delta X_{ab} = S \cos \alpha$; $\Delta Y_{ab} = S \sin \alpha$. Теперь получаем искомые координаты точки В: $X_b = X_a + \Delta X_{ab}$, $Y_b = Y_a + \Delta Y_{ab}$.

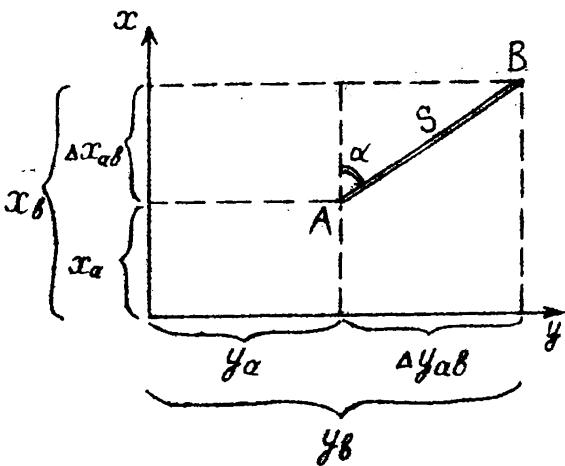


Рис. 12. Решение прямой и обратной геодезических задач.

8.2. Обратная геодезическая задача.

Дано X_a и Y_a ; X_b и Y_b - координаты точек А и В (см. рис. 12). Следует найти угол положения и расстояние S_{ab} . Из чертежа видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha_{ab} = \frac{\Delta Y_{ab}}{\Delta X_{ab}} = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a}; \quad S_{ab} = \frac{\Delta Y_{ab}}{\sin \alpha_{ab}} = \frac{\Delta X_{ab}}{\cos \alpha_{ab}}; \\ S_{ab} = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} = \sqrt{\Delta X_{ab}^2 + \Delta Y_{ab}^2}.$$

Глава 3. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ

1. ОРИЕНТИРНЫЕ УГЛЫ НАПРАВЛЕНИЙ

Ориентированием линий называется определение их направлений относительно другого направления, принятого за исходное.

В геодезии ориентирование линий осуществляется относительно одного из трех исходных направлений: во-первых, истинного (геог-

рафического) меридиана, во-вторых, магнитного меридиана, и, в-третьих, осевого меридиана зоны (оси абсцисс прямоугольной системы координат).

Ориентирными углами направлений являются: азимуты (истинный или магнитный), дирекционный угол и румб (рис. 13, 14).

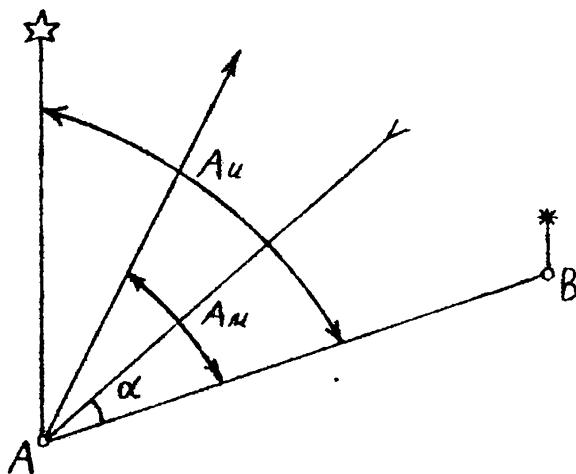


Рис. 13. Измерение азимутов:
магнитного (A_m), истинного (A_i)
и дирекционного угла α .

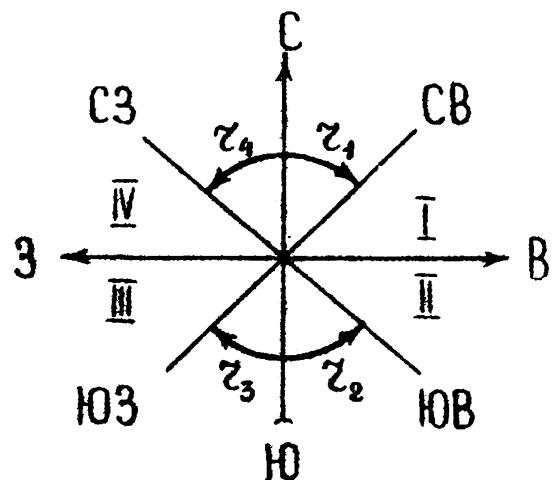


Рис. 14. Отсчет румбов по
четвертям круга.

Азимутом истинным (географическим) называется двугранный угол между плоскостью меридиана точки стояния и вертикальной плоскостью, проходящей через точки стояния и наблюдения. Если при этом отвесные линии в точках стояния и наблюдения перпендикулярны геоиду (уровенной поверхности), то получается *астрономический азимут*, который, собственно, и измеряется непосредственно. Если же отвесные линии в точках стояния и наблюдения перпендикулярны поверхности референц-эллипсоида, то получается *геодезический азимут*. Азимут измеряется от направления на север по часовой стрелке от 0° до 360° .

Азимутом магнитным называется двугранный угол между направлением на северный магнитный полюс, который указывается северным концом магнитной стрелки, и направлением на точку наблюдения. Магнитный азимут измеряется по часовой стрелке от 0° до 360° .

Дирекционным углом называется угол между направлением на север координатной линии, параллельной осевому меридиану зоны, и направлением на точку наблюдения. Он считается от северного направления по часовой стрелке от 0° до 360° .

Румбом (геодезическим) называют угол, отсчитываемый от ближайшего конца линии, параллельной осевому меридиану зоны и проходящей через точку стояния. Таким образом, величина румба может быть в пределах от 0° до 90° . Для того чтобы не возникало путаницы, румб должен быть обозначен по четверти круга, к которому он принадлежит: СЗ, ЮЗ, СВ или ЮВ.

Следует заметить, что румбы также используются в морской навигации: круг делится на 32 румба, в румбе $11^\circ 15'$. В метеорологии весь горизонт обычно делят на 16 румбов.

2. СВЯЗЬ И ВЗАИМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРИЕНТИРНЫХ УГЛОВ

Азимуты и дирекционный угол имеют прямое и обратное значение. Как видно из рис. 15, а, прямой и обратный дирекционные углы, измеренные соответственно из точки А на В и из В на А, различаются на 180° : $\alpha_{AB, \text{пр}} = \alpha_{BA, \text{обр}} \pm 180^\circ$.

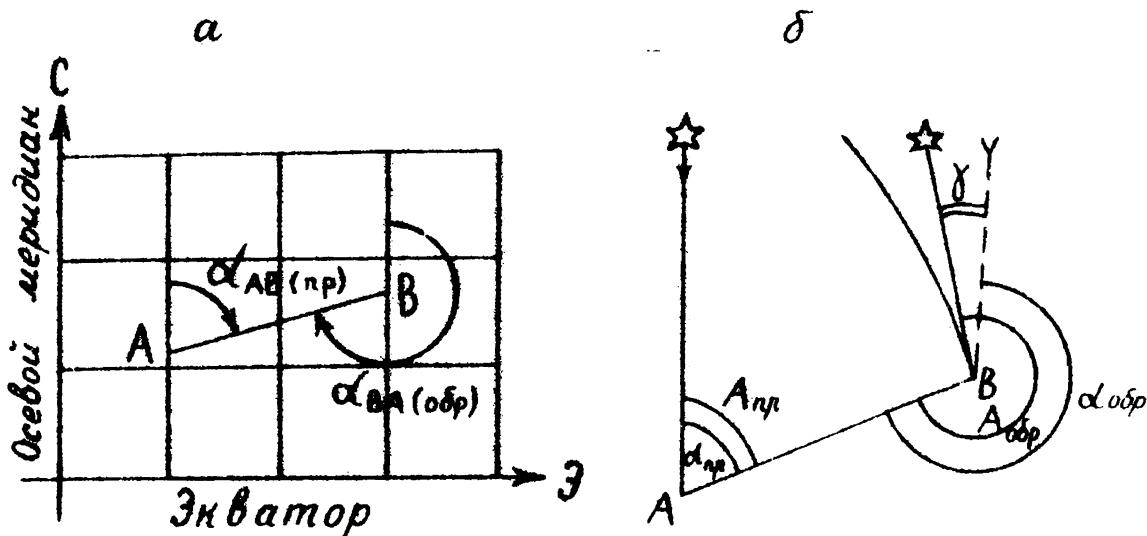


Рис. 15. Прямой и обратный дирекционные углы (а) и географические азимуты (б).

Прямой и обратный географические азимуты различаются между собой на 180° и на величину γ' , называемую *сближением меридианов*. Оно возникает из-за того, что все географические меридианы сходятся в одну точку - Северный полюс, как это показано на рис. 15,б. Таким образом, можно записать $A_{обp} = A_{нр} \pm 180^\circ + \gamma'$.

Если расстояние между точками А и В не более 50 км, то достаточно точно величина сближения меридианов вычисляется по формуле $\gamma' = (\lambda_b - \lambda_a) \sin(\varphi_b - \varphi_a) / 2$, где λ и φ - долготы и широты точек А и В.

Теперь из рис. 16,а определим знак сближения меридианов. Видно, что

$$A_u = \alpha + \gamma'. \quad (1)$$

Поскольку Северный полюс географический и магнитный не совпадают, между истинным и магнитным меридианами образуется угол δ , называемый *магнитным склонением* (или склонением магнитной стрелки, рис. 16,б); знак магнитного склонения определяется как это показано на рис. 16,в, $A_u = A_m + \delta$. (2)

Величина магнитного склонения не постоянная. Вековые изменения магнитного склонения достигают нескольких десятков градусов, годовые - $14-16'$. Суточные изменения, возникающие из-за магнитных бурь, могут быть значительными.

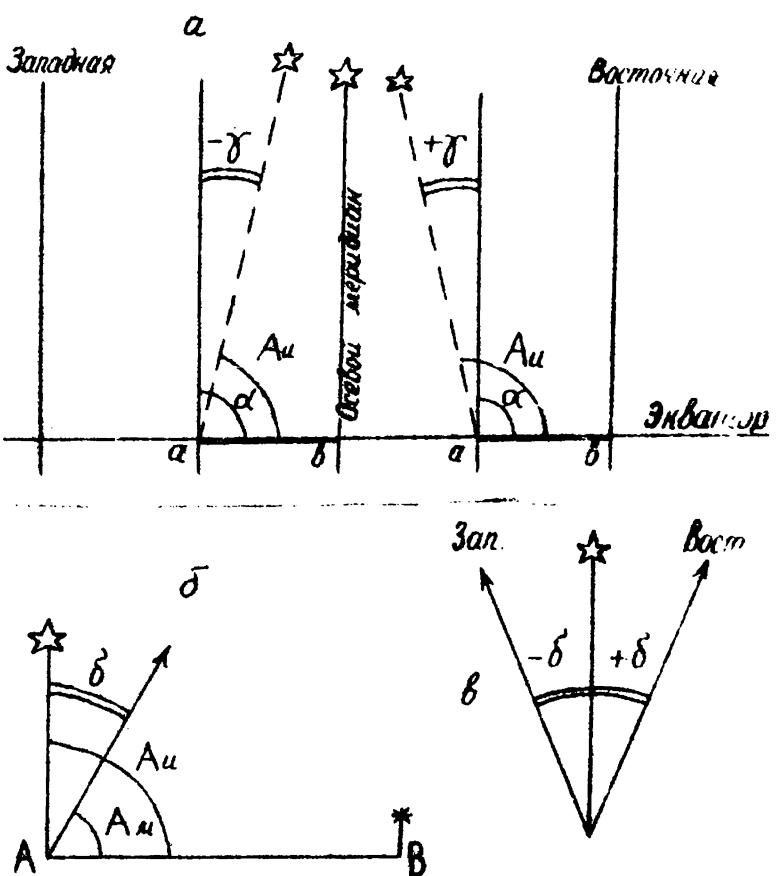


Рис. 16. Определение знака сближения меридианов (а), магнитного склонения (б) и знака магнитного склонения (в).

Теперь из формул (1) и (2) выведем так называемую общую поправку направления, связывающую азимуты и дирекционный угол с магнитным склонением и сближением меридианов. Поскольку обе формулы выведены относительно A_m , приравняем их правые части и получим $A_m + \delta = \alpha + \gamma$ или $A_m = \alpha - (\delta - \gamma)$, $\alpha = A_m + (\delta - \gamma)$, где $(\delta - \gamma) = \Pi$ - поправка направления.

При решении обратной геодезической задачи возникает вопрос о переходе от румба к дирекционному углу при вычислениях по формуле

$$\operatorname{tg} z = \operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} \text{ или } z = \alpha \operatorname{ctg} \left| \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} \right|.$$

Из рис. 17 устанавливается следующая связь румбов с дирекционными углами:

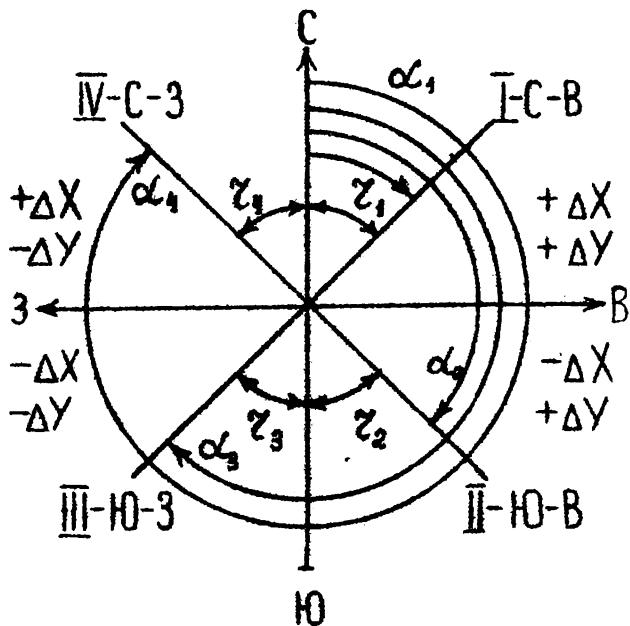


Рис. 17. Связь румбов с дирекционными углами.

- I - С-В, $\gamma_1 = \alpha_1$;
- II - Ю-В, $\gamma_2 = 180^\circ - \alpha_2$;
- III - Ю-З, $\gamma_3 = \alpha_3 - 180^\circ$;
- IV - С-З, $\gamma_4 = 360^\circ - \alpha_4$.

По знакам приращений координат ($\pm \Delta Y = Y_b - Y_a$; $\pm \Delta X = X_b - X_a$) определяется название румба или четверти, в зависимости от которых находится значение дирекционного угла по одной из вышеприведенных формул.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ОРИЕНТИРНЫХ УГЛОВ

Азимут магнитный может быть определен непосредст-

венно в поле с помощью компаса или буссоли, которые бывают разных конструкций, но все содержат магнитную стрелку и кольцо с градусными делениями (рис. 18). Они снабжены также арретирами для закрепления стрелки в неподвижном положении при транспортировке, а также парой визиров для фиксирования направления. Они могут надеваться на руку или прикрепляться к планшету, сумке и др.

Следует, однако, заметить, что есть буссоли, в которых роль стрелки выполняет подвижное намагниченное кольцо с градусными делениями.

Буссоли и компасы отличаются в основном тем, что градусные деления компаса оцифрованы по часовой стрелке, а у буссоли - против часовой стрелки. Есть, впрочем, буссоли с румбическими делениями.

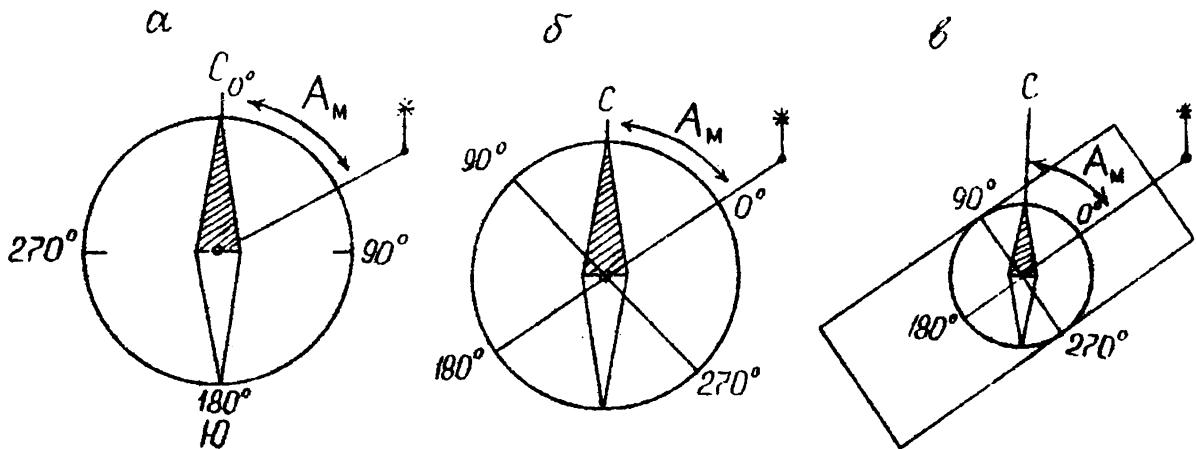


Рис. 18. Определение A_M компасом (а), буссолью (б), горным компасом (в).

При работе с топографической картой самым простым образом непосредственно может быть измерен дирекционный угол. Для перехода к азимутам на каждом листе топографической карты указываются величины сближения меридианов и склонения магнитной стрелки.

При необходимости магнитное склонение может быть определено из натурных наблюдений следующим образом. Устанавливается на площадке под открытым небом мензульный столик с планшетом, на котором закрепляется лист бумаги с вычерченными концентрическими окружностями с интервалом в 1-2 см. В центре устанавливается гномон (достаточно длинный гвоздь). Затем в течение целого дня с восхода Солнца и до захода наблюдатель следит за изменением длины и направления тени от гномона и отмечает все моменты касания конца тени окружностей. В результате получается последовательность точек, ~~которые~~ будет указывать направление географического меридиана в ~~каждый~~ день параллелей.

диана, проходящего через центр планшета. Теперь следует приложить к этой линии компас, отпустить стрелку и отметить, насколько она отклоняется от линии меридиана. Это и будет величина магнитного склонения.

Глава 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

1. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

С 1 января 1963 г. в нашей стране ГОСТом введена в действие Международная система единиц, сокращенно обозначаемая СИ.

В геодезии приходится измерять преимущественно углы и длины. В системе СИ за единицу длины принят метр (м). В конце XVIII в. во Франции по предложению специально созданной комиссии с участием Лапласа метр был определен как 1:40 000 000 часть длины Парижского меридиана. Были проведены градусные измерения, на основании которых был изготовлен эталон метра в виде X-образного платино-иридиевого бруска с нанесенными на нем штрихами, обозначающими длину метра. В настоящее время прототип метра хранится во Франции в городе Севре в Международном бюро мер и весов.

С прототипа была изготовлена 31 копия. По жеребьевке России достались копии эталона 11 и 28, из которых эталон 28 хранится в С.-Петербурге в научно-исследовательском институте метрологии им. Д.И.Менделеева (ВНИИМ). В сентябре 1918 года декретом СНК РСФСР эталон 28 был утвержден в качестве государственного первичного эталона метра.

В 1960 г. XI-я Генеральная конференция по мерам и весам утвердила новый естественный и неуничтожимый эталон метра, выраженный через длину световых волн. Новое определение метра, введенное в СИ, звучит так: метр - длина, равная 1 650 763,73 длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p^{10}$ и $2d^5$ атома 86 kr.

Это чрезмерно громоздкое определение в 1983 г. было заменено новым эталоном и более кратким определением: метр - расстояние, которое проходит свет в вакууме за 1:229 792 456 с. В 1984 г. во ВНИИМе создан новый государственный эталон метра, соответствующий последнему определению.

В стране создана государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), задача которой в обеспечении передачи единицы измерений от первичных государственных эталонов через образцовые средства измерений к рабочим мерам, используемым на практике.

Международной системой единиц измерений (СИ) установлена также единица плоского угла - радиан (ρ).

Радиан - угол между двумя радиусами круга, вырезающими на окружности дугу, длина которой равна радиусу. Однако в геодезической практике для измерения углов используют другие, более мелкие единицы, прежде всего градусы, минуты, секунды.

Найдем, как радианы и градусы соотносятся между собой. Известно, что $1^\circ = 60' = 3600''$. В то же время 1° - это 360-я часть окружности, откуда $1^\circ = 2\pi R/360 = \pi/180$ радиан, или приблизительно равняется 0,01745329... . Отсюда получаем перевод радиан в градусы, минуты и секунды: $\rho^\circ = 180/\pi = 57,3^\circ$; $\rho' = 3437,7'$; $\rho'' = 206 264,8''$.

В геодезическом инструментоведении все чаще стала использоваться другая мера углов - десятичная. В ней прямой угол приравнивается 100 градам или гонам: $190^\circ = 100^g$. Более мелкие деления углов получаются из деления более крупных следующим образом:

0,01 гона = 1 сантигону = 1^c (градовой минуте),

0,001 гона = 1 миллигону = 1^{cc} (градовым секундам).

В радианной системе связь выглядит так:

1 град (гон) = 0,0157 радиана,

1 град (гон) = $0,9^\circ = 54' = 3240''$,

1 радиан = 67,3 града (гона).

2. ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения бывают *прямые*, например непосредственные измерения длин и углов в натуре, и *косвенные* (вычисленные), например, определение прямоугольных координат точек теодолитного хода. Однако независимо от того, как именно произведены измерения, они всегда содержат ошибки, которые бывают трех родов.

Во-первых, *грубые ошибки, промахи*, возникающие по вине изме-

ряющего, чаще всего из-за нарушения технологии, режима работы, производственной дисциплины. Такие ошибки выявляются повторными измерениями и отбрасываются.

Во-вторых, *систематические ошибки* - постоянные ошибки измерительного прибора, которые устраняются подбором, поверками, юстировками приборов.

В-третьих, *случайные ошибки*, возникающие по множеству причин, которых полностью избежать невозможно, но можно уменьшить их влияние, определять и учитывать их при использовании данных измерений, использовать более совершенные приборы и технологические схемы.

Характерно, что в серии измерений малые ошибки встречаются чаще, чем большие и что степень вероятности положительных и отрицательных знаков ошибок одинакова.

Отсюда вытекают два следствия: 1) при бесконечно большом числе измерений арифметическое среднее из суммы случайных ошибок равно нулю; 2) при конечном количестве измерений арифметическое среднее из суммы случайных ошибок стремится к нулю.

Отсюда важная практическая рекомендация: измерение одной и той же величины (угла, расстояния) следует производить неоднократно, как минимум, дважды.

Для оценки точности измерений вычисляются ошибки. При этом возможно двоякое исходное положение.

1) Истинное (точное) значение измеряемой величины "A" известно, что бывает редко и создается в значительной мере искусственно. Например, так бывает, когда вычисляют высоты точек замкнутого нивелирного хода, или, например, вычисляют координаты точек теодолитного хода, опирающегося на "твердые" точки, координаты которых получены с погрешностью, существенно меньшей, чем у вычисляемого теодолитного хода.

2) Истинное значение измеренной величины неизвестно. Допустим, что в результате измерений получены значения: $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Если значение A известно, то можно вычислить *истинные ошибки* каждого измерения как разность $a_n - A = \Delta_n$ и *относительные ошибки* каждого измерения:

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{1}{A / \Delta_n} .$$

Если значение A неизвестно, то вместо него принимается *веро-*

яйтнейшее значение измеренной величины, как арифметическое среднее из результатов всех измерений

$$\bar{x} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} = \frac{[a]}{n} ,$$

здесь $[a]/n$ - вероятнейшее значение измеренной величины. Теперь найдем истинную ошибку арифметической средины

$$[a]/n - A = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n)/n = [\Delta]/n ,$$

$$\bar{x} - A = [\Delta]/n \quad \text{- истинная ошибка арифметической средины.}$$

Отклонения измеренных значений от арифметической средины называются *вероятнейшими ошибками*. Вероятнейшая ошибка одного измерения $\delta_n = a_n - \bar{x}$. Вероятнейшая относительная ошибка измерения получается из отношения $\delta_{\text{отн}} = \frac{1}{[\Delta]/\delta_n}$.

В большинстве случаев для оценки погрешности измерений предпочтение отдается не вероятнейшей погрешности, а средней квадратической ошибке, которая получается при извлечении квадратного корня из отношения суммы квадратов погрешностей всех измерений к количеству измерений.

Если значение A известно, средняя квадратическая ошибка *отдельного измерения* может быть вычислена по формуле

$$m = \sqrt{[\Delta^2]/n} .$$

Если же A неизвестно, а взято как вероятнейшее (среднее арифметическое) значение измеренной величины, формула примет вид

$$m = \sqrt{[\delta^2]/(n-1)} .$$

Средняя квадратическая ошибка серии измерений при известном значении A вычисляется по следующей формуле:

$$M = \sqrt{[\Delta^2]/n} .$$

Когда A неизвестно, формула примет вид

$$M = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-1)}} .$$

Для практических целей часто используется *пределная ошибка* (погрешность), которая вычисляется по формулам $\Delta_{\text{пред}} = 2m$ или

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m .$$

Истинную, вероятнейшую, среднюю квадратическую и предельную погрешности называют *абсолютными*.

Отношение абсолютной погрешности к истинному или вероятнейшему значению измеренной величины, выраженное дробью с числите-

лем, равным единице, называют *относительной погрешностью*. В зависимости от того, какая погрешность при этом используется, относительная ошибка (погрешность) называется: средней квадратической относительной, вероятнейшей относительной, истинной относительной или предельной относительной. Знаменатель относительной погрешности целесообразно округлять до целых десятков, если он выражается в сотнях, до сотен, если он выражается в тысячах и т.д. Например: $m_s = 0,4 \text{ м}$; $S = 215 \text{ м}$, то $\frac{1}{S/m_s} = \frac{1}{540}$, или $m_s = 0,13 \text{ м}$; $S = 275 \text{ м}$, то $\frac{1}{S/m_s} = \frac{1}{2400}$.

3. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ЧИСЛА

Теперь мы знаем, что все измеренные величины: длины, высоты, площади и др. получаются с некоторой ошибкой. Она иногда указывается, иногда - нет, но мы всегда можем судить, какова ошибка, если известен результат измерений. Считается, что ошибка равна половине единицы последней значащей цифры числа. Например: указана длина измеренной стороны теодолитного хода, равная 125,16 м, не сообщено, с какой ошибкой произведено измерение. В этом случае мы вправе рассуждать следующим образом. В этом числе все цифры *значащие*, цифры 125,1 - *верные*, цифра 6 в конце числа *сомнительная*. Согласно установленному правилу мы вправе считать, что все число с ошибкой запишется так: $125,16 \pm 0,005$ м. В качестве примеров рассмотрим другие числа:

- 0,000389 (или $3,89 \times 10^{-4}$) - в этом числе три значащих цифры, нули перед ними определяют порядок числа;
- 206264,8 - в этом числе семь значащих цифр, нуль в середине числа является значащей цифрой;
- 5800,0 \pm 0,5 - в этом числе четыре значащих цифры. Один ноль в конце числа лишний, так как он, как значащая цифра, не обеспечен точностью измерений. Правильно следовало написать: $5800 \pm 0,5$.
- 5633 \pm 50 - в этом числе две значащих цифры. Две последние цифры не обеспечены точностью измерений. Следует написать так: 5600 ± 50 .

Правила округления приближенных чисел

1) Если отбрасывается последняя цифра числа, то следующая увеличивается на единицу, если отбрасываемая цифра более 5, и не изменяется, если менее 5. Например: 125,44 округленно - 125,4; 125,47 округленно - 125,5.

2) Если отбрасываемая цифра 5, то следующая цифра увеличивается на единицу, если она нечетная, и не меняется, если она четная. Например: 125,45 округленно - 125,4; 125,35 округленно - 125,4.

Погрешность измерений, действия с приближенными числами

1) Точность результатов вычислений, в которые введены числа с различными по величине погрешностями, определяется самым малоточным элементом. Например, если длины всех сторон полигона измерены с ошибкой не более 4 см на 100 м хода, и только одна сторона измерена с ошибкой большей - 20 см, то и погрешность в определении периметра хода будет определяться этой ошибкой.

2) При косвенных измерениях ошибка результата не может быть меньше ошибки величин, введенных в вычисления. Невозможно путем математических операций повысить точность результата вычислений относительно точности исходных данных. Например, при вычислении приращений координат теодолитного хода нельзя получить их значения до миллиметра, если длины сторон хода измерялись на местности с погрешностью в несколько сантиметров.

3) Сложение и вычисление приближенных чисел. Даны два приближенных числа: $a \pm \Delta a$ и $b \pm \Delta b$. Сложим эти два числа $C \pm \Delta C = a + b \pm \Delta a \pm \Delta b$. Из этого равенства очевидно, что ошибка результата сложения C будет равна или больше разности ошибок слагаемых, а также равна или меньше суммы ошибок слагаемых, т.е.

$$(\Delta a - \Delta b) \leq \Delta C \leq (\Delta a + \Delta b).$$

Отсюда, оценивая ошибку результата, мы вправе взять ее максимальное значение

$$\Delta C = \Delta a + \Delta b. \quad (1)$$

4) Умножение и деление приближенных чисел.

Даны два приближенных числа: $a \pm \Delta a$ и $b \pm \Delta b$.

Перемножим эти два числа: $C \pm \Delta C = (a \pm \Delta a)(b \pm \Delta b)$.

Преобразуем равенство $C(1 \pm \Delta C/C) = a(1 \pm \Delta a/a)b(1 \pm \Delta b/b)$, или перепишем иначе $C(1 \pm \delta C) = ab(1 \pm \delta a)(1 \pm \delta b)$.

Раскрыв скобки, получим $\pm \delta C = \pm (\delta a + \delta b) \pm \delta a \cdot \delta b$.

Произведением погрешностей пренебрежем по малости и получим окончательно:

$$\pm \delta C = \pm (\delta a + \delta b) \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) следует, что суммарная погрешность результатов любых арифметических действий с приближенными числами определяется самой большой ошибкой среди чисел, участвующих в вычислениях.

Глава 5. ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ЛИНИЙ

Для измерения длин линий в геодезии применяются три типа приборов:

- 1) мерные устройства: проволоки, ленты, рулетки.
- 2) оптические (или геометрические) дальномеры: нитяной дальномер, оптические насадки и др.
- 3) электромагнитные (или физические) дальномеры: радио- и светодальномеры.

1. МЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Проволоки изготавливаются из инвара - сплава никеля, железа и кобальта, обладающего малым температурным расширением. Длина проволок 24 м. На концах - шкалы для отсчетов при измерениях. При работе ленты натягиваются на блоках над землей, расстояния изме-ряются между закрепленными на местности точками. Применяются для измерений, например, длин базисов при триангуляционных определениях, требующих высокой точности. Хранятся намотанными на барабан.

Мерные ленты представляют собой стальные ленты длиной 20 м, реже - 24 м и шириной 1,5 - 2,0 см. Они бывают двух разновид-ностей:

- *штиховые ленты* имеют на концах прикрепленные крючки, к которым прикрепляются ручки для натягивания ленты (рис.19,а). Каждый метр на ленте обозначен пластинкой с указанием числа: на противоположных сторонах счет идет от различных концов ленты. Каждые 50 см обозначены заклепкой, а через 10 см пробиты от-

верстия. В комплект входят 6 или 11 стальных шпилек, которыми обозначаются каждые отложенные 20 м;

- *шкаловые ленты*

имеют на концах шкалы с миллиметровыми делениями (рис. 19, б). Они предназначены для более точных измерений;

- *рулетки* - стальные ленты шириной 1 см с делениями через 1 или 10 мм. Лента наматывается на барабан и помещается либо в обычный круглый закрытый корпус (з), либо в корпус в виде крестовины (к).

Длина рулетки может быть от 10 м и более и указывается в шифре: РЗ-10, РЗ-20, РЗ-30, РЗ-50, РК-50, РК-75 и др.

Перед измерениями длина ленты должна быть определена на специальном устройстве - *компараторе*. Простейший полевой компаратор состоит из деревянных брусьев с ровной горизонтальной поверхностью, закрепленных на деревянных столбах. На концах компаратора закрепляются металлические пластинки, расстояние между которыми соответствует 20 м. На компараторе сначала растягивается образцовая лента и на его концевых пластинках отмечается длина ленты $L_{обр}$, затем растягивается компарируемая (рабочая) лента или рулетка и по ней определяется длина ранее отложенного интервала $L_{изм}$. Длина рабочей ленты будет $L_{раб} = 20 \text{ м} + \Delta L$, где $\Delta L = L_{обр} - L_{изм}$.

Пример. $L_{обр} = 19,989 \text{ м} = 20 - 0,011 \text{ м}$, $L_{изм} = 19,971 \text{ м}$,

$$\Delta L = 19,989 - 19,971 = + 0,018 \text{ м на одну ленту.}$$

Длина рабочей ленты $L_{раб} = 20 + 0,018 \text{ м}$.

В процессе измерений в каждую отложенную полную ленту вводят поправку с тем же знаком, который входит в уравнение рабочей ленты. Точность измерений линий зависит от условий работы в поле и обычно составляет 1:1000 - 1:2000 длины линии.

Процесс измерения, если расстояние превышает 300 м, начина-

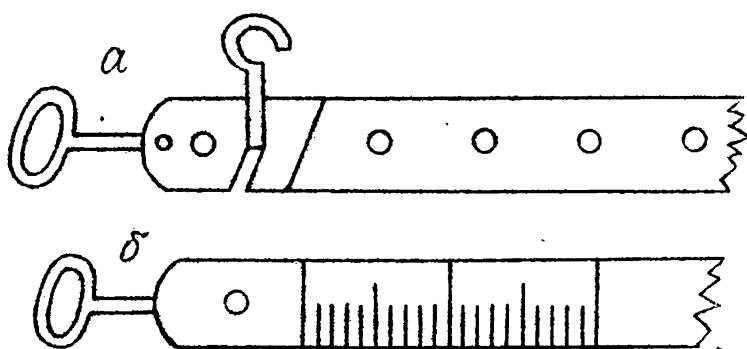


Рис. 19. Стальные мерные ленты:
а - штриховая, б - шкаловая.

ется с вешения линии "на глаз" или с помощью прибора, например, теодолита вдоль линии в створ через некоторое расстояние забивают колышки. Трудности возникают в тех случаях, когда помехой становится рельеф: возвышенности, овраги или какие-либо сооружения. В этих случаях используют особые приемы вешения линий.

а) Вешение линии с хорошей видимостью между начальной и конечной точками. Есть два способа. Первый - вешение вперед, когда последовательно через 50-100 м устанавливаются колышки под номерами 1,2,3 и т.д. Второй способ - вешение назад ("на себя"), оно ведется в обратном порядке, колышки устанавливаются, начиная с дальнего, и идут к начальной точке хода (рис.20,а).

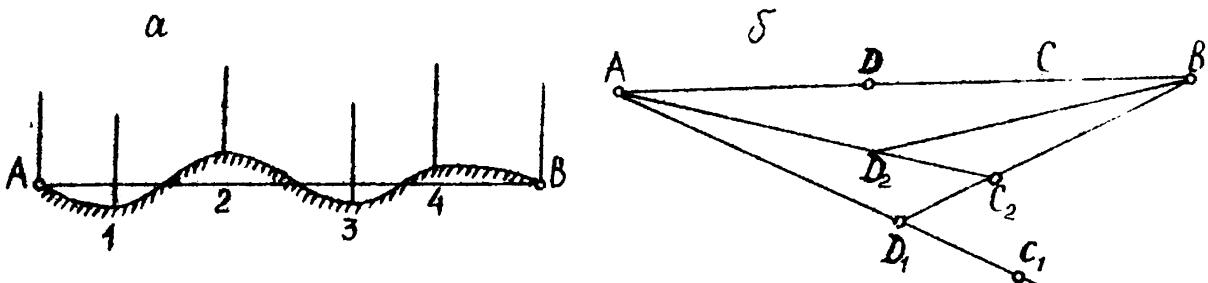


Рис. 20. Вешение линии между точками с хорошей видимостью (а) и между недоступными точками (б).

б) Когда возникает необходимость провешить линию между точками, недоступными для стояния, например, трубами, башнями и другими сооружениями, тогда операция вешения проводится в несколько приемов. Двое рабочих (D и С) последовательно меняют свое положение 1,2,3 и т.д., как это показано на рис.20,б, пока точки D и С не окажутся в своре линии АВ.

в) Если нужно провешить линию между точками, расположеннымными с разных сторон холма и при отсутствии взаимной видимости, то работа проделывается в следующем порядке. Вешение осуществляется тремя рабочими в последовательности, указанной на рис.21,а. Первоначально рабочие занимают позиции в D, С, Е. Затем они поочередно меняют положение, пока не добьются того, что все точки D, С и Е не займут положение в створе точек А и В.

г) Вешение линии через лощину или балку, овраг между точками А и В производится методом последовательных приближений, как и

в двух предыдущих случаях. Порядок перемещения рабочего и установки вешек показан на рис.21,б.

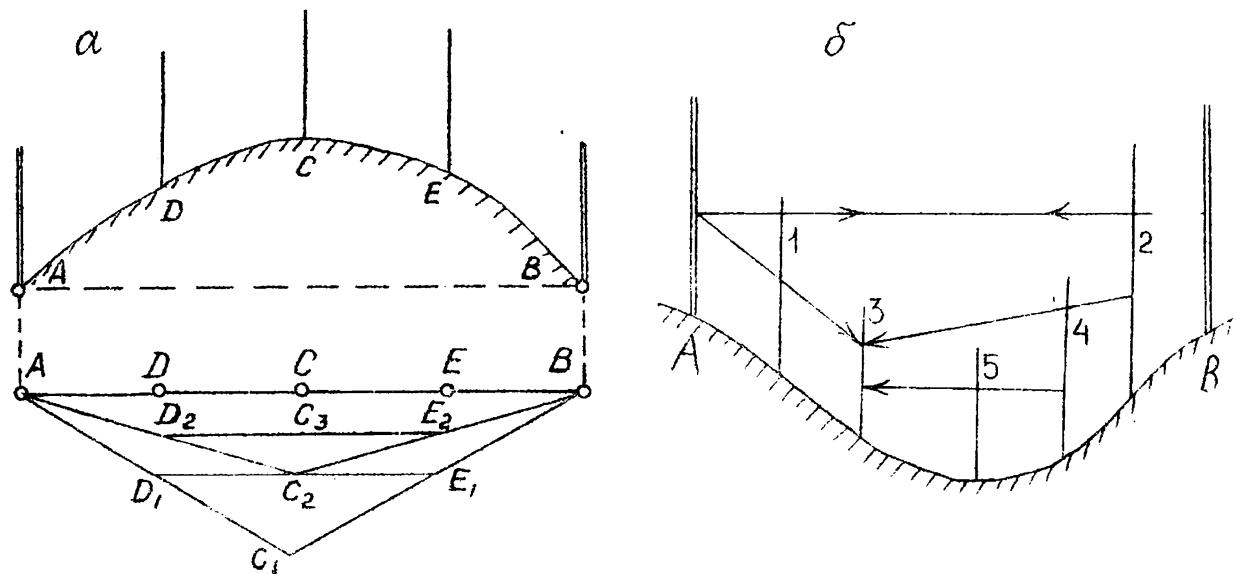


Рис. 21. Вешение линии через холм (а) и через балку (б).

Порядок измерения длин линий в поле

Измеряют линию два человека. Задний мерщик устанавливает начало ленты над исходной точкой и закрепляет ее шпилькой. Передний мерщик вытягивает ленту в сторону второй точки по указаниям первого мерщика, контролируя правильность направления по колышкам вешения. Заняв нужное положение, передний мерщик натягивает ленту и закрепляет ее конец шпилькой, после чего мерщики двигаются дальше. Задний мерщик, достигнув точки 2, закрепляет ленту за шпилькой, оставленной передним мерщиком, а передний, установив ленту в створе, снова натягивает ее и закрепляет в конце ленты точку 3. Так повторяется до отрезка 5-6. Если у переднего мерщика в начале работы было в руках 5 шпилек и одна оставалась у заднего в точке 1, то в точке 6 следует произвести передачу шпилек вперед. Одновременно с этим можно отметить, что измерено 100 м.

На нашем примере (рис.22) последний раз лента полностью уложилась в отрезке 3-4. Оставшаяся часть линии - домер - определяется по ленте, протянутой вперед; сантиметры измеряются небольшой линеекой.

Таким образом, общая длина линии АВ вычисляется так:

$$S = 100 \cdot P + 20n + d,$$

где P - число передач шпилек. В нашем случае $P = 1 = 100$ м, n - число шпилек в руках заднего рабочего, d - домер. В эту формулу следует ввести поправки за компарирование:

- а) общая поправка за компарирование ленты = $q\Delta L$, где q - общее число использованных шпилек $q = 5P + n$;
- б) поправка домера $(\Delta L/L)d$.

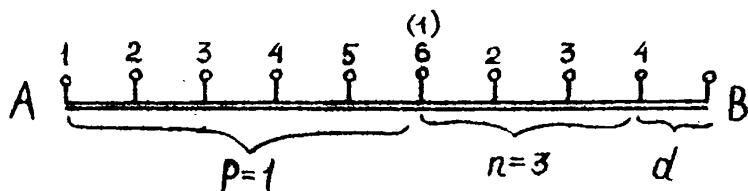


Рис.22. Порядок измерения длины линии мерной лентой.

В реальной полевой обстановке измеряемые линии могут быть в разной мере наклонены по отношению к горизонту. Для дальнейшей обработки, например теодолитного хода, необходимо наклонные линии привести к горизонту. Для

этого в поле кроме длины линии S измеряется также угол наклона местности ψ .

Задача состоит в том, чтобы, зная эти величины, найти горизонтальное проложение линии D. Из рис. 23 видим, что

$$D = S \cdot \cos \psi ,$$

$$\Delta S = S - D = S - S \cos \psi = S(1 - \cos \psi) \\ \text{или } S = 2S \sin^2 \psi / 2 .$$

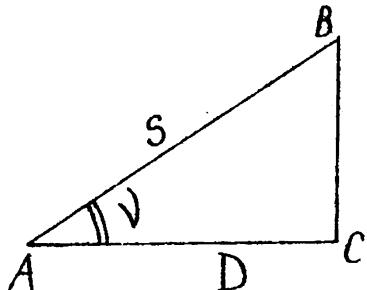


Рис. 23. Приведение наклонной линии к горизонту.

2. ОПТИЧЕСКИЕ (ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ) ДАЛЬНОМЕРЫ

В основе теории геометрических дальномеров лежит решение вытянутого равнобедренного или прямоугольного треугольника. Дальномеры применяются в трубах геодезических приборов или в виде оптических насадок на трубы, поэтому их называют *оптическими*.

Показанные на рис. 24 величины S , β и ℓ связаны между собой формулой $S = (\ell \operatorname{ctg} \beta / 2) / 2$.

Из трех элементов формулы один элемент S (расстояние) всегда определяется. В зависимости от того, какой из двух оставшихся элементов сохраняется постоянным, существуют геометрические дальномеры двух разновидностей:

- дальномеры с постоянным углом β (меняется и измеряется ℓ),
- дальномеры с постоянной базой ℓ (меняется и измеряется β).

Относительная ошибка измерения длин линий дальномерами зависит от их типа и изменяется от 1:400 до 1:5000 длины измеряемой линии.

2.1. Нитяной дальномер (с постоянным углом β).

Нитяной дальномер - оптическое устройство, вмонтированное в зрительную трубу геодезических приборов. Оно представляет собой закрепленное в металлической обойме отшлифованное оптическое стекло, на котором выгравированы линии (нити): вертикальная и ряд горизонтальных. В разных приборах набор нитей несколько различный (рис. 25). Для дальномерных измерений используются две (обычно крайние) горизонтальные нити.

Рассмотрим, каким образом работает нитяной дальномер, помещенный в зрительную трубу геодезического инструмента (рис. 26):

AB - дальномерная рейка с делениями и отрезок L на ней, который наблюдается в зрительную трубу, как отрезок ℓ , заключенный между крайними нитями дальномера; KK' - визирная ось трубы; f - фокусное расстояние объектива; δ - отрезок трубы от оси вращения до объектива. При сделанных обозначениях расстояние D вычисляется так:

$D = D_0 + f + \delta$, где $f + \delta = C$ - постоянная дальномера. Обратим внимание на подобие двух треугольников: abf и ABF , откуда получается $D_0/f = L/\ell$ или $D = (fL)/\ell$, где $f/\ell = K$ - коэффициент дальномера.

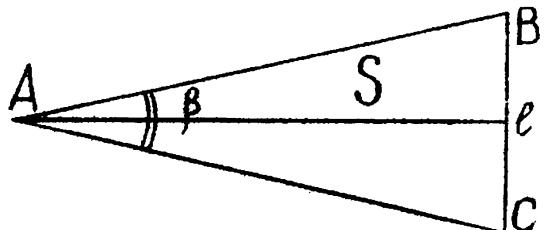


Рис. 24. Принципиальная схема геометрического дальномера.

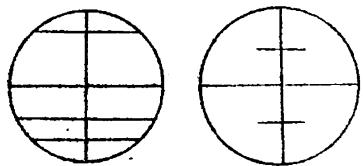


Рис. 25. Визирные нити в различных приборах.

Теперь можем записать формулу в окончательном виде $D = KL + C$.

Однако для приборов с коротким трубами и внутренней фокусировкой величина C очень мала и ею обычно пренебрегают.

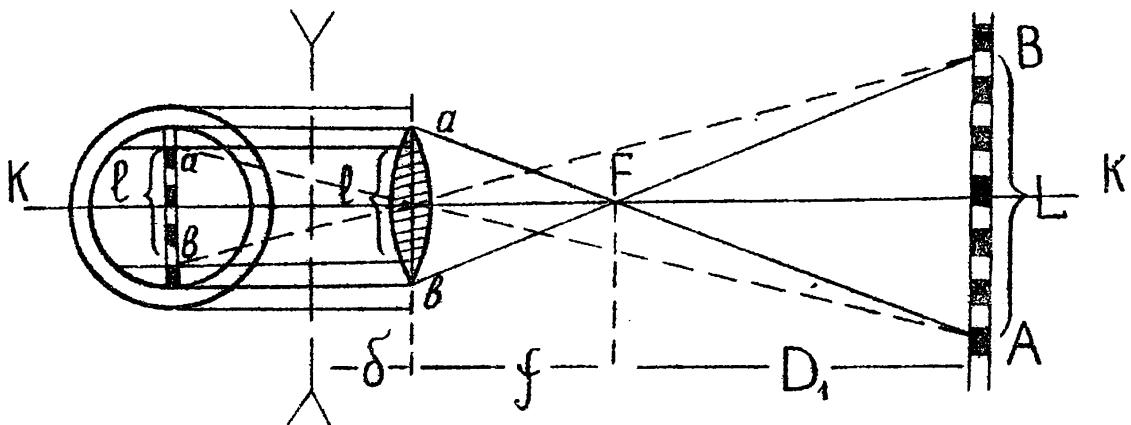


Рис. 26. Принципиальная схема работы нитяного дальномера.

Для удобства измерений чаще всего рассчитывают нитяной дальномер так, чтобы $K=100$, т.е. $\ell=0,01 f$. Тогда получается, что наблюдаемое в трубу количество сантиметров на рейке между нитями дальномера соответствует расстоянию до нее в метрах.

Если же появляется необходимость в определении коэффициента дальномера опытным путем в натуре, то измеряют лентой расстояния в 80 и 100 м, устанавливают на одном конце прибор, а на другом - рейку с делениями, отсчитывают количество сантиметров делений, заключенных между нитями дальномера и рассчитывают K из отношения D к L . Для избежания грубых промахов проделывают это дважды.

При измерении нитяным дальномером наклонной линии S , ее необходимо редуцировать на горизонтальную плоскость и определить длину D (рис. 27). Видно, что $S = KL + C$, но $L = L \cos \psi$. Отсюда $S = KL \cos \psi + C$, или $D = (KL \cos \psi + C) \cos \psi$, или приближенно $D = (KL + C) \cos^2 \psi$. Относительная ошибка измерения нитяным дальномером расстояний составляет примерно 1:400 измеряемой длины. В действительности мы допускаем ошибку до 1:100 D , что обеспечивает требуемую точность, например, при топографических съемках до масштаба не крупнее 1:5 000. Однако этой точности недостаточно

для решения задачи определения плановых координат точек путем прокладки теодолитного хода. Поэтому нитяной дальномер используется только при мензульной и тахеометрической съемках.

2.2. Оптический дальномер двойного изображения (с постоянным углом наблюдения).
Дальномер представляет собой устройство, включающее в себя одну или пару оптических клиньев, которое устанавливается на трубе со стороны объектива, как это показано на рис. 28. При этом клинья, которые отклоняют проходящий через них луч на постоянный угол β , закрывают только половину объектива. Поэтому в поле зрения трубы будут видны два смещенных на величину L изображения рейки. Найдем измеряемое расстояние D :

$D = D_1 + C; D_1 = L \operatorname{ctg} \beta = K L.$
Поскольку дальномер имеет постоянный угол β , то $\operatorname{ctg} \beta$ можно рассматривать как некоторый постоянный коэффициент дальномера. Оптический клин изготавливается так, чтобы угол был ра-

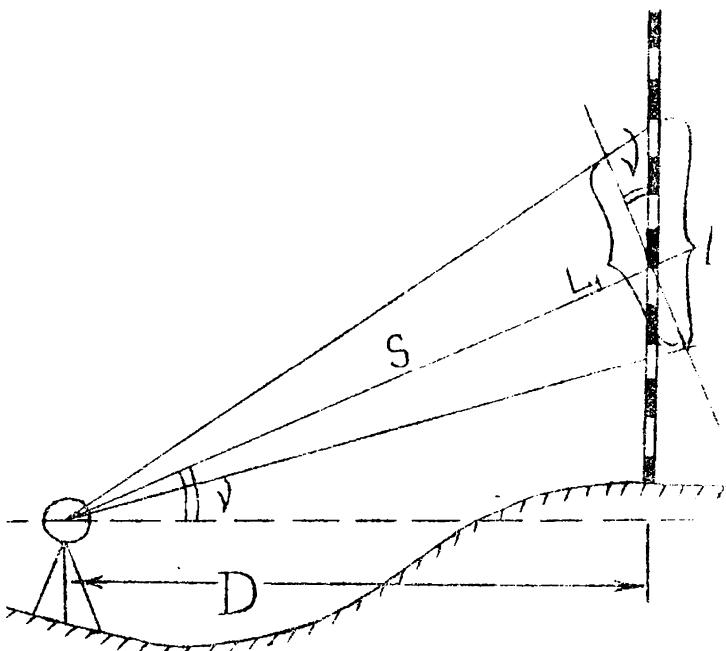


Рис. 27. Редуцирование наклонной линии на горизонтальную плоскость

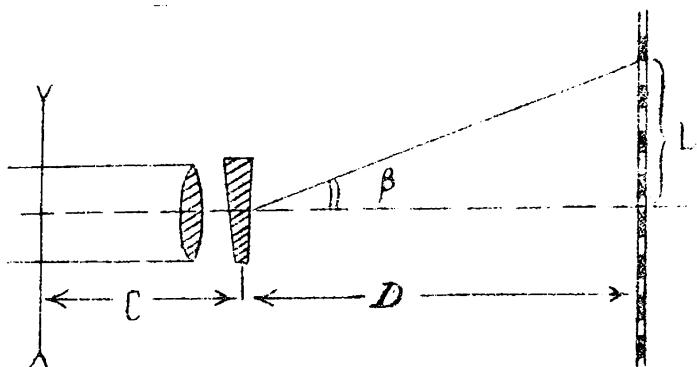


Рис. 28. Принципиальная схема работы оптического дальномера двойного изображения.

вен $34' 22,6''$. При этом $\operatorname{ctg}\beta = 100$, тогда $D = 100L + S$. Дальномером такого рода являлась ранее выпускавшаяся насадка на теодолит ДН-04, которая позволяет измерять длины линий от 10 до 150 м с погрешностью 4 см на 100 м расстояния.

2.3. Внутрибазовый дальномер (с постоянным углом β). Устройство дальномера показано на рис. 29. Он состоит из пары призм,

расположенных на одном базисе, вдоль которого одна или обе призмы перемещаются. Левая призма дополнена оптическим клином, который отклоняет видирный луч на угол β . В результате на некотором расстоянии S два изображения должны совпасть. При перемещении призмы А вдоль базиса В одновременно изменяется ℓ и S . Зная угол β , измерив по шкале текущий базис ℓ , можно вычислить или сразу считать по шкале расстояние S .

Ранее выпускавшийся дальномер такого типа ДВ-20 применяется при измерении расстояний от 20 м до 300 м без рейки по

видимому совмещению двух изображений подобно тому, как это устроено в некоторых монокулярных фотографических аппаратах. Точность измерения длин линий внутрибазовым дальномером составляет примерно 1:500.

2.4. Оптический дальномер с постоянным базисом. Такого рода дальномер представляет собой оптическое устройство, которое закрепляется на зрительной трубе прибора со стороны объектива. В комплект входит также постоянный базис длиной 1 м, представляющий собой металлическую штангу с марками, обозначающими концы и середину базиса. Базис устанавливается горизонтально на штативе и центрируется над точкой. Дальномерные насадки имеют отсчетные приспособления (микроскопы), позволяющие с высокой точностью измерять углы $\beta/2$ и измерять расстояния от 50 до 700 м с ошибкой 8 см на 100 м длины линии. Общая схема работы дальномера показана на рис. 30.

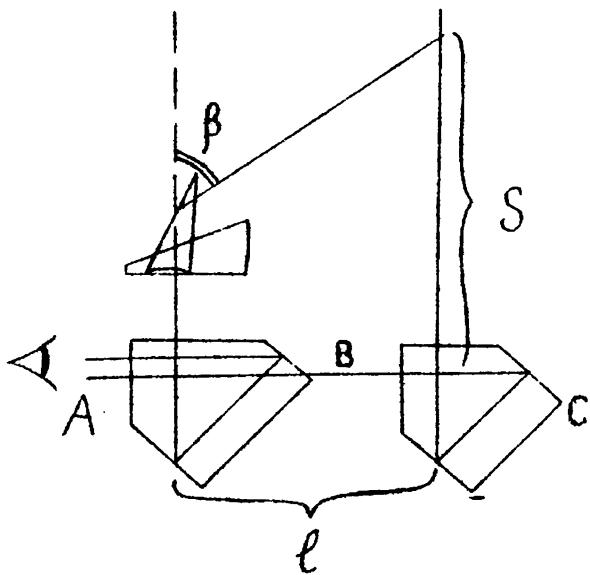


Рис.29. Схема устройства внутрибазового дальномера.

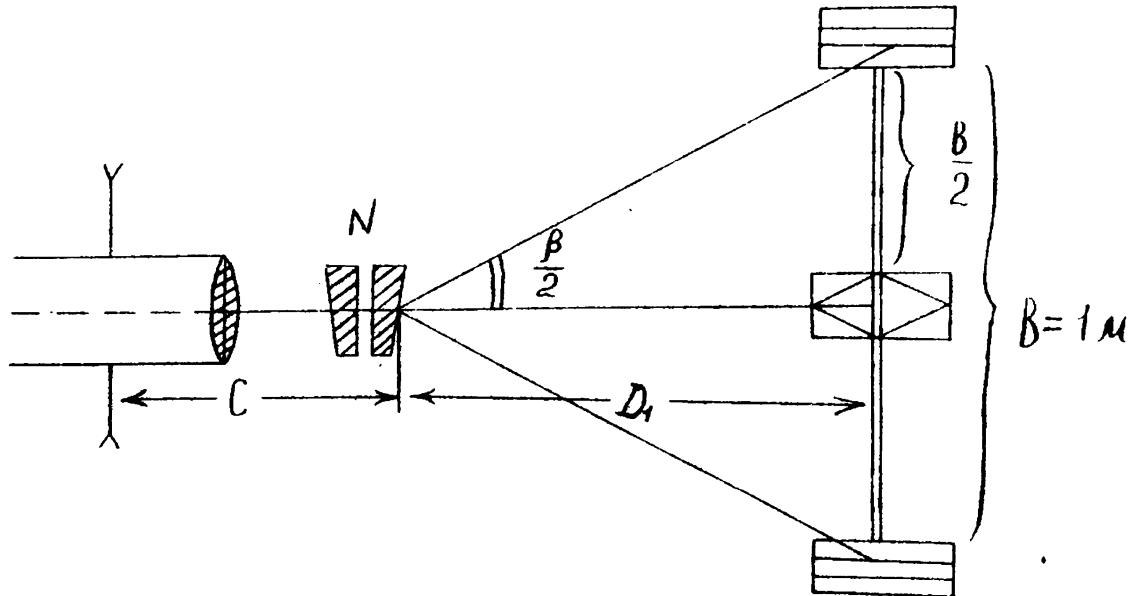


Рис. 30. Принципиальная схема работы дальномера с постоянным базисом.

В принятых обозначениях можно записать $D_1 = (B/2)\tan(\beta/2)$. Поскольку угол β очень мал, можно считать, что $\tan(\beta/2)$ равен значению угла в радианах и записать, что $\tan(\beta/2) = (\beta/2)/\rho$, где $\rho = 206264,8$. Отсюда $D_1 = B\rho/\beta$. Поскольку B и ρ величины неизменные, то их произведение можно принять за постоянный коэффициент K , и записать окончательно $D = K/\beta + C$.

На практике применяются два типа дальномерных насадок - это ДНТ и ДНТ-2 (дальномерная насадка Белицина), а также более поздние их модификации.

Такое же в принципе устройство у топографического дальномера Д-2 (ранее обозначаемого СТД), представляющего собой самостоятельный прибор для измерения длин линий от 35 до 400 м с ошибкой 1:5000.

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ (ФИЗИЧЕСКИЕ) ДАЛЬНОМЕРЫ

К дальномерам этого типа относятся радио- и светодальномеры. Они бывают двух разновидностей: во-первых, импульсные, во-вторых, непрерывного излучения (фазовые). Последние, в свою очередь, бывают с пассивным отражателем (светодальномеры) и активным отражателем (радиодальномеры).

3.1. *Дальномеры импульсные.* Включают в комплект *передатчик (излучатель) и отражатель.* В качестве отражателя используется

специальное устройство, включающее так называемые уголковые отражатели (трипель призмы), обладающие тем конструктивным свойством, что весь падающий на них свет, излучение отражают строго в обратном направлении независимо от их разворота (рис. 31).

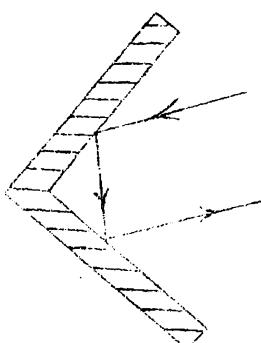


Рис. 31. Принцип работы уголкового отражателя.

На выход приемника подают два сигнала: непосредственно от излучателя в момент посылки сигнала и отраженный, пришедший с некоторым запозданием. Время прохождения сигнала туда и назад (t) может быть зафиксировано, тогда расстояние получается по формуле $D=(1/2)vt$, где $v=c/n$, v - скорость распространения в воздухе электромагнитных волн, приблизительно 300 000 км/с, c - то же в вакууме, n - коэффициент преломления в атмосфере, равный 1,00028÷1,00035. Это дает примерно 7 мм на 1 км. Примером импульсного светодальномера может служить СП-2 "Гопаз", предназначенный для измерений расстояний до 2000 м с ошибкой $(2\div 3)\cdot 10^{-6}D$.

В навигационных радиолокационных системах для определения времени прохождения импульса используются электронно-лучевые трубы (ЭЛТ), на экране которых отражается момент излучения импульса и приема отраженного сигнала на кольцевой шкале с делениями времени.

3.2. *Дальномеры фазовые с пассивным отражателем.* В этой системе работает излучающая станция и отражатель. Излучающая

станция может иметь двоякое устройство. Одни станции излучение осуществляют непрерывно, но также непрерывно и управляемо изменяется длина волны излучения. Другие осуществляют излучение в некоторых заранее определенных диапазонах волн определенной длины.

Если расстояние D "не укладывается" в целое число волн, то возникает разность фаз φ , которая измеряется на индикаторе. Расстояние может быть вычислено по формуле: $D=N\lambda/2 + \varphi\lambda/2$, где N - целое число уложений волн в длине D .

Из физики известно, что длина волны $\lambda=c/(nf)$, где f - частота колебаний. Отсюда рабочая формула примет вид

$$D = \frac{c}{2nf} (N + \varphi) .$$

В этой формуле два неизвестных D и N . Чтобы решить задачу нужно иметь, по крайней мере, систему из двух уравнений. Именно для этого измерения делают при разных частотах или длинах волн.

Если сам оператор может плавно модулировать частоту излучения станции, появляется возможность вовсе избавиться от разности фаз φ . На световом индикаторе визуально фиксируются моменты, когда возникает ситуация уложения целого числа волн в измеряемом расстоянии. Тогда можно получить и решить систему уравнений

$$D=(cN_1)/(2nf_1) \text{ или } D=\lambda(N_1)/2 ,$$

$$D=(cN_2)/(2nf_2) \text{ или } D=\lambda(N_1 + 1)/2 \text{ и т.д.}$$

В топографо-геодезической практике используются светодальномеры 2СМ-2, СМ-5 и другие. Светодальномер СМ-2 предназначен для измерения расстояний от 2 до 2000 м с погрешностью в 2 см. Светодальномер СМ-5 предназначен для измерения расстояний от 2 до 700 м с ошибкой 2-3 см, в зависимости от атмосферных условий.

3.3. Радиодальномеры фазовые с активным отражателем. Комплект приборов состоит из двух взаимозаменяемых станций: ведущей и ведомой. Ведущая станция излучает с частотой f (сантиметровые длины волн). Ведомая станция принимает сигнал, трансформирует его в излучение с другой частотой в отношении 2/3 или 3/2 к исходящей частоте и посыпает обратно сигнал с частотой f_2 .

Индикатор на ведущей станции измеряет разность фаз Φ излучаемых и принимаемых волн после обратной трансформации их частоты. Измеряемое расстояние можно вычислить по следующим формулам:

$$D = \frac{1}{2} \frac{\varphi v}{2\pi f}, \text{ или } D = \frac{\lambda \varphi}{2 \cdot 2\pi},$$

поскольку известно, что длина волны λ равна отношению скорости распространения электромагнитных волн в воздухе v к частоте излучения f : $\lambda = v/f$.

Для получения высокой точности измерений выбирают рабочую длину волны излучения меньшей измеряемого расстояния. Это порождает неоднозначность решения задачи, как и в дальномерах с пассивным отражателем. Неопределенность разрешается использованием нескольких модулированных колебаний на различных частотах.

Примером радиодальномера такого типа служит "Луч", которым измеряются расстояния от 200 м до 50 км с ошибками от 3 до 18 см.

В заключение следует заметить, что работа светодальномеров существенно зависит от состояния атмосферы. Радиодальномеры почти лишены этого недостатка.

Г л а в а 6. ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ

1. ТЕОДОЛИТЫ. ИХ ТИПЫ И УСТРОЙСТВО

Теодолит - угломерный прибор, предназначенный для измерения горизонтальных, а также вертикальных углов.

Теодолиты различаются по типу (конструкции) и точности измерений. В последнем случае они делятся на высокоточные, точные и технические. Технические теодолиты обеспечивают точность измерения углов с погрешностями более $10''$ и находят самое широкое использование в топографических съемках и съемках для обеспечения полевых географических, геологических, землемерных работ.

По конструкции теодолиты различаются на механические (с металлическим лимбом), оптические и электронные. Они различаются между собой главным образом системой отсчета по лимбу. В настоящее время используются только оптические теодолиты со стеклянными лимбами и шкаловыми микроскопами или оптическими микрометрами для отсчетов.

Некоторыми конструктивными особенностями обладают теодолиты,

предназначенные для маркшейдерских, астрономических работ. Отдельно следует упомянуть гироскопические теодолиты, в конструкцию которых включен гироскоп, выполняющий роль гирокомпаса - механического указателя направления истинного (географического) меридиана, что необходимо для определения азимута ориентируемого направления, особенно при маркшейдерских работах (прокладке тоннелей и др.).

Марки наиболее распространенных технических теодолитов Т15, Т30, 2Т30, 2Т30П. В этих обозначениях: цифра 2 перед буквой - номер модели, Т -теодолит, 15, 30 или другие числа - точность измерения углов в секундах. Буква "П" означает, что труба прибора дает прямое изображение. Рассмотрим принципиальную схему теодолита 2Т30П (рис.32):

1 - зрительная труба, объектив трубы, 2 - закрепительный винт трубы, 3 - колонка, 4 - кремальера для наведения изображения в трубе на резкость, 5 - наводящий винт трубы, 6 - наводящий винт алидады, 7 - закрепительный винт алидады, 8 - наводящий винт горизонтального круга, 9 - закрепительный винт горизонтального круга, 10 - уровень при алидаде, 11 - диоптрийное кольцо окуляра, 12 - паз для установки ориентир-буссоли, 14 - зеркало для подсветки лимбов и отсчетных шкал, 15 - подъемные винты, 16 - основание, 17 - подставка, 18 - боковая крышка, 19 - уровень при трубе, 20 - верти-

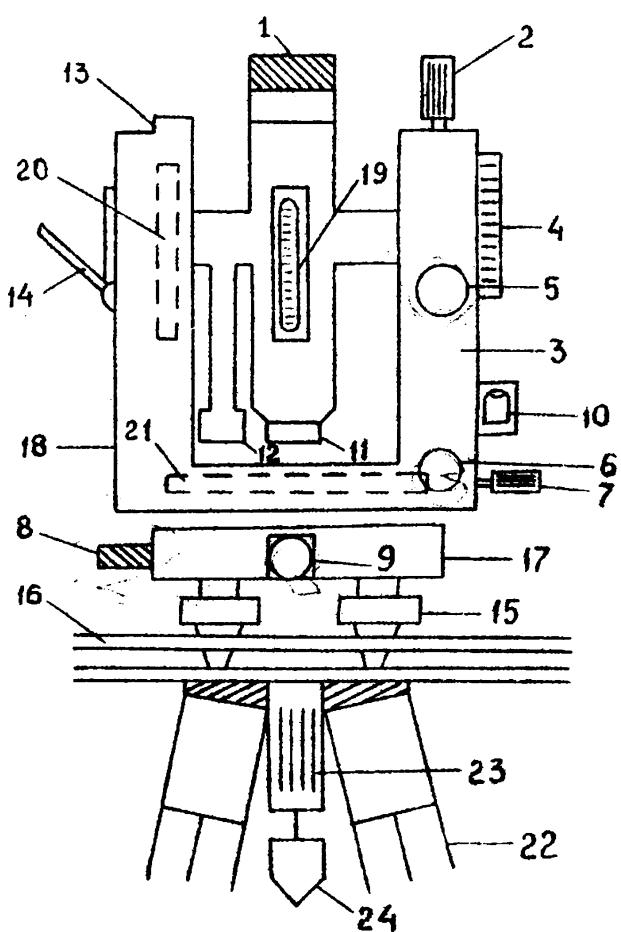


Рис.32. Схема теодолита 2Т30П.

кальный лимб, 21 - горизонтальный лимб, 22 - тренога (штатив), 23 - становой винт, 24 - отвес.

Зрительная труба. До недавнего времени почти все геодезические трубы давали "обратное", т.е. перевернутое изображение. Сейчас все чаще изготавливают трубы с прямым изображением.

Увеличение изображения в трубе может быть от 15^x до 50^x в зависимости от требуемой точности визирования и точности измерения углов. В теодолите 2Т30П увеличение трубы 20^x . Увеличение трубы v может быть подсчитано по формуле

$$v = \frac{\alpha}{\beta} \approx \frac{f \text{ объектива}}{f \text{ окуляра}},$$

где α - угол, под которым объект виден в трубу, β - угол, под которым объект виден невооруженным глазом, f - фокусное расстояние объектива и окуляра. Поле зрения трубы может быть от $30'$ до 2° . У теодолита 2Т30П оно равно 2° .

В окуляре трубы установлена сетка нитей (рис. 33). Она выгравирована на стекле, вставленном в металлическую обойму, которая

закрепляется исправительными винтами (или без них) в поле зрения трубы со стороны окуляра. Наводка на резкость сетки нитей осуществляется с помощью кольца окуляра. Прямая, проходящая через центральное перекрестие сетки нитей и центр объектива, называется *оптической осью* трубы (теодолита).

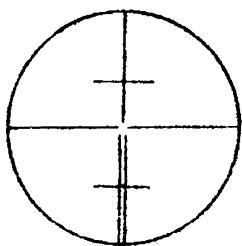


Рис. 33.
Сетка нитей
зрительной
трубы тео-
долита
2Т30П.

Лимбы - угловые меры, представляющие собой кольца, разделенные с высокой точностью на градусы и минуты. В теодолитах различных конструкций и точностей дробность делений может быть разной. В теодолите 2Т30П горизонтальный и вертикальный лимбы разделены через 1° . Горизонтальный лимб оцифрован по часовой стрелке от 0° до 360° , а вертикальный лимб от 0° до $+75^\circ$ и -75° .

Уровни служат для установки всего прибора или его частей, в частности лимбов, в определенное положение по отношению к отвесной линии. Так, например, горизонтальный лимб в рабочем состоянии должен занять горизонтальное положение. Уровни теодолита обычно *цилиндрические*. Но в других приборах встречаются также менее точные *круговые* (шаровые) уровни.

Цилиндрический уровень - запаянная с одной стороны ампула, в которой помещен сернистый эфир в количестве, при котором образуется воздушный пузырек (рис. 34). Внутренняя полость стеклянного цилиндра выточена по дуге окружности, а на поверхности цилиндра нанесены деления. Точность уровня зависит от радиуса дуги выточенной поверхности и частоты штрихов и вычисляется по формуле $\tau'' = (\ell/R)$, где τ'' - цена деления уровня. Обычно τ'' теодолитных уровней бывает от 4" до 60". В технических теодолитах цена деления уровня составляет 45 - 60". Стеклянная ампула цилиндрического уровня заключается в металлический патрон и закрепляется на приборе так, чтобы один конец уровня с помощью исправительных винтов мог быть поднят или опущен в процессе поверок прибора.

Отсчетные устройства нужны для взятия отсчетов по шкалам лимбов горизонтального и вертикального кругов, когда оптическая ось трубы наведена на одну из точек, между направлениями на которые измеряется угол. Отсчет - это величина дуги между нулевым штрихом шкалы лимба и отсчетным индексом. Отсчетное устройство состоит из приспособлений для рассматривания штрихов лимба и оценки доли деления лимба. Теодолиты с металлическими лимбами для производства отсчетов имели закрепленные на алидаде диаметрально расположенные верньеры. Их парное расположение было необходимо чтобы исключить возможный эксцентризитет алидады, т.е. несовпадение центров лимба и алидады.

Отсчетные приспособления оптических теодолитов имеют иное
4. Зак. 247

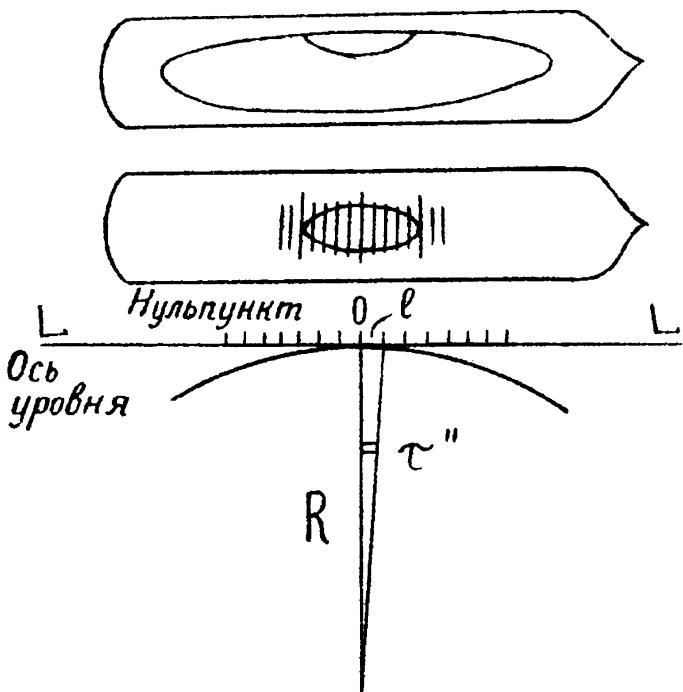


Рис. 34. Цилиндрический уровень:
LL - ось уровня, R - радиус дуги выточенной поверхности, ℓ - дуга между двумя штрихами, О - нульpunkt уровня.

устройство, в них используются шкаловые и штриховые микроскопы, дающие только один отсчет по лимбу. Но поскольку в различных приборах и инструментах, с которыми приходится иметь дело географам, геологам и другим исследователям Земли, используются верньеры, или нониусы - устройства, позволяющие с большей точностью брать отсчеты по различным шкалам, то следует знать принцип их устройства.

Верньер, или нониус представляет собой дополнительную шкалу, которая устанавливается вдоль или рядом с основной шкалой, например, у теодолита - на алидаде вплотную к лимбу. На рис.35 показана схема устройства верньера в теодолите. Вдоль линии соп-

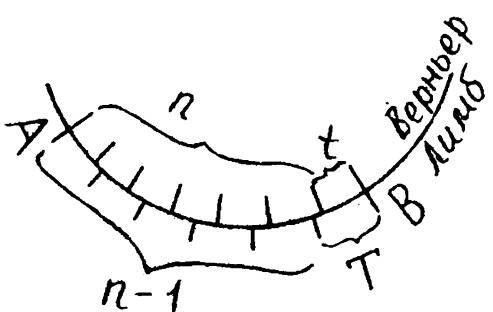


Рис.35. Устройство верньера.

риконашивания шкал вдоль дуги АВ вверху показаны деления верньера - n делений, внизу даны деления на лимбе - $n-1$ делений. Обозначим цену деления нониуса через t . Разность $T-t$ называется точностью верньера и обозначается τ_b . Определим, чему равна точность верньера в общем случае.

$$\tau_b = T - t; \quad \overline{AB} = tn; \quad \overline{AB} = T(n-1).$$

$$\text{Отсюда } Tn - T = tn, \text{ или } n(T-t) = T.$$

$$\text{Окончательно } \tau_b = T/n.$$

Например, горизонтальный лимб теодолита ТТ-5 разделен на части в $20'$. Шкала верньера того же теодолита разделена на 40 делений. Таким образом точность верньера или, вернее, точность отсчета по лимбу этого теодолита равна $30''$.

Практически отсчет при наличии верньера берется в следующем порядке. Сначала отчитываются целые градусы и десятки минут по шкале лимба до нуль-пункта верньера, а затем отчитываются минуты и их доли по верньеру до первого штриха, совпадающего со штрихом лимба.

Шкаловые и штриховые микроскопы, как уже сказано выше, используются в точных и технических оптических теодолитах. В штриховых отсчетных устройствах на деления лимба проецируется штрих, который является нуль-пунктом отсчета. В шкаловых, более точных устройствах, шкала микроскопа накладывается на один из

штрихов делений лимба, по которому выполняется отсчет. В поле зрения штрихового или шкалового микроскопа введены одновременно два изображения: вертикального и горизонтального лимбов. На рис. 36 показания горизонтального лимба $132^{\circ}07'30''$, показания вертикального лимба - $0^{\circ}23'$.

У электронных теодолитов рабочая мера (носитель информации вместо лимба) может быть в виде электротехнических элементов (резисторов и др.). Считывание информации (измеренных углов) может выполняться визуально с цифрового табло или в автоматическом режиме - с регистрацией на носитель информации (перфоленту, магнитную ленту и пр.).

Существуют также теодолиты со специальными устройствами, призванными повысить качество измерений. Например, лазерные теодолиты позволяют автоматически наводить прибор на точку и регистрировать отсчеты. Были сконструированы теодолиты с фотографической регистрацией показаний шкалового микроскопа, что позволяет контролировать работу наблюдателя и снизить количество ошибок отсчета.

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСИ И ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТА

2.1. *Основные геометрические оси теодолита* (рис.37): VV - вертикальная ось, HH - горизонтальная ось, LL - ось уровня, KK - визирная ось зрительной трубы.

По устройству и своему назначению

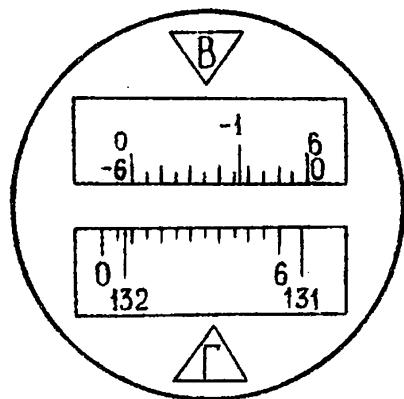


Рис.36. Шкаловой микроскоп теодолита 2Т30П.

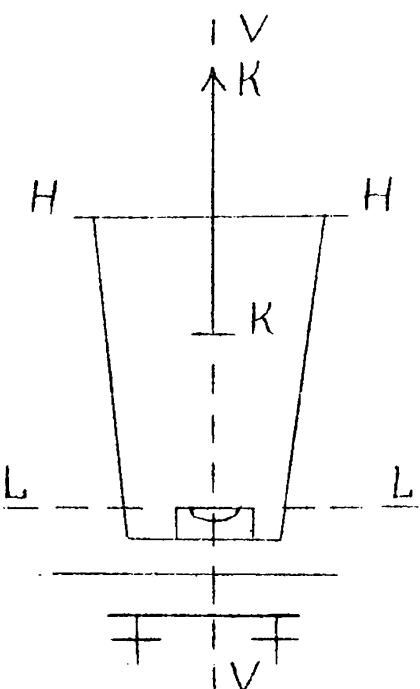


Рис.37. Схема осей теодолита.

теодолит должен удовлетворять следующим требованиям:

- вертикальная ось должна быть ствесной,
- плоскость горизонтального лимба должна быть горизонтальной,
- визирная (коллимационная) плоскость теодолита должна быть вертикальной.

Эти требования будут выполнены при соблюдении следующих условий: 1) $LL \perp VV$; 2) $KK \perp HH$; 3) $HH \perp VV$.

Выполнение этих условий требует проведения поверок теодолита, в процессе которых должны быть проведены также необходимые исправления (юстировка прибора).

2.2. Поверки теодолита

1) Ось уровня LL должна быть перпендикулярна вертикальной

оси VV (рис.38,а). На рис.38,б положение оси уровня LL при уровне, выведенном на середину; положение оси $L'L'$ при повороте теодолита вокруг вертикальной оси на 180° . γ -угловое расхождение осей уровня в двух положениях,

δ - угол, на который следует исправить положение уровня его исправительными винтами. Видно, что $(90^\circ - \delta) + (90^\circ - \delta) + \gamma = 180^\circ$, откуда $\gamma = 2\delta$, или $\delta = \gamma/2$.

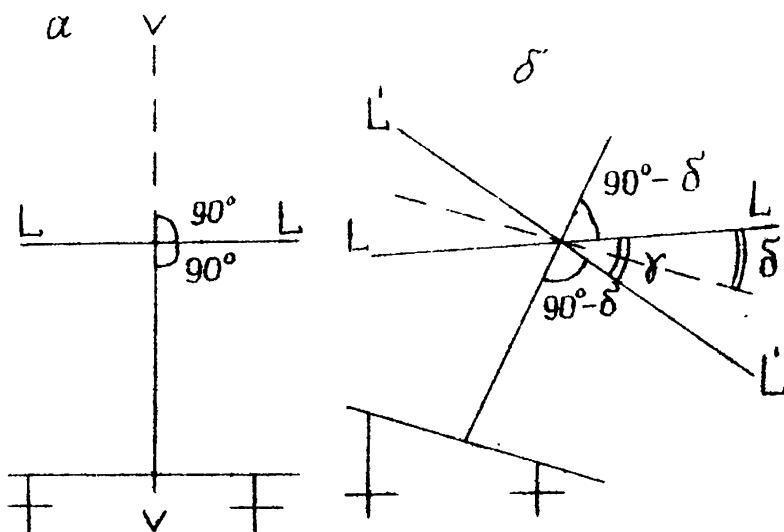


Рис.38. Проверки уровня: а - идеальное положение осей LL и VV , б - действительное положение осей.

При работе на теодолите допускается отклонение пузырька уровня от середины на одно деление, что в угловой мере соответствует $1'$. Если отклонение пузырька уровня больше, следует исправить положение уровня. Для этого в исходном положении, когда ось уровня параллельна двум подъемным винтам треножника, пузырек уровня выгоняется на середину. Затем теодолит (алидада) разворачивается на 180° и отмечается на сколько делений ушел уровень.

После этого положение пузырька следует свести к середине на половину смещения подъемными винтами треножника и вторую половину смещения исправительными винтами уровня. Затем следует проверить успешность исправления повторением операции.

2) Визирная ось КК должна быть перпендикулярна горизонтальной оси НН (рис.39,а).

При идеальном положении осей НН и КК, визирная ось трубы КК, вращаясь, образует так называемую коллимационную плоскость. При отсутствии перпендикулярности между этими осями вращение трубы образует два конуса.

Как показано на рис.39,б, коллимационная ошибка С обнаруживается и определяется двойным наведением трубы прибора в одну и ту же точку при положениях круга левом Л и правом П. Из двух наведений при Л и П, как это показано на рис.40, напишем $\beta = \text{Л} - \text{С}$, $\beta = (\text{П} \pm 180^\circ) + \text{С}$, $\text{Л} = \beta + \text{С}$, $\text{П} \pm 180^\circ = \beta - \text{С}$, $\text{Л} - (\text{П} \pm 180^\circ) = 2\text{С}$.

Исправление коллимационной ошибки производится смещением сетки

4.

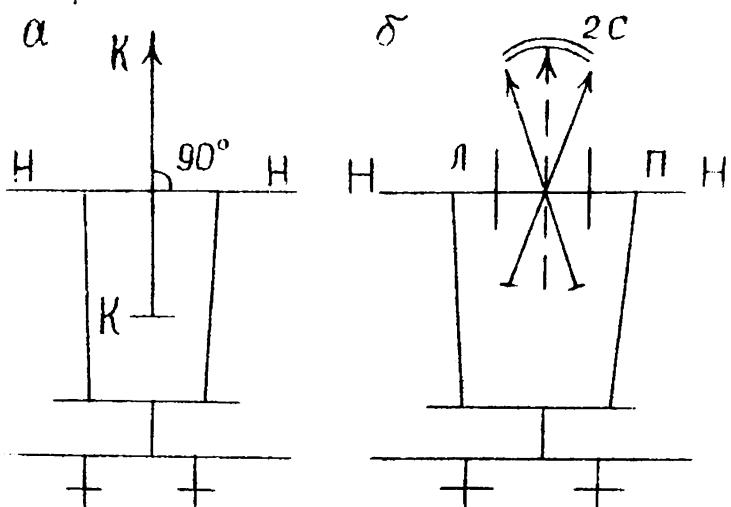


Рис.39. Проверка и исправление коллимационной ошибки: а - идеальное положение осей теодолита, б - действительное положение осей.

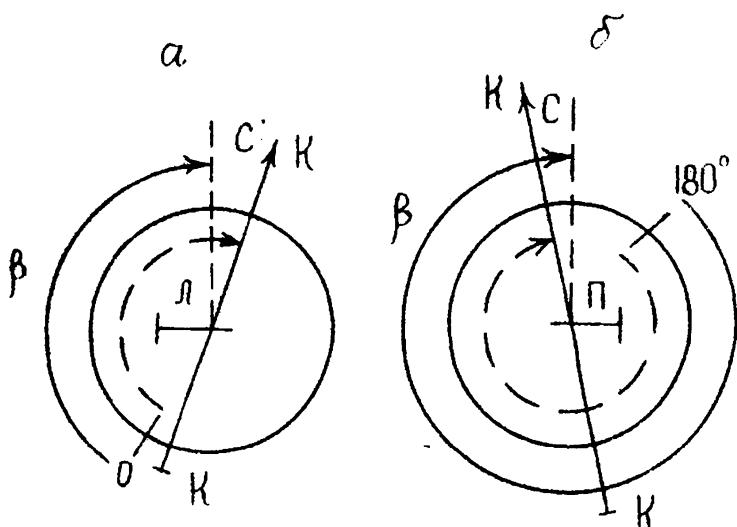


Рис.40. Определение коллимационной ошибки.

нитей. Для этого находится истинный угол β , который устанавливается на отсчетном устройстве и затем исправительными винтами сетки нитей она сдвигается вправо или влево так, чтобы перекрестие пришлось на точку наблюдения.

Пример.	Отсчеты	Исправление
	$L = 25^{\circ}30'$	$-0'30''$
	$P = 205^{\circ}29'$	$+0'30''$

$$25^{\circ}30' - (205^{\circ}29' \pm 180') = 2C = 1'; C = 0'30''.$$

3) Горизонтальная ось НН должна быть перпендикулярна вертикальной оси ВВ. На рис.41 показано неперпендикулярное положение осей. Условие проверяется проецированием какой-нибудь точки, расположенной под значительным углом наклона на какой-нибудь предмет, расположенный под этой точкой на горизонте оси вращения трубы. Проецирование проделывается дважды, при левом и правом положении вертикального круга.

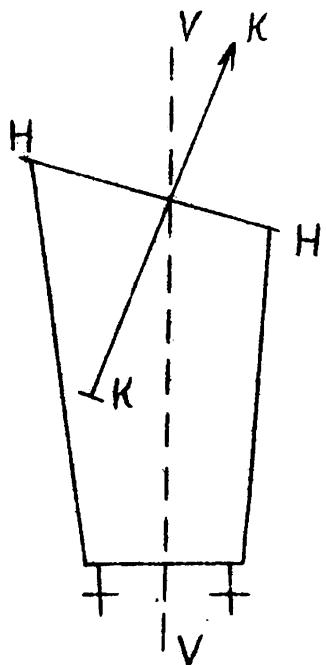


Рис.41. Определение наклона горизонтальной оси.

Проекции точки не должны расходиться больше, чем на ширину биссектора сетки нитей. Если ошибка больше, исправление производится в мастерской.

3. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ

3.1. Измерение горизонтальных углов.

Горизонтальным углом называется угол между двумя пересекающимися прямыми линиями, расположенными в одной горизонтальной плоскости (рис.42). Именно поэтому с помощью уровня лимб, теодолита придается горизонтальное положение.

При установке визирных целей на пунктах следует иметь в виду, что все измерения относятся к центрам пунктов, поэтому все вехи, рейки, мерные шпильки должны устанавливаться точно над центрами знаков или сзади колышка в створе направления на прибор.

Горизонтальные углы измеряются способом приемов, когда на

пункте только два направления (рис.43), и способом круговых приемов, когда на точке три или больше направлений. В обоих случаях углы измеряются двумя полуприемами, при двух положениях вертикального круга. Это позволяет повысить точность измерений, исключить грубые промахи и систематическое влияние коллимационной ошибки и неперпендикулярности осей вращения трубы и теодолита.

Измерение горизонтального угла способом приемов может быть выполнено при произвольно закрепленном лимбе или предварительно ориентированном лимбе, т.е. с отсчетом близким к нулевому на начальную точку наблюдений. Измерения начинают при положении круга справа. При закрепленном лимбе поочередно наводят перекрестье сетки нитей на точки А и С и берут отсчеты. То же самое повторяют при положении вертикального круга слева. Вместе это составляет один полный прием. Он позволяет дважды получить значение угла. Расхождение между ними не должно превышать 2° .

В противном случае измерение угла повторяется при предварительно измененном положении горизонтального лимба.

Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов выполняется при ориентированном и закрепленном лимбе в такой последовательности. Визирная

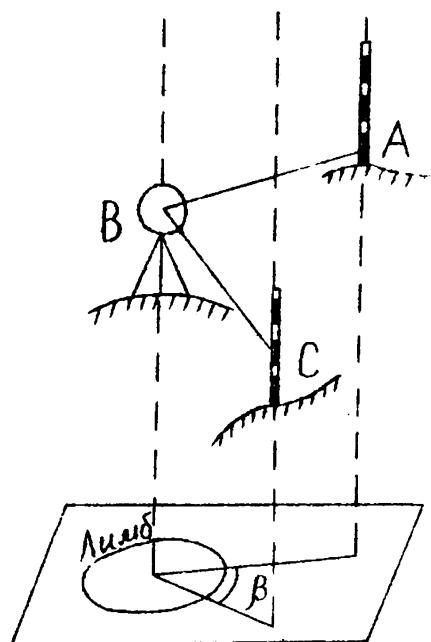


Рис.42. Общий принцип измерения горизонтальных углов.

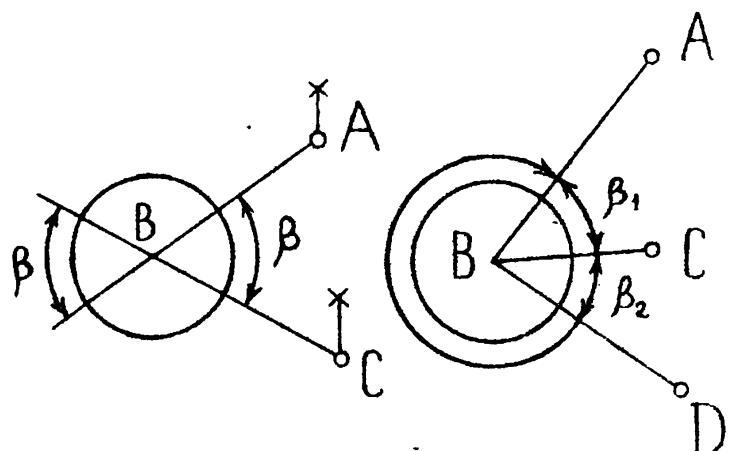


Рис.43. Схема измерения углов при двух (а) и при трех (б) направлениях на пункте.

ось (перекрестье сетки нитей) наводится на начальную точку и берется отсчет. Открепив алидаду, наводят трубу на следующую по часовой стрелке точку и также берут и записывают отсчет. Затем всю работу повторяют в обратном направлении. Правильность измерения горизонтальных углов контролируется замыканием горизонта. Ошибка вычисленных углов из полуприемов не должна превышать $2'$.

3.2. Измерение вертикальных углов. Вертикальные углы измеряются для определения превышений методом тригонометрического нивелирования и приведения наклонных линий теодолитного хода к горизонту. Измеряют их отдельно от горизонтальных углов и обычно после измерения последних.

Вертикальные углы измеряют одним полным приемом при двух положениях круга. Процесс измерения начинается с грубого наведения визирной оси на цель. Затем устанавливается пузырек цилиндрического уровня при вертикальном круге на середину микрометренным винтом. Если такой уровень отсутствует, то на середину приводится пузырек уровня при алидаде горизонтального круга. После этого горизонтальная нить сетки нитей точно наводится на визирную цель и берется отсчет по лимбу вертикального круга.

Правильность измерения вертикальных углов контролируется постоянством места нуля, колебания которого не должны превышать $1,5'$. (Об устройстве вертикального круга и о месте нуля будет рассказано в гл.8.)

3.3. Ошибки измерения углов

1) *Ошибка взятия отсчета по отсчетному устройству* $m = \tau/2\sqrt{2}$, τ - точность шкалы (или верньера прибора). Для теодолита 2Т30П, у которого $\tau = 30''$, $m = 15''/\sqrt{2} \approx 11''$.

2) *Ошибка визирования, связанная с увеличением трубы.* Погрешность визирования в этом случае вычисляется следующим образом: $m_v = 60''/v$, v - увеличение трубы. При увеличении трубы 20^X , как у теодолита 2Т30П, ошибка визирования равна $3''$, что практически неощущимо при технических работах.

3) *Ошибка наведения визирной оси прибора в цель (веху).* В принятых на рис.44 обозначениях запишем $q/D = \operatorname{tg}\psi$ или по малости угла $\psi'' = q\rho''/D$.

Пример. $q = 1$ см, $D = 100$ м, $\rho'' = 206264''$,
 $\psi'' = (1 \cdot 206264'')/10\ 000 \approx 20''$.

4) Ошибка центрирования прибора над точкой стояния. Используя равенство углов (рис.45), можно записать

$$D/\sin \mu = l/\sin \varphi,$$

откуда

$$\sin \varphi = (l \sin \mu)/D$$

или по малости φ

$$\varphi'' = (l \sin \mu \rho'')/D.$$

Пример: $l = 1$ см,
 $D = 100$ м, $\mu(\max) = 90^\circ$,
 $\rho'' = 206264''$,
 $\varphi'' = (1 \cdot 1 \cdot 206264)/10\ 000 \approx 20''$.

Первые три ошибки возникают при измерении горизонтальных углов. Из двух последних примеров вытекает, что углы, образованные более длинными сторонами, измеряются с большей точностью, за счет меньших ошибок центрирования и наведения. Но тут же нужно напомнить, что длины больших сторон измеряются с большей ошибкой.

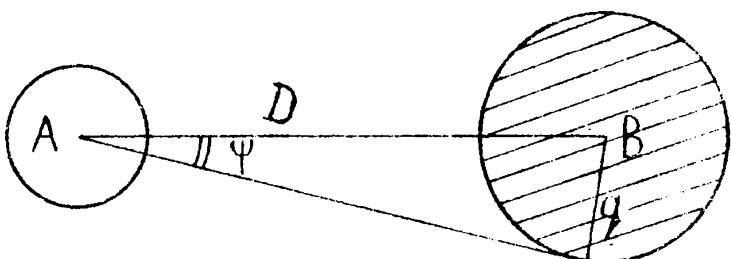


Рис.44. Ошибка наведения: ψ - угловая
 q - линейная. D - расстояние.

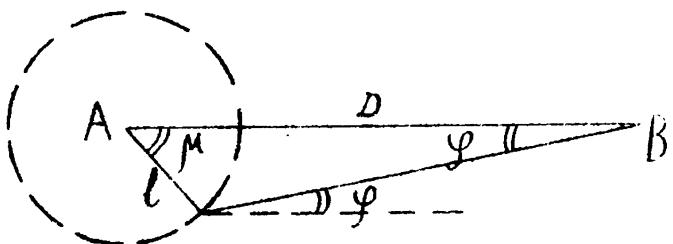


Рис.45. Ошибка центрирования:
 μ - угловое смещение центра,
 l - линейное смещение центра,
 φ - ошибка измеренного угла.
D - расстояние.

Г л а в а 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ

Существует несколько различных способов исполнения геодезических работ по определению плановых координат точек местности. Главные из них 1) полигонометрия (в том числе теодолитные ходы), 2) триангуляция, 3) трилатерация, 4) геодезические засечки.

1. ПРОКЛАДКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Задача состоит в получении координат (Х и Y) ряда точек местности, закрепленных в натуре. Назначение работы может быть различным, в том числе создание геодезической основы для последующей топографической съемки.

Последовательность работ: разбивка полигона, измерение длин сторон и измерение углов непосредственно в поле, увязка углов теодолитного хода и нахождение линейной невязки, подсчет невязки хода и относительной ошибки, вычисление координат точек хода и оформление результатов.

Ходы бывают двух типов: разомкнутые и замкнутые (рис.46).

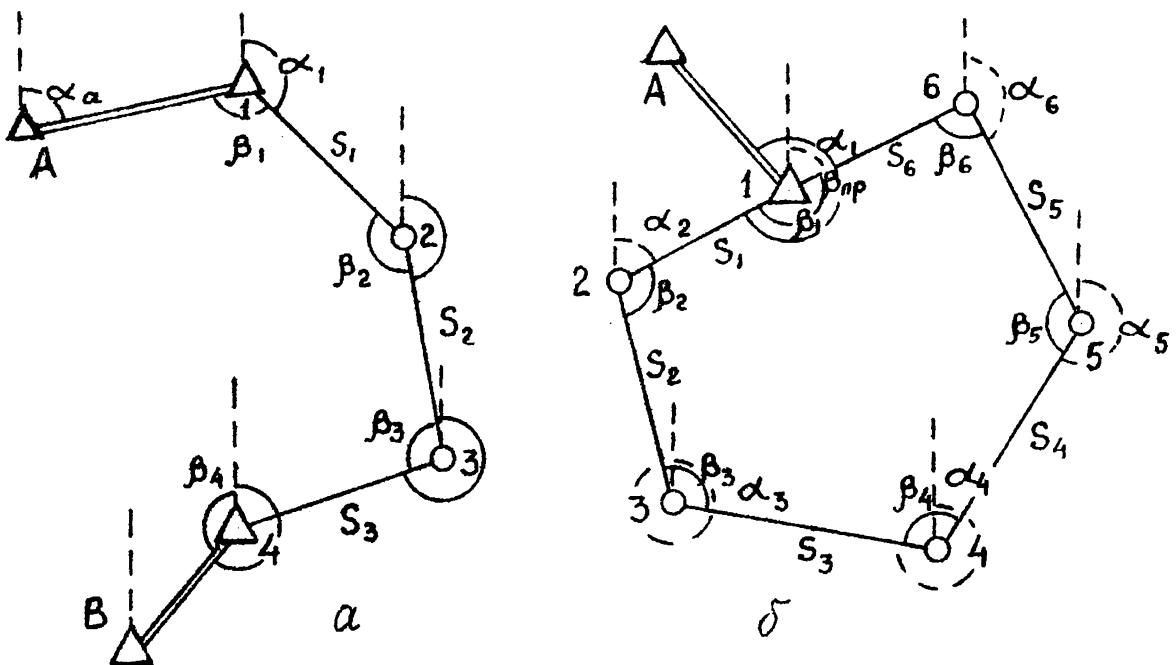


Рис.46. Разомкнутый (а) и замкнутый (б) ходы.

Ходы опираются на "твёрдые" стороны, имеющие координаты концов. Без этого невозможно получить положение точек в единой системе координат. Наиболее точными являются разомкнутые ходы, опирающи-

ется на две твердые стороны. Ходы опирающиеся на одну твердую сторону, называются "висячими". Такие ходы применяются редко из-за невозможности своевременного обнаружения ошибки в измерениях.

Полевые работы начинаются с разбивки полигона. На местности выбираются места для размещения точек хода, исходя как из возможности прокладки хода (видимости, отсутствия препятствий для измерения расстояний и пр.), так и учета дальнейшего использования пунктов, например, для съемки местности. Все точки закрепляются колышками и отмечаются "сторожками" во избежание потери.

Над каждой точкой в очередности хода устанавливается прибор на штативе. Теодолит нивелируется, центрируется с точностью до 1 см. Затем прибор визируется по направлениям на вехи установленные на точках (возможно ближе к земле во избежании ошибки в углах), производятся отсчеты по лимбу и вычисляются углы. Одновременно с этим или раньше измеряются расстояния между точками хода. Измерения длин сторон и углов делают дважды: линию туда и назад, угол двумя приемами. Результаты должны расходиться не более чем 4 см на 100 м хода для длин, и на 1,5 - для углов.

Углы могут измеряться либо правые, либо левые по ходу, но никак не вперемежку. В замкнутом ходе удобно измерять внутренние углы полигона. Порядок получения левых и правых углов показан на рис.47. Угол левый получается по правилу: "отсчет вперед минус отсчет назад" $\beta_L = 3 - 1$. Угол правый - "отсчет назад минус отсчет вперед" $\beta_{pr} = 1 - 3$. Особое внимание должно быть обращено на случаи, когда измеряемый угол близок к 180° и на глаз левый неотличим от правого.

Увязка углов теодолитного хода

a) Для замкнутого хода невязка получается по формуле

$$f_\beta = \sum \beta - 180^\circ (n - 2),$$

n - число углов или сторон многоугольника. Допустимая ошибка

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1,5 \sqrt{C_n} \pi.$$

b) Для разомкнутого хода увязка начинается с вычисления

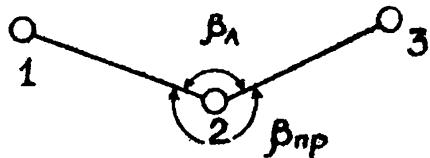


Рис. 47. Измерение правых и левых углов по ходу.

обратной геодезической задачи и получения дирекционных углов твердых сторон α_{a-1} и α_{4-5} (рис.46,а). Затем происходит передача дирекционных углов на все стороны хода, как это показано на рис.48.

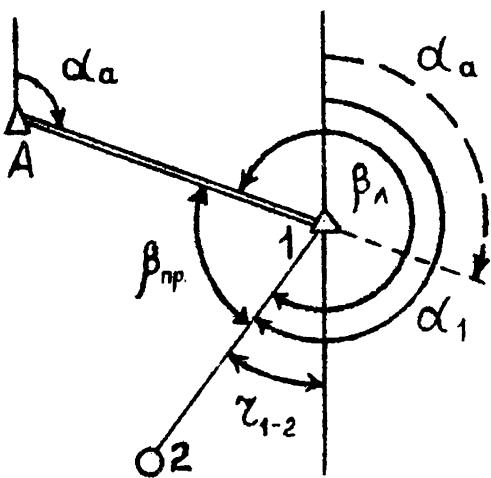


Рис.48. Передача дирекционного угла.

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{a-1} + \beta_{\text{пр}} - 180^\circ (\pm 360^\circ),$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{a-1} - \beta_{\text{пр}} + 180^\circ,$$

или удобнее записать так:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{a-1} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}},$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{a-1} - 180^\circ + \beta_{\text{пр}}.$$

Сложим все переходы от дирекционного угла первой "твёрдой" стороны до последней:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{a-1} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}},$$

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}},$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}},$$

$$\alpha_{4-5} = \alpha_{3-4} + 180^\circ - \beta_{\text{пр}},$$

$$\alpha_{4-5} = \alpha_{a-1} + 180^\circ n - \sum \beta_{\text{пр}}$$

Запишем этот результат иначе

$$\sum \beta_{\text{пр}} = (\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{конеч}}) + 180^\circ n.$$

Теперь получим формулы для вычисления невязок в углах:

для правых углов $f_\beta = \sum \beta_{\text{пр}} - 180^\circ n - (\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{конеч}})$,

для левых углов $f_\beta = \sum \beta_{\text{пр}} - 180^\circ n - (\alpha_{\text{конеч}} - \alpha_{\text{нач}})$.

Поправка вводится во все углы поровну со знаком противоположным знаку невязки.

Вычислим приращения координат по формулам

$$\Delta X = S \cos \alpha; \quad \Delta Y = S \sin \alpha.$$

Найдем линейную невязку теодолитного хода.

1) Для замкнутого хода $f_x = \sum \Delta X = 0, \quad f_y = \sum \Delta Y = 0$.

2) Для разомкнутого хода $f_x = \sum \Delta X - (X_{\text{конеч}} - X_{\text{нач}}) = 0, \quad f_y = \sum \Delta Y - (Y_{\text{конеч}} - Y_{\text{нач}}) = 0$.

$$f_x = (-f_y S)/P, \quad f_y = (-f_x S)/P, \quad P = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n.$$

Если невязка не равна нулю, что практически получается всегда, то она с обратным знаком разбрасывается во все приращения координат пропорционально длинам сторон S :

$$v_x = (-f_x S)/P, \quad v_y = (-f_y S)/P, \quad P = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n.$$

Абсолютная невязка теодолитного хода вычисляется по формуле

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2}.$$

Относительная невязка хода получается из отношения

$$f_s/P = 1/(P/f_s) = 1/N.$$

Она задается в пределах от 1/1000 до 1/2000.

Работа с теодолитным ходом завершается оформлением результатов: составляется каталог координат всех точек хода, по координатам точек хода составляется масштабированная схема с вычерченной сеткой. На ней выписываются все данные хода.

2. ТРИАНГУЛЯЦИЯ И ТРИЛАТЕРАЦИЯ

Сущность метода *триангуляции* заключается в том, что на местности строится ряд примерно равносторонних треугольников, имеющих между собой последовательно одну смежную сторону. Ряд из нескольких треугольников образует звено, на концах которого измеряются длины сторон. Если измеряются непосредственно длины внешних сторон крайних треугольников, что бывает при малых длинах сторон, то эти стороны называются базисными (рис.49, сторона IG) или, попросту, базисами. Если же из-за большой длины стороны измерить ее невозможно, ее измеряют опосредованно, строя так называемую базисную сеть, сама же сторона называется выходной (рис.49, выходная сторона AB, базис ab).

Внутри треугольников измеряются углы с необходимой точностью. Контроль и уравнивание углов производят из сравнения полученной суммы углов с теоретической, равной 180°.

Начиная с выходной или базисной стороны, последовательно в каждом треугольнике длины двух других сторон определяют по теореме синусов:

$$BC = AB \sin \alpha / \sin \gamma, AC = AB \sin \beta / \sin \gamma.$$

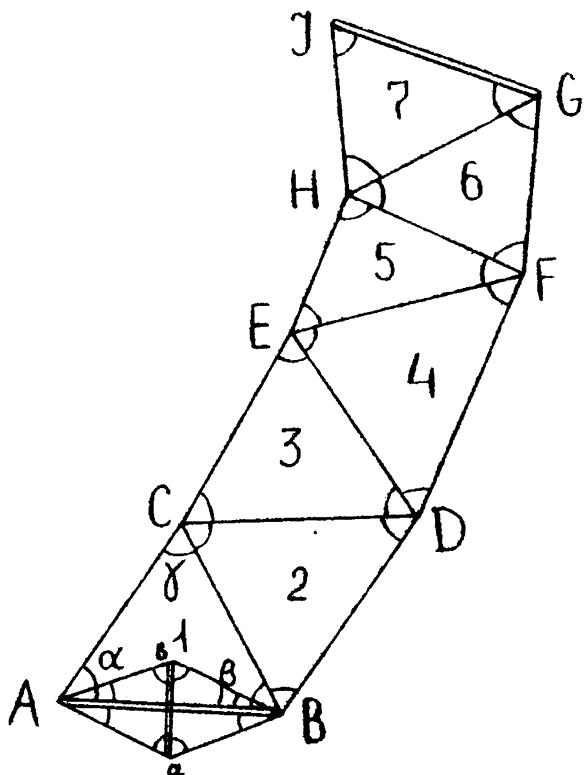


Рис.49. Триангуляция.

Переданная от стороны АВ к стороне IG ее вычисленная длина сравнивается с результатом прямых или опосредованных измерений. Это позволяет ввести необходимые поправки и уравнять положение всех углов треугольников, составляющих сеть пунктов триангуляции, закрепленных в натуре более или менее капитально.

Изобретение электронных дальномеров позволило использовать также метод линейной триангуляции - *трилатерацию*, когда вместо углов в треугольниках измеряются длины всех сторон.

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАСЕЧКИ

В прямой угловой засечке даны три точки с известными координатами: $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$. Непосредственно в поле измеряются

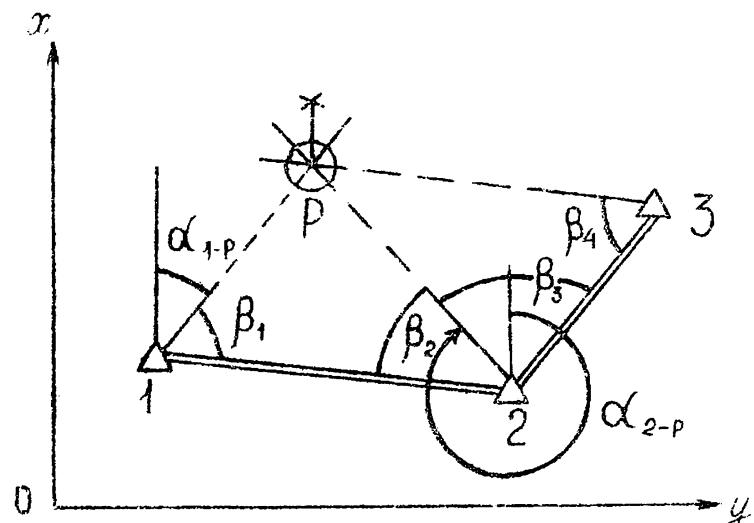


Рис.50. Прямая угловая засечка.

углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, и β_4 . Следует найти координаты точки Р(X_p и Y_p) (рис.50).

Засечка может быть сделана с двух точек, но результат окажется бесконтрольным. Чтобы избежать этого, засечки делаются с трех точек. Задача решается графическими построениями или аналитическими расчетами.

Для *графического решения* на планшете

строится координатная сетка в избранном масштабе. По координатам наносятся точки стояния 1, 2 и 3. Затем откладывают измеренные в поле углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Результат считается достоверным, если все три направления пересеклись в одной точке или был получен “треугольник погрешности” допустимой величины; вероятнейшее положение искомой точки относят к середине треугольника (центру тяжести).

Аналитическое решение задачи делается для каждой пары засе-

чек отдельно и сравниваются результаты. Существует много способов решения задачи с различными конечными формулами. Нами приводится одно из наиболее простых решений, которое проделывается в такой последовательности.

Вычисляется обратной геодезической задачей

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1).$$

Получаются дирекционные углы с точек 1 и 2 на точку Р

$$\alpha_{1-p} = \alpha_{1-2} - \beta_1,$$

$$\alpha_{2-p} = \alpha_{2-1} + \beta_2.$$

Для этих же углов можно записать

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-p} = (Y_p - Y_1) / (X_p - X_1),$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{2-p} = (Y_p - Y_2) / (X_p - X_2).$$

Решив эту систему уравнений относительно координат точки Р(X_p, Y_p), получим

$$X_p = X_1 + \frac{(Y_2 - Y_1) - (X_2 - X_1) \operatorname{tg} \alpha_{2-p}}{\operatorname{tg} \alpha_{1-p} - \operatorname{tg} \alpha_{2-p}},$$

$$Y_p = Y_1 + \frac{(X_2 - X_1) - (Y_2 - Y_1) \operatorname{ctg} \alpha_{2-p}}{\operatorname{ctg} \alpha_{1-p} - \operatorname{ctg} \alpha_{2-p}}.$$

Для контроля такая же задача решается еще раз с треугольником 2, 3, Р.

Обратная угловая засечка известна в геодезии под названием "задачи Потенота". Определение положения точки на планшете в системе прямоугольных координат сводится к следующему. Если на местности имеются три опорные пункта 1, 2 и 3 с известными координатами, то положение четвертой точки Р можно определить по измеренным в поле углам β_{1-2} и β_{2-3} между тремя направлениями с точки Р на точки 1, 2, 3.

С изменением взаимного положения всех четырех точек углы засечек будут меняться, т.е. в каждом конкретном случае положение искомой точки Р однозначно определяется углами β_{1-2} и β_{2-3} . С геометрической точки зрения положение точки Р определится в пересечении двух сегментов, построенных на хордах 1-2 и 2-3. Задача заключается в нахождении радиусов окружностей, образующих эти хорды (рис.51).

При мензульной и комбинированной съемках применяется другой способ нахождения точки Р. Соединив точки 1, 2, 3 прямыми линиями, получим треугольник. На планшете проекции этих точек образуют

треугольник подобный треугольнику 1,2,3. Если в определяемой точке Р планшет правильно ориентирован, то точка Р графически получается в пересечении трех направлений 1-Р, 2-Р и 3-Р. Однако существует

достаточно трудоемкая технология нахождения положения точки Р на мензульном планшете таким образом. На самом деле существует множество способов графического и аналитического решения задачи Потенота. Их выбор зависит от того, как взаимно расположены на планшете точки 1,2,3 и Р. При удобном положении пунктов достаточно

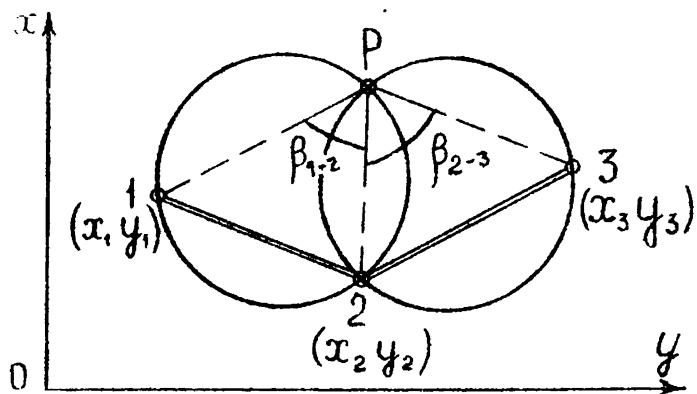


Рис.51. Графическое решение задачи Потенота.

простым и надежным способом решения задачи Потенота. Он заключается в том, что на кальке от произвольно обозначенной точки прочерчиваются три направления под углами засечек. Затем калька совмещается с планшетом так, чтобы эти направления одновременно проходили через точки 1,2,3. Затем однозначно определяется положение точки Р.

Прямая линейная засечка заключается в нахождении положения точки Р на планшете и вычислении ее координат по трем расстояниям до нее от твердых точек 1,2 и 3 имеющих координаты: $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3$.

Непосредственно в поле измерены расстояния d_1, d_2, d_3 (рис.52). Задача решается или графически, или аналитически.

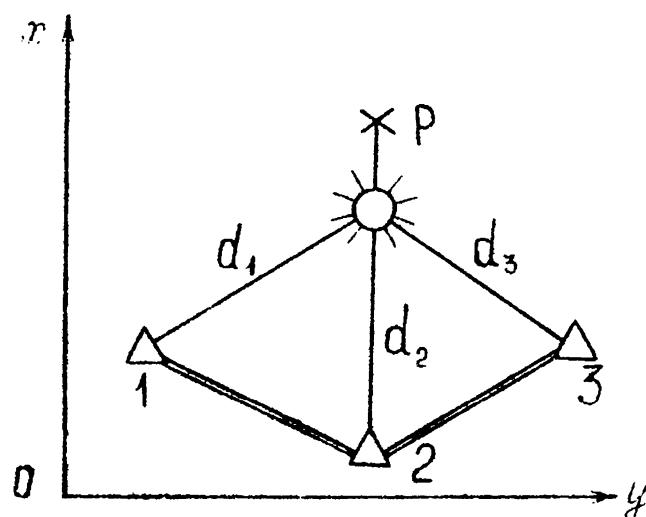


Рис.52. Прямая линейная засечка.

Графическое решение задачи заключается в том, что на планшете с координатной сеткой наносятся по известным координатам точки 1,2,3. Из них радиусами, равными соответственно d_1, d_2, d_3 , делаются засечки в месте их пересечения. Засечка может быть сделана из двух пунктов, но для контроля берутся три направления. Если засечки пересеклись в одной точке, можно полагать, что положение точки Р найдено практически без ошибки. Если же возник треугольник погрешности, считается, что вероятнейшее положение искомой точки в центре треугольника.

Аналитическое решение требует совместного решения двух уравнений:

$$(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2 = d_1^2,$$
$$(X_2 - X_p)^2 + (Y_2 - Y_p)^2 = d_2^2.$$

Обратная линейная засечка решается так же, как прямая. Однако есть и существенное различие в полевых работах. При прямой засечке точка Р может быть просто недоступной для геодезистов, тогда как при обратной засечке недоступными могут быть точки 1,2 и 3.

4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ

Линейные и угловые пространственные засечки, как способ определения положения в различных вариантах и с применением разнообразной и совершенной техники и технологии во все большей степени используется в геодезии, навигации и для других практических нужд, например, поиска потерпевших крушение или попавших в бедственное положение судов, самолетов - системы "СОС" и "Поиск".

В свое время были развиты системы "Лоран-С" и "Омега" специально навигационные с дальностью действия до 15 000 км, дававшие возможность определять положение точки с погрешностью 2-3 км. Затем была создана система "Транзит" (США) с использованием навигационных спутников Земли, выведенных на орбиту на высоте 1000 км. В этой системе абсолютная ошибка определения положения составляла уже 50-70 м.

Сейчас действует и совершенствуется отечественная навигационная система ГЛОНАСС, включающая в себя 14 специализированных

ИСЗ. Кроме того создана глобальная позиционная система GPS (США) как универсальная навигационная и геодезическая система НГС. Точность взаимного определения смежных пунктов, которую она обеспечивает составляет несколько миллиметров. При этом она позволяет определять высоты относительно эллипсоида с высокой точностью. В систему NAVSTAR GPS входит 22 специализированных ИСЗ.

Глава 8. НИВЕЛИРОВАНИЕ

1. ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Нивелированием называется совокупность полевых геодезических работ с целью получения высот или превышений точек местности.

Определим некоторые понятия и введем обозначения (рис.53).

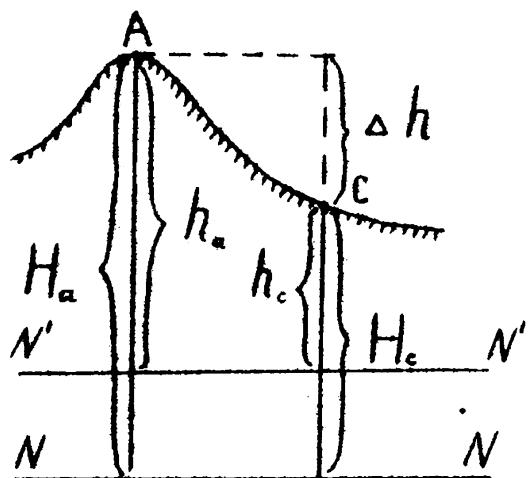


Рис.53. Определение высот абсолютных, условных и превышений.

H - *абсолютная высота точки* - расстояние (H_a) по отвесной линии от точки местности А до уровенной поверхности NN' , избранной за начальную. У нас в стране началом отсчета высот принят средний многолетний уровень Балтийского моря, отмеченный на Кронштадском футштоке - металлической балке со шкалой, укрепленной на устоях каменного моста. Это - так называемая Балтийская система высот.

h_a - *условная или относительная высота точки А*, измеренная относительно некоторой условно выбранной, частной уровенной поверхности $N'N'$; **Δh** - *превышение* - разность высот двух точек.

Все высоты и превышения могут иметь знак "плюс" или "минус". Строго говоря, уровенной поверхностью, относительно которой определяются высоты, должна быть поверхностью геоида. Если выбирается квазигеоид, то высоты называются *нормальными*.

Между квазигеоидом и поверхностью эллипсоида существует расхождение - аномалия высот, составляющая, например, для Индийского океана 113 м, в Саргассовом море - 50 м.

Нивелирование производится разными способами и высоты определяются с различной точностью. Существуют три основных разновидности методов измерения высот, дающих результат соответственно с миллиметровой, сантиметровой и метровой точностью. Это - геометрическое, тригонометрическое (геодезическое), физическое нивелирование (барометрическое, механическое, аэродионивелирование и др.).

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Принцип геометрического нивелирования очевиден из рис.54. Если мы воссоздадим горизонтальную линию или луч, то сможем измерить отрезки a и b с помощью, например, специальной рейки и, следовательно, вычислить превышение Δh .

Реализуется этот принцип с помощью прибора - нивелира, снабженного оптической трубой, визирной оси которой с помощью уровня придается горизонтальное положение. В точке А устанавливается нивелир, на точке В - рейка с делениями. Измерив высоту прибора i и взяв отсчет по рейке b , можем получить превышение Δh . Зная абсолютную высоту (отметку) точки А, можно получить также абсолютную отметку точки В, как это показано на рис.55,а. Возникает важный вопрос, как определяется знак превышения? Исходя из заданного направления нивелирного хода, превышение и его знак вычисляют по правилу: *задний отсчет минус передний отсчет*. В нашем примере $(i)a - b = +\Delta h$, откуда $H_B = H_A + \Delta h$.

Поскольку придать визирному лучу прибора идеально горизонтальное положение практически не удается и остается, пусть не-

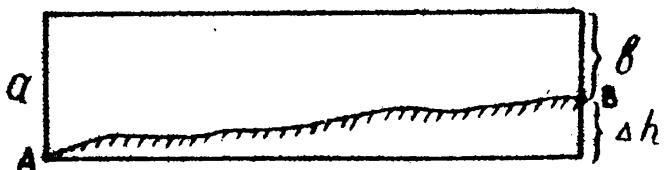


Рис.54. Принцип геометрического нивелирования.

большая, но все же ошибка, нивелирование производят обычно не из конца линии, а из середины, как это показано на рис.55,б. Тогда

ошибка x при вычислениях компенсируется. В нашем примере

$$\begin{aligned} \Delta h &= a' - b' = \\ (a+x) - (b+x) &= \\ a + x - b - x &= a - b . \end{aligned}$$

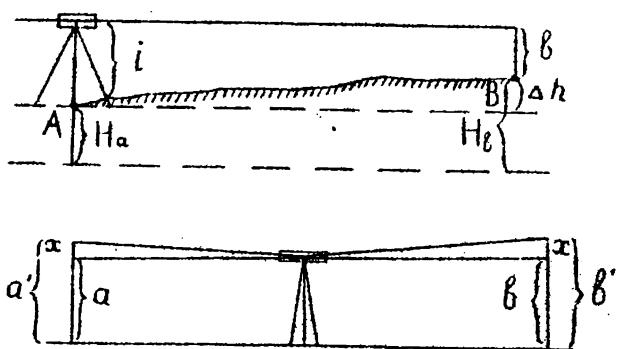


Рис.55. Нивелирование из конца линии (а) и из середины (б).

3. ТИПЫ И УСТРОЙСТВО НИВЕЛИРОВ

Нивелир - геодезический прибор со зрителльной трубой, визирная ось которого служит для воспроизведения горизонтальной линии. Для этой цели нивелиры снабжены уровнями и другими устройствами для достижения горизонтальности оптической оси. Оптические нивелиры бывают двух типов: *нивелиры с уровнем* и *нивелиры авторедукционные*, с *самоустанавливающейся линией визирования* (с компенсатором).

Нивелиры с уровнем - это, как правило, так называемые "глухие" нивелиры, у которых труба закреплена на приборе. (Ранее выпускались также нивелиры с перекладной трубой.) Из "глухих" нивелиров для технического нивелирования применяются уровневые нивелиры НВ-1 и более новый Н-3; из нивелиров с компенсатором наиболее распространены Н-3К и Н-10КЛ (К - с компенсатором, Л - нивелир снабжен горизонтальным лимбом для фиксации поворотов хода). Нивелиры также различаются по точности, что указывается в их марке. Например, у нивелиров Н-05, Н-3, Н-10 гарантированная погрешность нивелирования на 1 км хода составляет соответственно 0,5 мм, 3 мм, 10 мм.

Рассмотрим устройство глухого нивелира Н-3 (рис.56). Здесь 1 - зрителльная труба, 2 - объектив трубы, 3 - окуляр, 4 - коробка, в которой размещен цилиндрический уровень, 5 - винт фокуси-

ровки трубы, 6 - головка элевационного винта, 7 - закрепительный винт трубы, 8 - винт наводящего устройства трубы, 9 - круглый уровень для предварительной установки нивелира, 10 - подставка нивелира, 11 - три подъемных винта подставки, 12 - станиновой винт для закрепления нивелира на штативе, 13 - крышка на окуляре, за которой установлена сетка нитей, 14 - штатив.

В поле зрения трубы нивелира помимо сетки нитей введено изображение двух половинок концов цилиндрического уровня, которые в момент взятия отсчета по рейкам должны быть совмещены (рис.57).

Устройство компенсаторного нивелира Н-10КЛ показано на рис.58: 1 - пружина трегера, 2 - подъемные винты подставки, 3 - подставка, 4 - лимб и индекс для отсчета, 5 - объектив зрительной трубы, 6 - окуляр, 7 - уровень круглый, 8 - крышка - зеркало уровня.

Оптическая система нивелира с компенсатором типа Н-10КЛ представляет собой "ломаную" зрительную трубу, состоящую из объектива, нескольких призм и окуляра с сеткой нитей (рис.58). Оптический компенсатор подвешен в виде маятника. Его назначение устанавливать линию визирования в горизонтальное положение в пределах отклонения ее горизонтального положения $\pm 20'$. Поэтому для приведения нивелира в начальное вертикальное положение достаточно круглого установочного уровня. Увеличение трубы нивелира Н-10КЛ 21,5^x, изображение прямое (рис.59).

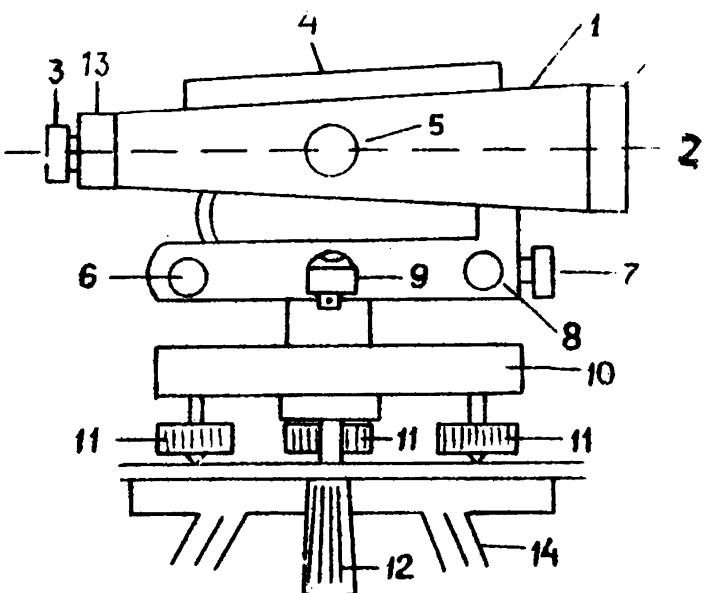


Рис.56. Схема устройства глухого нивелира Н-3.

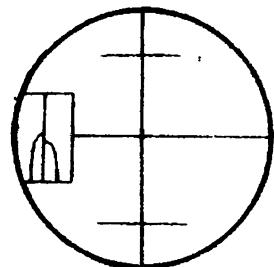


Рис.57. Сетка нитей нивелира и изображение концов уровня.

В комплект любого нивелира входят также две рейки и металлические "башмаки" или костыли.

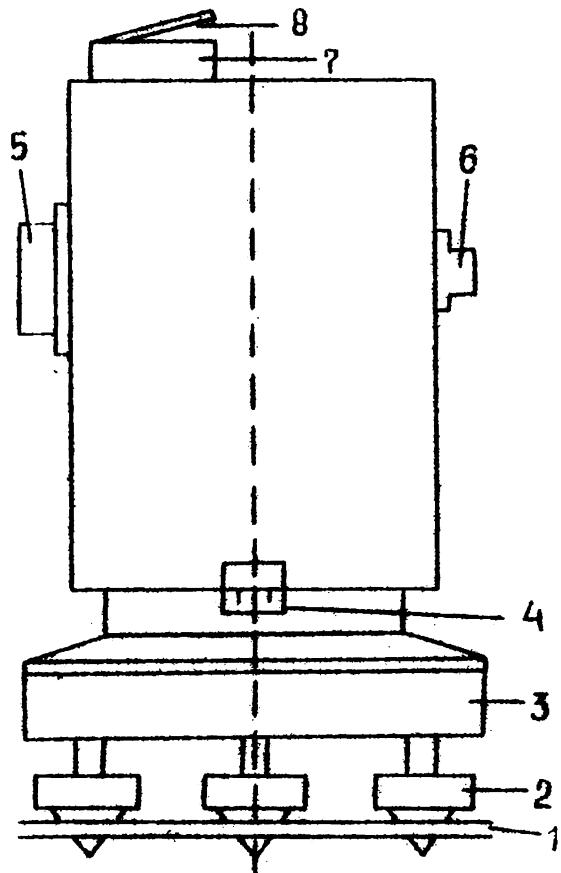


Рис.58. Нивелир Н-10КЛ.

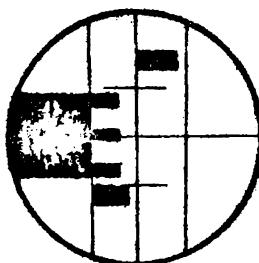


Рис. 59. Вид в поле зрения нивелира Н-10КЛ, (видна рейка).

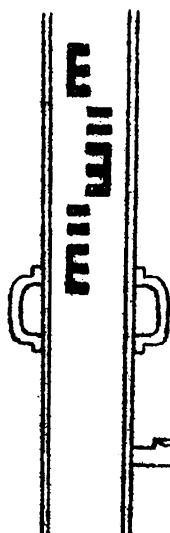


Рис.60. Нивелирная рейка.

Для технического нивелирования используются деревянные двухсторонние рейки, на которых с каждой стороны нанесены деления через 1 см (рис.60). Одна сторона - красная, другая - черная.

Деления черной стороны начинаются с нуля, деления красной стороны начинаются с произвольного отсчета, чаще близкому к 4684 или 4784. Правильность нанесения делений на рейках проверяется специальной металлической контрольной линейкой, точная длина которой известна.

Костыли и башмаки используются для того, чтобы рейки на пикетах стояли устойчиво, не сдвигаясь ни в плане, ни по высоте. Костыли забивают, а башмаки устанавливают на грунте, иногда предварительно сняв дерн. При техническом нивелировании их нередко заменяют просто деревянными колышками, которыми отмечают пикеты и

по которым ведется нивелирование.

Технические нивелиры Н-3Л и Н-10КЛ имеют лимб, с помощью которого измеряется угол поворота хода. Основные геометрические оси глухого нивелира: VV' - ось вращения нивелира, LL' - ось цилиндрического уровня, KK' - визирная ось трубы, $V'V''$ - ось круглого уровня (рис.61).

В рабочем состоянии нивелир должен отвечать следующим требованиям.

- 1) Ось вращения прибора должна быть отвесной.
- 2) Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси прибора ($LL' \parallel KK'$). Это главное условие в нивелире.
- 3) Ось вращения нивелира и ось круглого уровня должны быть параллельны ($V'V'' \parallel VV'$).

Выполнение этих условий устанавливается путем поверок.

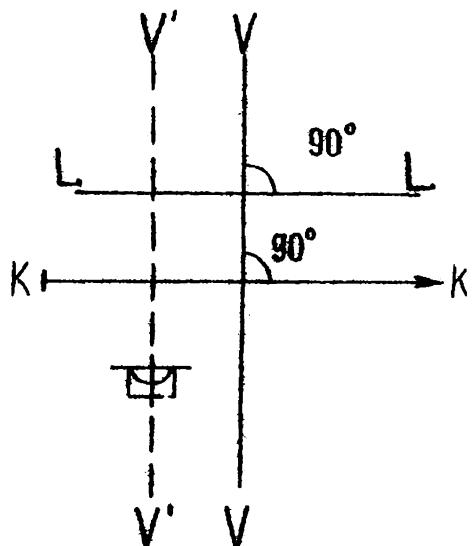


Рис.61. Геометрические оси глухого нивелира.

4. ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ

1) *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора.* Проверка делается в таком порядке. В позиции 1 ставим уровень так, чтобы его исправительные винты и подъемные винты подставки заняли положение, указанное на рис. 62,а. Вращая винты А и В в разные стороны, перемещаем пузырек на ось Сс, а затем вращением подъемного винта С загоняем пузырек к центру уровня.

В позиции 2 разворачиваем нивелир на 180° . При этом исправительные винты уровня и подъемные винты подставки изменят взаимное положение. Если требуемое условие не соблюдается, пузырек уровня сместится к краю. Вращением подъемных винтов и исправительных винтов сместим пузырек на середину, как это показано на рис. 62,б. при этом половину смещения, как было указано в проверках теодоли-

та, устранием исправительными винтами, половину подъемными.

Проверку можно выполнить и иначе при наличии цилиндрического

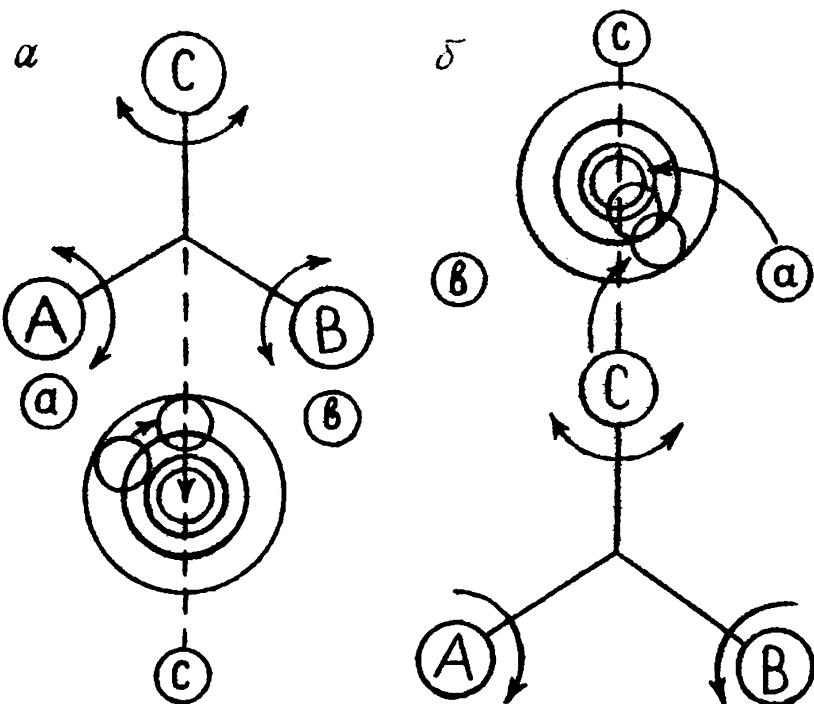


Рис. 62. Проверка и исправление круглого уровня.

уровня. После поверки цилиндрического уровня нивелир горизонтируют по нему, после чего юстировочными винтами круглого уровня выводят его пузырек на середину.

2) *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира.* Нивелир устанавливают в рабочее положение и наводят трубу на неподвижно установленную рейку на расстоянии 25-30 м. Закрепляют трубу и наводящим винтом перемещают изображение рейки в поле зрения трубы от одного края к другому. На краях поля зрения отсчет не должен изменяться более чем на 1 мм. В противном случае исправительные винты сетки нитей открепляют и поворачивают оправу так, чтобы нить заняла нужное положение.

3) *Ось цилиндрического уровня и визирная ось трубы должны быть параллельны.* Проверка осуществляется двойным нивелированием вдоль одной линии. Однако существует несколько способов исполнения проверки.

Способ 1. Нивелир устанавливается в створе линии АВ длиной 70-100 м, на концах которой установлены рейки. Окуляр нивелира центрируют над колышком плотную к рейке (рис.63). Горизонтируют нивелир и измеряют его высоту над колышком до визирной оси с пог-

решностью не более 1 мм и берут отсчет по рейке, установленной в точке В. Сделав отсчеты, меняют местами нивелир и рейку и выпол-

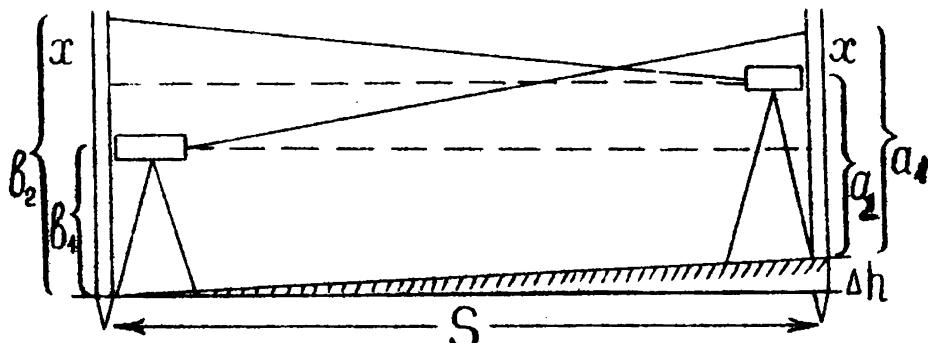


Рис.63. Первый способ поверки нивелира.

няют те же операции в точке В, получают высоту прибора и отсчет по рейке. Превышение Δh , свободное от предполагаемой погрешности x , в каждом случае нивелирования можно определить соответственно по формулам $\Delta h = b_1 + x - a_1$; $\Delta h = b_2 - a_2 - x$; $\Delta h = (b_1 - a_2)/2 - (a_1 - b_2)/2$. Значение погрешности $x = (a_1 + b_2)/2 - (a_2 + b_1)/2$.

Если значение x более 4 мм, выполняют юстировку нивелира, не нарушая его установки в точке В. Вычисляют отсчет $b = b_2 - x$ и устанавливают на него горизонтальную нить сетки нитей элевационным винтом, а затем исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображения концов пузырька уровня в поле зрения трубы.

Способ 2 заключается в том, что нивелирование из середины линии сочетают с нивелированием "вперед", т.е. однажды устанавливают нивелир вместо рейки, как в первом способе. Это позволяет в первой позиции получить превышение без ошибки x , а во второй вся ошибка войдет в определенное превышение. Отсюда возможно определение ошибки и введение поправки после вычисления правильного отсчета в последней позиции.

Перечисленные способы вызывают некоторое затруднение из-за неудобства измерения высоты прибора над точкой. Этого неудобства лишен следующий способ.

Способ 3 - это нивелирование с разными плечами, т.е. с разными расстояниями от нивелира до реек. В первой позиции нивелир устанавливается в середине линии достаточно точно. На концах линии АВ устанавливаются рейки. Прибор горизонтируют и берут отсчеты a_1 и b_1 , которые в одинаковой степени искажены погрешностью x , и тогда точное превышение $\Delta h = a_1 - b_1$ (рис.64). Затем нивелир устанавливается за (или перед) одной из реек на расстоянии 2-3 м

от нее. Прибор горизонтируют и берут отсчеты по рейкам: по ближней b_2 и дальней a_2 . Погрешность x почти полностью входит в

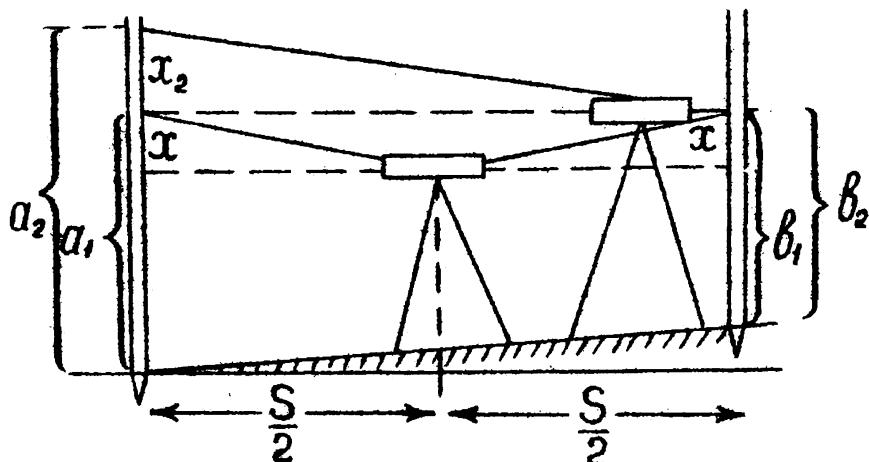


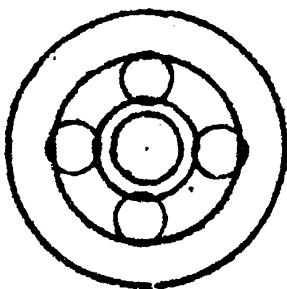
Рис. 64. Третий способ поверки нивелира.

отчет a_2 , тогда как отчет b_2 почти полностью без погрешности, поэтому при расхождении предвычисленного отсчета по дальней рейке $a = b_2 - dh$ от фактического a_2 более чем на 4 мм, выполняют юстировку нивелира так же как и в способе I.

Поверки нивелира с компенсатором не отличаются от поверок нивелира с уровнем. Юстировка же при поверке главного условия выполняется путем перемещения сетки нитей на предвычисленный (правильный) отсчет по рейке с учетом особенностей крепления сетки в окулярной части трубы.

С помощью специальной поверки устанавливается исправность компенсатора. Нивелир устанавливают в рабочее положение по круглому уровню и производят отсчет по рейке, отстоящей от прибора на расстоянии 30-40 м. Затем вращением подъемного винта, расположенного по направлению линии визирования, перемещают пузырек уровня в разных направлениях в пределах окружности, нанесенной на ампуле (рис.65). Аналогичные перемещения пузырька производят одним из боковых винтов в поперечном направлении. Если при этом отсчет по рейке будет изменяться в пределах не более 2-х мм, нивелир исправен. В противном случае он нуждается в заводской юстировке.

Рис.65. Перемещение пузырька уровня при поверке компенсатора.



5. ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Конечная цель нивелирования может быть различной:

- получение абсолютных или условных высот отдельных точек или превышений между ними. Например, отметок скважин, горизонтов в разрезах и обнажениях, уровня вод и др.;
- получение профилей местности, необходимых при ландшафтных, геоморфологических, геоботанических, геоэкологических и других исследованиях;
- получение общей картины рельефа земной поверхности и ее динамики на больших или малых площадях, например, при мелиоративных, геологических и геоморфологических исследованиях и, наконец, топографических съемок и картографирования.

Эти задачи решаются в зависимости от объема и точности работ, на основе государственной высотной сети, специальных сетей и способами не столь высокоточного технического нивелирования.

Техническое нивелирование, имеющее целью, в частности, получить профиль местности, проделывается в виде ходов, которые могут быть замкнутыми, опирающимися на два репера. Расстояние между отдельными точками (пикетами), высоты которых предстоит получить в ходе нивелирования, берется равным 100 м по горизонтальному проложению.

Следует обратить внимание на специальные нивелирные термины. Репером называется нивелирный знак, закрепленный на местности и имеющий высотную отметку. Реперы бывают стенные, скальные и грунтовые. Они бывают также постоянными и временными. Точки нивелирного хода, высоты которых определяются в процессе прокладки профиля, являются временными. Они называются пикетами и отмечаются буквами П или ПК.

Работа в поле

Полевые работы начинаются с разбивки хода. Вдоль трассы хода откладываются стороны по 100 м, концы их закрепляются пикетами, которые нумеруются по порядку. Если профиль вычерчивать не предполагается и требуется только передать высотную отметку от одного репера к другому, то нивелирование можно проделывать по башмакам

или костылям, не закрепляя точки на местности, а расстояния между точками дозволяется увеличивать до 150 м.

Работа на нивелирной станции

1) Нивелир устанавливается между пикетами на равном расстоянии от них; систематический отход (даже небольшой) от середины линии может привести к накоплению ошибки в результатах работы.

2) Нивелир устанавливаетсяочно на грунте, как и колышки на точках, во избежание оседания нивелирного штатива, плохо забитых колышков или башмаков в процессе работы.

3) Реечники устанавливают рейки на колышках пикетов и поддерживают их во время работы в вертикальном положении. Этому помогают уровни, закрепленные на рейках. Удобно также пользоваться приемом покачивания рейки в плоскости наблюдения. Нивелировщик при этом фиксирует наименьший отсчет, который и будет соответствовать вертикальному положению рейки.

4) Порядок взятия отсчетов такой: назад по черной стороне рейки, вперед по черной стороне, вперед по красной стороне, и назад по красной стороне рейки. Такой порядок необходим, чтобы своевременно установить изменения в пространстве прибора и реек, если это произойдет. По этой же причине не рекомендуется работать при большом ветре.

5) При отсчете по рейке следует внимательно отсчитывать сантиметры, дециметры и, особенно, миллиметры, которые берутся на глаз. В момент отсчета концы пузырька уровня в поле зрения трубы должны быть совмещены с помощью элевационного винта.

В летнее время при большом нагреве прибора солнцем возникает, во-первых, большая подвижность пузырька цилиндрического уровня, и, во-вторых, сам пузырек значительно увеличивается, что мешает работе. Пузырек можно уменьшить, для этого в глухих нивелирах есть специальная камера, куда можно загнать часть пузырька.

6) Запись наблюдений делается в специальном журнале. При этом категорически запрещается вырывать листы, стирать резинкой написанное, исправлять цифру по цифре, переписывать начисто, вести черновые записи. Записи вести только простым карандашом подходящей твердости. Ошибочно записанное зачеркивать одной чертой, чтобы можно было прочитать написанное, которое может оказаться верным. Писать ясными буквами и цифрами и не забывать

обозначать знаки плюс и минус, где они должны быть.

7) После окончания наблюдений тут же подсчитывается так называемая "разность" пяток, т.е. разность отсчетов по красной и черной стороне рейки на один пикет: она должна быть постоянной и равной начальному отсчету на конце красной стороны рейки. Другой способ проверки результатов - по расхождению вычисленных по красным и черным сторонам реек превышений. Расхождения в обоих случаях не должны превышать 5 мм. В противном случае работу надо повторить, заново установив нивелир.

8) По окончании работы на станции нивелировщик переходит на следующую, передний реечник остается на месте, а задний, обогнав его, переходит вперед. Это делается для того, чтобы не накапливалась ошибка из-за некоторой неточности в начальных отсчетах на концах двух реек.

Уравнивание нивелирного хода

Как видно из рис.66, для разомкнутого хода должно иметь место равенство $\sum \Delta h = H_B - H_A$. Для замкнутого хода $\sum \Delta h = 0$. На самом деле будет обра- зовываться ошибка: для замкнутого хода $f_{\Delta h} = \sum \Delta h$; для разомкнутого хода $f_{\Delta h} = \sum \Delta h - (H_B - H_A)$.

Допустимая ошибка тем меньше, чем выше класс и, следовательно, установленная точность нивелирных работ. Для случая технического нивелирования допускается ошибка $f_{\Delta h} = 50\sqrt{L}$; L - длина хода.

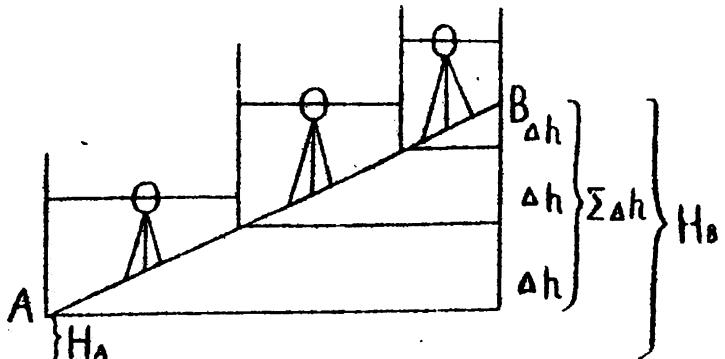


Рис. 66. Уравнивание нивелирного хода.

Специальные случаи нивелирования

Если нивелирование ведется по достаточно крутому склону и общее превышение между двумя пикетами таково, что нивелирование становится невозможным из-за отсутствия видимости рейки в визирную трубу, то стандартный 100-метровый отрезок между пикетами разбивается рядом "иксовых" точек между которыми нивелирование

проделывается по тем же правилам, как между пикетами. При обработке хода следует помнить, что "иксовые" точки, как и пикетные, являются связующими, т.е. общими для двух смежных станций. Если расстояние между иксовыми точками слишком мало, что затрудняет наведение на резкость изображения рейки в трубе, то нивелир выносится поочередно вправо и влево от хода, как это показано на рис.67.

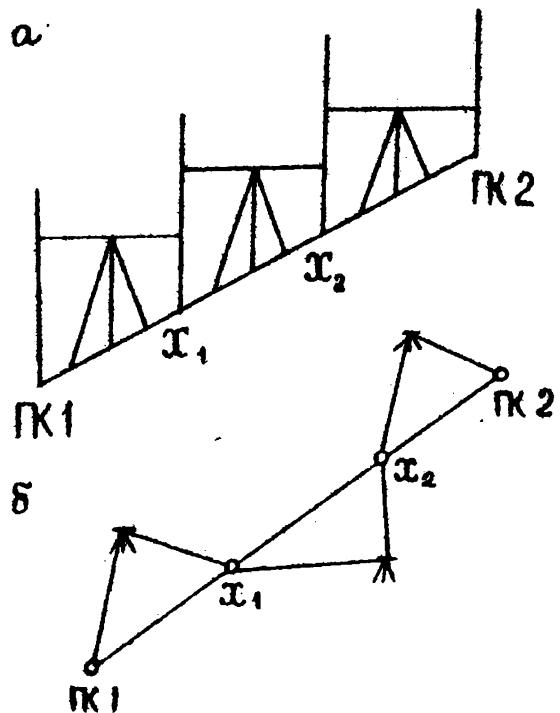


Рис.67. Нивелирование крутого склона: а - профиль, б - план.

Если между пикетами на местности есть формы рельефа, которые следует потом отметить на профиле, то в поле берут отсчеты на так называемые "плюсовые" точки. По окончании основных наблюдений и контроля работы на станции, задний реекник, отправляясь вперед, попутно встает (без колышков) на одной-двух характерных точках рельефа, и по рейке (только черной стороне) берется отсчет. Эти точки обозначаются знаком "+" и количеством метров, считая от младшего (заднего) пикета (рис.68).

Плюсовые точки не являются связующими, и при уравнивании хода они не принимаются во внимание. Их высоты вычисляются дополнительно, когда получены уравнен-

ные высоты пикетов и "иксовых" точек. Первоначально вычисляется "горизонт прибора", т.е. абсолютная отметка луча визирования, для этого к абсолютной отметке заднего пикета прибавляется отсчет по черной стороне рейки: $\Gamma_n = H_{pk1} + b$. Затем из горизонта приборачитываются по очереди отсчеты на плюсовые точки и получают их отметки: $\Gamma_p - C = H_{pk1+30}$, $\Gamma_p - D = H_{pk1+75}$.

Особой задачей является нивелирование через препятствие, чаще всего - это реки. Известны два способа. Первый заключается в том, что у самого уреза воды выкалываются ямки с двух сторон реки. Они заполняются просачивающейся речной водой и уровень воды в

них устанавливается, как можно полагать, единый (рис.69,а). Тогда при одновременном нивелировании по рейкам, установленным по урезу воды в лунках, можно перебросить отметку с берега на берег. Впрочем, на крутых поворотах реки, с мощным течением отметка уреза воды левого и правого берегов может не быть одинаковой.

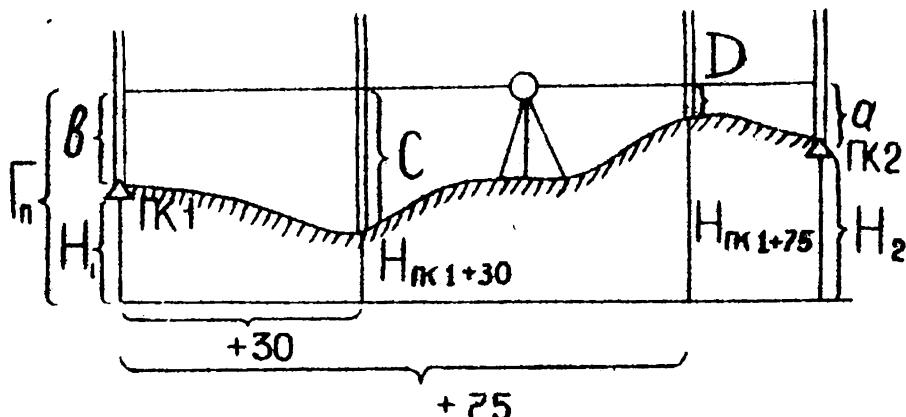


Рис. 68. Вычисление горизонта прибора и высот плюсовых точек.

Другой способ, как это видно на рис.69,б, заключается в двойном нивелировании пикетов, установленных на противоположных берегах.

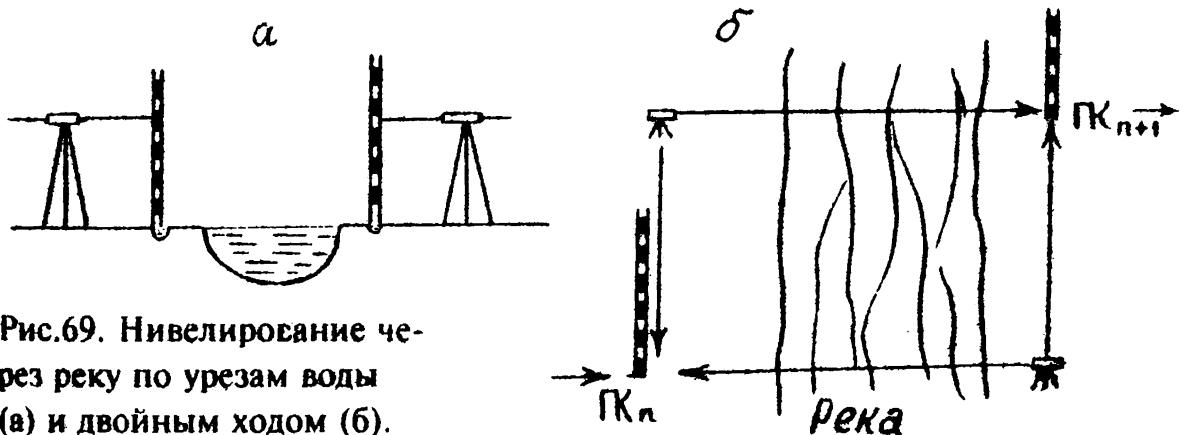


Рис.69. Нивелирование через реку по урезам воды (а) и двойным ходом (б).

6. ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

6.1. *Принцип тригонометрического нивелирования* (называемого также геодезическим) ясен из рис.70. Измерив расстояние D между точками А и В, а также угол наклона ψ , можно вычислить превышение $\Delta h = D \operatorname{tg} \psi$.

На самом деле, формула тригонометрического нивелирования по-

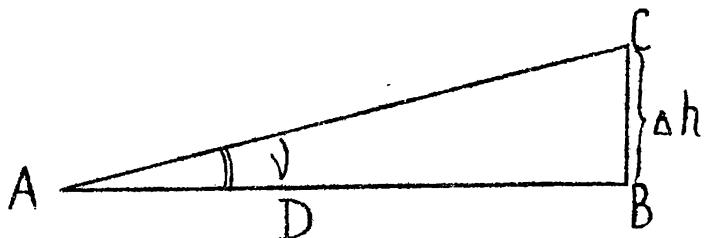


Рис.70. Принцип тригонометрического нивелирования.

лучается несколько более сложной. Рассмотрим рис.71. При сделанных обозначениях запишем $\Delta h' = D \operatorname{tg} \psi$, $\Delta h = \Delta h' + i \cdot l$, $\Delta h = D \operatorname{tg} \psi + i \cdot l + r$, где $r = \Delta h + \Delta z$ - поправка за кривизну Земли и рефракцию (принимается во внимание при D более 300 м), для

значения $\Delta h'$ имеются специально составленные таблицы и построенные номограммы, в том числе введенные в поле зрения таких приборов, как кипрегель и тахеометр, предназначенных для топографических съемок; i и l - высота прибора и высота наведения (по рейке). Для упрощения расчетов в поле делают так, чтобы эти величины были равны. Для этого используют связки на рейках и специальные раздвижные рейки, на которых начало отсчета можно устанавливать на высоту прибора. Измерение вертикального угла ψ производится от горизонтальной линии вверх с плюсом и вниз с минусом. Таким образом, этот угол не может быть больше 90° , а практи-

чески он еще меньше. Сложности возникают с воссозданием горизонтальной линии. Она устанавливается с помощью уровня, но как бы он не был исправлен, всегда остается некоторая ошибка. Поэтому возни-

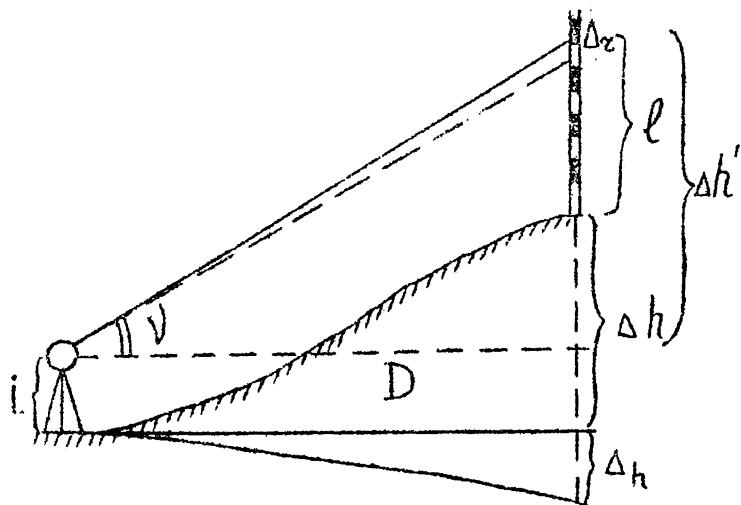


Рис.71. Вывод формулы тригонометрического нивелирования.

чески он еще меньше. Сложности возникают с воссозданием горизонтальной линии. Она устанавливается с помощью уровня, но как бы он не был исправлен, всегда остается некоторая ошибка. Поэтому возни-

кает так называемое "место нуля" (МО).

6.2. *Определение места нуля.* Предположим, мы добились того, что визирная ось совершенно горизонтальна, а пузырек цилиндрического уровня выведен на середину. Очевидно, что в этой ситуации угол будет равен 0° , и, следовательно, отсчет по вертикальному кругу должен быть 0° или 90° в зависимости от того, как поделен на градусы лимб вертикального круга. На самом деле, этого, как правило, не произойдет.

Действительный отсчет по вертикальному кругу, когда пузырек уровня при вертикальном круге выведен на середину, а оптическая ось трубы горизонтальна, и называется *местом нуля*.

Место нуля иногда истолковывается также, как угол между действительной горизонтальной линией и той, которую принимают за горизонтальную при измерениях вертикального угла. В этом случае МО должно иметь знак.

Визирная ось трубы (рис.72) была дважды наведена в точку А при положении вертикального круга слева (Л) и справа (П). На чертеже обозначено: КК - визирная ось трубы, НН - истинная линия

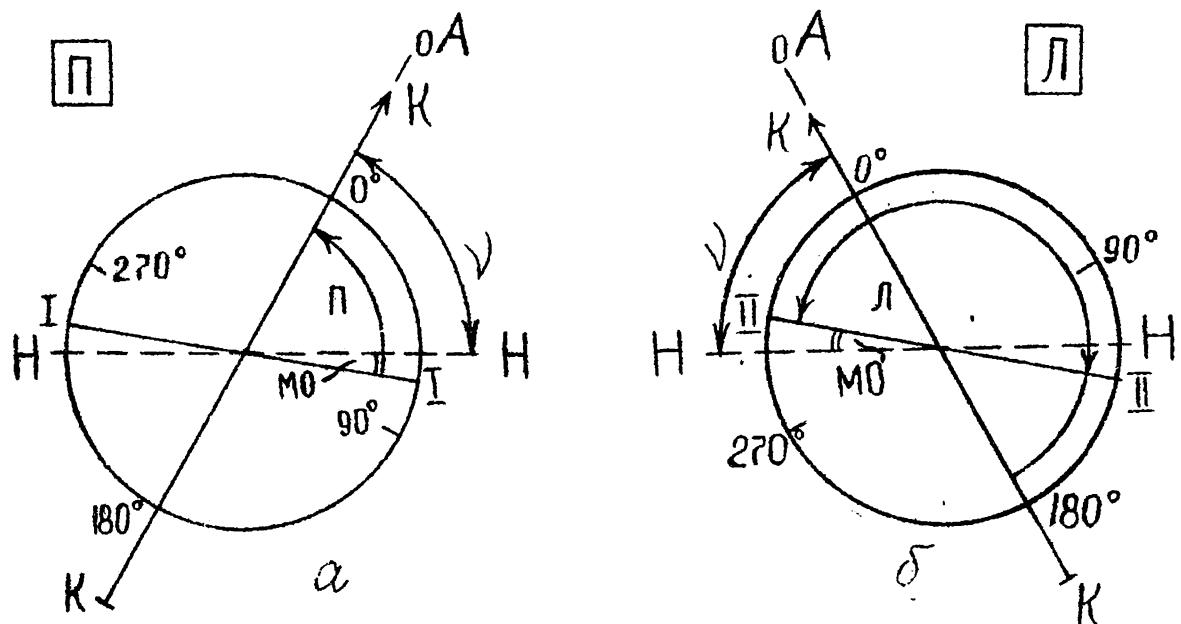


Рис.72. Вывод формулы для определения МО и угла U для прибора, вертикальный круг которого разделен от 0° до 360° по часовой стрелке: а - круг справа П, б - круг слева Л.

горизонта, I-I и II-II - условные линии горизонта, MO - место нуля, П и Л - отсчеты по лимбу вертикального круга при его положении справа и слева.

Как видно из рис.72,а $\psi = \Pi - MO$, а на рис.72,б
 $\psi = (180^\circ - L) + MO$ или $\psi = MO - (L - 180^\circ)$.

Из этих формул найдем общие формулы:

$$\psi = \frac{\Pi - (L - 180^\circ)}{2}; MO = \frac{\Pi + (L - 180^\circ)}{2}.$$

Поскольку оцифровка вертикального круга у различных приборов отличается друг от друга, то и формулы для определения ψ и MO также будут разными. Приведем основные из них.

1. Приборы с вертикальными кругами, $MO = \frac{\Pi + L + 180^\circ}{2}$, $\psi = MO - L - 180^\circ$, разделенными от 0° до 360° по часовой стрелке (в основном старые теодолиты), $MO = 0^\circ$.
 $\psi = \Pi - MO$.
2. Приборы с вертикальными кругами, $MO = \frac{\Pi + L + 180^\circ}{2}$, $\psi = L - MO$, разделенными от 0° до 360° против хода часовой стрелки (теодолиты Т5, Т30), $MO = 0^\circ$.
 $\psi = MO - \Pi - 180^\circ$.
3. Кипрегель КБ. Вертикальный круг разбит $0^\circ - 360^\circ$ отдельно с левой и правой стороны круга, $MO = 0^\circ$.
 $MO = \frac{L + \Pi \pm 360^\circ}{2}$, $\psi = MO - L$,
 $\psi = \Pi - MO$.
4. Кипрегель КА-2. Круг разделен $0^\circ - 90^\circ - 180^\circ$, $MO = 90^\circ$.
 $MO = \frac{\Pi + L - 180^\circ}{2}$, $\psi = \Pi - MO - 180^\circ$,
 $\psi = MO - L$.
5. Кипрегель КН. Круг разделен на секторы: -90° и $+90^\circ$, $MO = 0^\circ$.
 $MO = \frac{\Pi - L}{2}$, $\psi = \Pi - MO$,
 $\psi = L + MO$.
6. Теодолиты 2-й модели (2Т30, 2Т30II и др.) имеют вертикальный круг с секторной оцифровкой. Она позволяет определять ψ без дополнительных вычислений.
Круг $-75^\circ + 75^\circ$, $MO = 0^\circ$.
 $MO = \frac{L + \Pi}{2}$, $\psi = L - MO$,
 $\psi = MO - \Pi$.

Для нормальной работы требуется, чтобы МО сохраняло постоянство в процессе измерений, а также удобно, чтобы МО было небольшим. Существует несколько приемов исправления места нуля.

Вариант 1

Определить место нуля.

Вычислить отсчет, соответствующий исправленному МО.

Правильный отсчет установить на лимбе вертикального круга перемещением трубы, но при этом сместится пузырек уровня.

Поставить пузырек уровня при вертикальном круге исправительным винтом уровня на середину.

Пример (для оптического теодолита Т30П).

$$\text{Л} = + 4^\circ 43', \text{ П} = - 4^\circ 40', \text{МО} = (4^\circ 43' - 4^\circ 40')/2 = 1,5',$$

$$\text{У} = \text{Л} - \text{МО} = + 4^\circ 43' - 1,5' = + 4^\circ 41,5',$$

$$\text{У} = \text{МО} - \text{П} = + 1,5' + 4^\circ 40' = + 4^\circ 41,5'.$$

Правильный отсчет при $\text{Л} + 4^\circ 41,5'$.

Вариант 2

Вывести пузырек уровня на середину.

С помощью винтов трубы поставить отсчет на лимбе вертикального круга равным МО.

Движением уровня свести МО на 0° .

Сместившийся при этом пузырек уровня вернуть на середину исправительными винтами уровня.

У теодолитов, не имеющих уровня при вертикальном круге, исправление МО делается перемещением юстировочными винтами сетки нитей после того, как на вертикальном круге поставлен правильный отсчет.

6.3. Номограммные геодезические приборы. К ним относятся современные кипрегели: КН, КА-2 и др. и тахеометры: ТН, Та-2 и др. В поле зрения труб этих приборов помещены специальные номограммы, с помощью которых определяются расстояния и превышения. Номограммы в виде системы кривых наносятся на стеклянную пластинку. Визуально номограмма накладывается определенным образом на дальномерную рейку так, чтобы основная (начальная) кривая попала на нулевой штрих рейки. После этого отсчет по рейке в пересечении с кривыми номограммы позволяет сразу получать и редуцированные (приведенные к горизонтальному положению) расстояния и превышения.

Рассмотрим, как берется отсчет при работе с кипрегелями КА-2

и КН. Отсчет по вертикальному кругу кипрегеля КА-2 $70^{\circ}00'$ (рис. 73). $\gamma = \text{МО} - \text{Л}$; $\gamma = 90^{\circ} - 70^{\circ} = 20^{\circ}$. Расстояние: $K = 100$, $P = 16,5 \text{ см}$, $D = 16,5 \text{ м}$. Превышение $l_1(-100) = -h_1$, $l_2(-20) = -h_2$,

$$h_{cp} = \{-h_1 + (-h_2)\}/2.$$

Устройство прибора КН требует, чтобы начало отсчета на рейке каждый раз было на высоте прибора. Для этого используется специальная раздвижная рейка. На стеклянный вертикальный круг кипрегеля КН нанесены номограммы превышений и расстояний, которые системой призм подаются в поле зрения трубы. Номограммы представлены тремя парами кривых превышений с коэффициентами ± 10 , ± 20 и ± 100 и рассчитаны для измерения при углах наклона от -40° до $+40^{\circ}$; номограммы расстояний с коэффициентами 100 и 200. Под начальной (нулевой) кривой расположена

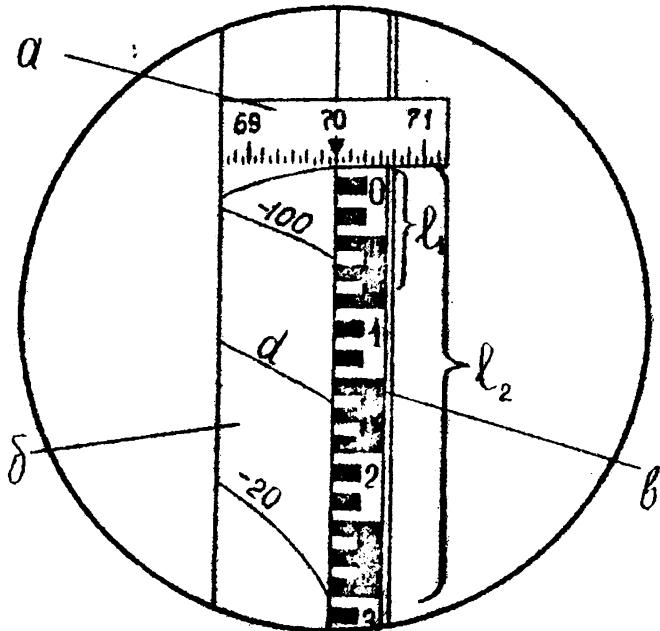


Рис.73. Поле зрения трубы кипрегеля КА-2: а - шкала вертикального круга, б - номограмма, в - шкала рейки.

на шкала лимба, оцифрованная через 1° . Одно деление лимба равно $5'$. В шкале указан знак угла. При работе с кипрегелем используются рейки с выдвижной пятой, которая устанавливается на высоту прибора i , а в поле зрения трубы начало отсчета по рейке совмещается с начальной кривой.

Для контроля превышений и расстояний они получаются при одном наблюдении дважды, как это показано на рис.74.

6.4. Прокладка и обработка высотного тригонометрического хода.

Высотный ход может быть замкнутым на один репер и разомкнутым, опирающимся на два репера. Высотный ход прокладывается для получения сети высотных точек, используемых для разных целей, в частности, для обоснования топографической съемки. Тогда он прок-

ладывается по точкам теодолитного или мензульного хода. Но он может также предназначаться для построения географических профилей и другого. Если ход прокладывается самостоятельно, то на местности предварительно разбивается полигон и отмечаются точки. Расстояния при этом измеряют с помощью нитяного дальномера. При тахеометрической съемке высотный ход прокладывается в процессе самой съемки, он составляет ее часть.

В процессе полевых работ прибор (теодолит, тахеометр, мензуру с кипрегелем) устанавливают на каждой точке хода, центрируют со значительным приближением, горизонтируют прибор и производят измерения вертикальных углов вперед по ходу и назад. Таким образом, для последовательной пары точек превышение измеряется дважды. Результат должен получиться равным по абсолютной величине, но обратным по знаку. Допустимое расхождение зависит от назначения хода или масштаба съемки.

Завершенный полевыми наблюдениями и измерениями ход уравнивается следующим образом.

Для замкнутого хода теоретически должно быть $\Delta h = 0$.

Для разомкнутого хода $\sum \Delta h - (H_{\text{кон}} - H_{\text{ нач}}) = 0$. На самом деле возникает некоторая ошибка

$$f_h = \sum \Delta h - (H_{\text{кон}} - H_{\text{ нач}}).$$

Допустимая невязка хода вычисляется по формуле

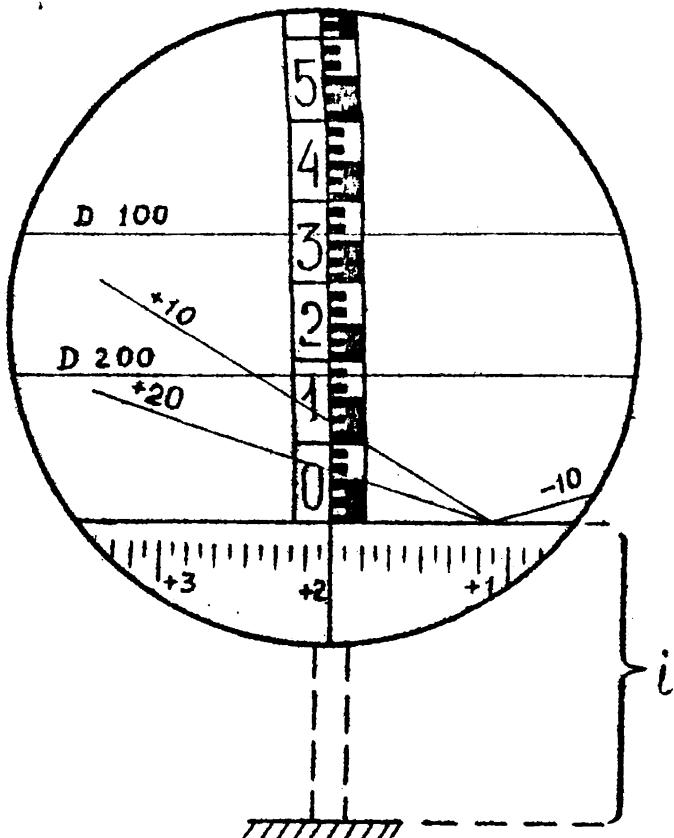


Рис.74. Поле зрения трубы кипрегеля КН (при круге слева).

$$f_{\delta h_{\text{зоп}}} = (0,04P)/(100\sqrt{\pi}),$$

где P - периметр хода, n - число точек хода.

Невязка с обратным знаком распределяется по всем превышениям пропорционально длинам сторон хода. Затем, последовательно прибавляя или отнимая очередное превышение к очередной полученной абсолютной отметке, получают отметки всех точек.

7. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Существуют различные способы физического нивелирования, основанные на использовании физических законов и измерении соответствующих физических величин. При этом используется связь атмосферного давления с высотой, температурой кипения воды, с давлением воздуха. Существуют способы барометрического, радио- и механического нивелирования.

7.1. *Барометрическое нивелирование.* Используется для определения превышений в гористой местности и в тех случаях, когда приемлемо определение высот с пониженнной точностью. Задача состоит в одновременном измерении атмосферного давления в двух точках. Зависимость атмосферного давления от высоты над уровнем моря и ряда метеорологических условий в момент измерений описывается полной барометрической формулой, которую предложил еще Лаплас.

Однако на практике пользуются более простыми эмпирическими формулами Певцова и Бабине.

Рабочая формула Певцова выведена для широт в 55° и среднего давления 740 мм рт.ст. $\Delta h = 1847(1 + 0,003665t)P_1/P_2$, где P_1 и P_2 - давление атмосферы в точках 1 и 2, t - температура воздуха.

Для измерения атмосферного давления применяются пружинные барометры - анероиды и, реже, ртутные барометры. Одновременно с этим измеряется температура воздуха термометром-пращем.

Сокращенная формула Бабине также часто используется:

$$\Delta h = 16000\{(1+0,004(t_1 + t_2)/2)/(B_1 - B_2)/(B_1 + B_2)\},$$

где B_1 и B_2 - давление в точках 1 и 2, t_1 и t_2 - температура воздуха в тех же точках.

На практике по сокращенным формулам вычисляют барометрические таблицы, которыми и пользуются при определении высот. Все

расчеты делаются от уровня моря, поэтому их можно считать абсолютными. Получаются они приближенно, с достаточно большой ошибкой, так как остаются неизвестными температура воздуха и давление на уровне море в момент нивелирования.

Расчеты можно делать, основываясь на знании так называемой барометрической ступени. Барометрической ступенью называется расстояние в метрах по высоте, которое соответствует изменению давления на единицу измерения, например 1 мм рт.ст. Величина барометрической ступени зависит от давления воздуха и температуры. Поэтому необходимо вводить соответствующие поправки.

Атмосферное давление измеряется, как уже было сказано, приборами двух типов: *ртутными барометрами*, которые устанавливаются стационарно, например, на метеостанциях, и барометрами-анероидами, которыми пользуются на полевых работах.

Барометры градуируются в миллибарах (мб) или миллиметрах ртутного столба (мм·рт. ст.). Некоторые анероиды градуированы в абсолютных высотах, исходя из барометрической ступени, вычисленной при условии, что на поверхности моря давление составляет 760 мм рт. ст. при 0° С. Чтобы получить значение давления, приведенное к этим условиям, в отсчеты по анероиду вносится ряд поправок: шкаловая, температурная (самого барометра), добавочная (индивидуальная для данного барометра).

Барометрическое нивелирование выполняется в виде замкнутых или двойных (туда и обратно) ходов. За исходную или опорную точку по возможности выбирают метеостанцию, на которой систематически ведется наблюдение за атмосферным давлением. Работа проделывается одним, но чаще двумя и более анероидами. Барометр-анероид требует аккуратного обращения на маршруте. Чтобы гарантировать выполнение работы, чаще всего в маршрут берут несколько приборов.

Первое и последнее измерения давления проделывают на опорном пункте. Если это метеостанция, показания анероидов сверяют со стационарным барометром. Если опорный пункт выбран произвольно, один из анероидов остается на нем вместе с наблюдателем, который должен вести систематическое наблюдение за ходом атмосферного давления каждые 15-20 минут. Прокладка всего хода не может быть растянута на длительное время, так как при этом ошибка определения высот возрастает. Обычно длительность хода рассчитана на

три-четыре часа, чтобы достаточно точно учесть природные изменения давления и температуры воздуха.

При благоприятной погоде и хороших условиях хранения приборов при переноске, заботе об их сохранности в пути, превышения точек местности могут быть определены с ошибкой 3-5 м.

7.2. Нивелирование механическими приборами. При нивелировании невысокой точности применяют механические приборы, которые автоматически вычерчивают профиль местности или показывают отметки отдельных высот. Действие таких механизмов основано на применении отвеса-маятника, который в процессе движения остается в вертикальном положении.

Такие нивелирные системы монтируются на каком-либо транспортном средстве. Из отечественных следует отметить нивелир-“автомат” М.Артанова, смонтированный на двухколесном велосипеде без надувных шин. Был также сконструирован высотомер такого типа, смонтированный на автомашине.

Такого типа приборы были поставлены на двух советских “луноходах”. Автоматы позволяли определять профиль трассы луны и наклон местности от нее вправо и влево.

7.3. Аэродинонивелирование. Определение превышений точек земной поверхности с помощью радиовысотомера, поставленного на летательных аппаратах -самолетах. В полете одновременно измеряется высота полета радио- или лазерным высотомером и ведется запись колебаний для высоты полета так называемым дифференциальным барометром-статоскопом. Показания статоскопа позволяют судить о наклоне изобарической поверхности, т.е. систематическом изменении естественного давления вдоль трассы полета и учесть это при вычислениях высот.

Глава 9. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Геодезическая сеть - это совокупность закрепленных и обозначенных на местности пунктов, плановое положение и высоты которых определены в единой системе координат и высот путем геодезических измерений.

Геодезические сети строятся для научных целей, а также для

изучения и освоения территории страны, в том числе для съемки и изысканий под проектирование и проведение хозяйственных мероприятий: строительства, мелиорации, горного дела и т.д. Для этого геодезические сети должны покрывать всю территорию страны сплошь с необходимой густотой и точностью определения положения пунктов.

Построение и поддержание в надлежащем состоянии геодезических сетей у нас в стране составляет задачу государственной топографо-геодезической службы. Это работа сложная и организационно, и технически, и к тому же дорогостоящая. Поэтому принимаются все меры для сохранения в натуре сети геодезических пунктов.

Геодезические сети строятся "от общего к частному", т.е. от высокоточных, но редких сетей, к более густым, но менее точным. Они включают в себя ряд ступеней.

1. Государственные сети, обеспечивающие любые работы на местности.
2. Сети сгущения на отдельных конкретных участках.
3. Съемочные сети для топографических работ.
4. Специальные геодезические сети, создаваемые, например, на геодинамических полигонах.

Государственные геодезические сети делятся на плановые и высотные.

I. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПЛАНОВЫЕ СЕТИ

Работы по созданию государственных плановых сетей в 1989 г. были в основном закончены по всей территории бывшей СССР. По точности они делятся на четыре класса (I-4).

Сеть I-го класса развивается для научных исследований и создания единой системы координат на всей территории страны. Она создается, как правило, методами триангуляции и полигонометрии, триангуляционная сеть строится в виде рядов треугольников, образующих четырехсторонние полигоны со сторонами 170-200 км (рис.75). Ряды треугольников прокладываются вдоль меридианов и параллелей. В пересечении рядов строятся базисные сети, измеряются длины базисов. На концах базисов или выходных (базисных) сторон производятся астрономические определения долгот, широт и

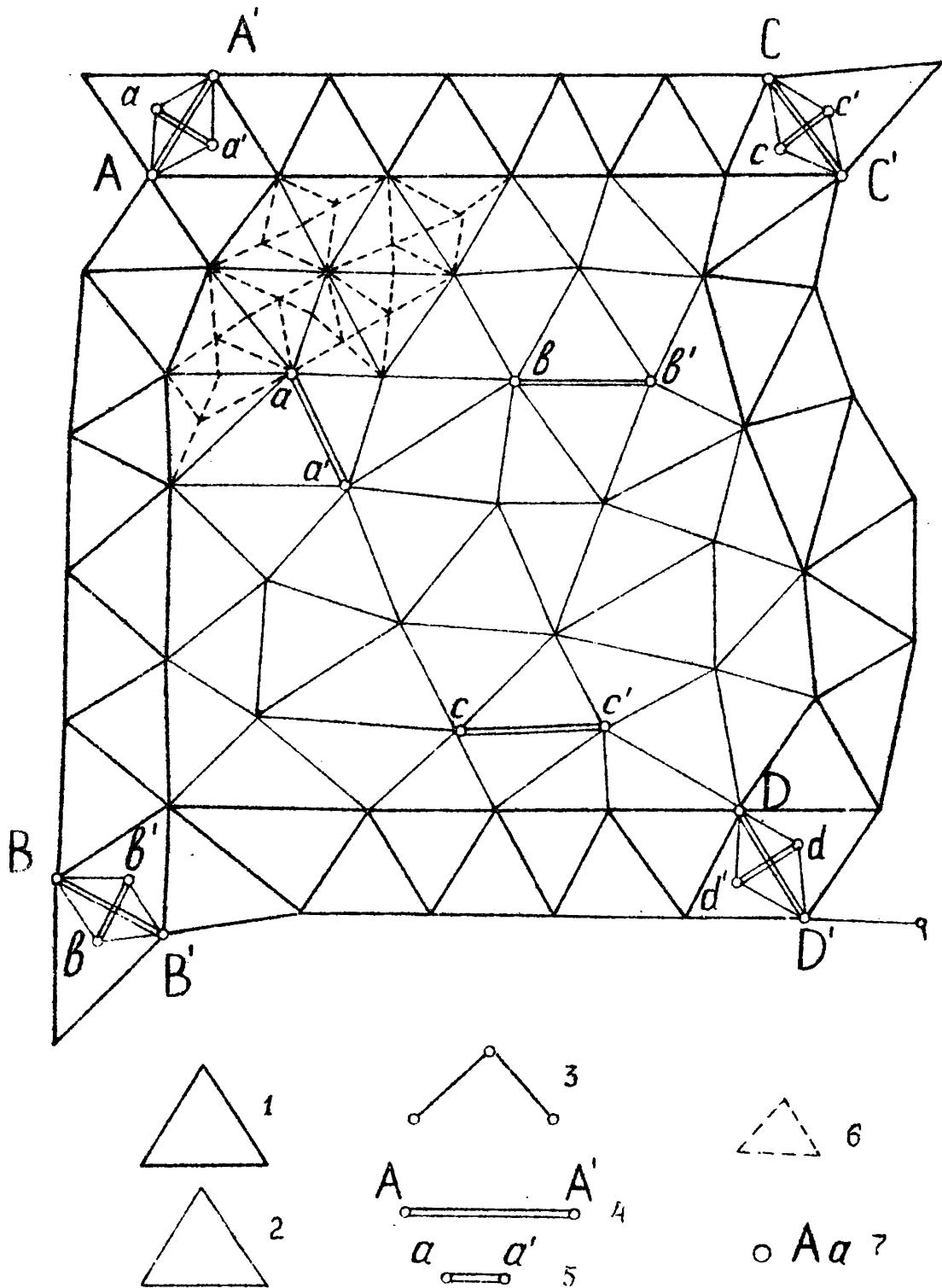


Рис.75. 1 - триангуляция 1 класса; 2 - триангуляция 2 класса;
3 - полигонометрический ход; 4 - базисная (выходная) сторона;
5 - базис; 6 - триангуляция 3 и 4 классов; 7 - пункт Папласа.

азимутов, необходимые для редуцирования сети на поверхность референц-эллипсоида. Это так называемые "пункты Лапласа".

Стороны треугольников выбираются от 20 до 25 км. Допустимая погрешность в определении углов треугольника - 0,7°. Ошибки в определении длин сторон треугольников допускаются в пределах 7-10 см. Общая погрешность в 200 км звене триангуляции составляет 0,6 м.

Относительная ошибка положения пунктов триангуляции задается настолько малой, что при дальнейшем развитии сети пункты I класса можно считать определенными безошибочно.

Внутри полигонов триангуляции I класса строится сплошная сеть треугольников 2 класса. В свою очередь, она заполняется сетями триангуляции 3 и 4 классов. Стороны треугольников 2 класса имеют длину от 7 до 20 км, в среднем 13 км. Длины сторон треугольников 3 класса составляют 5-8 км, а 4 класса - 2-5 км. Внутри сплошной сети 2 класса определяются длины нескольких базисов, необходимых для уравнивания сети.

Углы треугольников 2 класса измеряются со средней квадратической ошибкой, не превышающей 1", на пунктах 3 класса ошибка не должна быть более 1,5", а 4 класса - 2".

Закрепление пунктов. Каждый пункт триангуляции должен быть надежно закреплен на местности. Центр или несколько центров (блоков) строго один над другим (рис.76)

закладываются в котловане, вырытом ниже глубины промерзания грунта, в песках на глубине до 6 м, в многолетней мерзлоте центр "вмораживают". Пункт окапывают во избежание потери знака.

Над центрами устанавливают пирамиды или сооружаются сигналы высотой до 60 м. Сам металлический центр прикрывают грунтом. Сигналы сооружают деревянные (рис.77,а), пирамиды бывают деревянные или металлические (рис.77,б), иногда разборные.

Необходимо заметить, что если

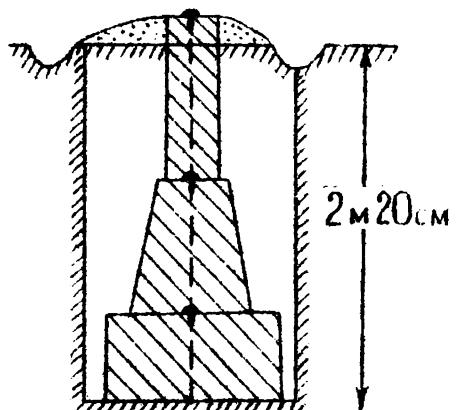


Рис.76. Закладка центра пункта триангуляции I класса.

сеть пунктов 1 и 2 классов покрывает обширные пространства страны, по возможности сплошь, то сети 3 и, особенно, 4 классов разvиваются по мере надобности, например, для обеспечения топографических съемок.

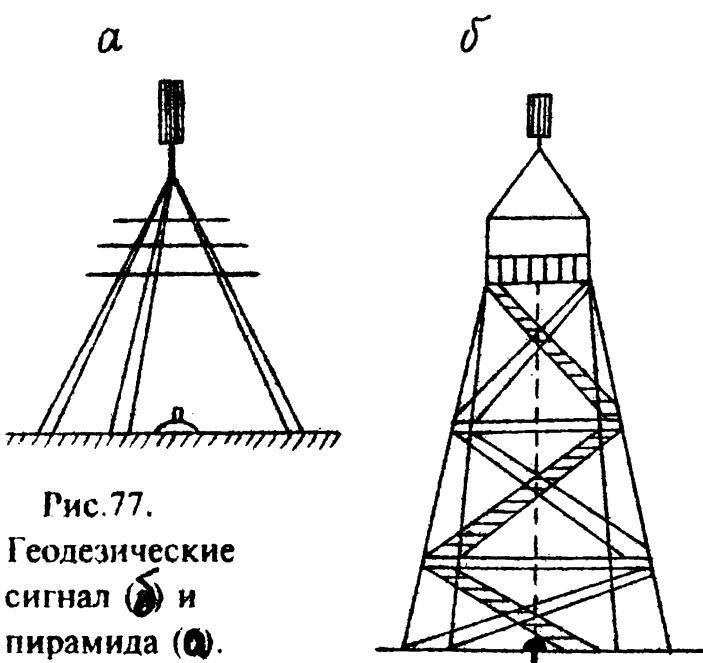


Рис.77.
Геодезические
сигнал (а) и
пирамида (б).

Создание электронных дальномеров, при помощи которых стали возможными измерения длин линий с высокой точностью, позволило применять их для развития геодезических сетей методом трилатерации, а также в ряде случаев взамен рядов треугольников прокладывать полигонометрические ходы, равноценные по точности триангуляции. Полигонометрия также делится по точности на четыре класса.

2. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВЫСОТНАЯ (НИВЕЛИРНАЯ) СЕТЬ

Высотная сеть устанавливает единую систему высот на территории страны и является основой для исследовательско-поисковых работ в геологии, экологии, топографической съемки и инженерного проектирования. Кроме того, точное определение высот необходимо для наблюдений за движениями земной коры, колебаниями уровня вод в морях, океанах, реках и озерах.

Государственные нивелирные сети делятся на четыре класса (I-IV) по точности определения пунктов (см. табл.). Пункты I и II классов являются главной геодезической основой и размещаются впрок по всей территории страны. Пункты III и IV классов служат для обеспечения топографической съемки и проектируются вместе с созданием технического проекта на топографическую съемку. Высоты

всех плановых пунктов по возможности определяются геометрическим нивелированием.

Нивелирные линии I класса прокладываются и повторяются каждые 25 лет по уже заранее избранным направлениям, пересекающим территорию страны. Кроме того, в целях изучения движения земной коры и прогноза землетрясений сетью первоклассных нивелировок покрыты некоторые избранные участки - полигоны.

Нивелирные линии II класса образуют полигоны между пунктами I класса с периметром 500-600 км.

Нивелирные линии III класса образуют полигоны с периметром от 150 до 300 км (последние на севере и северо-востоке страны). Нивелирование IV класса делается для топосъемок и проектируется в комплексе со всеми съемочными работами.

Все точки нивелирной сети - реперы, различным образом закрепляются на местности. При нивелировании I и II классов через 50-80 км закладываются фундаментальные реперы после предварительного исследования грунта бурением на глубину до 20 м. В нивелирной сети III класса реперы закладываются через 5-7 км хода (в труднодоступных районах - через 10-15 км).

Реперы, особенно очень точно определенные по высоте, не должны испытывать случайное перемещение в пространстве со временем. Поэтому геодезисты стараются реперы закреплять в скальных грунтах, а в населенных пунктах в цоколях капитальных зданий и сооружений.

Класс нивелирования	Случайная средняя квадратич. погрешность, мм	Формула невязки хода, L - длина хода, км
I	0,5	$3\sqrt{L}$
II	0,8	$5\sqrt{L}$
III	1,6	$10\sqrt{L}$
IV	6,0	$20\sqrt{L}$

ТОПОГРАФИЯ

Глава 1. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ

1. РАЗНОВИДНОСТИ КАРТ

Географическая карта - уменьшенное, обобщенное изображение земной поверхности на плоскости, построенное по определенному математическому закону в принятой системе обозначений.

Картографическое изображение, построенное без учета кривизны поверхности Земли, называется *планом*.

Все карты по содержанию делятся на

- *топографические* или общегеографические;

- *тематические*, которые являются предметом изучения и изготовления картографии и многих географических, геологических и других наук, использующих карты при решении своих задач;

- *специальные*, или технические, например навигационные.

Топографические карты являются самыми универсальными и наиболее употребительными для решения самых разнообразных задач:

во-первых, научного анализа закономерностей размещения, взаимодействия, зависимостей, динамики и прогноза развития природных явлений, происходящих на земле;

во-вторых, проектирования и производства различных хозяйственных мероприятий, в том числе мелиоративных работ, строительства, прокладке дорог и каналов и многое другое, что может быть объединено одной фразой - территориальной организации общества;

в-третьих, проведении экспедиционных работ: выбора маршрутов, ориентирования на местности, привязки полевых наблюдений;

в-четвертых, наконец, топокарты служат основой для составления тематических карт самого различного содержания.

Все топографические карты создаются в стандартном ряде масштабов, единых условных знаках для каждого из масштабов, и общей разграфке и обозначении листов карты, покрывающих Земной шар.

2. МАСШТАБЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Стандартный масштабный ряд общегеографических карт и планов следующий:

- 1) *Топографические планы*: 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000.
- 2) *Топографические карты*: 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000,
- 3) *Обзорно-топографические карты*: 1:300 000, 1:500 000, 1:1 000 000.
- 4) *Обзорные карты* (справочные): мельче 1:1 000 000, например, справочная карта Мира 1:2 000 000.

Обозначение масштабов:

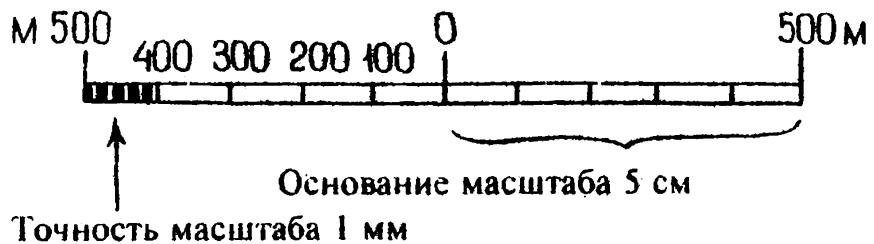
Численный масштаб $\ell/L = 1/(L/\ell) = 1/m$ или 1:m.

Например, $(5 \text{ см})/(500 \text{ м}) = 1/10 000$, или 1:10 000.

Именованный масштаб - то же самое, но сказанное словами: "в одном сантиметре сто метров".

Линейный масштаб - это графическое изображение численного масштаба. Точностью линейного масштаба называется величина наименьшего деления основания масштаба. Например, построим линейный масштаб для численного 1:10 000 (рис.78).

Рис.78. Линейный масштаб.



Графическая точность масштаба - 0,2 мм - это точность построений и измерений на планшете, карте при работе невооруженными

глазами и простейшими инструментами. Современные графопостроители, работающие на базе ЭВМ, дают более высокую точность построений, равную 0,1 мм.

Предельная (или натуральная) точность масштаба - это точность построений и измерений перенесенная в натуру с учетом масштаба используемой карты:

1:10 000 0,2 мм - на местности 2 м,

1:25 000 0,2 мм - на местности 5 м,

1:100 000 0,2 мм - на местности 20 м.

Поперечный масштаб - это график, или номограмма, которые строятся на планшете или гравируются на металлической пластине и используются для откладываний на карте и измерений длин прямых отрезков.

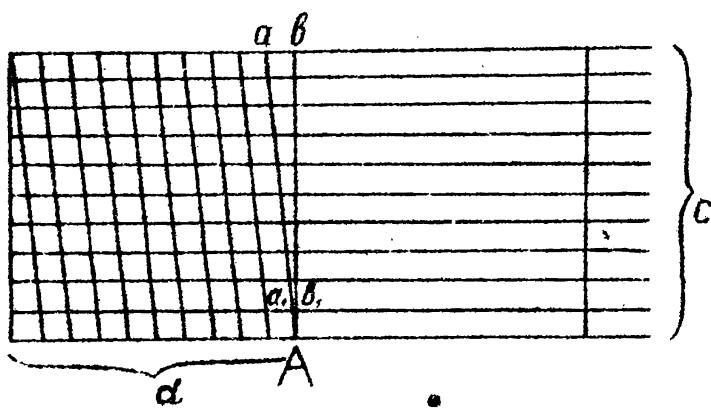


Рис.79. Поперечный масштаб.

На горизонтальной линии отложены основания масштаба $d=2$ см. В полученных точках восстановлены перпендикуляры длиной $C=2$ см. На крайних перпендикулярах отложено по 10 равных отрезков ($m=10$), через концы которых проведены параллельные линии. Верхняя и нижняя линии первого основания также делятся на 10 равных

частей ($n=10$, по 2 мм) и проводятся параллельные линии как на рис.79. Из $\Delta Aab \sim Aa_1b_1$ получаем $(a_1b_1)/(ab) = (Ab_1)/(Ab)$, где $a_1b_1 = p$ - наименьшее деление, или точность масштаба:

$a_1b_1 = p = (ab \cdot Ab_1)/(Ab)$, но $ab = d/n$; $Ab_1 = Ab/m$.

Тогда

$$P = \frac{d \cdot Ab}{nm} \cdot \frac{1}{Ab} = \frac{d}{nm} = \frac{2}{10 \cdot 10} = 0,2 \text{ мм.}$$

3. РАЗГРАФКА, НОМЕНКЛАТУРА И ОФОРМЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Разграфка - деление территории на листы карты.

Номенклатура - обозначение листов.

Исходной является разграфка и номенклатура карт масштаба 1:1 000 000. Каждый лист карты масштаба 1:1 000 000 ограничен меридианами и параллелями: по широте 4° , по долготе 6° (рис.80).

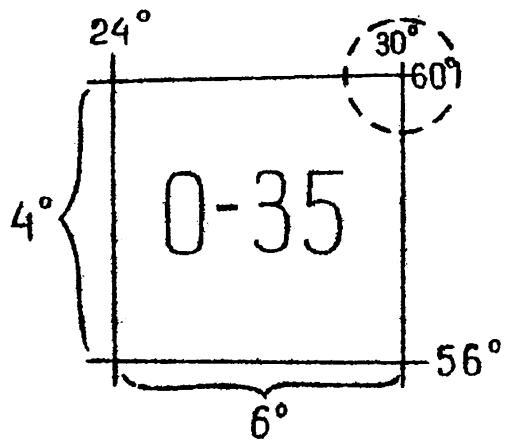
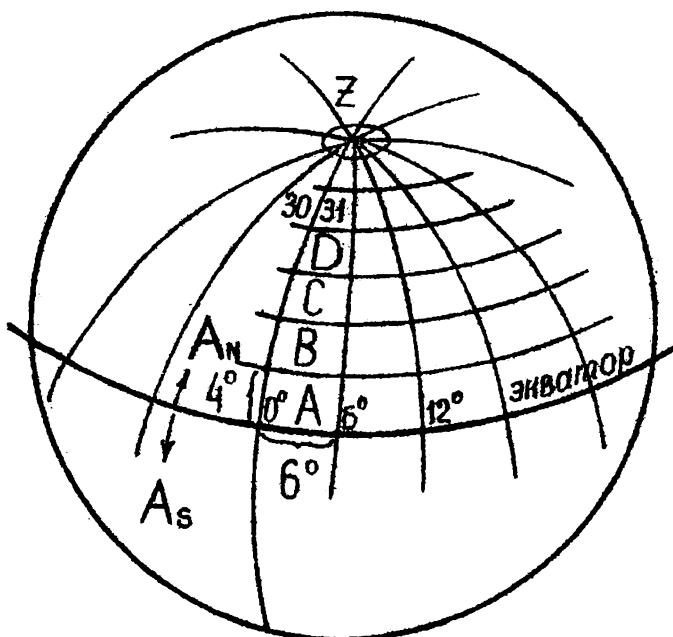


Рис.80. Разграфка и номенклатура карт масштаба 1:1 000 000.

Листы обозначаются буквами латинского алфавита от A (у экватора) и до Z (у полюса) и номерами колонн, считаемыми от меридиана с долготой 180° на восток, поэтому номер колонны отличается от номера зоны на 30, а Гринвичский меридиан находится между 30 и 31 колоннами.

Для территорий, расположенных севернее 60° широты листы масштаба 1:100 000 составляются сдвоенными, поскольку сближение меридианов делает их слишком узкими (например, P-36-1,2 и др.).

Разграфка листов карт от масштаба 1:500 000 до масштаба 1:50 000 приведена на рис.81 и 82. На рис.82 показано получение

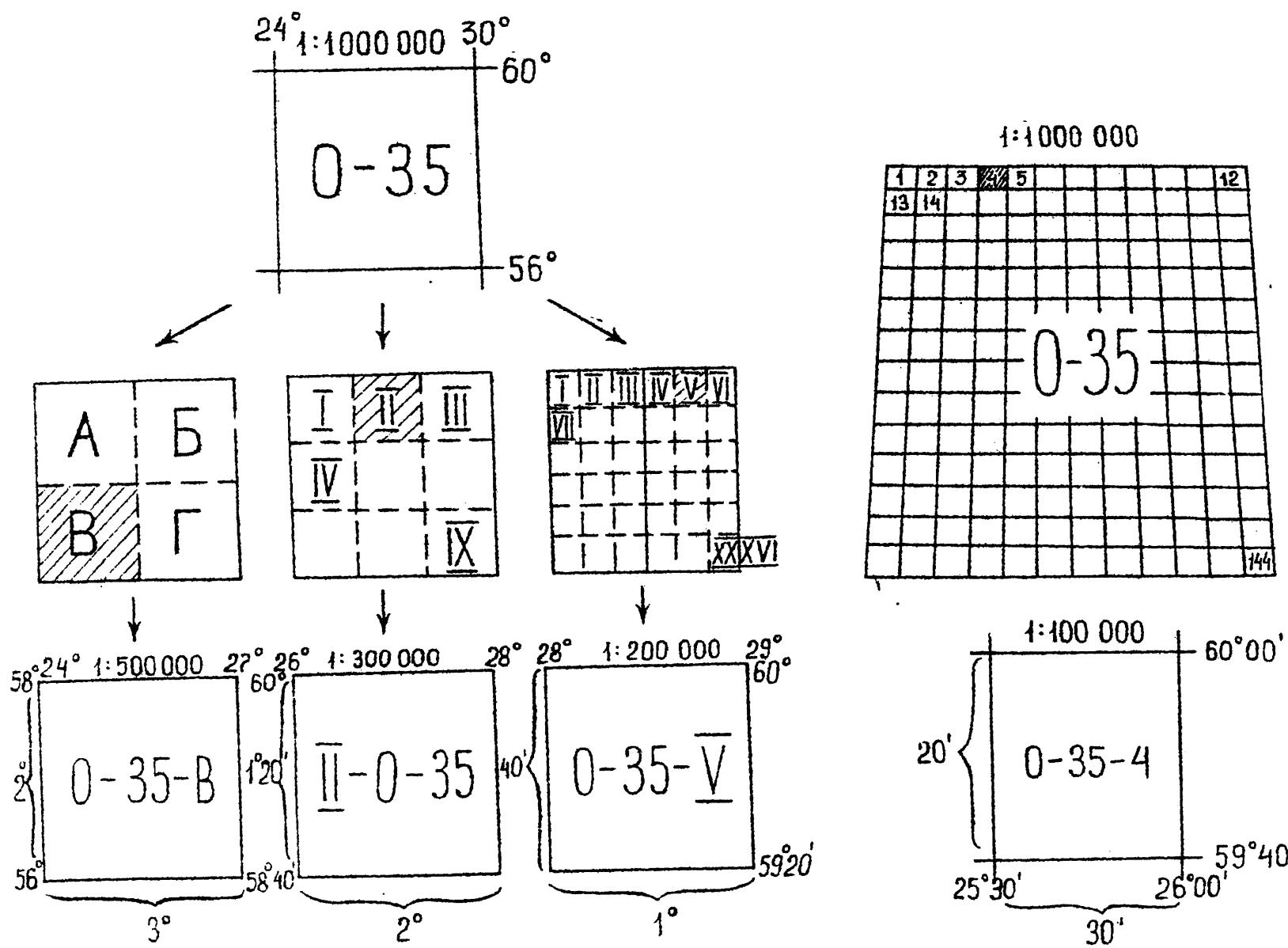


Рис.81. Разграфка и номенклатура листов карт масштабов 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000.

листов карт от масштаба 1:50 000 до масштаба 1:5 000. Чтобы получить листы планов масштаба 1:5 000, площадь листа 1:100 000 делят на 256 частей и обозначают так: О-35-4(16).

Разделив каждый лист 1:5 000 на 9 частей, получают листы плана в масштабе 1:2 000 и листы обозначают, например так: О-35-4(16-е). Планы более крупных масштабов 1:1 000 и 1:500 получаются последовательным делением, начиная с листа масштаба 1:2 000.

Оформление топографических карт

Каждый лист карты, как сказано было выше, ограничивается меридианами и параллелями. Таким образом на топографических картах меридианы и параллели - это внутренние рамки карты. В углах рамки указываются их географические координаты: долготы и широты. Внешняя рамка карты делится на минуты для удобства определения географических координат любой точки внутри карты.

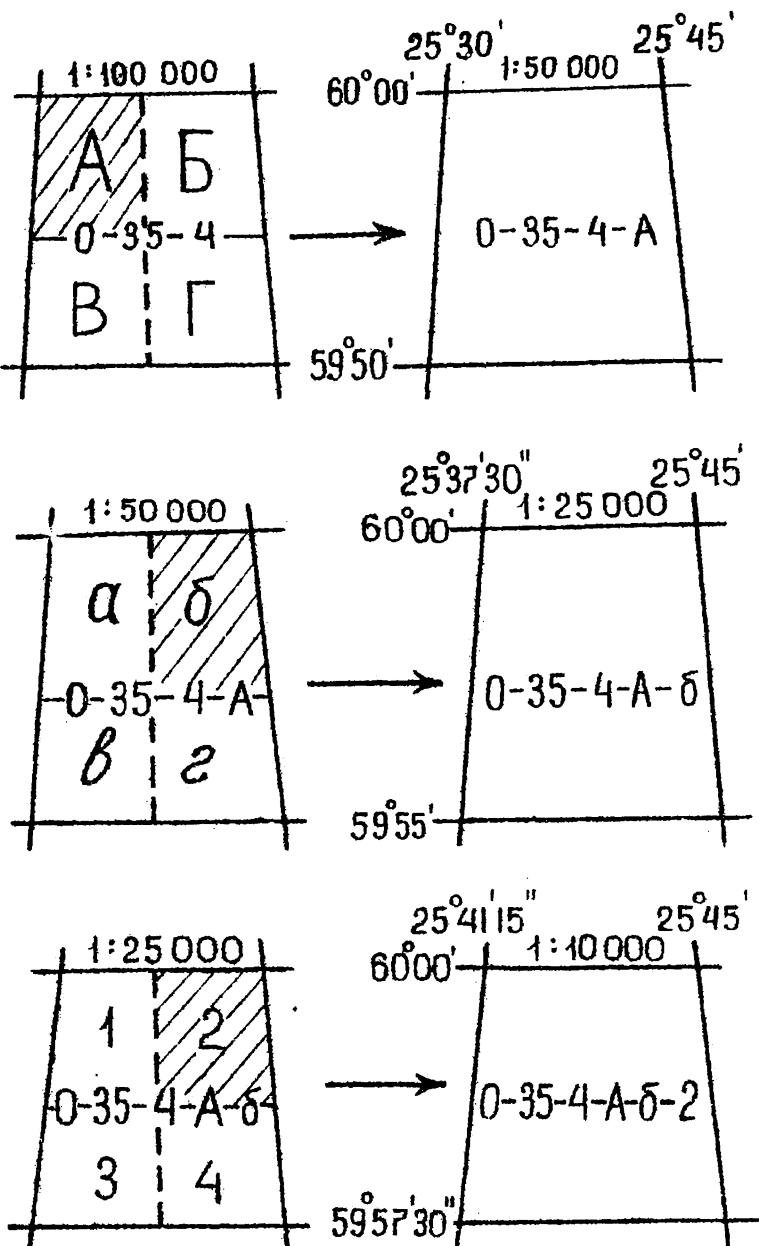


Рис. 82. Разграфка и номенклатура листов топографических карт масштабов 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000.

Каждый лист топографической карты покрыт километровой или координатной сеткой. Ее оцифровка приведена между внутренней и внешней рамками карты. Поскольку приходится пользоваться картами, покрывающими территории на границах зон, на крайних листах зоны приведена также оцифровка километровой сетки соседней зоны.

Не следует забывать, что ординаты задаются в зашифрованном виде: к ним впереди приписан номер зоны и к истинной координате прибавлено 500 км, чтобы избежать отрицательных значений.

Каждый лист карты над верхней рамкой имеет надпись индекса номенклатуры и название самого крупного населенного пункта или иного географического объекта на изображенной территории.

Под нижней рамкой даются сведения о магнитном склонении и сближении меридианов, приводится масштаб карты в численном, именованном и линейном (графическом) виде, а также указывается сечение рельефа и приводится график, называемый масштабом заложения для определения уклонов местности. На внешних рамках карты по всем четырем сторонам обозначается номенклатура соседних листов, а за внешней рамкой иногда приводится схема расположения соседних листов. Наконец приводятся данные о времени съемки и обновления карты.

4. СОДЕРЖАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Объекты земной поверхности, которые показываются на топографических картах, следующие:

- 1) пункты геодезической сети и отдельные отметки высот (например, урезы воды и глубины на реках и озерах, высоты террас и глубины оврагов);
- 2) рельеф местности в целом и отдельные формы рельефа;
- 3) элементы гидрографии и их характеристики;
- 4) растительный покров и грунты;
- 5) населенные пункты;
- 6) промышленные и сельскохозяйственные объекты;
- 7) пути сообщения и транспортных сооружений.

Условные знаки топографических карт единые для всех карт данного масштаба. Естественно, со временем они пересматриваются,

их дополняют и изменяют, во-первых, из-за того, что все меняется на местности и карты нужно обновлять, во-вторых, изменяются требования потребителей карт. В некоторых случаях, учитывая пожелания некоторых отраслей производства и науки, создаются специализированные топографические карты, дополненные сведениями, интересными, например, для сельского хозяйства или геологии.

В топографии используются от 350 до 580 условных знаков:

- графические символы (различные значки, иногда имитирующие вид самого объекта);
- цветовые различия (синие - воды, зеленые - леса и кустарники, желтые и красные - дороги, коричневый - рельеф естественный и черный - рельеф антропогенный: насыпи, выемки, карьеры);
- шрифты и цифры, указывающие, например, тип дороги, названия населенных пунктов и их ранг, характеристики лесов, мостов и др.

Условные знаки:

- контурные или масштабные (границы лесов, лугов, болот и т.д.);
- значки, заполняющие контурные знаки (леса, кусты, болота, степи, луга и др.);
- внemасштабные условные знаки (отдельные сооружения, деревья, камни, указатели на дорогах и пр.);
- линейные знаки (шоссейные и железные дороги, канавы и каналы, линии связи, энергосети, трубопроводы и др.);
- пояснительные обозначения буквенные, цифровые и др.(направление и скорость течения реки, глубина болота, характеристики мостов, бродов, дорог, населенных пунктов и др.).

Картографическая генерализация .

Генерализация состоит в целенаправленном, осмыслившем обобщении и отборе всего того, что показывается на карте. Факторы, которые определяют характер генерализации, это масштаб карты, ее назначение и тип, характер местности. Всякая генерализация требует правильного географического истолкования местности и учета требований, которые предъявляются к картам данного типа, например топографическим.

Картографическая генерализация заключается в продуманном обобщении количественных и качественных характеристик объектов и явлений, целенаправленном отборе их по значению и сознательном утилизировании некоторых сторон картографического изображения.

Обобщение может быть, во-первых, формальным и заключаться в упрощении форм, очертаний контуров, объединении деталей и отсечении мелких извилин контуров. Во-вторых, оно может быть содержательным, когда составители карт переходят от частных характеристик к обобщенным, собирающим. Так, например, на карте можно разделить леса на сосновые, еловые, березовые и др., но можно показать только леса лиственные и хвойные, или же обозначить только леса вообще.

Отбор состоит в том, что исключаются все объекты и явления несущественные с точки зрения содержания и назначения карты или объекты временные, случайные. Отбор объектов можно также провести на формальной основе, например, исключить часть мелких озер, чтобы разрядить изображение, сделать его читаемым. Отбор может быть также содержательным, что характерно более для тематических карт, например, геологических, чем для карт топографических.

Утрирование заключается в преднамеренном преувеличении размеров объектов, например, ширины дорог, улиц в населенных пунктах, которые, если строго следовать масштабу карты, следовало бы изображать слишком тонкой линией.

5. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

Задачи, которые стоят перед создателями топографических карт заключаются в том, чтобы показать внешние очертания рельефа, его расчлененность, абсолютные и относительные высоты основных точек местности, уклоны поверхности, и при этом сохранить метрические свойства картографического изображения, т.е. возможность измерений на карте.

В картографии разработаны три принципиально различных вида воспроизведения рельефа.

1) *Плоские изображения*, рассчитанные на умозрительное восприятие рельефа, отчасти может быть иллюзорное:

- *изолинии* - горизонтали (изогипсы) для изображения рельефа суши и изобаты (линии равных глубин) для изображения рельефа дна водоемов, в отечественной и зарубежной топографии - это главный способ изображения рельефа на картах;

- *послойная, или гипсометрическая окраска* - цветовая шкала, в которой низины показываются зеленым цветом, холмистая местность - желтым, горы - коричневым (этот способ широко используется в географической картографии, хотя и подвергается критике за условность; в топографической практике не применяется);

- *отмыка, или оттенение рельефа* - один из самых выразительных способов изображения рельефа на плоскости (Широко применяется в картографии, но в топографии применяется ограниченно. В отечественной топографии не используется, но за рубежом, например в Великобритании, применяется на топографических картах.);

- *штрихи* (в настоящее время в отечественной топографии и картографии этот способ не используется, но в некоторых странах применяется, например в Японии; был очень распространен в прошлом, когда карты создавались методом гравирования, и были разработаны разные системы штрихов);

- *перспективный рисунок* нередко применяется в мелкомасштабной картографии, особенно при создании карт для широкого использования и для учебных целей.

2) *Физические модели.* Рельефные топографические карты стали широко распространяться у нас в стране и за рубежом с тех пор, как был изобретен простой способ формования рельефных карт из пластика.

3) *Стереоскопические карты* рассчитаны на рассматривание их с помощью стереоскопических устройств, прежде всего через аналифические (красно-синие) очки. Топографические карты в таком варианте у нас в стране создавались, но не нашли достаточно широкого использования, поскольку вне рассматривания в очки они не пригодны для работы.

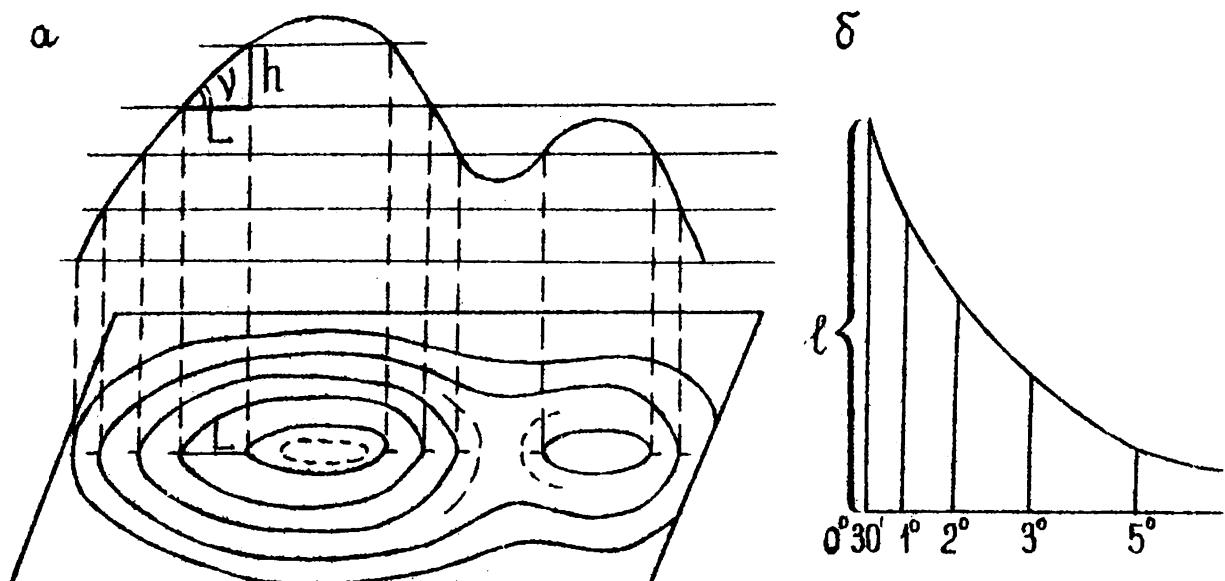
Отдельно рассмотрим способ изображения рельефа горизонталими, поскольку он является основным при создании топографических карт и профессионалы: географы, геологи, почвоведы должны уметь пользоваться этим способом при различных съемках местности.

Что такое горизонтали? Это линии, соединяющие точки с равными высотами. Предварительно все точки местности должны быть ортогонально спроектированы на горизонтальную плоскость, например, планшет мензульной съемки.

Если мы мысленно рассечем рельеф плоскостями, параллельными

уровненной поверхности, через интервал, называемый высотой сечения, а затем спроектируем линии пересечения на горизонтальную поверхность, как это показано на рис.83,а, то получим серию замыкающихся кривых линий, которые и будут горизонталями (или изогипсами). Для большей выразительности на картах обозначается штрихами направление склона, горизонтали через заданный интервал утолщаются, они подписываются, при этом их оцифровка должна быть кратной величине сечения. В местах с малыми углами наклона местности применяются дополнительные и вспомогательные горизонтали.

Расстояние между горизонталями связано с углом наклона местности. Это позволяет на каждой карте впечатывать так называемый "масштаб заложений", по которому, зная расстояние между горизонталями (заложение), можно сразу определить угол наклона (рис.83,б).



— — дополнительная горизонталь, γ - угол наклона местности,
 - - - вспомогательная горизонталь, h - высота сечения,
 L - заложение; $L = h \operatorname{ctg} \gamma$; $l = L/m$; $l = (h \operatorname{ctg} \gamma)/m$.

Рис.83. Схема получения горизонталей (а) и масштаб заложений (б).

Г л а в а 2. СЪЕМКА МЕСТНОСТИ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЪЕМКЕ

Съемкой называется совокупность полевых работ с целью получения карты или плана местности. Это - задача топографии.

Методы съемок

Графические съемки: мензульная , тахеометрическая, полуинструментальные съемки, в том числе буссольная, глазомерная съемка;

Фототопографические съемки: фототеодолитная, аэрофототопографические - комбинированная и универсальная (стереотопографическая).

Факторы, влияющие на выбор метода съемок: точность будущей карты, ее масштаб, форма и содержание карты, географические условия местности, размеры площади съемки и сроки производства работы, экономические соображения, допустимые затраты на работу, и, наконец, технические возможности исполнителей работ: наличие нужной техники, приборов и кадров, подготовленных к определенным видам съемки.

Порядок выполнения работ

1) Изучение района съемок. Разработка редактором карты указаний для исполнителей, выбор условных знаков. Составление проекта работ.

В топографо-геодезическом производстве надежность содержания карт гарантируется редактированием. Эту работу выполняют инженеры-редакторы (или географы-редакторы), которые входят в состав экспедиций и камеральных производственных подразделений и имеют задачу обеспечить достоверность и полноту содержания топографических карт, ясность и наглядность изображенной на них ситуации. Редактор собирает и изучает географические, картографические и аэросъемочные материалы на район работ; обследует его непосредственно в поле. В результате он составляет редакционные указания, где разъясняется исполнителям, каким образом истолковы-

вать различные природные и антропогенные объекты и как показывать их на картах во время съемки. В поле и при камеральной обработке полевых материалов редакторы контролируют результаты работы.

Редакторы участвуют также в составлении проектов топографо-геодезических работ, в которых на основании производственного задания определяется характер и содержание проектируемых работ и приводятся сметы затрат на производство работ.

2) Геодезическое обоснование съемки, которое содержит три ступени: государственную геодезическую сеть, развитие сети сгущения и создание съемочной сети.

Густота опорных пунктов *государственной геодезической сети*, конечно, недостаточна для обеспечения съемки местности. Напомним, что стороны треугольников 3 класса составляют 5-8 км, а 4 класса - 2-5 км. Поэтому возникает необходимость в дополнительной более густой сети пунктов. Эти сети делятся на сети сгущения и съемочные сети.

Сети сгущения государственной геодезической сети подразделяются на аналитические сети 1 и 2 разрядов, развивающиеся методами триангуляции, полигонометрические сети 1 и 2 разрядов и высотные сети, которые создаются методом геометрического нивелирования.

Относительные погрешности определения длин сторон в наиболее слабых местах триангуляции 1 и 2 разрядов не должны превышать соответственно 1:20 000 и 1:10 000. Относительные погрешности ходов полигонометрии 1 и 2 разрядов соответственно не должны превышать 1:10 000 и 1:5 000.

Допустимая погрешность нивелирования - 25 мм на 1 км хода.

Съемочные сети прокладываются между пунктами сетей сгущения, доводя количество пунктов планового и высотного обоснования съемки до требуемой плотности, исходя из следующих общих требований:

Густота точек должна быть такой, чтобы обеспечивалась съемка всей площади, без "мертвых" зон. С другой стороны, не должно быть излишних точек, удорожающих работу.

Сами точки должны располагаться на площадках, удобных для установки и работы с мензуруй, тахеометром или другим прибором, которым ведется съемка.

Желательно иметь с каждой точки максимально полный обзор

местности в радиусе съемки 150-200 м.

Для ориентирования планшета или прибора с каждой точки должна быть обеспечена видимость не менее двух вех на других точках съемочной сети.

Веха на самой точке должна быть видна не менее чем с двух, но для контроля лучше с трех других точек съемочной сети или точек государственной сети и сети сгущения, если они помещаются в пределах планшета.

Съемочные сети создаются двумя методами: аналитическим и графическим. Под аналитическими методами понимается, главным образом, прокладка теодолитных ходов. Графические методы - это геометрические сети, мензульные ходы, отдельные засечки. Однако прежде чем рассматривать графические методы подробно, следует познакомиться с устройством и поверками мензулы и кипрегеля.

2. МЕНЗУЛА И КИПРЕГЕЛЬ. ИХ УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ

2.1. *Мензульный комплект* включает в себя: планшет, штатив, подставку (треножник), с помощью которого планшет крепится на штативе, кипрегель, одну или две дальномерные рейки, мензульную буссоль, центрировочную вилку, полевой зонт.

Собственно *мензулой* называется закрепленный на штативе планшет, образующий столик для работы - съемки.

Мензула должна отвечать ряду требований, делающих ее пригодной к использованию на съемке.

Мензула должна быть прочной, легкой и устойчивой. Последнее проверяется легкими соприкосновениями со столиком, отчего он не должен менять положение в пространстве и упруго реагировать на легкие толчки.

Планшет должен быть плоским. Это условие проверяется прикладыванием к планшету выверенной линейки, между ними не должно возникать зазора.

Планшет должен быть перпендикулярен вертикальной оси вращения на треножнике. Проверяется поворотом планшета на 360° , при этом на нем устанавливается кипрегель с выверенным уровнем. Если планшет при вращении описывает "восьмерку" и пузырек уровня то

убегает, то возвращается на место, мензура не пригодна к использованию. Исправляется в мастерской.

Мензура не должна содержать стальных, железных деталей, иначе станет невозможно ориентировать планшет по буссоли.

2.2. Кипрегель (в отличие от теодолита - прибора угломерного) является прибором углоизмерительным. Он служит для визирования с точки стояния на объекты местности, подлежащие съемке, определения расстояния до них и превышения. В настоящее время на практике используются кипрегели двух видов: КН (кипрегель номограммный) и КА-2 (кипрегель "автомат" второй модификации).

Более совершенный из них кипрегель КН позволяет определять превышения и расстояния, приведенные на горизонтальную плоскость, при одном наведении трубы на рейку.

Кипрегель КН (рис.84) состоит из металлической линейки 5 (служит основанием прибору) с уровнем 10 при ней для горизонтирования одновременно мензулы и кипрегеля, колонки 11 с вертикальным кругом и цилиндрическим уровнем при нем, и зрительной трубы с

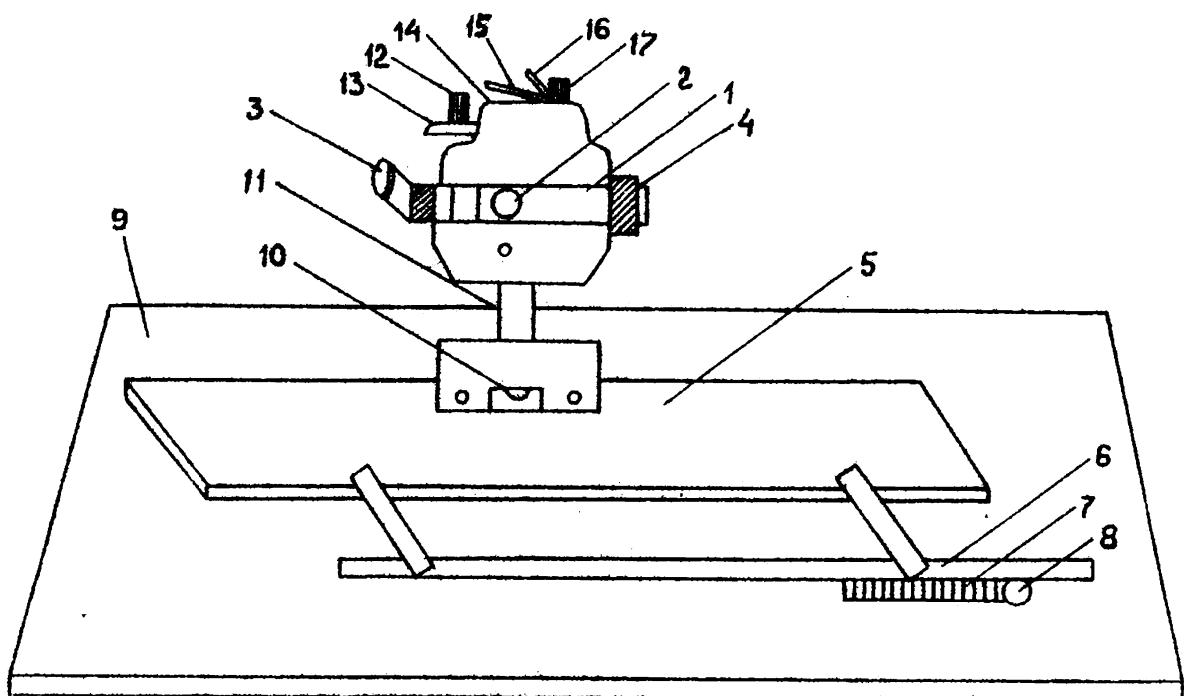


Рис.84. Схема кипрегеля КН.

объективом 4. На дополнительной линейке 6 помещаются съемная масштабная линейка 7 с наколочным штифтом 8 для нанесения на планшет 9 пикетов. На колонке имеется наводящее устройство трубы 12, совмещенное с закрепительным винтом 13 рычажного типа, и винт 17 уровня устройства, предназначенногодля горизонтальной установки отсчетных индексов вертикального круга. Цилиндрический уровень 14 при трубе с зеркалом 15 позволяет использовать кипрегель в качестве нивелира. Окуляр зрительной трубы, находящийся к ней под углом 30° , поворачивается вокруг своей оси, что дает возможность наблюдателю выбрать удобное положение при наблюдениях. Фокусировка изображения в трубе осуществляется вращением кремальеры 2.

2.3. Геометрические оси кипрегеля. На рис.85 сделаны следующие обозначения: VV - вертикальная ось, KK - визирная ось зрительной трубы, LL - ось уровня при линейке, $L'L'$ - ось уровня при вертикальном круге, PP - нижняя плоскость линейки, HH - горизон-

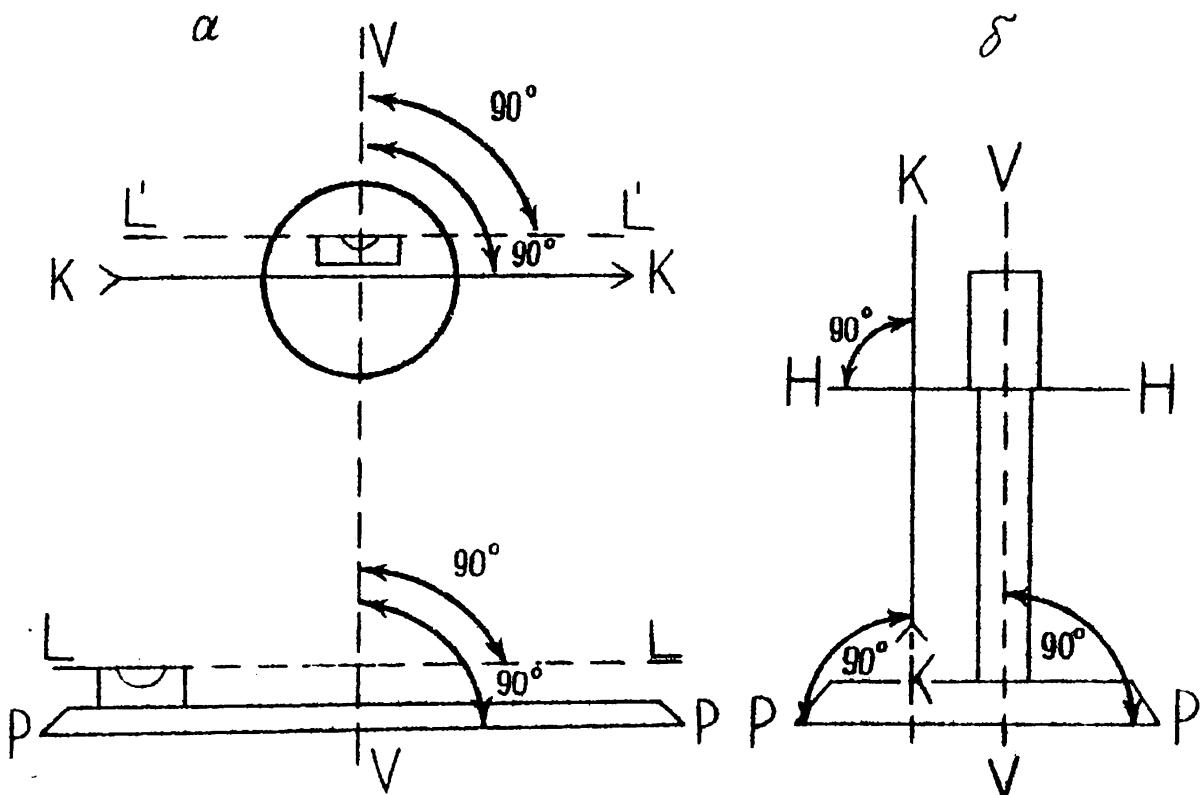


Рис.85. Геометрические оси кипрегеля: а - вид сбоку, б - вид вдоль основной линейки кипрегеля.

тальная ось вращения зрительной трубы.

Основные геометрические условия, при выполнении которых кипрегель может быть использован для съемки, состоят в следующем:

1) LL параллельна РР, 2) КК перпендикулярна НН, 3) НН параллельна РР, 4) КК параллельна скошенному краю линейки.

Чтобы убедиться в этом, а также в том, что выполняется ряд других условий, делаются, как обычно для геодезических приборов, поверки кипрегеля.

2.4. Проверки кипрегеля

1) *Скошенный край линейки должен быть прямой линией, а нижняя поверхность - плоской.* Для проверки этого условия на планшете проводят остро отточенным карандашем линию вдоль ребра линейки. Затем, развернув кипрегель на 180° , прикладывают к линии линейку ребром с другой стороны. Линейка должна всюду одинаково плотно прилегать к прочерченной линии. В противном случае линейка не пригодна для работы. Нижнюю поверхность линейки проверяют на выверенной поверхности планшета: линейка всюду должна плотно прилегать к плоскости планшета.

2) *Линии, прочерчиваемые по ребру основной и дополнительной линеек, должны быть параллельны.* Для проверки прочерчивают линии по обеим линейкам при разном разводе между ними и проверяют, постоянно ли расстояние между ними. Отклонение допускается не более чем 0,2 мм.

3) *Ось цилиндрического уровня на линейке должна быть параллельна плоскости линейки.* Для проверки кипрегель устанавливают на планшете мензуры посередине так, чтобы его линейка была параллельна двум подъемным винтам подставки. Подъемными винтами приводят пузырек уровня на середину - в нуль-пункт. Переставляют кипрегель на 180° . Если при этом пузырек уровня остался на середине, то условие выполнено. Если же пузырек уровня "убежал" в сторону от середины, то его возвращают на половину смещения подъемными винтами подставки, а на другую половину - исправительными винтами уровня. Затем еще раз делают поверку, чтобы убедиться в правильности исправления.

4) *Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы.* Для выполнения этой поверки дважды наводят кипрегель при двух положениях вертикального круга на одну и ту же точку,

каждый раз прочерчивая линию вдоль линейки. Линии должны совпадать или быть параллельными. В противном случае получается некоторый угол в пересечении линий, равный двойной коллимационной ошибке. Она исправляется в мастерской.

5) *Вертикальная нить сетки (КН) или правый вертикальный край Г-образной пластины (КА-2)(см.рис.85,86) должны лежать в коллимационной плоскости кипрегеля или, иначе, должны быть перпендикулярны оси вращения трубы.* Напомним, что *коллимационной плоскостью* называется плоскость, описываемая визирной осью трубы, при вращении ее вокруг горизонтальной оси, при условии, что коллимационная ошибка отсутствует, т.е. угол между осью НН и КК равен 90°.

Для проверки наводят вертикальную нить или правый вертикальный край Г-образной полоски на отчетливо видимую точку и, опуская или поднимая трубу наводящим винтом, следят за тем, сойдет точка с линии или нет. Во втором случае исправление делают в мастерской. Эту же проверку можно сделать по нити отвеса.

б) *Коллимационная плоскость трубы, образуемая при вращении визирной оси вокруг ее горизонтальной оси, должна быть перпендикулярна нижней плоскости основной линейки.* Для проверки этого условия кипрегель наводят на некоторую высоко расположенную точку и, опуская трубу вниз, отмечают точку ее наведения. Затем при другом положении вертикального круга наводят вновь на верхнюю точку и опускают трубу вниз. При выполнении требуемого условия нижняя точка должна совпадать. При расхождении более чем на 4 мм кипрегель бракуется или им можно работать только при одном положении вертикального круга.

7) *Коллимационная плоскость трубы должна совпадать со склоненным краем основной линейки кипрегеля или быть ему параллельной.*

Кипрегель наводят на точку, видимую невооруженным глазом. Затем вдоль склоненного края линейки по двум концам ее накалывают две булавки или иголки и, отодвинув кипрегель, смотрят, видна ли точка наводки в створе двух булавок. Неисправность устраняется в мастерской. Кипрегелем можно работать в поле только при одном положении вертикального круга.

8) *Ось уровня, установленного на трубе, должна быть параллельна визирной оси трубы.* На расстоянии 100-150 м от прибора устанавливается рейка. При двух положениях вертикального круга

дважды на рейку наводится визирная ось и по ней берутся отсчеты при пузырьке уровня, приведенном на середину. Из них выводится среднее значение отсчета. На нем устанавливается перекрестие сетки нитей и исправительными винтами уровня его пузырек выводится на середину. При этом положении пузырька уровня и трубы отсчет по вертикальному кругу, т.е. место нуля (МО), должен быть равен 0° (для КН) или 90° (для КА-2), а отсчет по кривой превышений равен нулю.

9) *Номограммы в поле зрения трубы прибора должны быть установлены правильно.* При горизонтальном положении визирной оси трубы и оси уровня вертикального круга кипрегеля КН кривые превышений ± 10 , начальная кривая Н и вертикальная линия сетки нитей должны пересекаться в одной точке, а у кипрегеля КА-2 точка пересечения кривой превышений с коэффициентом 10 и начальной кривой НН должна быть на правом вертикальном крае Г-образной полоски. При нарушении этих условий исправление делается в мастерской.

10) *Место нуля вертикального круга должно быть постоянным или близким к 0° для кипрегеля КН и 90° для кипрегеля КА-2.*

Проверка делается так же, как у теодолита. При двух положениях вертикального круга дважды наводят трубу на одну и ту же точку и, предварительно установив пузырек уровня при вертикальном круге на середину установочным винтом, берут отсчет по вертикальному кругу. МО вычисляют по формулам: для кипрегеля КН $MO = (\Pi - L)/2$, для кипрегеля КА-2 $MO = (\Pi + L - 180^\circ)/2$.

11) *Коэффициент нитяного дальномера в кипрегелях старой конструкции должен быть равным 100.* Проверяется по рейке, установленной на расстоянии 80 и 100 метров и вычисляется по формуле $K = (D - C)/\ell$, где С - постоянное слагаемое; ℓ - длина интервала компаратора, измеренная кипрегелем; D - то же, полученное из точных измерений.

12) *Определение коэффициентов номограммных расстояний и превышений.* Коэффициенты номограммных расстояний K_s и превышений K_k зависят от точности установки коэффициента дальномера и места нуля. Чтобы проверить тщательность выполнения юстировки и определить действительные значения указанных коэффициентов, сравнивают известные значения длин линий и превышений, полученные из измерений иными, более точными средствами, с результатами измерений

кипрегелем. Коэффициент номограммных расстояний определяется на шести интервалах различной длины (20,40,60,100,120 и 160 м) на полевом компараторе, длина которого измерена с относительной погрешностью не более 1:3 000, и вычисляется для каждого интервала по формуле $K_s = S_0 K_s^0 / S$, где S_0 - длина интервала, полученная из точных измерений, S - длина, измеренная кипрегелем, K_s^0 - номинальное значение коэффициента дальномера, равное 100.

В случае если K_s отличается от номинального более чем на 0,2, в зависимости от масштаба съемки, вводят поправки или устанавливают коэффициент, близкий к номинальному. Поправки вычисляют через 10 м на весь диапазон измеряемых величин расстояний и вводят непосредственно в расстояния в процессе их определений по номограмме. Работа по установке коэффициента выполняется специалистами-техниками.

Коэффициенты номограммных превышений K_{10}, K_{20}, K_{100} рассчитаны соответственно для углов наклона местности $0^\circ-10^\circ$, $10^\circ-20^\circ$, $20^\circ-30^\circ$. Положительные и отрицательные значения K определяются раздельно из сравнения превышений по нескольким интервалам полевого компаратора, измеренным кипрегелем и полученными ранее из геометрического нивелирования. Превышения определяют многократно в прямом и обратном направлениях. Значения превышений не должны различаться между собой более чем на 5 см. Коэффициент K вычисляют по формуле $K_h = h_0 K_h^0 / h$, где h_0 - превышение, известное из геометрического нивелирования, h - превышение, определенное по номограмме кипрегеля с учетом номинального значения коэффициента кривой K_h^0 .

2.5. Подготовка планшета к полевым работам. На планшет накладывается и наклеивается по краям лист хорошей чертежной бумаги, на которой будет вестись съемка. Высохнув, лист натягивается и плотно прижмется к поверхности планшета.

Поверх основного листа также по краям наклеивается лист белой бумаги, так называемая "рубашка", назначение которой - защищать основной лист от загрязнения.

На планшете строится координатная сетка с помощью специальной линейки ЛБЛ, масштабной линейки и измерителя. Построенную сетку тщательно проверяют, сравнивая диагонали квадратов между собой с помощью измерителя. Отклонения допускаются в пределах .8.Зак.247

0,1-0,2 мм. Сетку оцифровывают и наносят по координатам все имеющиеся точки опорной сети с указанием их высот. Правильность нанесения пунктов проверяется по расстояниям между ними, полученными из непосредственных измерений и вычислений и снятых с планшета. Расхождения не должны превышать 0,3 мм.

Вся эта работа проделывается на "рубашке", после чего точки пересечения сетки и все опорные точки аккуратно перекалываются на планшет. В производственных условиях нередко поступают иначе, сетку строят сразу на основном планшете и там же наносят пункты, а потом покрывают "рубашкой".

2.6. Создание съемочной сети графическими способами. Геометрическая сеть строится в такой последовательности.

- В центре участка выбирается базис, отмечаемый на местности колышками. Он произвольно (или по координатам точек на концах) наносится на планшет в масштабе съемки.

- По всему полю съемки выбираются съемочные точки, исходя из требований, которые сформулированы в начале этой главы. На них устанавливают вехи, высоты которых заранее измеряются.

- Планшет на штативе устанавливается на одной из точек базиса, ориентируется по линии базиса на вторую точку, нивелируется и затем производится поочередное наведение кипрегеля на вехи геометрической сети. Прочерчивается направление и измеряется превышение (рис.86).

- Планшет переносят на вторую точку базиса. Ориентируют его на первую точку и повторяют все операции с засечками вех.

- Для контроля мензуру устанавливают на уже засеченных точках, ориентируют на другие вехи и проводят контрольные направления, которые, в идеале, должны пройти через пересечения линий, полученных с концов базиса. На самом деле за счет накопления случайных ошибок получится "треугольник погрешностей", который может иметь длину стороны не более 2-3 мм.

Полученные засечками новые точки накалывают так, чтобы накол пришелся на основной лист. Вычисляют превышения и абсолютные или относительные высоты всех точек, образуя из линий засечек замкнутый полигон, включающий все точки, в том числе опорные и базисные.

- Если в качестве концов базиса избраны опорные точки, имеющие плановые координаты в единой системе, то вся геометрическая

сеть будет ориентирована внутри этой системы координат. Если же базис избран произвольно, он ориентируется, как и планшет, на любой точке сети, с помощью ориентир-буссоли, входящей в мензульный комплект.

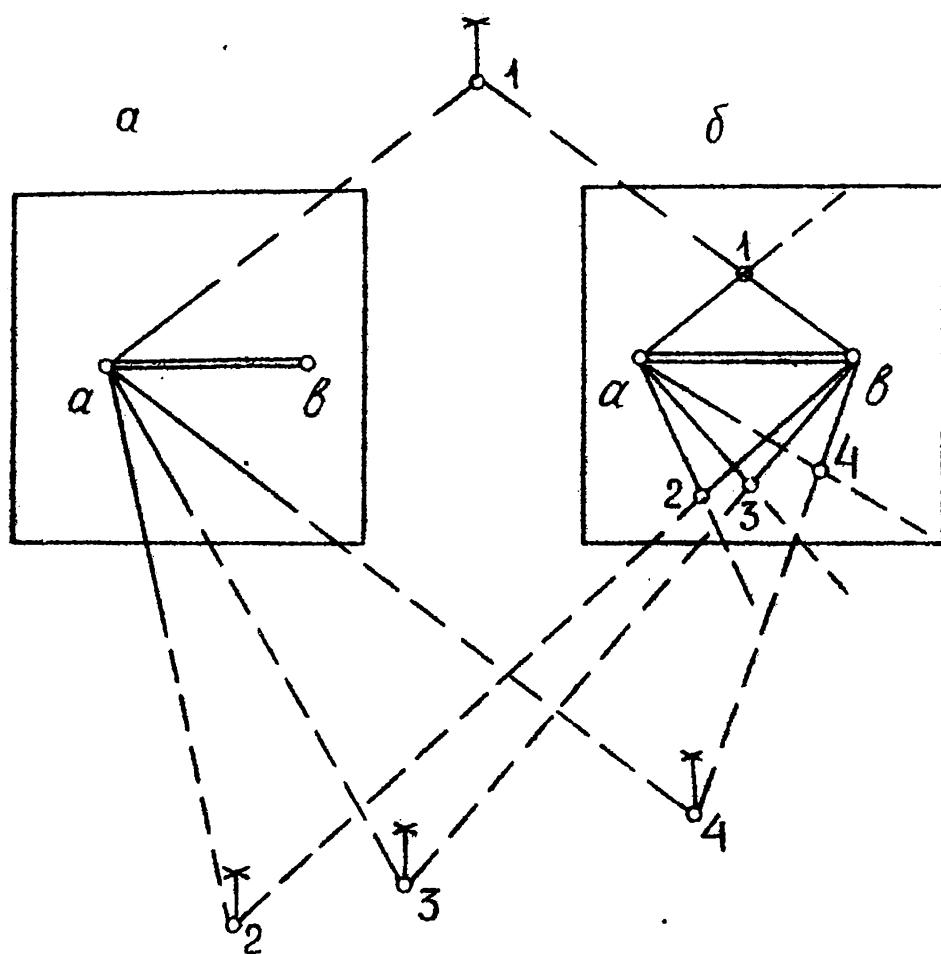


Рис.86. Построение геометрической сети,
положение мензулы первое (а), второе (б).

Мензульный ход может быть проложен как замкнутый так и разомкнутый. Обычно он опирается на твердые точки, нанесенные на планшет по координатам и имеющие высотные отметки. Если же он опирается на произвольно избранную точку, то ориентируется с помощью буссоли.

В процессе работы мензулу поочередно устанавливают на точ-

ках, начиная с первой, опорной, и, вынося вперед по ходу веху или рейку, устанавливают их на следующую точку. Кипрегель визируют на новую точку, прочерчивают направление, определяя расстояние по рейке и измеряя превышение. Расстояние откладывается в масштабе съемки и накалывается положение точки (только на "рубашке" до уравнивания хода). На каждой последующей точке повторяют операцию, дополняя работу тем, что превышение для контроля берется еще и на заднюю вешку (рис.87).

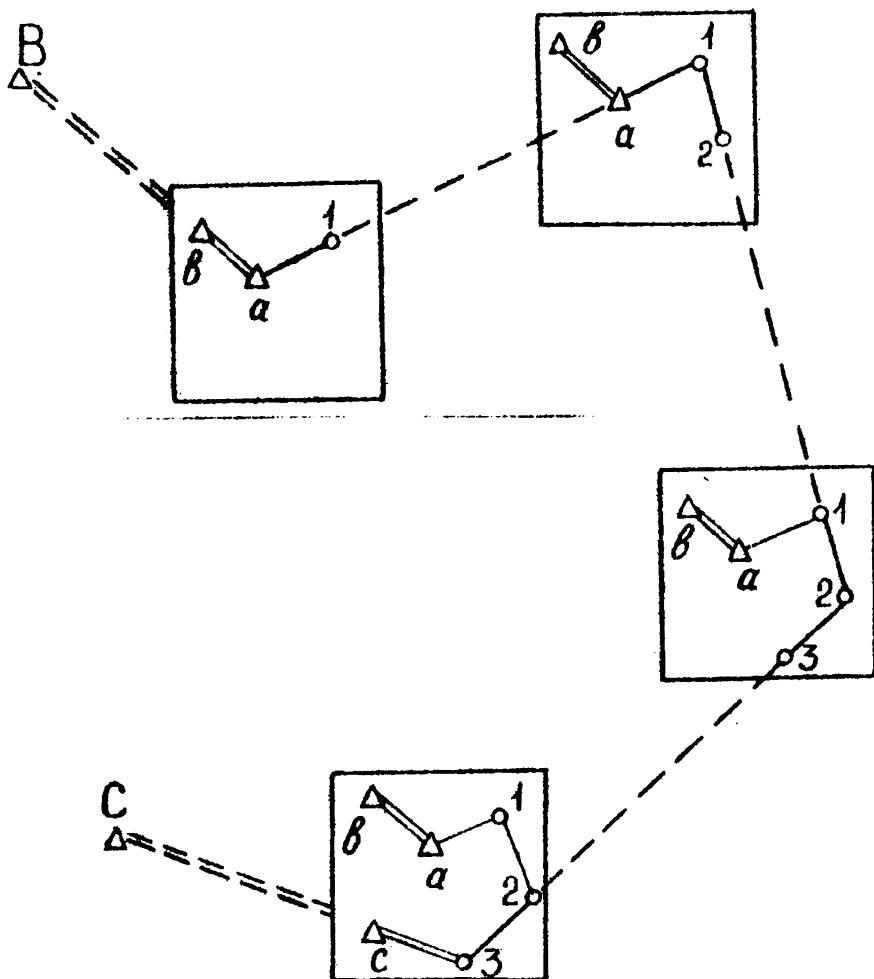


Рис.87. Разомкнутый мензульный ход.

Превышения точек вычисляют и уравнивают по правилам для обработки высотного хода при тригонометрическом нивелировании. Плановая увязка хода осуществляется графически.

При построении хода на планшете во время полевых работ из-за накопления случайных погрешностей ход не удается замкнуть на исходной (для замкнутого хода) или другой опорной точке (для разомкнутого хода). Возникает линейная невязка хода ΔS , как это показано на рис.88.

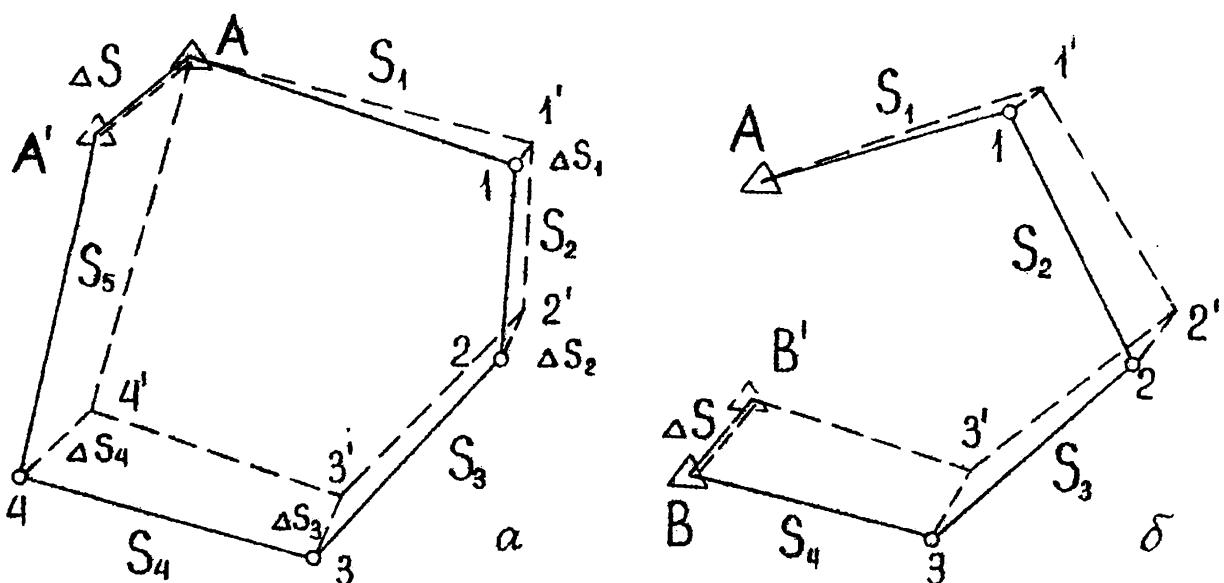


Рис.88. Графическая увязка мензульного хода
замкнутого (а) и разомкнутого (б).

Допустимая невязка хода не должна быть более 1:200 Р (периметра). Если получилось хуже, ход необходимо повторить, если лучше - уравнять. Для этого рассчитывают поправку на некоторую единицу расстояния (метры, километры), по формуле $\delta_s = \Delta S / P$.

Поправки во все точки, начиная со второй, вносятся путем ее смещения параллельно ΔS в направлении замыкания хода. Каждая последующая точка получает поправку, пропорциональную расстоянию от исходной точки, т.е. поправка от точки к точке возрастает. Для каждой точки поправку в ее положение можно либо рассчитать, либо получить графически. Расчет производится следующим образом:

$$\Delta S_1 = \delta_s S_1,$$

$$\Delta S_2 = \delta_s (S_1 + S_2),$$

$$\Delta S_3 = \delta_s (S_1 + S_2 + S_3),$$

$$\Delta S = \delta_s (S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n).$$

Поправки из графика можно получить, построив его таким образом (рис.89). Расстояния S на графике откладываются в некотором

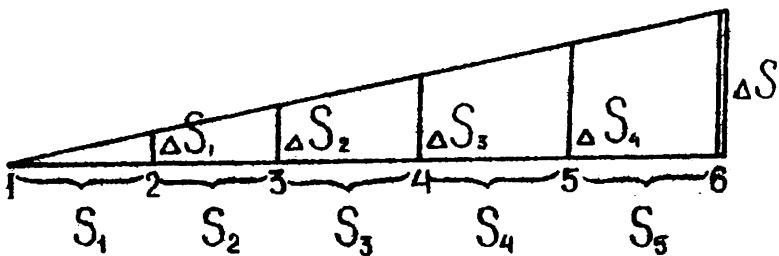


Рис.89. Графическое определение поправок.

масштабе; величина ΔS прямо снимается с планшета.

2.7. Мензульная съемка в поле начинается с установки мензулы на точке, которая включает следующие действия.

- Штатив устанавливается над точкой и сверху закрепляется планшет.

- Планшет центрируется над точкой. В отличие от теодолита, который центрируется по отвесу в продолжении вертикальной оси вращения алидады прибора, в мензule центрируется точка на планшете, на которой устанавливается прибор. Для этого используется деревянная "вилка", которая надевается сбоку на планшет так, что одним концом она касается точки, а другой приходится на эту же точку снизу, где и подвешивается отвес. Однако точность центрирования зависит от масштаба съемки.

- Планшет нивелируется с помощью уровня на линейке кипрегеля обычным способом. Ставится кипрегель линейкой параллельно двум подъемным винтам треножника (подставки) и вращая их в разные стороны, выгоняется пузырек уровня на середину. Переставляется кипрегель на 180° . Если при этом пузырек уровня "убежал" в сторону от середины, то его возвращают на половину смещения подъемными винтами подставки, а на другую половину - исправительными винтами уровня. Эта операция повторяется для контроля.

- Планшет ориентируется по одной из точек, веху над которой можно наблюдать в трубу. Для этого кипрегель устанавливается так, чтобы скошенный край линейки соединил на планшете точку стояния

с точкой наблюдения и, разворачивая планшет, наводим планшет вместе с кипрегелем на веху. Затем ставим кипрегель соединив точку стояния с другой точкой ориентирования, и, если все сделано правильно, мы увидим вторую веху в перекрестии нитей трубы. В противном случае следует искать, в чем кроется ошибка.

Следует отметить, что все операции по центрированию, нивелированию и ориентированию планшета стараются выполнить одновременно методом приближений.

Затем, удостоверившись, что все точки опорного и съемочного обоснования переколоты с рубашки на основной лист бумаги, вскрывают его, осторожно разрезая и загибая части рубашки. Открывают сравнительно небольшой участок, с которого и начинают съемку.

Сама съемка делается полярным способом. Один или двое речников обходят участок съемки, устанавливая рейку в соответствии с формами рельефа, а также на изломах границ лугов, пашен, лесов, огородов, по линиям дорог, рек, ручьев, линий связи, у домов и других сооружений. Снимающий наводит кипрегель на рейку, сохраняя точку стояния на планшете на склоненном крае линейки, определяет дальность и превышение точки. По этим данным откладывает расстояние до точки, накалывает ее и подписывает отметку.

Сразу же после взятия очередного пикета на контуре зарисовывается ситуация на планшете. Горизонтали проводят после взятия не более 10-12 пикетов, чтобы наблюдатель мог сопоставить пикетные точки на плане с соответствующими точками на местности. Рисовка ситуации и горизонталей обязательно ведется в поле и не может быть выполнена по памяти камерально во избежание грубых ошибок.

По ходу работы составляются кальки высот и контуров с целью исключения ошибок в процессе камерального вычерчивания планшета по завершении полевых работ. Кальку высот получают прямым копированием заснятого участка ежедневно и до того, как будут подняты горизонтали и иная ситуация. На кальке высот обозначаются пункты геодезического обоснования, пункты теодолитных ходов, речные точки, гидографическая сеть с отметками уреза воды.

Все полевое вычерчивание производится простым карандашом. Окончательное вычерчивание и оформление планшетов проделывается в камеральных условиях. Планшет вычерчивается тушью, изображение ситуации выполняется в принятой для данного масштаба системой

условных знаков. Работу начинают с показа геодезической сети точек. После этого вычерчивают гидрографическую сеть, населенные пункты, дороги и сооружения при них, элементы рельефа, изображаемые условными знаками и, наконец, горизонтали. Затем выделяют контуры сельскохозяйственных угодий, лесов, лугов, кустарников и др. Делаются все необходимые надписи и подписи. Карандашный рисунок при этом полностью убирается резинкой. Вычерчивание проделывается в принятом стандартном цвете.

В завершение работы вычерчивается рамка планшета и делается обычное зарамочное оформление топографических карт.

Вычерченный план аккуратно срезается с мензульного планшета с помощью скальпеля или бритвы, которой по линейке обрезают лист готовой карты. Он легко отделяется от планшета, на котором остаются только приклеенные к краям закраины.

Глава 3. ДРУГИЕ ВИДЫ ГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК

1. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Слово "таксиметрия" означает "быстрое измерение". Действительно, одно из преимуществ тахеометрической съемки - быстрота исполнения, а также работа с одним из приборов: теодолитом или тахеометром без громоздкой мензуры. Вместе с тем, недостатком тахеометрической съемки является то, что она ведется "на запись", а вычерчивается план камерально, когда топографы не имеют местность перед глазами.

1.1. *Тахеометры.* Тахеометрическая съемка выполняется либо техническими теодолитами типа Т30, Т15 и др., либо специально сконструированными для таких работ приборами-таксиметрами, которые бывают различных типов.

- *Тахеометры номограммные*, имеющие в поле зрения трубы номограмму, с помощью которой определяют расстояния и превышения. К этому типу относится тахеометр 2ТН и др. Он имеет трубу, дающую прямое изображение и снабжен специальным вращающимся картографическим столиком, на котором укрепляется бумага и составляется на

каждой отдельной станции план местности. Картографические столики также бывают разных типов, например, столик-таксеограф Д.Н.Оглоблина (СССР), столик Цветанова (Болгария), а также имеющий наибольшее распространение достаточно простой конструкции столик "Карти" (ГДР).

- Тахеометры с дальномерами двойного изображения имеют оптические устройства, которые позволяют по горизонтальной рейке определять горизонтальное проложение наклонных линий. Это - тахеометры ТД, Редта 002 и другие.

- Тахеометры внутрибазовые используются для съемок труднодоступных участков местности и могут работать без рейки. Тахеометр такого типа ТВ в настоящее время не выпускается, но еще используется в работе.

- Электронно-оптические тахеометры типа Та5 и другие позволяют результаты измерений автоматически регистрировать либо на световом табло, либо на перфоленте, магнитной ленте и других носителях, которые затем можно использовать для обработки на ЭВМ.

Рейки, которые используют при тахеометрической съемке - это либо обычные дальномерные рейки для съемки, либо специальные рейки с выдвижной пяткой для установления нуля рейки на высоту прибора, аналогичные тем, которые используются при мензульной съемке кипрегелями КН и КА-2.

1.2. Геодезическое обоснование и выполнение тахеометрической съемки. Съемка может производиться с точек теодолитного хода, проложенного для этой цели или точек, полученных заранее другими способами. Чаще же всего прокладываются специальные тахеометрические ходы, либо раздельно со съемкой, либо и чаще всего в едином процессе со съемкой.

Прокладка хода одновременно со съемкой производится в следующем порядке.

- Тахеометр устанавливается на первой, исходной точке, которая может быть избрана как опорная и иметь определенные координаты и высотную отметку, а может быть просто первой по ходу точкой, и тогда весь снятый план, будучи строгим построением, в то же время не будет привязан к единой системе координат. В последнем случае для ориентирования плана в процессе работы должны изменяться магнитные азимуты сторон хода. По ним можно также контролировать

лировать правильность измеренных углов.

Итак, установленный на исходной точке тахеометр центрируется, горизонтируется ориентируется либо по примычному углу, либо по магнитному меридиану (по буссоли). Измеряется высота прибора над точкой стояния.

- Измеряются горизонтальные углы между направлениями хода и вертикальные углы вперед и назад по ходу при круге левом и правом. Азимут сторон по буссоли определяется также вперед и назад.

- Измеряются расстояния дальномером вперед и назад по ходу.

- Вычисляются значения горизонтальных и вертикальных углов и определяется место нуля для контроля.

- Ориентируется лимб горизонтального круга 0° вперед (или назад) по линии хода (всегда одинаково и закрепляется до конца съемки на данной точке).

- Приступают к съемке ситуации и рельефа полярным способом. Реечник обходит участок съемки, как это делается при мензульной съемке, наблюдатель фиксирует точки его стояния, определяет на них направления по горизонтальному лимбу, расстояние и превышение. Все это записывается в полевой журнал и одновременно ведется абрис (или крохи) в которых отмечается положение снятых реечных точек и делается зарисовка ситуации. При работе с картографическими столиками план составляется непосредственно в полевых условиях на каждой отдельной станции, как при мензульной съемке, а затем в камеральных условиях составляется общий, сводный план местности.

В камеральных условиях вычисляют координаты (условные или в единой системе прямоугольных координат) всех точек тахеометрического хода. Допустимая погрешность в положении точек вычисляется по формуле $f_{\Delta} = \sum S / (400\sqrt{n})$, где S - периметр (длина хода) в метрах, n - число сторон хода.

Вычисляется и уравнивается высотный ход и получают высотные отметки всех точек хода. Допустимая ошибка (см) высотного хода равна $f_{\Delta h} = 0,04\sum S / \sqrt{n}$.

На планшет по координатам накладывается ход и наносится ситуация, рисуется рельеф, после чего план обязательно визуально проверяется в поле.

2. БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА

Буссольная съемка относится к разряду полуинструментальных. Ее точность ниже мензульной и тахеометрической съемок. Однако для целей географических и геологических исследований она может быть достаточной. В тоже время буссольная съемка не требует громоздких приборов, проста в исполнении.

2.1. Устройство и поверки буссоли. Для съемки используются буссоли специально созданные для такой работы, в том числе Большая буссоль и буссоль Стефана (БС), которыми можно работать, надев втулку на штырь легкого штатива, просто надев на кол и даже "с руки" (рис.90).

Центральная деталь буссоли - это стрелка 4 с арретиром для закрепления ее в нерабочем состоянии. Буссольное кольцо 3 имеет градусные деления либо азимутальные (по или против часовой стрелки), либо румбические. Диаметр кольца буссоли 0° - 180° должен совпадать с аналогичным диаметром лимба 6, по которому производится отсчет с помощью верньера 5. Визирование на предметы выполняется через глазной 2 и предметный 1 диоптры. Основание буссоли поконится на втулке 7, позволяющей устанавливать буссоль по уровню и закреплять ее в этом положении винтом. Шаровой уровень буссоли помещается на дне коробки буссоли.

Перед работой буссоль подвергается поверкам:

- Стрелка должна быть уравновешена в горизонтальной плоскости, т.е. когда буссоль отнивелирована по уровню, стрелка не должна "клевать" одним концом. Для исправления существует передвижной

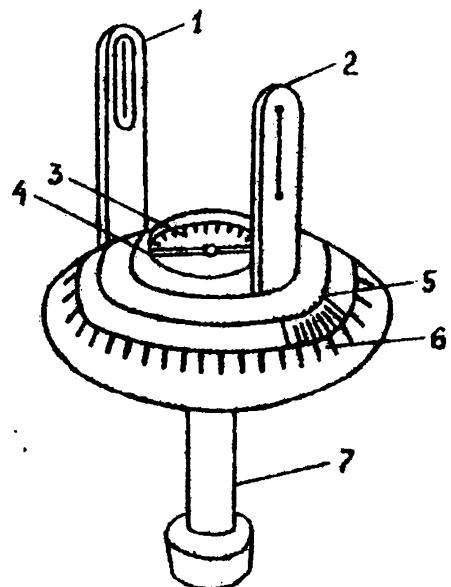


Рис.90. Буссоль Стефана.

грузик на одном из концов стрелки.

- Стрелка должна быть достаточно чувствительной и подвижной. Для проверки к установленной буссоли подносят железный предмет, стрелка должна чутко на него реагировать, а после изъятия предмета устанавливаться на том же отсчете по кольцу.

- Стрелка не должна иметь эксцентризитет. Проверяется отсчетами по двум концам стрелки при разном положении кольца.

- Магнитная и геометрическая оси стрелки должны совпадать. Проверяется путем снятия стрелки и переворота ее на другую сторону. При этом в обоих положениях отсчеты по концам стрелки должны совпадать.

2.2. Порядок работы в поле

1) Разбить полигон. Расставить и закрепить точки, с которых будет вестись съемка. Измерить между ними расстояния землемерной лентой, рулеткой или более простыми способами в зависимости от требуемой точности работы.

2) На всех точках полигона измерить либо внутренние углы, либо азимуты сторон полигона. Все измерения делать дважды, азимуты брать прямые (A_p) и обратные (A_o) для контроля (рис.91). Углы измерять либо непосредственно по неподвижному лимбу, наводя визирь в двух направлениях, либо вычисляя углы по разности азимутов двух направлений.

3) С каждой точки производить съемку подробностей, как это показано на рис.91.

Ориентирные и важные объекты снимают прямыми и обратными засечками. Рельеф и границы угодий, дороги и реки, и другое снимают полярным способом, определяя направление на них с точки по азимуту, измеряя расстояние. Некоторые линейные объекты снимают методом "от магистрали", т.е. промерами по перпендикуляру к какой-нибудь стороне хода. При необходимости внутри полигона прокладывают дополнительные диагональные ходы.

Превышения определяют барометрическим нивелированием или другими простыми способами.

2.3. Камеральная обработка хода заключается в следующем.

Результаты съемки накладываются на планшет. Сначала строится полигон по углам или азимутам и расстояниям в избранном масштабе. Затем делается графическая увязка полигона способом, описанным в пункте 2.6 главы 2.

Затем наносятся все пункты, полученные засечками и промерами от магистрали или просто единичными промерами. После этого наносится вся остальная ситуация в условных знаках топографических карт с абрисов, которые составляют в поле по ходу.

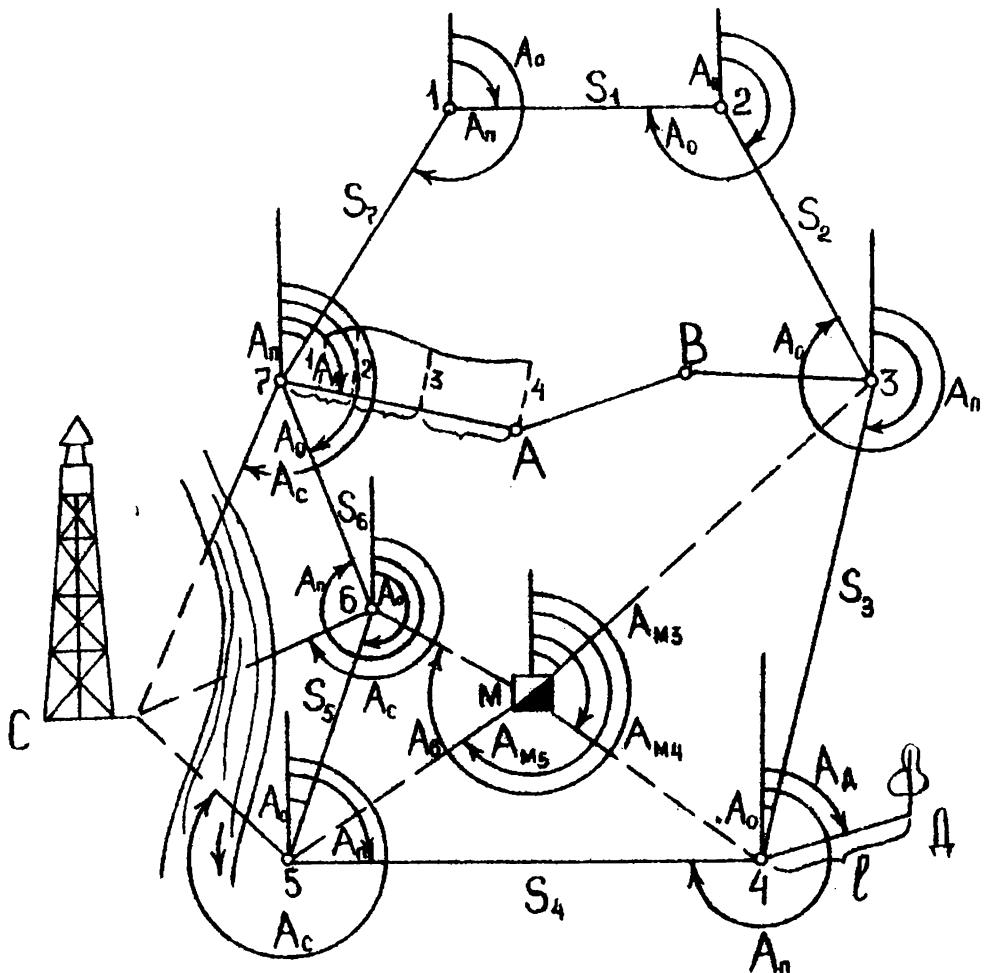


Рис.91. Полигон бусольной съемки.

Если есть результаты барометрического нивелирования, наносят пункты с отметками высот и, если это возможно, проводят горизонтали. Планшет окончательно оформляется в туси и красках.

3. ГЛАЗОМЕРНАЯ СЪЕМКА

Глазомерная съемка выполняется для получения приближенного плана местности в короткие сроки и с минимумом затрат. Быстрота съемки достигается тем, что длины линий и углы измеряются простейшими приборами, а содержание плана заполняется глазомерно.

Однако несмотря на простоту исполнения глазомерная съемка требует от исполнителей достаточных навыков и умения в производстве топографических съемок, и особенно ценен в данном случае опыт, приобретенный на мензульной съемке.

Глазомерная съемка бывает *сплошная* (съемка площади) и маршрутная в виде полосы вдоль пути следования. Принципиальная схема глазомерной съемки такая же, как инструментальных и полуинструментальных съемок. Ходы прокладываются для контроля в виде замкнутых многоугольников. Прокладка хода и съемка подробностей выполняется одновременно, как, например, при буссольной и тахеометрической съемках. Ход и положение объектов местности сразу же фиксируются на листе бумаги. В некоторых случаях глазомерная съемка может производиться по "скелету", полученному со старых карт. Рельеф изображается либо на глаз, проводя горизонтали по значительным уклонам местности, либо показываются только отдельные формы рельефа: обрывы, овраги и др.

Для производства глазомерной съемки нужно иметь планшет с прикрепленным листом чистой белой бумаги, компас, который также может быть закреплен на планшете, визирную линейку (трехгранного сечения) и карандаш. Иногда в процессе глазомерной съемки проводят барометрическое нивелирование. Тогда в маршрут берут анероид.

Расстояния измеряют шагами, чаще всего, парами шагов. Для этого рассчитывается и вычерчивается масштаб шагов с помощью которого количество отсчитанных шагов по трассе переводят в метры в масштабе съемки. Вдоль измеренного на ровном участке лентой отрезка в 100 м дважды, туда и обратно проходят ровными шагами, считая пары шагов под левую или правую ногу. Затем составляется соотношение n пар шагов = 100 м, а 200 пар шагов = x м. Отсюда $x = 200 \cdot 100/n$. По этим данным строят линейный или клиновой масш-

таб шагов (рис.92). Линейный масштаб вычертывают на полоске бумаги, которую наклеивают на визирную линейку. Клиновой масштаб вычертывают прямо на краю планшета (листа бумаги).

Съемку начинают с того, что накалывают на планшет первую, исходную точку маршрута, так, чтобы весь оставшийся участок или полоса съемки разместились удачно на листе бумаги. Потом разворачивают перед собой планшет, ориентируя его по компасу, и визируют направление, по которому предстоит следовать дальше. Прочерчивают линию и после промера шагами вдоль нее откладывают расстояние между точками 1 и 2. На точке 2 операция повторяется. Ход завершается тем, что с последней точки исполнитель визирует планшет на первую точку, замыкая ход. Съемщик должен убедиться, что визирная линия совпала по направлению на первую точку, а измеренное на нее расстояние в натуре и на планшете не расходятся значительно. Разумеется, что допускаются значительно большие расхождения, чем при инструментальных съемках. Однако следят за тем, чтобы они не были чрезмерно большими, это может привести к искажению конфигурации всего хода и, следовательно, плана местности.

По ходу работы съемщик заполняет планшет содержанием, засекая положение отдельных объектов и зарисовывая детали на глаз.

Во время съемки расстояния могут изменяться и глазомерно,

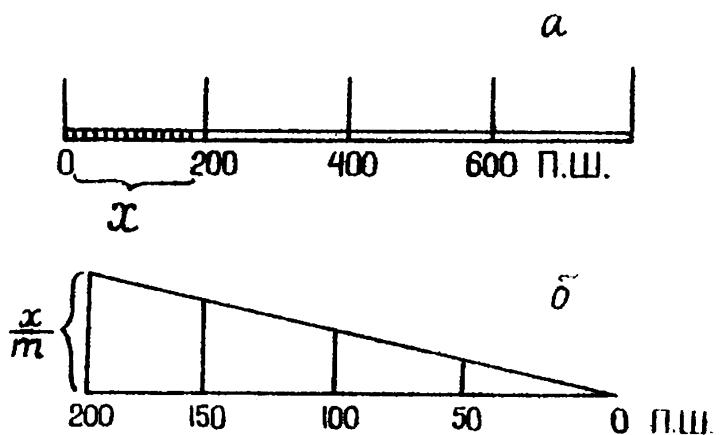


Рис.92. Масштабы шагов: а - линейный, б - клиновой, т - знаменатель масштаба.

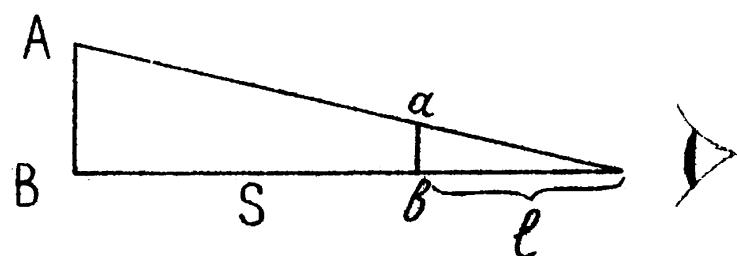


Рис.93. Глазомерное определение расстояний.

как это показано на рис.93: С - глаз наблюдателя, ℓ - длина вытянутой руки, ab - линейка, AB - объект, высота которого известна. Из подобия треугольников ABC и abC следует $S/\ell = AB/ab$,

$$S = \ell \cdot AB / ab.$$

4. ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МОРСКОГО ШЕЛЬФА И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ

Съемка шельфа и внутренних водоемов сравнительно недавно стала задачей топографической службы. Ранее карты шельфа в топографическом исполнении не делались, а внутренние водоемы: озера, водохранилища и др. на топографических картах показывались просто голубой краской с указанием лишь отметок урезов воды.

Комплекс работ по съемке шельфа и водоемов включает создание опорной геодезической сети, уровенные наблюдения, съемку поверхности дна. Задача состоит в определении положения точек промера на поверхности водоема и исполнении промера глубины.

Для определения плановых координат съемочного судна применяют различные радиогеодезические системы и простые засечки. Для определения глубин используются как ручные лоты, так и эхолоты.

Геодезическое обоснование создается на берегу, на мелководье. Водомерные посты дают сведения о систематическом изменении уровня вод, чтобы затем все глубины привести к одному исходному уровню. В результате съемки на топографических картах показываются отдельные точки с глубинами и линии равных глубин - изобаты, а также типы грунтов на дне и растительность.

Глава 4. ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Вслед за изобретением фотографии ее тотчас же стали применять для топографических съемок местности. В 1845 г. французский инженер Э.Лосседа впервые использовал перспективные наземные фотографии для составления планов местности путем развертки перспективного изображения в плановое. Этот метод получил название

ние фотограмметрия. Значительный вклад в развитие фотограмметрии внесли русские ученые и инженеры, применявшие наземные фотографические съемки при изысканиях под строительство железных дорог. Так возникла одна из разновидностей фототопографической съемки - *фототеодолитная съемка*.

Вместе с тем началось применение фотографии для воздушной съемки с целью картографирования. С развитием авиации, начиная с 20-х годов нашего столетия, чрезвычайно быстро развилась *аэрофототопографическая съемка*. К настоящему времени она стала основным методом создания топографических карт. Кроме того, по материалам аэрофотосъемок производится систематическое обновление топографических карт, необходимое для приведения в согласие содержания устаревающих карт с действительным состоянием территории.

С развитием космических съемок появилась возможность использовать мелкомасштабные снимки с ИСЗ для создания карт, однако это преимущественно карты общегеографических масштабов 1:500 000 и 1:200 000.

I. ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

Наземная фототеодолитная съемка производится специальным прибором - *фототеодолитом*, представляющим собой сочетание теодолита с точной фотокамерой в совместном или раздельном исполнении. Фотокамера служит для фотографирования местности, теодолит используется для измерения горизонтальных и вертикальных углов с целью определения координат станций, на которых производилась съемка.

Точки, с которых ведется фотографирование, должны быть привязаны к государственной плановой и высотной геодезической сети. Для этого они включаются в общий теодолитный ход или привязываются специальными ходами к опорным пунктам.

Фотографирование ведется с двух концов базиса, длина которого определяется в процессе геодезической привязки, как и отметки точек на концах базиса. Это дает возможность рассматривать пары снимков стереоскопически и производить измерения на специальных стереофотограмметрических приборах с высокой точностью.

Для фотографирования станции базисы выбирают так, чтобы съемкой была покрыта вся картографируемая местность. Длина базиса зависит от глубины фотографируемого пространства и допустимой погрешности определения координат точек местности по снимкам. Формула для подсчетов выглядит так:

$$\frac{Y_{\max}^2 \cdot \delta_p}{f \cdot \delta_Y} \ll B \ll \frac{Y_{\min}}{4},$$

где δ_p - погрешность измерения положения (параллаксов) точек на снимках δ_Y - погрешность определения координат точек в натуре, Y_{\max} - расстояние до дальней границы съемки, Y_{\min} - расстояние до ближней границы съемки.

До начала полевых работ составляется проект съемки, в котором предусматривается сущение геодезической основы с обязательной графической частью, содержащей схему размещения съемочных базисов и так называемых корректурных точек (рис.94). Здесь же на-

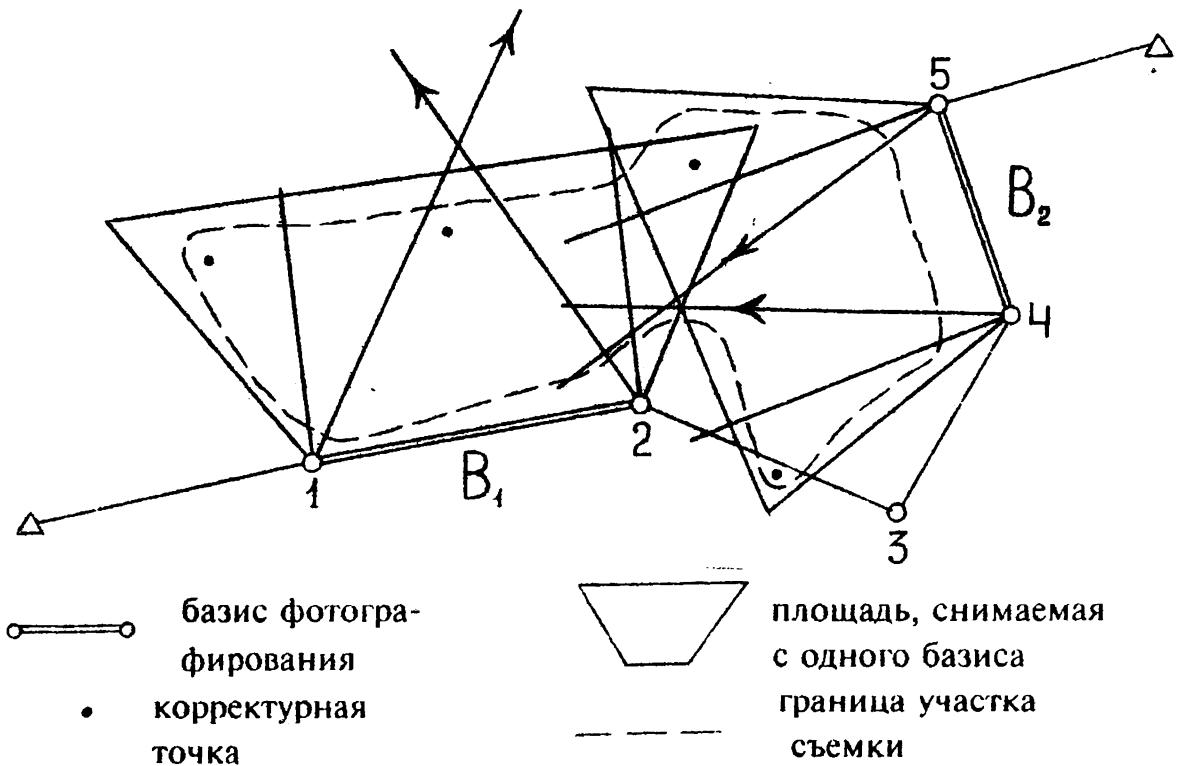


Рис.94. Проект геодезической привязки, расположения базисов и корректурных точек фототеодолитной съемки.

носятся границы участков съемки с каждого базиса в отдельности с выделением участков, которые из-за особенностей рельефа или по иным причинам оказываются не заснятыми при фотографировании, так называемые "мертвые пространства".

Полевые работы включают в себя: выбор точек съемки (базиса), выбор и установку (маркировку) корректурных точек, играющих роль контрольных пунктов, прокладку геодезических сетей или ходов для привязки точек съемки и корректурных точек, измерение базисов, фотографирование.

Фотографирование может производиться при следующих положениях оптической оси фотоаппарата:

- нормальный случай, когда оптическая ось перпендикулярна базису и горизонтальна, таким образом, оси в двух положениях аппарата параллельны друг другу;

равнонаклонный - оптические оси взаимно параллельны и перпендикулярны к горизонтальной проекции базиса, но наклонены к горизонту на один и тот же угол;

- равноотклоненный - оптические оси горизонтальны и параллельны между собой, но составляют некоторый угол с базисом, отличный от 90° ;

- конвергентный вид съемки, когда оптические оси горизонтальны, но не параллельны друг к другу.

Из перечисленных видов съемки на практике применяется, как правило, только нормальный и равноотклоненный.

Фотографирование ведется на фотографические пластиинки или пленку с малой чувствительностью и высокой разрешающей способностью. Поэтому снимки содержат много мелких деталей. Размеры снимков, получаемых фототеодолитами обычно 13×18 см. В середине каждой рамки кадра отпечатываются координатные метки, соединив которые, получают положение центра снимка, необходимое при измерении координат.

На практике используются фототеодолиты различных типов и конструкций. Среди них известны: фототеодолит "Геодезия" (СССР), фототеодолиты "Фотео-19/1318 и С-За (ГДР) и др.

При фототеодолитной съемке положение точки определяют, в конечном счете, в пространственной системе координат $OX_rY_rZ_r$, а непосредственные измерения проводят в системе координат снимка $oxyz$,

от которой последовательно переходят к фотограмметрической системе SXYZ а затем к геодезической (рис.95).

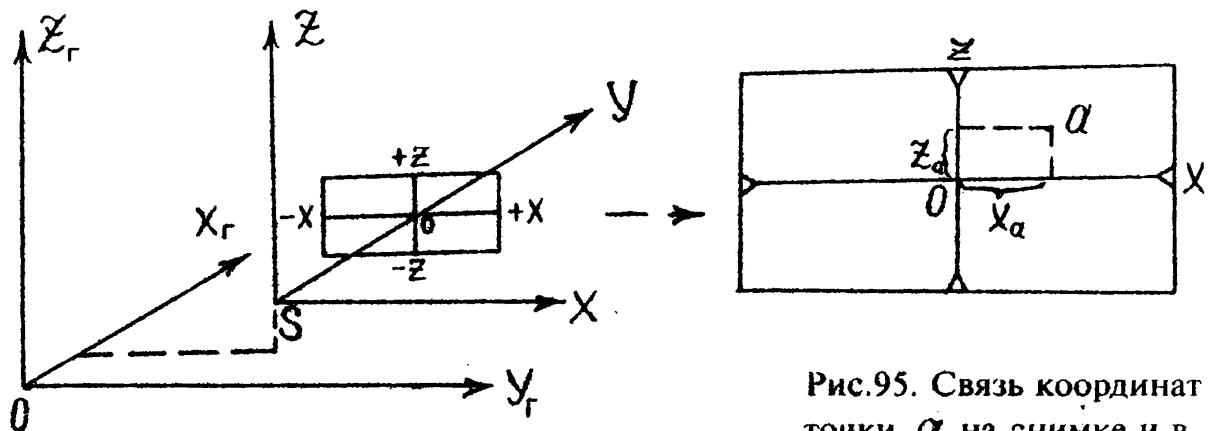


Рис.95. Связь координат точки α на снимке и в геодезической системе.

Выведем основные формулы фототеодолитной съемки.

Для этого воспользуемся рис.96 со следующими обозначениями:

B - базис съемки, S - узловая точка объектива фотокамеры, $C_{лев}$ и $C_{сп}$ - плоскости позитивов, расположенные на расстоянии f (фокусном расстоянии объектива камеры) от точки S ; O_1 и O_2 - точки пересечения оптической оси объектива с плоскостями позитивов (снимков) - это главные точки снимков, которые получаются в пересечении линий, соединяющих координатные метки на каждом снимке. A - некоторая точка местности, которой на левом снимке соответствует точка a_1 , а на правом - a_2 .

Если принять координатные линии за оси координат x и z , то положение точек a_1 и a_2 определяется на снимке парой координат: x_1 , z_1 и x_2, z_2 . Эти координаты называются плоскими фотограмметрическими координатами.

P - параллакс, величина которого связана с координатой x . Величина параллакса определяется как разность абсцисс двух изображений на разных снимках. Для точки A параллакс $P_A = x_1 - (-x_2) = x_1 + x_2$.

Для нормального случая съемки, который изображен на рис.96, выведем основные формулы определения пространственных координат

точек местности по стереопаре снимков.

Из подобия треугольников $S_1 S_2 A$ и $S_1 a_1 a_2'$ следует $P/f = B/Y_A$,
откуда

$$Y_A = \frac{B}{P} f \quad (1)$$

Можно также написать $X_A/Y_A = x_1/f$, или $X_A = Y_A x_1/f$. Подставив
сюда формулу (1), получаем

$$X_A = \frac{B}{P} X_1 \quad (2)$$

аналогично

$$Z_A = \frac{B}{P} Z_1 \quad (3)$$

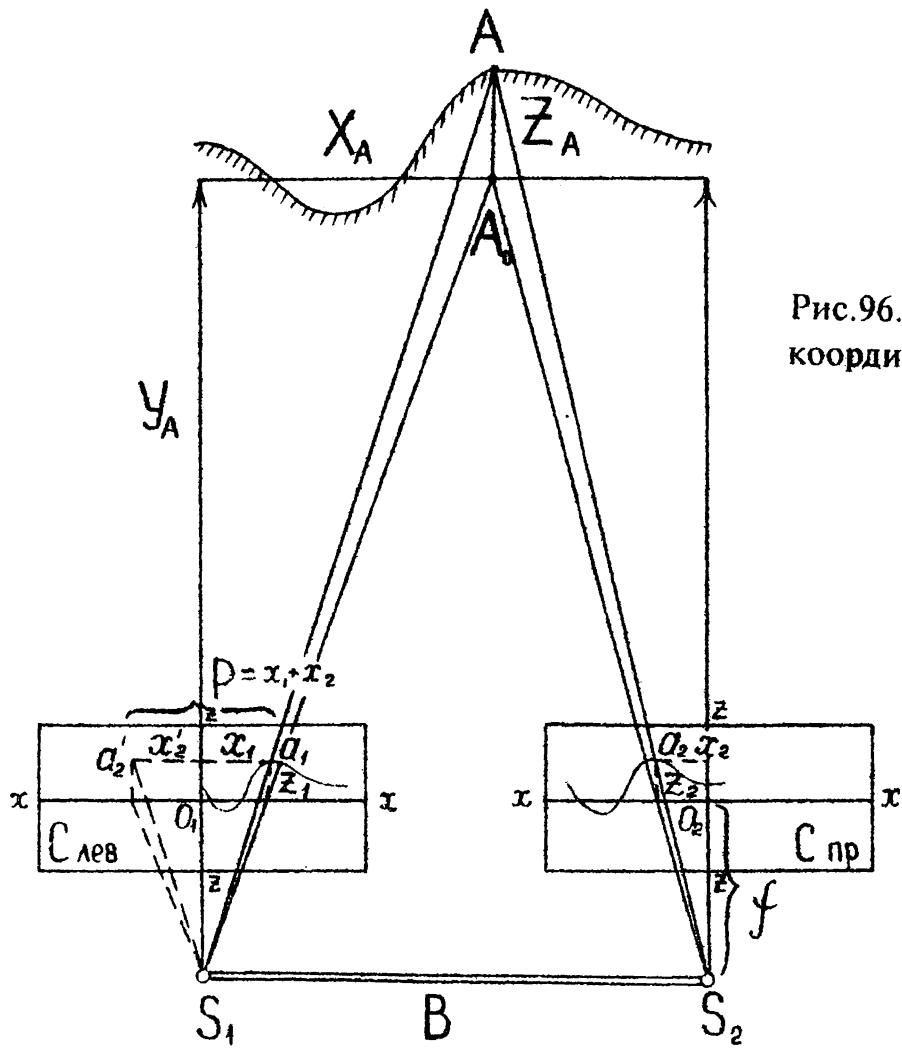


Рис.96. Определение координат точек местности.

Переход от фотограмметрических координат x_ϕ , y_ϕ , z_ϕ точек к геодезическим осуществляется по формулам

$$X = x_s + y_s \cos \alpha_0 - z_s \sin \alpha_0,$$
$$Y = y_s + y_s \sin \alpha_0 + z_s \cos \alpha_0,$$
$$Z = z_s + z_s,$$

где X, Y, Z - геодезические координаты определяемой точки,

x_s, y_s, z_s - геодезические координаты центра проекции (узловой точки объектива) при съемке с левой точки базиса; α_0 - дирекционный угол оптической оси камеры (главного луча снимка) при съемке с левой точки.

Основные достоинства фототеодолитной съемки, как и других видов аэрофототопографических съемок, состоит в том, что они сокращают время и затраты на полевые работы. Собственно съемка (создание плана или карты) происходит в значительной мере камерально, по снимкам.

Существуют две группы методов обработки фототеодолитных снимков. Во-первых, аналитический, когда координаты точек измеряются на снимках с помощью высокоточных стереофотограмметрических приборов - стереокомпараторов, а окончательные координаты точек местности получают на ЭВМ вычислением. Во-вторых, графомеханические способы, когда снимки обрабатываются на специальных универсальных стереоприборах, при этом план местности получается непосредственно на планшетах стереоприборов.

2. АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Существуют следующие методы аэрофототопографической съемки:

- комбинированная съемка;
- стереотопографическая съемка: универсальная и дифференцированная.

Исходным материалом для создания карты служат аэрофотоснимки. Вся процедура создания карты включает в себя две задачи: собственно съемку - фотографирование с летательных аппаратов (самолетов, вертолетов) и обработку снимков - фотограмметрические работы по созданию плана и дешифрирование снимков.

2.1. Аэрофотографическая съемка. Фотографическую съемку про-

изводят с самолетов. Существуют специально сконструированные или приспособленные для этой цели аэропланы, например отечественный АН-30 и др.

Фотографирование производится специальными аэрофотоаппаратами (АФА), снабженными объективами с различными фокусными расстояниями: 70, 100, 140, 200 мм и др. Съемка ведется на фотопленку, заправленную в кассеты. Размер кадра у стандартных отечественных АФА 18x18 см, но есть также аппараты с размерами кадра 23x23 см и 30x30 см.

Пленка для аэрофотографирования используется как черно-белая, так и цветная, однако в массовом производстве топокарт применение находит преимущественно черно-белая пленка с эмульсией, чувствительная ко всей видимой части спектра (панхром), обладающая высоким фотографическим разрешением (детальность) изображения. Снимки печатаются контакто на тонкой глянцевой бумаге.

Процесс фотографирования максимально автоматизирован. АФА подключен к самолетной электросети и через установленный интервал времени производит экспонирование очередного кадра. Сама выдержка регулируется также автоматически с помощью фотореле.

Фотоаппарат соединен с гидроустановкой, с помощью которой ему придается устойчивое положение, а пленка при съемке занимает положение максимально близкое к горизонтальному при вертикальном положении оптической оси объектива АФА. По ходу съемки радиовысотомером определяется высота фотографирования каждого снимка.

Чаще всего снимаемый участок не может быть размещен на единственном снимке, возникает задача покрытия снимками всей территории картографирования, например, трапеции или группы трапеций будущей карты. Тогда участок фотографируется последовательно маршрут за маршрутом. При этом соблюдается перекрытие вдоль маршрута между снимками - до 57-60% от рамки кадра, и поперечное перекрытие между маршрутами в 20-40% от рамки кадра.

Время съемки выбирается таким, чтобы солнце не было скрыто облаками и стояло над горизонтом не слишком низко и не в зените. Сезон съемки, если не имеется в виду специальный вид съемки, например, состояние снежного покрова или ледостава и ледохода, выбирается самый удобный для дешифрирования снимков - лето.

Геометрические свойства снимков. В отличие от картографи-

ческих изображений, которые получаются ортогональным проектированием ситуации на плоскость относности с последующим развертыванием "картинки" в плоскость в любой картографической проекции, снимки являются центральным проектированием местности на плоскость. Строго говоря, снимки получаются во внешней перспективной проекции. Поэтому возникают на реальных снимках такие искажения, которые не свойственны карте, и поэтому преобразование снимков в карты составляет достаточно сложную задачу.

Масштаб горизонтального аэрофотоснимка.

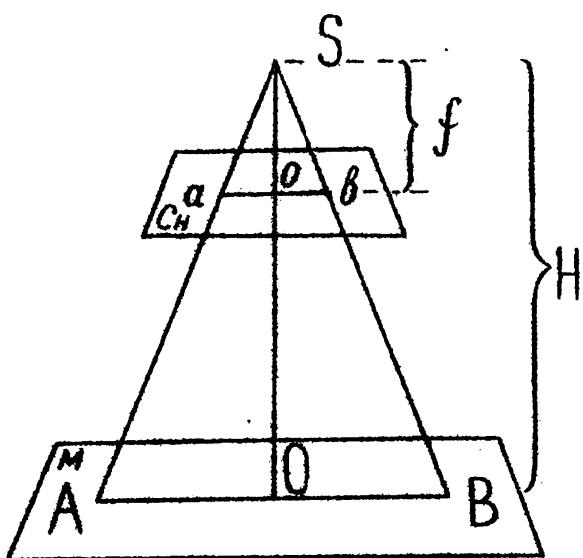


Рис.97. Масштаб аэрофотоснимка.

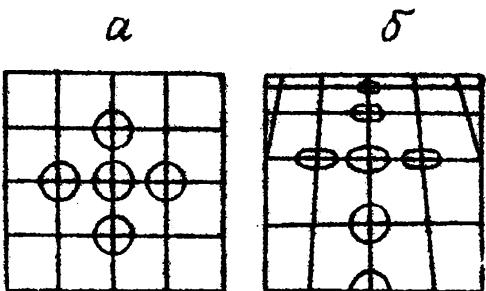


Рис.98. Искажение изображения из-за наклона снимка: горизонтального (а) и наклонного (б).

Используя рис.97, запишем формулу, связывающую масштаб фотоизображения с фокусным расстоянием объектива АФА f и высотой фотографирования H :

$S_0/S_0 = ab/AB = 1/m$, откуда $1/m = f/H$, где AB - отрезок на местности (M), ab - отрезок на снимке (C_n). Однако на наклонном снимке масштаб изображения не будет постоянным. Вместе с ним будут искажаться размеры и, что особенно важно, фигуры, конфигурации объектов, как это показано на рис.98.

Исправление снимков от искажений из-за наклона и приведение их к заданному масштабу называется трансформированием. Трансформирование осуществляется либо фотомеханическим способом, либо графическим путем с помощью проективных сеток, которые строятся на четырех точках, опознанных на снимках и картографической основе. Между ними строятся на снимках и основе два четырехугольника (трапеции), которые разби-

ваются на равное число более мелких трапеций. С их помощью содержание отдешифрированных снимков переносится на картографическую основу. Из-за влияния рельефа происходит сдвиг изображения, как это показано на рис.99. Величина

сдвига δ_h зависит от фокусного расстояния объектива АФА f , высоты фотографирования H и, разумеется, высоты самого объекта h . По этой причине также невозможно прямое совмещение фотоснимка с картой. Исправление искажения из-за рельефа - более сложная проблема, чем исправление из-за влияния наклона снимка. Но и она решена в виде так называемого *ортотрансформирования* на специальных ортофото- и электронных трансформаторах.

Однако само по себе наличие сдвига из-за рельефа, так называемый параллакс, дает возможность рассматривать снимки стереоскопически.

Стереоскопия - объемное видение объектов окружающей нас действительности. Мы обладаем такой возможностью благодаря наличию двух глаз. В середине прошлого века было открыто искусственное стереовидение. Для этого нужно только с двух точек, расположенных на некотором удалении друг от друга (базисе), сфотографировать и зарисовать два изображения.

Два перекрывающихся аэрофотоснимка (или два фототеодолитных снимка) составляют стереопару, которую можно рассматривать в стереоскоп и видеть местность объемно. Для этого нужно левый снимок рассматривать левым глазом, а правый - правым. Существуют разные принципы и разные стереоскопы для разглядывания снимков. На практике в аэрофототопографии используются как оптические стереоскопы, например линзово-зеркальные (ЛЗ), так и системы, в которых через красно-синие очки рассматриваются два стереоснимка, также окрашенные в эти два цвета - так называемые *анаглифы*.

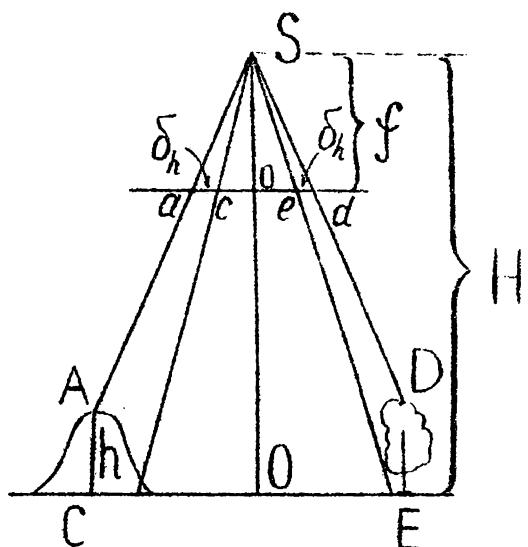


Рис.99. Влияние рельефа на аэрофотоизображение

Достоинство стереомодели состоит, во-первых, в том, что по стереомодели можно делать измерения высот, и, во-вторых, линейные измерения, в том числе параллактического сдвига, получаются с меньшими погрешностями, чем просто лупой.

2.2. Измерение высот по разности параллаксов. Рассмотрим

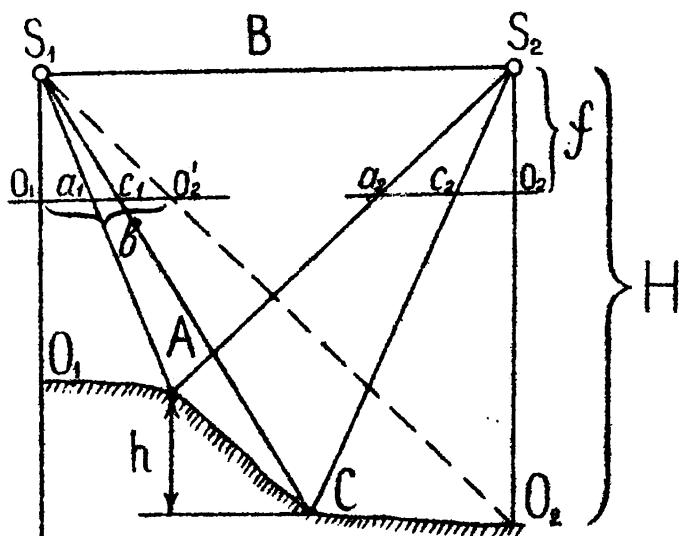


Рис.100. Измерение высот по разностям параллаксов.

рис.100. Здесь S_1 и S_2 - центры проекции (объективы АФА в два момента съемки), B - базис съемки, b - базис съемки в масштабе снимка, H - высота фотографирования, f - фокусное расстояние объектива АФА, o_1 и o_2 - центры левого и правого снимков, h - высота рельефа. Параллаксом (аналогично фототеодолитной съемке) называется разность координат (абсцисс) одной и той же точки на разных снимках. На рис.100 параллакс точки a равен $P_a = o_1 a_1 + o_2 a_2$; $P_c = o_1 c_1 + o_2 c_2$, разность

параллаксов $\Delta P = P_a - P_c$. Разность параллаксов равна нулю, если точки лежат на одной горизонтальной плоскости. Если же точки расположены с разностью высот h , то она может быть вычислена по формуле $h = H \Delta P / (b + \Delta P)$ или приближенно $h = H \Delta P / b$. Высота фотографирования H измеряется в полете радиовысотомером для каждого снимка, b измеряется на каждой паре снимков, ΔP измеряется для каждой определяемой высоты с помощью специальных стереофотограмметрических приборов. Они бывают и простые, и сложные по конструкции в зависимости от требуемой точности результатов измерений и создаваемой карты. Наиболее простыми являются параллактические линейки и пластины, параллаксомеры, работающие в комплекте со стереоскопами ЛЗ. Более точными являются стереометры, стереокомпараторы и другие приборы, самые современные из них работают в комплексе с ЭВМ и графопостроителями, выдавая готовую карту.

3. КОМБИНИРОВАННАЯ АЭРОФОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Суть комбинированной съемки заключается в том, что она ведется с помощью мензуры, но не на чистом листе бумаги, а на монтаже из аэрофотоснимков - фотоплане. Это упрощает процедуру съемки, так как она заменяет отчасти дешифрирование.

Последовательность работ при комбинированной аэрофотопотографической съемке показана на рис.101. Работа начинается с создания геодезической основы съемки путем развития триангуляции 4 класса и прокладки полигонометрических ходов и аэрофотосъемки. После получения снимков производится их плановая привязка (подготовка). Она заключается в том, что на снимке опознаются точки, координаты которых определяются геодезическими измерениями. Теоретически таких точек на каждом снимке должно быть не менее 4-х, и размещены они должны быть в определенном порядке, чтобы снимки можно

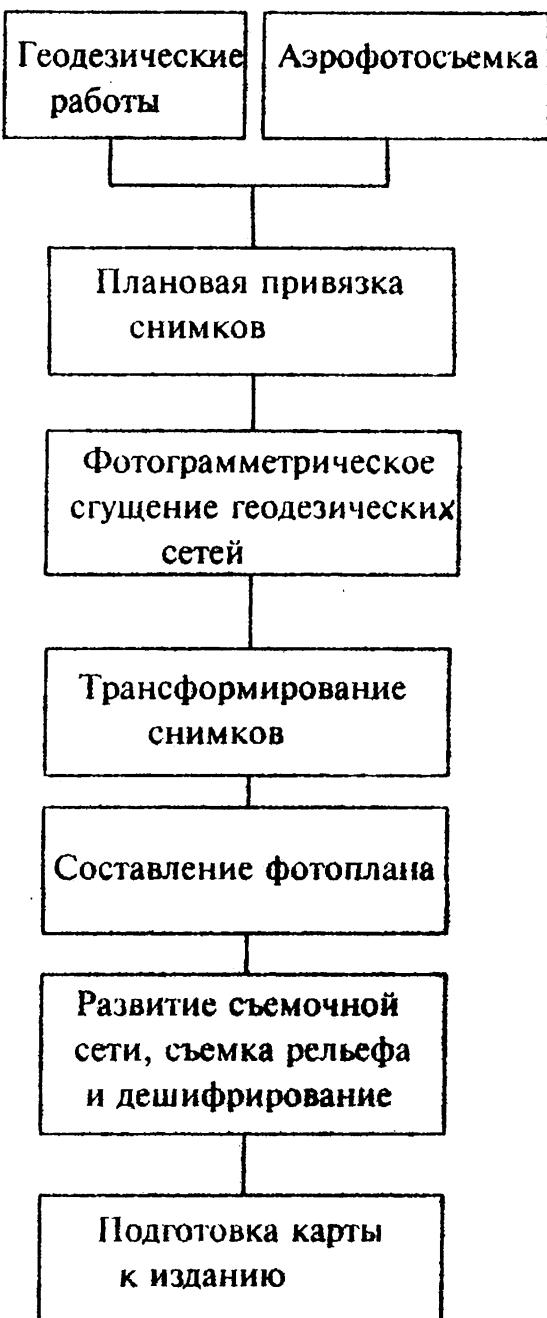


Рис.101. Схема комбинированной аэрофотопотографической съемки.

было трансформировать. Практически, часть точек получают в результате полевых наблюдений, а другую часть определяют камерально путем сгущения разреженной полевой плановой основы.

Существует два метода работы. В первом сначала делают съемку, а затем производят привязку снимков геодезически. Во-втором случае сначала делают маркировку точек в поле, чтобы они были видны на снимках, а затем параллельно ведут съемку и геодезические работы.

Сгущение плановой сети камеральными методами осуществляется путем развития графической фототриангуляции в такой последовательности.

1) На аэроснимках выбирают и накалывают рабочие центры снимков \square , по две связующие точки в верхних и нижних частях стереопары \odot (на каждом снимке их будет, таким образом, шесть), обозначаются трансформационные точки \otimes в середине отрезка, соединяющего рабочие центры с углом снимка (на каждом снимке их должно получиться четыре), накалывают положение плановых опознавателей Δ , если они есть в пределах снимка (рис.102).

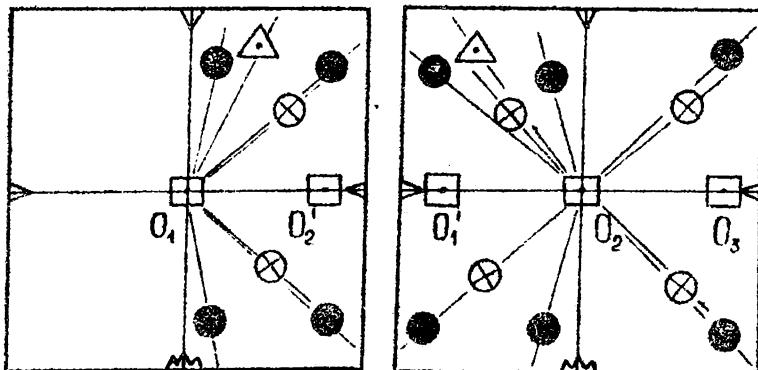


Рис.102. Сгущение плановой сети точек методом фототриангуляции.

2) Накладывают на каждый снимок кальку и переносят все точки по нанесенным направлениям (см. рис.102).

Монтируют кальки так, чтобы были совмещены линии базисов и совместились связующие точки в зоне тройного перекрытия снимков (рис.103). После этого накалывают

положение трансформационных точек в пересечении линий на них на кальку. В результате получается ромбический ряд фототриангуляции.

4) Накладывают на монтаж еще одну кальку и перекалывают центры снимков и положение трансформационных точек. Их получается по четыре на каждом снимке.

5) На специальном приборе - редукторе кальку (на просвет) приводят к заданному масштабу и получают планшетики с четырьмя точками для трансформирования снимков.

Трансформирование производят на оптическом фототрансформаторе, например, ФТБ, как это описано в этой же главе выше.

Монтаж фотоплана начинают с того, что наносят на планшет все опорные точки, включая трансформационные, и центры снимков. На самих снимках пробивают отверстия на тех же точках и затем совмещают каждый снимок с планшетом по точкам основы. Снимки монтируются с перекрытием. По этому перекрытию проводят криволинейные порезы и края снимков отбрасывают. Окончательно монтаж получается только из центральных частей снимков, которые и наклеиваются на планшет. Для дальнейшего использования с оригинального фотоплана делают фотокопии.

Для работы в поле фотоплан прикрепляется к мензульному планшету и на нем ведется съемка. Съемочная сеть создается известными приемами: ходами и засечками. Полученные точки наносятся на фотоплан и с них производится съемка рельефа и отчасти ситуации, но в основном она дешифрируется (распознается) на снимках.

Готовый вычерченный планшет отбеливается, т.е. уничтожается все фотоизображение и остается только графика. Затем планшет фотографируется, с него получается синяя копия, на которой начисто вычерчивается план и идет в издание.

Комбинированный метод съемки особенно продуктивен при работе на открытых территориях со слабо выраженным рельефом и сложной ситуацией.

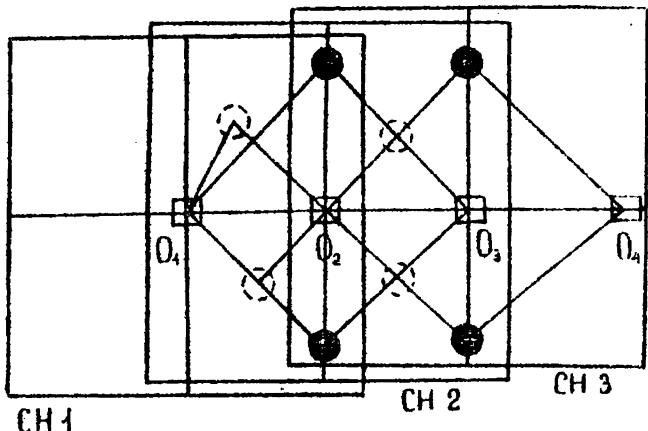


Рис.103. Монтаж калек, определение трансформационных точек.

4. СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

1) *Дифференцированный метод* заключается в раздельном создании плановой основы, высотной основы, рисовки рельефа и дешифрирования снимков, результаты этих работ затем сводятся на составительском оригинале топокарты (рис.104).

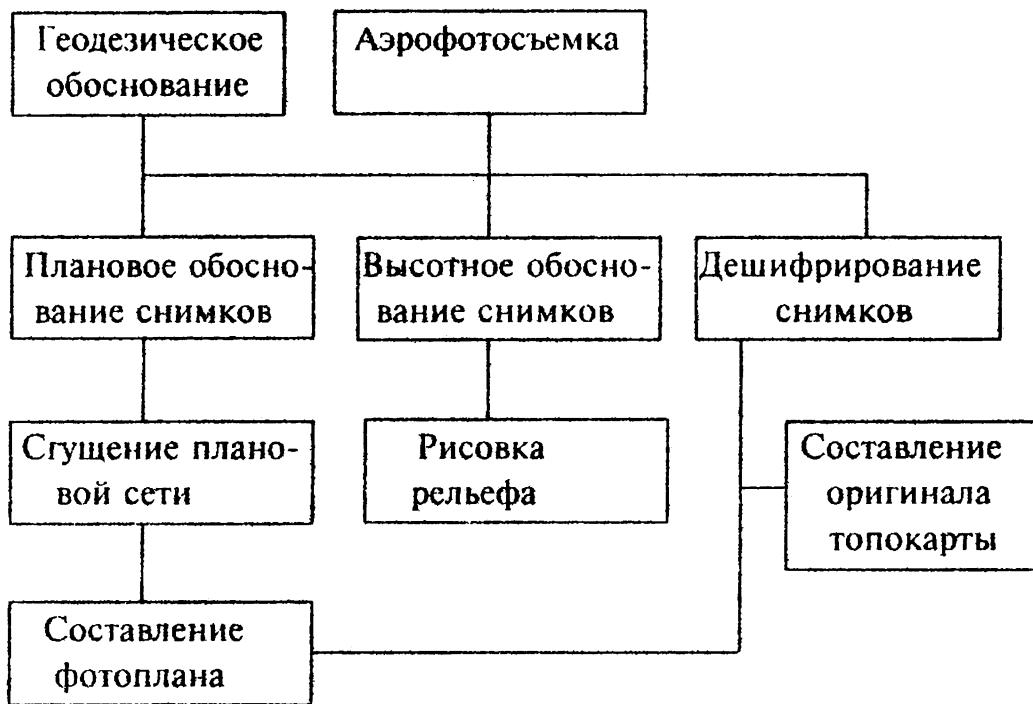


Рис.104. Схема дифференцированного метода
стереотопографической съемки.

Геодезическое обоснование, аэрофотосъемка, плановое обеспечение снимков делаются обычным порядком. Добавляется высотная привязка снимков для рисовки рельефа. Она делается или сплошной, по 4-6 точек на каждую стереопару снимков, или разреженной с последующим сгущением сети на стереоприборах. Дифференцированный

метод удобен при работе в равнинных районах.

Дешифрирование производится камеральное и полевое в сочетании, позволяющем производить работу надежно и в то же время, экономя время и средства.

Рельеф (горизонтали) рисуется отдельно на стереоизмерительных приборах типа стереометров Дробышева. Затем результаты дешифрирования, рисовки рельефа совмещаются на фотоплане и оформляются как обычно.

2) *Универсальный метод*. Особенно эффективен, так как успешно может быть использован в самых сложных, горных и труднодоступных районах, поскольку требует минимума полевых работ, но зато требует от исполнителей достаточно высокой квалификации (рис.105).



Рис.105. Универсальный метод стереотопографической съемки.

Универсальным метод называется потому, что сгущение геодезического обоснования, рисовка рельефа и ситуации - все выполняется

комплексно на универсальных стереофотограмметрических приборах (стереопроекторе Романовского, стереографах Дробышева и СЦ) и других более современных.

Результатом работы является графический план местности.

Г л а в а 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

1. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ КАРТ

В самом начале курса мы говорили о том, как и для чего могут быть использованы топографические карты. Их назначение универсально. Они могут быть использованы как для решения сугубо практических задач, например, ориентирования в поле, выбора маршрута, а также проектирования различных мероприятий в натуре, так и для решения научных задач.

По топографическим картам можно установить наличие и изучать закономерности размещения объектов и явлений, исследовать их связи и зависимости, динамику и развитие. По картам можно получать самую разнообразную информацию о местности, отвечающую на вопросы: что, как, сколько и где размещаются интересующие нас объекты.

Анализу могут быть подвергнуты: внешний вид, структура, организация, движение, место, размер, количество, взаимное расположение объектов исследования. В том числе мы можем получить разнообразные количественные характеристики всего того, что изображено на карте.

ОДИ

2. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТОПОКАРТ. КАРТОМЕТРИЯ

1) *Измерение длин прямолинейных отрезков.* Производится либо линейкой, либо измерителем с помощью линейки (поперечного масштаба). Предельная точность измерений составляет 0,2 мм. Особенность измерений линейкой заключается в том, что она прикладывается к линии произвольно, берутся отсчеты по линейке на начале и конце отрезка линии и длина отрезка определяется по их разности. Опера-

ция повторяется несколько раз, отсчеты будут разными, но их разности должны сходиться с необходимой точностью. Для обычной линейки предельная точность составляет 0,5 мм.

2) *Измерение длин кривых линий.* Измеряются кривые линии либо курвиметром, либо измерителем с постоянным раствором.

Прибор *курвиметр* имеет обводное колесико и соединенную с ним стрелку, которая на круглой шкале отсчитывает сантиметры (и дюймы) хода. перед работой определяют цену деления шкалы K . Для этого колесико прокатывают по отрезку, равному 10 или 20 см. На шкале стрелка должна пройти соответственно 10 или 20 делений, тогда $K=1$. Если же требуемое число делений не получается, нужно подсчитать действительное значение K , что, впрочем, бывает редко.

Для измерения линий измерителем с постоянным раствором обычно используется специальное устройство с двумя иглами, расположенными на расстоянии 2-3 мм друг от друга. Им проходят по кривой и, таким образом, ее длина определяется как сумма хорд, что при малом растворе измерителя, даст результат, мало отличающийся от истинной длины кривой линии. Но если эту работу проделать дважды с двумя разными растворами, то можно подсчитать длину кривой с достаточно высокой степенью приближения к истине.

3) *Измерение углов.* Углы можно измерять транспортиром, хордоуглером или вычислить, если есть нужные данные.

Транспортиром можно измерить угол достаточно точно, если проделать это неоднократно, произвольно помещая транспортир так, чтобы дважды или трижды взять парные отсчеты и получить разности между ними. Значения угла при разных подсчетах не должны расходиться более чем на половину цены деления шкалы. Для обычного транспортира - это $0,5^\circ$.

Прибор хордоуглер представляет собой номограмму, выгравированную на металлической пластинке. Для измерения угла β , как это показано на рис.106,а, двумя радиусами R_1 и R_2 проводят две дуги DD_1 и EE_1 , и хорды, их стягивающие. По отношениям DD_1/R_1 и EE_1/R_2 находятся дважды значения углов по номограмме или специальным таблицам. Радиусы R_1 и R_2 берутся стандартными в целых сантиметрах.

Угол также можно определить, если представить его как прямой и, отложив на одной из сторон два отрезка D_1 и D_2 , построить перпендикульар к прямой DD_1 в точке D_1 .

пендикуляры AB и A_1B_1 . Тогда угол найдем из отношения катетов, дающих значение тангенса угла, как это показано на рис.106,б:
 $\operatorname{tg} \beta = AB/D_1 = A_1B_1/D_2$.

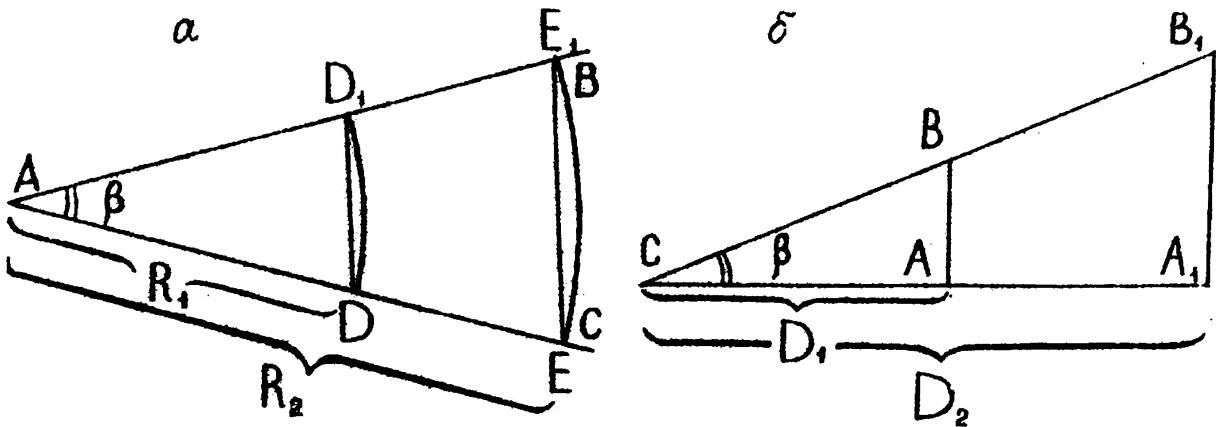


Рис.106. Определение угла: а - хордоугломером, б - через отношение отрезков.

4) Измерение площадей и определение объемов. Площади могут быть измерены графически, с помощью палеток или механическим способом - планиметром.

Графический способ состоит в разбиении общей площади, подлежащей измерению, на отдельные фигуры: треугольники или трапеции, площади которых определяются простыми измерениями и вычислениями. Разбивка делается неоднократно и измерения повторяются по крайней мере дважды для исключения грубых промахов. Способ применим в том случае, если измеряемая фигура представляет собой многоугольник с прямыми сторонами.

Измерение площадей палетками. Палетки изготавливаются из прозрачного материала: кальки, пластика, стекла, и в определенных рамках они через установленный интервал покрываются сеткой квадратов, параллельными линиями или точками в линейном порядке.

Палетка накладывается на измеряемую площадь и подсчитывается количество квадратиков; длины линий или количество точек, приходящихся на измеряемую площадь. Затем, зная (или предварительно определив) цену деления палетки, подсчитывают площадь. Делают это неоднократно, размещая палетку различными способами для контроля

(рис.107).1) $S = nc$, где n - число квадратиков в пределах площади, c - цена деления палетки в масштабе карты (мм^2) и в натуре ($\text{м}^2, \text{га}$); например, при стороне квадратика 2 мм площадь 4 мм^2 . В масштабе 1:5 000 составляет 100 м или 0,01 га.

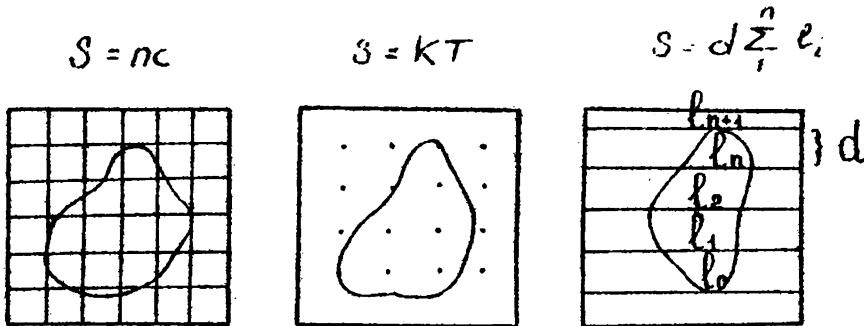


Рис.107. Измерение площадей палетками.

2) $S = KT$, где K - цена точки, зависящая от масштаба карты, определяется путем подсчета числа точек, приходящихся на контрольный квадрат 10 x 10 см, T - количество точек в измеряемой площади.

3) $S = (l_0 + l_1)d/2 + (l_1 + l_2)d/2 + \dots + (l_n + l_{n+1})d/2$ или
 $S = d(l_0 + 2l_1 + 2l_2 + \dots + 2l_n + l_{n+1})/2$. Принимая во внимание, что $l_0 = 0$ и $l_{n+1} = 0$, получаем окончательно $S = d(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)$, или $S = d \sum_{i=1}^n l_i$.

Измерение площадей планиметром. Планиметр представляет собой механическое устройство, состоящее из двух рычагов: полюсного 3 и обводного 5, соединенных шарнирно 4 (рис.108). Полюсный рычаг закрепляется с помощью иглы неподвижно, а марка 6 на конце обводного рычага проводится по границе измеряемой площади (рис.109). Счетный механизм 2 с вращающимся колесиком 1, закрепленный на обводном рычаге, накапливает счет. Отсчет по нему берется на начальной точке ($N_{\text{нач}}$) и на той же точке в конце обвода ($N_{\text{кон}}$).

Перед измерениями определяется цена деления счетного устройства планиметра с путем обвода известной площади (окружности или квадрата - S эталона): $c = S \text{ эталона}/(N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}})$. Площадь обведенной планиметром фигуры вычисляется по формуле

$$S = c(N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}}).$$

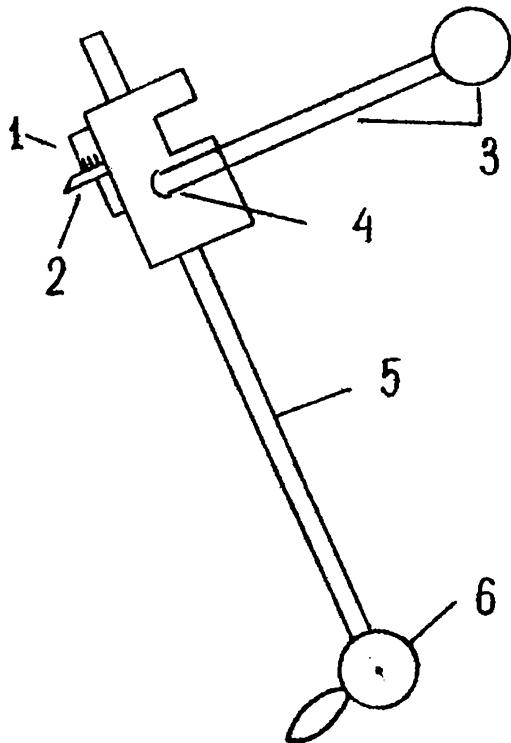


Рис.108. Схема устройства
планиметра.

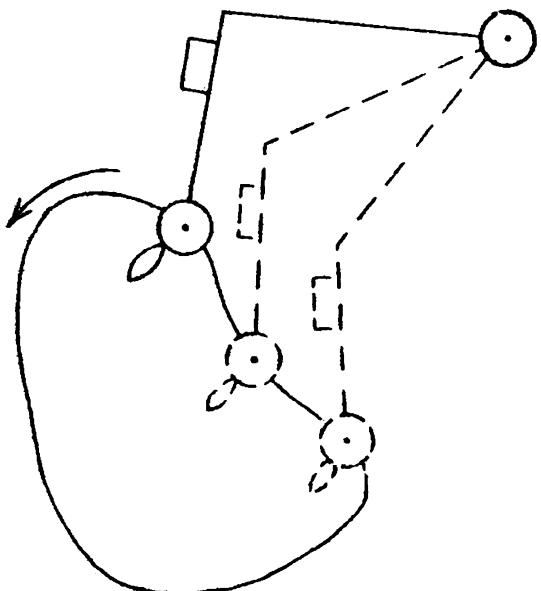


Рис.109. Схема обвода контура
измеряемой площади планиметром.

С измерением площадей тесно связано определение объемов по картам. Такие задачи часто возникают при измерениях баланса вещества в природе, например, объемов снесенного и отложенного материала, запаса воды в снежном покрове, объема ледников, емкости водохранилищ и т.п.

Объем можно вычислить как сумму объемов отдельных слоев, заключенных между плоскостями (с площадями S_1 и S_2) сечения рельефа горизонталями. Для этого требуется предварительно подсчитать площади всех ступеней, ограниченных горизонталями. Объем каждого отдельного слоя вычисляется по формуле $V = (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})h/3$, где h - высота сечения рельефа горизонталями. Иногда применяют упрощенную формулу $V = (S_1 + S_2)h/2$.

О ГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Введение</i>	4
<u>ГЕОДЕЗИЯ</u>	7
Г л а в а 1. РАЗМЕРЫ И ФОРМА ЗЕМЛИ	-
1. ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФИГУРЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ	-
2. СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗЗРЕНИЯ НА ФОРМУ ЗЕМЛИ	9
Г л а в а 2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ	11
1. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ	-
2. ПЕРЕХОД ОТ РЕАЛЬНОЙ (ФИЗИЧЕСКОЙ) ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ К ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИПСОИДА	12
2.1. Связь астрономических долгот и широт с геодезическими	-
2.2. Редуцирование результатов измерений на поверхность эллипсоида	13
3. ПЛОСКИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ	14
4. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ	15
5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА В ГЕОДЕЗИИ	17
6. ИСКАЖЕНИЯ ПРИ ИЗОБРАЖЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИП- СОИДА НА ПЛОСКОСТИ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА	19
6.1. Исажения в длинах линий	-
6.2. Топографический план	21
6.3. Исажение углов	21
7. ПОЛЯРНЫЕ КООРДИНАТЫ	-
8. СВЯЗЬ ПЛОСКОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМ КООРДИНАТ	22
8.1. Прямая геодезическая задача	-
8.2. Обратная геодезическая задача	-
Г л а в а 3. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ	22
1. ОРИЕНТИРНЫЕ УГЛЫ НАПРАВЛЕНИЙ	-
2. СВЯЗЬ И ВЗАИМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРИЕНТИРНЫХ УГЛОВ	24
3. ИЗМЕРЕНИЕ ОРИЕНТИРНЫХ УГЛОВ	26
Г л а в а 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ	28
1. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ	-

2. ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ	29
3. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ЧИСЛА	32
Г л а в а 5. ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ЛИНИЙ	34
1. МЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА	-
2. ОПТИЧЕСКИЕ (ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ) ДАЛЬНОМЕРЫ	38
2.1. Нитяной дальномер (с постоянным углом β)	39
2.2. Оптический дальномер двойного изображения (с постоянным углом наблюдения)	41
2.3. Внутрибазовый дальномер (с постоянным углом β)	42
2.4. Оптический дальномер с постоянным базисом	-
3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ (ФИЗИЧЕСКИЕ) ДАЛЬНОМЕРЫ	44
3.1. Дальномеры импульсные	-
3.2. Дальномеры фазовые с пассивным отражателем	-
3.3. Радиодальномеры фазовые с активным отражателем	45
Г л а в а 6. ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ	46
1. ТЕОДОЛИТЫ. ИХ ТИПЫ И УСТРОЙСТВО	-
2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСИ И ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТА	51
2.1. Основные геометрические оси теодолита	-
2.2. Поверки теодолита	52
3. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ	54
3.1. Измерение горизонтальных углов	-
3.2. Измерение вертикальных углов	56
3.3. Ошибки измерения углов	-
Г л а в а 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ	58
1. ПРОКЛАДКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА	-
2. ТРИАНГУЛЯЦИЯ И ТРИЛАТЕРАЦИЯ	61
3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАСЕЧКИ	62
4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ	65
Г л а в а 8. НИВЕЛИРОВАНИЕ	66
1. ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ	-
2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ	67
3. ТИПЫ И УСТРОЙСТВО НИВЕЛИРОВ	68
4. ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ	71
5. ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ	75
6. ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ	79
6.1. Принцип тригонометрического нивелирования	-

6.2. Определение места нуля	81
6.3. Номограммные геодезические приборы	83
6.4. Прокладка и обработка высотного тригонометрического хода	84
7. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ	86
7.1. Барометрическое нивелирование	-
7.2. Нивелирование механическими приборами	88
7.3. Аэродионивелирование	-
Г л а в а 9. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ	88
1. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ПЛАНОВЫЕ СЕТИ	89
2. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ВЫСОТНАЯ (НИВЕЛИРНАЯ) СЕТЬ	92
ТОПОГРАФИЯ	94
Г л а в а 1. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ	-
1. РАЗНОВИДНОСТИ КАРТ	-
2. МАСШТАБЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ	95
3. РАЗГРАФКА, НОМЕНКЛАТУРА И ОФОРМЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ	97
4. СОДЕРЖАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ	100
5. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ	102
ГЛАВА 2. СЪЕМКА МЕСТНОСТИ	105
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЪЕМКЕ	-
2. МЕНЗУЛА И КИПРЕГЕЛЬ. ИХ УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ	107
2.1. Мензульный комплект	-
2.2. Кипрегель	108
2.3. Геометрические оси кипрегеля	109
2.4. Поверки кипрегеля	110
2.5. Подготовка планшета к полевым работам	113
2.6. Создание съемочной сети графическими способами	114
2.7. Мензульная съемка в поле	118
Г л а в а 3. ДРУГИЕ ВИДЫ ГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК	120
1. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА	-
1.1. Тахеометры	-
1.2. Геодезическое обоснование и выполнение таксиметрической съемки	121

2. БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА	123
2.1. Устройство и поверки буссоли	-
2.2. Порядок работы в поле	124
2.3. Камеральная обработка хода	-
3. ГЛАЗОМЕРНАЯ СЪЕМКА	126
4. ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МОРСКОГО ШЕЛЬФА И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ	128
Г л а в а 4. ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ	-
1. ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА	129
2. АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА	134
2.1. Аэрофотографическая съемка	-
2.2. Измерение высот по разности параллаксов	138
3. КОМБИНИРОВАННАЯ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА	139
4. СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА	142
Г л а в а 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ	144
1. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ КАРТ	-
^{или} 2. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТОПОКАРТ. КАРТОМЕТРИЯ	-

Курошев Герман Дмитриевич

Смирнов Леонид Евгеньевич

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ. Учебное пособие

Зав. редакцией Г.Чередниченко. Редактор М.Лаптева

Лицензия ЛР № 020351 от 27.12.91

Подписано в печать с оригинала-макета 04.07.94. Формат 60x90/16.
Бум. тип. № 3. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,5. Усл. кр. -отт. 9,5.
уч.-изд. л. 9,14. Тираж 1000 экз. Заказ № 247.

РИО СПбГУ. 199034, С.-Петербург, Университетская наб., 7/9.

ИД СПбГУ. 199034, С.-Петербург, наб. Макарова, 6.

Санкт-Петербургский университет