

Шығыс Қазақстан облысы  
әкімдігінің білім  
басқармасы  
«Геология барлау колледжі»  
ҚМҚК



КГКП  
«Геологоразведочный  
колледж» управления  
образования Восточно-  
Казахстанского  
областного акимата

**Опорно базовый конспект по предмету  
«Основы геодезии и маркшейдерского дела»  
для специальности  
0703000 «Гидрогеология и инженерная геология»**

**Қанапина А.А.**

**Опорно базовый конспект по предмету  
«Основы геодезии и маркшейдерского дела»  
для специальности  
0703000 «Гидрогеология и инженерная геология»**

Утверждено методическим советом колледжа

Разработано\_01.09.2019\_\_\_\_\_

(дата)

**г. Семей, 2019 г.**

Қанапина А.А. Опорно базовый конспект по предмету «Основы геодезии и маркшейдерского дела» для специальности 0703000 «Гидрогеология и инженерная геология» - 80 стр.

Базовый опорный конспект подготовлен в соответствии с рабочим учебным планом для студентов II курса по специальности 0703000 «Гидрогеология и инженерная геология». В процессе изучения дисциплины студенты должны овладеть приемами работы с теодолитом, нивелиром и другими приборами, получить навыки по самостоятельному ведению основных видов съемок на земной поверхности и в горных выработках, научиться читать графические материалы - топографические планы и планы горных работ, профили и разрезы, уметь получить при их помощи необходимые данные для вынесения проекта в натуру, а также наносить результаты съемок на планы, профили и разрезы.

## Содержание

№	Названия тем	Стр.
1.	<i>Урок №1</i> Тема: Введение	5
2.	<i>Урок №2</i> Тема: Системы координат применяемые в геодезии	10
3.	<i>Урок №3</i> Тема: Понятие о карте, плане. Масштабы	14
4.	<i>Урок №4</i> Тема: Номенклатура карт и планов	17
5.	<i>Урок №5</i> Тема: Условные знаки топографических карт	21
6.	<i>Урок №6</i> Тема: Рельеф местности и их виды	25
7.	<i>Урок №7</i> Тема: Задачи, решаемые на топографических картах	29
8.	<i>Урок №8</i> Тема: Ориентирование линий	35
9.	<i>Урок №9</i> Тема: Связь между ориентирующими углами. Прямая и обратная геодезические задачи	38
10.	<i>Урок №10</i> Тема: Построение Государственной Геодезической Сети. Погрешности измерений	43
11.	<i>Урок № 11</i> Тема: Линейные измерения	46
12.	<i>Урок № 12</i> Тема: Угловые измерения	51
13.	<i>Урок №13</i> Тема: Теодолитная съемка	56
14.	<i>Урок №14</i> Тема: Методы съемки подробностей	58
15.	<i>Урок №15</i> Тема: Вычисление координат точек замкнутого теодолитного хода	59
16.	<i>Урок №16</i> Тема: Геометрическое нивелирование	64
17.	<i>Урок №17</i> Тема: Нивелирование поверхности	70
18.	<i>Урок №18</i> Тема: Обработка журнала технического нивелирования	74
19.	<i>Урок №19</i> Тема: Тахеометрическая съемка	76
20.	<i>Урок №20</i> Тема: Порядок работы на станции при тахеометрической съемке	78

## Урок №1. Введение

1. Общие сведения по геодезии и маркшейдерскому делу
2. Краткая история развития геодезии и маркшейдерского дела
3. Понятие о форме и размерах Земли

Геодезия и маркшейдерское Дело являются близкими науками, решающими вопросы, во многом схожие между собой; средства, при помощи которых выполняются задачи, по существу, одни и те же — маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты. Исторически маркшейдерия явилась продолжением (развитием) геодезии применительно к горному и геологоразведочному делу.

Маркшейдерское дело как и геодезия имеют важное значение при проведении поисковых и геологоразведочных работ, при строительстве и эксплуатации горных предприятий, где маркшейдерско-геодезическое обслуживание выполняется для различных видов работ и технологических процессов, требующих зачастую применения сложных методов измерений и инструментов и предъявляющих высокую профессиональную подготовленность у исполнителей работ. Геодезия и маркшейдерское дело тесно связаны с математикой, физикой, астрономией, картографией, радиоэлектроникой, радиотехникой, географией, геоморфологией.

Геодезия изучает форму и размеры Земли или отдельных ее частей и методы измерения на земной поверхности, производимые как для отображения ее на картах и планах, так и для выполнения различных инженерных задач.

Маркшейдерское дело является разделом горной науки, включающим измерения на поверхности и в горных выработках, выполняемых при разведке и эксплуатации месторождений строительстве горных предприятий с целью построения планов и чертежей изучаемых объектов, а также для решения горно-геометрических задач.

В геодезии различают две ее части: высшую геодезию и геодезию. В высшей геодезии изучают методы измерений для высокоточного определения положения в плане и по высоте отдельных точек на земной поверхности, используемых в дальнейшем для уточнения фигуры и размеров Земли, а также для создания опорных геодезических сетей, без которых невозможна правильная постановка и проведение топографических съемок и инженерных работ, Геодезия включает в себя съемочные работы, относящиеся к топографий, фототопографии и прикладной (инженерной) геодезии.

В топографии выполняют измерения на земной поверхности, математическую и графическую обработку измерений с целью ее изображения на картах и планах. В фототопографии изучаются методы создания топографических планов и карт при помощи снимков, полученных при фотографировании местности фотоаппаратом, установленным на самолете (аэрофототопографическая съемка) или на Земле (наземная фототопографическая съемка). Прикладная (инженерная) геодезия рассматривает методы, технику и организацию геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений (промышленных объектов, горнорудных предприятий, гидротехнических сооружений, гражданского строительства, транспортных магистралей, мелиоративных работ и т. п.) и при монтаже и установке сложного оборудования.

Геодезические измерения используются практически во всех отраслях народного хозяйства: при изысканиях и строительстве жилых и промышленных объектов, железных и автомобильных дорог, каналов, высоковольтных передач, трубопроводов, аэропортов, речных и морских портов; она также находит применение при землеустройстве кооперативных хозяйств при осушении и орошении земель, при лесоустройстве. Большую роль геодезия играет в военном деле, которое немыслимо без топографических карт.

Главная задача маркшейдерской службы заключается в обеспечении съемок для построения графической документации горных предприятий, отображающих как состояние недр, так и комплекс подземных и поверхностных-выработок и обеспечивающих нормальное функционирование производства. Маркшейдерской службой также решается ряд других задач, возникающих при эксплуатации и разведке месторождений полезных ископаемых, а также изучение особенностей

протекания сдвижения горных пород при подземной и открытой разработках. При этом большое внимание уделяется охране поверхностных и подземных сооружений, обеспечению безопасного ведения горных работ при их приближении к опасным зонам, борьбе с горными ударами. К задачам, решаемым маркшейдерской наукой, также относится изучение пространственных форм месторождений) размещения закономерностей изменения качественных показателей и изображение этих свойств на специальных горногеометрических графиках. Одной из проблем, решаемых в этой области маркшейдерского дела, является контроль за соблюдением мероприятий по охране недр, полноте извлечения полезного ископаемого.

Маркшейдер участвует во всех этапах работы горного предприятия, начиная с разведки месторождений и кончая погашением отработавшего свой срок предприятия. Причем каждый этап требует своей специфики производства маркшейдерских работ.

Геодезия возникла в глубокой древности в странах Древнего Востока. В Египте за несколько тысяч лет до н. э. умели выполнять съемки земельных участков, расположенных в долине Нила.

Сохранился до наших дней папирус с картой Персии, составленной около 4,5 тыс. лет назад, на обратной стороне которого выполнены подсчеты размеров площади, изображенной на карте. В Китае в XI—XIII в. до н. э. были проведены большие геодезические работы по изучению «всей Земли», которые показали умение измерять земельные участки с использованием мерных цепей.

Высокое развитие получила геодезия в античной Греции, где были выполнены серьезные по тем временам теоретические работы, о чем могут служить дошедшие до нас книги Герона Александрийского «О диоптрах» и «Измерение площадей», в которых приведено описание геодезических работ и геодезических инструментов. Греком Эратосфеном (276—194 гг. до н. э.) в Египте впервые были определены размеры Земли. Он установил, что радиус земного шара составляет примерно шесть тысяч километров.

Маркшейдерское дело зародилось практически вместе с умением человека вести подземные горные работы. Сохранившиеся исторические рукописи, археологические раскопки и другие материалы показывают, что люди уже с древнейших времен умели сооружать довольно сложные подземные рудники и другие объекты. Для примера можно привести найденный в Италии египетский пергамент, на котором изображен рудник, существовавший около 3500 лет назад. Известно также, что древними римлянами для спуска воды из озера была пройдена встречными забоями штольня длиной около 6 км. Для ее сооружения было заложено более 100 вертикальных и наклонных стволов. Некоторые из них были глубиной более 100 м.

Большое развитие, так же как и геодезия, получило маркшейдерское дело в Древней Греции. Применявшиеся в то время способы съемок горных выработок заключались в различных промерах, провешиваниях, построении цепи геометрически правильных фигур, например, тождественных треугольников, на поверхности и под землей, при помощи которых осуществлялась ориентировка подземных выработок.

Крушение Римской империи, а с ней и античного мира привело к падению в странах Европы и Северной Африки науки и культуры на долгие годы.

Следующий существенный этап в развитии маркшейдерско-гео-дезического обеспечения народного хозяйства начался в XVI в., когда в горном деле стали использовать приборы с магнитной стрелкой. В этот период известным немецким ученым Агриколой (1494—1555 гг.) был издан труд «О горном деле и металлургии», в котором пятая глава посвящена описанию съемок горных выработок как с помощью компаса, так и другими методами. В частности, им описан способ определения необходимых глубины шахты и длины штольни при помощи шнура и отвесов.

В XVIII—XIX вв. были выполнены большие геодезические работы, имеющие важное значение для определения размеров Земли. В этот период производится определение размеров земного сфероида Деламбером (1800), Бесселем (1841), Кларком (1880).

Для съемки горных выработок в XIX в. стали применяться теодолиты и нивелиры, появились ориентир-буссоль, зеркальная буссоль, проектировочные тарелочки, были изготовлены длинные ленты для измерения глубины стволов шахт. Внедрение в маркшейдерское дело новой техники вызвало появление специальной маркшейдерской литературы. В 1851 г. выходят книги Вейсбаха «Новое маркшейдерское искусство», Борхерса «Практическое маркшейдерское искусство» (1869 г.). В

частности, в книге Вейсбаха приведены сведения о приборах для автоматической центрировки теодолитов и сигналов, приспособлениях для примыкания к отвесам и пр.

В маркшейдерской науке с XVIII в. начинает развиваться важное для горной промышленности направление — теория и практика сдвижения горных пород. Особенно серьезно вопросы сдвижения горных пород начинают изучаться со второй половины XIX в., в результате чего появилась теория нормалей, выдвинутая Туалье в 1838 г., а затем Гоно в 1858 г., по которой сдвижение подработанной толщи развивается по нормальям к пласту. Затем в 1885 г. появилась теория купола, предложенная Файолом, основная идея которой заключалась в том, что зона сдвижения пород ограничивается куполообразным пространством. В конце прошлого столетия появились работы Джигинского, в которых отмечалось, что на процесс сдвижения влияют мощность залежи, угол падения залежи, глубина разработок, свойства налегающих пород.

В силу целого ряда причин, связанных с развитием промышленности и сельского хозяйства, орошения и осушения земель, ростом городов и пр., в XIX в. перед геодезией были выдвинуты новые задачи, связанные с созданием достаточно подробных и точных топографических карт крупного масштаба. К этому времени относится разработка тахеометрической съемки, совершенствование метода нивелирования, предъявляются серьезные требования к геодезии в инженерном строительстве, к геодезическим приборам.

В нашей стране первое горное законодательство, включающее и вопросы маркшейдерского дела, было составлено в 1734 г. В. Н. Татищевым.

По законодательству маркшейдеры были обязаны:

1. иметь правильные плоские чертежи каждой рукописи с отражением на них условий залегания, всех особенностей разработки рудника и пополнением их своевременно новыми работами;
2. пополнять и исправлять общие планы данного округа по правилам, изложенным в особой инструкции Академии наук. В 1763 г. М. В. Ломоносовым была издана книга «Об измерении рудников» — первая в нашей стране работа, в которой обстоятельно излагались все вопросы маркшейдерского дела того времени.

В 1847 г. профессор Петербургского горного училища П. А. Олышев (1817—1896 гг.) опубликовал учебник «Маркшейдерское искусство». В нем автор описал разработанный им теодолит с вне-центральной трубой, нивелир и методику вычисления координат пунктов теодолитных ходов и дал аналитическое решение задачи о проведении выработки встречными забоями. Внедрение в маркшейдерскую практику теодолитной съемки и составление планов по координатам имели большое значение для дальнейшего развития техники и методики подземных съемок.

Определенный вклад в развитие маркшейдерского дела в России был сделан проф. Г. А. Тиме (1831 — 1910 гг.). Крупный этап в развитии отечественного маркшейдерского дела связан с деятельностью проф. В. И. Баумана (1867—1923 гг.), научная и производственная деятельность которого была исключительно плодотворной и разносторонней. Им проведены крупные организационно-технические мероприятия, под его руководством и при непосредственном участии в Донбассе была создана триангуляция, в результате чего были получены условия для съемки в единой системе координат.

Еще в дореволюционные годы началась производственная и научная деятельность проф. И. М. Бахурина (1880—1940 гг.), разработавшего ряд вопросов по теории погрешностей, способу наименьших квадратов и их использованию при оценке точности и уравнивании маркшейдерских съемок. Им был издан в 1932 г. «Курс маркшейдерского искусства», ставший настольной книгой маркшейдеров. По инициативе И. М. Бахурина были организованы широкие инструментальные наблюдения за сдвижением горных пород. Большая заслуга в развитии маркшейдерского дела принадлежит П. К. Соболевскому (1868—1949 гг.). С его именем и именем его ученика проф. П. А. Рыжова (1903—1974 гг.) связано появление нового направления в маркшейдерском деле — геометрии недр. Вклад в развитие маркшейдерского дела внес Д. Н. Ог-лоблин (1905—1968 гг.), посвятивший многие свои работы теории и практике маркшейдерских работ.

Еще по инициативе И. М. Бахурина в нашей стране были начаты систематические наблюдения за сдвижением земной поверхности. Итоги натурных исследований нашли отражение в ряде крупных работ. В 1947 г. проф. С. Г. Авершин опубликовал монографию «Сдвижение горных пород при подземных разработках», в которой отражены результаты исследований процесса сдвижения, в ней был дан метод предрасчета элементов сдвижения поверхности.

В наше время происходит дальнейшее развитие как геодезии, так и маркшейдерского дела. Особенно большие изменения произошли в последние два-три десятилетия, совпавшие с общим ускорением научно-технического прогресса. Создаются принципиально новые приборы, совершенствуются старые, внедряются новые методы маркшейдерско-геодезических измерений. Дальнейшее развитие получили геодезические работы по всем направлениям — от имеющих научное направление (уточнение формы и размеров Земли, наблюдения в сейсмически активных районах) до работ практического значения. Изучение размеров и формы Земли, ее внешнего гравитационного поля проводится с использованием комплексных исследований: наблюдений за искусственными спутниками Земли, а также астрономических и астрономо-гравиметрических измерений. Почти во всех сейсмически активных районах планеты заложены геодезические полигоны, на которых получают данные о движении земной коры, позволяющие решать ряд проблем геодинамики Земли. Повышение точности геодезических измерений позволило выполнить более сложные задачи, связанные с изучением кинематических предвестников землетрясений как во времени, так и в пространстве, что должно послужить основой для создания системы геодезического обеспечения прогноза землетрясений.

Прогресс в развитии топографо-геодезических работ и картографического производства связывается непосредственно с использованием космической техники. Резко возрастающие потребности народного хозяйства в перспективе невозможно осуществить без съемок из космоса. Возможности уже созданной космической бортовой аппаратуры таковы, что получаемая с орбиты видеоинформация по своей разрешающей способности позволяет создать большинство карт установленного масштабного ряда. Таким образом, созданы условия прямого составления карт из космоса в широком диапазоне масштабов.

Дальнейшее развитие получает картографирование шельфа морей и океанов. Поверхность дна моря изображается в единой системе координат и высот. Для съемки морского дна созданы современные технические средства, позволяющие получать фотокарты и фотопланы морского дна, аналогичные фотопланам аэрофотосъемки.

В геодезии для обозначения формы земной поверхности используют термин **«фигура Земли»**.

Знание фигуры и размеров Земли необходимо во многих областях и прежде всего для определения положения объектов на земной поверхности и правильного её изображения в виде карт, планов и цифровых моделей местности.

Физическая поверхность Земли состоит из подводной (70,8 %) и надводной (29,2 %) частей. Подводная поверхность включает в себя систему срединно-океанических хребтов, подводные вулканы, океанические желоба, подводные каньоны, океанические плато и абиссальные равнины. Надводная часть земной поверхности также характеризуется многообразием форм. С течением времени поверхность Земли из-за тектонических процессов и эрозии постоянно изменяется.

Представление о фигуре Земли (рис. 2) в целом можно получить, вообразив, что вся планета ограничена мысленно продолженной поверхностью океанов в спокойном состоянии.

Уровенных поверхностей, огибающих Землю, можно вообразить множество. Та из них, что совпадает со средним уровнем воды океанов в спокойном состоянии, т.е. в момент полного равновесия всей массы находящейся в ней воды под влиянием силы тяжести, называется **основной уровенной поверхностью Земли**.

В геодезии, как и в любой другой науке, одним из основополагающих принципов является принцип перехода от общего к частному. Исходя из него, для решения научных и инженерных задач по изучению физической поверхности Земли, а также других геодезических задач, сначала

необходимо определиться с математической моделью поверхности Земли. **математическая поверхность Земли**

Рассмотрим любую материальную точку  $A$  на физической поверхности Земли (рис. 3).

На эту точку оказывают влияние две силы: сила притяжения  $F_n$ , направленная к центру Земли, и центробежная сила вращения Земли вокруг своей оси  $F_{ц}$ , направленная от оси вращения по перпендикуляру. Равнодействующая этих сил называется силой тяжести  $F_T$ .

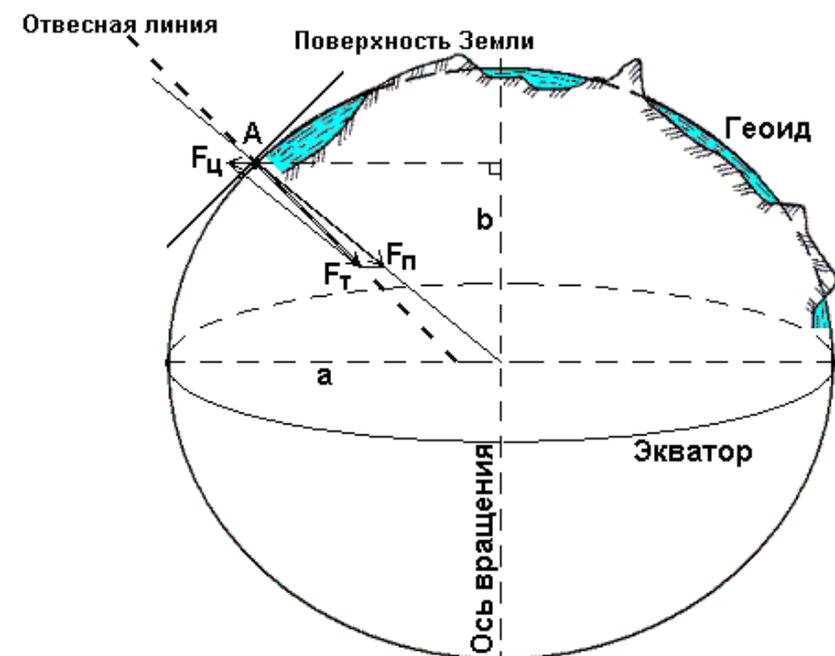
В любой точке земной поверхности направление силы тяжести, называемое ещё вертикальной или отвесной линией, можно легко и просто определить с помощью уровня или отвеса.

Оно играет очень большую роль в геодезии. По направлению силы тяжести ориентируется одна из осей пространственной системы координат.

Если через точку  $A$  построить замкнутую поверхность, которая в каждой своей точке будет перпендикулярна отвесной линии (направлению силы тяжести), то данную поверхность можно принять в качестве математической при решении некоторых частных задач в геодезии. Такая поверхность получила название

Рис. 1. Геоид – уровенная поверхность Земли

уровенной или горизонтальной. Её недостаток в том, что она содержит элемент



неопределенности, т.е. через любую точку можно провести свою уровенную поверхность, и таких поверхностей будет бесчисленное множество.

Для устранения этой неопределенности при решении общих геодезических задач принимается так называемая общая математическая поверхность, т.е. уровенная поверхность, которая в каждой своей точке совпадает со средним уровнем морей и океанов в момент полного равновесия всей массы воды под влиянием силы тяжести. Такая поверхность носит название **общей фигуры Земли** или **поверхности геоида**.

**Геоид – выпуклая замкнутая поверхность, совпадающая с поверхностью воды в морях и океанах в спокойном состоянии и перпендикулярная к направлению силы тяжести в любой её точке** (см. рис. 3).

Из-за неравномерного распределения масс внутри Земли геоид не имеет правильной геометрической формы, и в математическом отношении его поверхность характеризуется слишком большой сложностью. Поэтому там, где это допустимо, поверхность геоида заменяется приближенными математическими моделями, в качестве которых принимается в одних случаях **земной сфероид**, в других – **земной шар**, а при топографическом изучении незначительных по размеру территорий – **горизонтальная плоскость**, т.е. плоскость, перпендикулярная к вертикальной линии в данной точке.

**Земной сфероид – эллипсоид вращения** получается вращением эллипса вокруг его малой оси  $b$  (см. рис. 1), совпадающей с осью вращения Земли, причем центр эллипсоида совмещается с центром Земли.

Размеры эллипсоида подбирают при условии наилучшего совпадения поверхности эллипсоида и геоида в целом (общеземной эллипсоид) или отдельных его частей (референц-эллипсоид).

Фигура референц-эллипсоида наилучшим образом подходит для территории отдельной страны или нескольких стран. Как правило, референц-эллипсоиды принимают для обработки геодезических измерений законодательно.

Наиболее удачная математическая модель Земли в виде референц-эллипсоида была предложена проф. Ф. Н. Красовским с большой полуосью  $a=6378245$  м, малой –  $b=6356863$  м и **коэффициентом сжатия у полюсов  $a = (a-b)/a = 1/298.3 \sim 1/300$** .

Постановлением Совета Министров СССР № 760 от 7 апреля 1946 года эллипсоид Красовского принят для территории нашей страны в качестве математической поверхности Земли.

В инженерной геодезии для практических расчетов за математическую поверхность Земли принимают шар со **средним радиусом  $R=6371.11$  км**. Объем шара равен объему земного эллипсоида.

Топографическое изучение земной поверхности заключается в определении положения ситуации и рельефа относительно математической поверхности Земли, т.е. в определении пространственных координат характерных точек, необходимых и достаточных для моделирования местности. Модель местности может быть представлена в виде геодезических чертежей, изготовление которых называют картографированием, и аналитически – в виде совокупности координат характерных точек. Для построения моделей местности в геодезии применяют метод проекций и различные системы координат.

Высота точки является одной из её пространственных координат. Отметка называется абсолютной, если в качестве уровенной поверхности принимается геоид, и относительной или условной, если для этого принимается произвольная уровенная поверхность.

## Урок 2. Системы координат применяемые в геодезии

1. Географические координаты
2. Плоские прямоугольные геодезические координаты (зональные)
3. Полярные координаты
4. Системы высот

Через любую точку поверхности референц-эллипсоида можно провести две взаимно перпендикулярные плоскости:

- **плоскость геодезического меридиана**– плоскость, проходящая через ось вращения Земли  $PP'$ ;
- **плоскость геодезической широты**, которая перпендикулярна плоскости геодезического меридиана.

Следы сечения поверхности референц-эллипсоида этими плоскостями называют **меридианом ( $M$ ) и параллелью**.

**Меридиан**, проходящий через астрономическую обсерваторию в Гринвиче, называется **начальным или нулевым ( $M_0$ )**.

**Параллель**, плоскость которой проходит через центр Земли  $O$ , называется **экватором ( $\mathcal{E}$ )**.

**Плоскость**, проходящая через центр Земли  $O$  перпендикулярно к её оси вращения  $PP'$ , называется **экваториальной**.

**Основой для всех систем координат являются плоскости меридиана и экватора.**

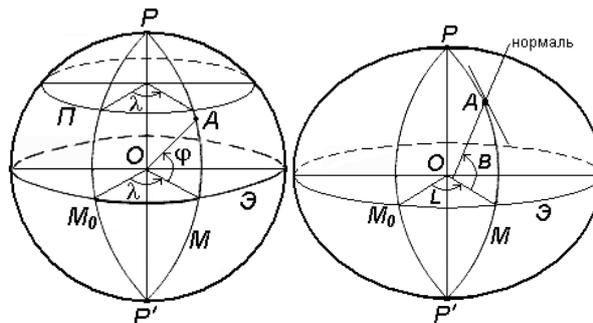


Рис. 6. Система географических координат Рис. 7. Система геодезических координат  
Системы координат подразделяются на угловые, линейные и линейно – угловые.

Примером угловых координат являются географические координаты (рис.6): широта  $\phi$  долгота  $\lambda$ . Вдоль соответствующих параллели и меридиана широта и долгота точек постоянны.

В геодезии применяются следующие системы координат:

- геодезические;
- астрономические;
- географические;
- плоские прямоугольные геодезические (зональные);
- полярные;
- местные.

Геодезические координаты определяют положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде (рис.7).

Геодезическая широта  $B$  – угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора. Широта отсчитывается от экватора к северу или югу от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и соответственно называется северной или южной широтой.

Геодезическая долгота  $L$  – двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического Гринвичского меридиана.

Долготы точек, расположенных к востоку от начального меридиана, называются восточными, а к западу – западными.

Географические координаты – величины, обобщающие две системы координат: геодезическую и астрономическую, используют в тех случаях, когда отклонение отвесных линий от нормали к поверхности не учитывается (рис.9).

Географическая широта  $\phi$  – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.

Географическая долгота  $\lambda$  – двугранный угол между плоскостями меридиана данной точки с плоскостью начального меридиана.

**Плоские прямоугольные геодезические координаты (зональные).**

При решении инженерно-геодезических задач в основном применяют плоскую прямоугольную геодезическую и полярную системы координат.

Для определения положения точек в плоской прямоугольной геодезической системе координат используют горизонтальную координатную плоскость  $XOY$  (рис. 10), образованную двумя взаимно перпендикулярными прямыми. Одну из них принимают за ось абсцисс  $X$ , другую – за ось ординат  $Y$ , точку пересечения осей  $O$  – за начало координат.

Рис. 11. Деление математической поверхности Земли на шестиградусные  
Изучаемые точки проектируют с математической поверхности Земли на координатную плоскость  $XOY$ . Так как сферическая поверхность не может быть спроектирована на плоскость без искажений (без разрывов и складок), то

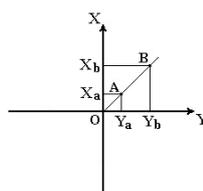
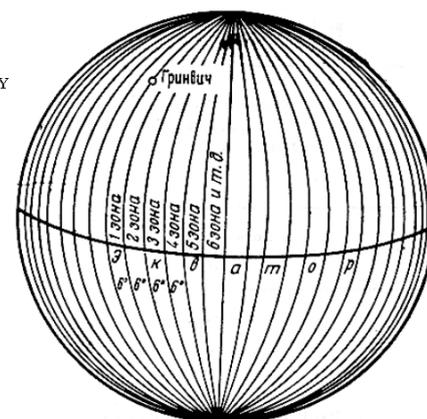


Рис. 10. Плоская прямоугольная система координат



ЗОНЫ

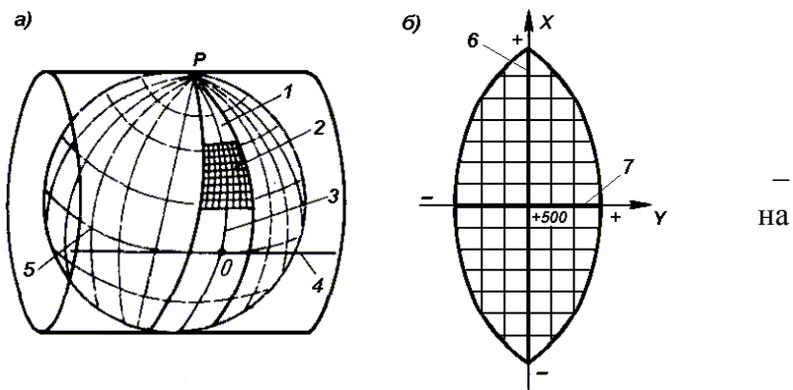
при

построении плоской проекции математической поверхности Земли принимается неизбежность данных искажений, но при этом их величины должным образом ограничивают. Для этого применяется равноугольная картографическая проекция Гаусса – Крюгера (проекция названа по имени немецких ученых, предложивших данную проекцию и разработавших формулы для её применения в геодезии), в которой математическая поверхность Земли проектируется на плоскость по участкам – зонам, на которые вся земная поверхность делится меридианами через  $6^\circ$  или  $3^\circ$ , начиная с начального меридиана (рис. 11).

В пределах каждой зоны строится своя прямоугольная система координат. С этой целью все точки данной зоны проецируются на поверхность цилиндра (рис. 12, а), ось которого находится в плоскости экватора Земли, а его поверхность касается поверхности Земли вдоль среднего меридиана зоны, называемого осевым. При этом соблюдается условие сохранения подобия фигур на земле и в проекции при малых размерах этих фигур.

Рис. 12. Равноугольная картографическая проекция Гаусса – Крюгера (а) и зональная система координат (б):

1 – зона, 2 – координатная сетка, 3 – осевой меридиан, 4 – проекция экватора поверхности цилиндра, 5 – экватор, 6 – ось абсцисс – проекция осевого меридиана, 7 – ось ординат – проекция экватора



После проектирования точек зоны на цилиндр, он разворачивается на плоскость, на которой изображение проекции осевого меридиана и соответствующего участка экватора будет представлена в виде двух взаимно перпендикулярных прямых (рис. 12, б). Точка пересечения их принимается за начало зональной плоской прямоугольной системы координат, изображение северного направления осевого меридиана – за положительную ось абсцисс, а изображение восточного направления экватора – за положительное направление оси ординат.

Для всех точек на территории нашей страны абсциссы имеют положительное значение. Чтобы ординаты точек также были только положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км (рис. 12, б). Таким образом, точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, а к востоку – больше 500 км. Эти ординаты называют преобразованными.

На границах зон в пределах широт от  $30^\circ$  до  $70^\circ$  относительные ошибки, происходящие от искажения длин линий в этой проекции, колеблются от 1 : 1000 до 1 : 6000. Когда такие ошибки недопустимы, прибегают к трехградусным зонам.

На картах, составленных в равноугольной картографической проекции Гаусса – Крюгера, искажения длин в различных точках проекции различны, но по разным направлениям, выходящим из одной и той же точки, эти искажения будут одинаковы. Круг весьма малого радиуса, взятый на уровне поверхности, изобразится в этой проекции тоже кругом. Поэтому говорят, что рассматриваемая проекция конформна, т. е. сохраняет подобие фигур на сфере и в проекции при весьма малых размерах этих фигур. Таким образом, изображения контуров земной поверхности в этой проекции весьма близки к тем, которые получаются.

Четверти прямоугольной системы координат нумеруются. Их счет идет по ходу стрелки от положительного направления оси абсцисс (рис.13).

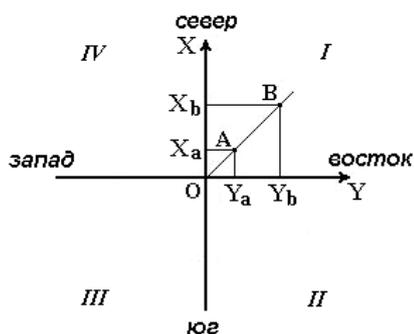


Рис. 13. Четверти прямоугольной системы координат

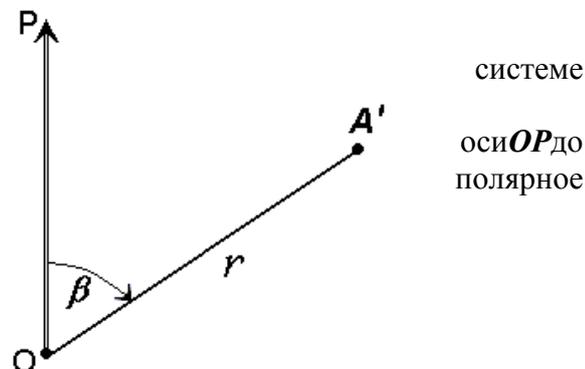
Если за начало плоской прямоугольной системы координат принять произвольную точку, то она будет называться относительной или условной.

### Полярные координаты

При выполнении съемочных и разбивочных геодезических работ часто применяют полярную систему координат (рис.14). Она состоит из полюса  $O$  и полярной оси  $OP$ , в качестве которых принимается прямая с известным началом и направлением.

Рис. 14. Полярная система координат

Для определения положения точек в данной системе используют линейно-угловые координаты: угол  $\beta$ , отсчитываемый по часовой стрелке от полярной оси до горизонтальной проекции точки  $A'$ , и расстояние  $r$  от полюса системы  $O$  до проекции  $A'$ .



### Системы высот

Высота точки является третьей координатой, определяющей её положение в пространстве.

В геодезии для определения отметок точек применяются следующие системы высот (рис.15):

- ортометрическая (абсолютная);
- геодезическая;
- нормальная (обобщенная);
- относительная (условная).

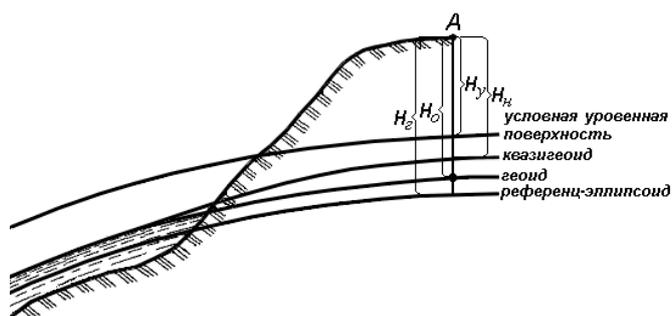


Рис. 15. Системы высот в геодезии

**Ортометрическая (абсолютная) высота  $H_o$**  – расстояние, отсчитываемое по направлению отвесной линии от поверхности геоида до данной точки.

**Геодезическая высота  $H_z$**  – расстояние, отсчитываемое по направлению нормали от поверхности референц-эллипсоида до данной точки.

В нашей стране все высоты реперов государственной нивелирной сети определены в нормальной системе высот. Это связано с тем, что положение геоида под материками определить сложно. Поэтому с конца 40-х годов в СССР было принято решение не применять ортометрическую систему высот.

В **нормальной системе высот** отметка точки  $H_n$  отсчитывается по направлению отвесной линии от поверхности квазигеоида, близкой к поверхности геоида.

**Квазигеоид** («якобы геоид») – фигура, предложенная в 1950-х г.г. советским учёным М.С. Молоденским в качестве строгого решения задачи определения фигуры Земли. Квазигеоид определяется по измеренным значениям потенциалов силы тяжести согласно положениям теории М.С. Молоденского.

В нашей стране все высоты реперов государственной нивелирной сети определены в нормальной системе высот. Это связано с тем, что положение геоида под материками определить сложно. Поэтому с конца 40-х годов в СССР было принято решение не применять ортометрическую систему высот.

В России абсолютные высоты точек определяются в **Балтийской системе высот (БСВ)** относительно нуля **Кронштадтского футштока** – горизонтальной черты на медной пластине, прикрепленной к устью моста через обводной канал в г. Кронштадте.

**Относительная высота  $H_y$** – измеряется от любой другой поверхности, а не от основной уровенной поверхности.

Местная система высот – **Тихоокеанская**, её уровенная поверхность ниже нуля Кронштадтского футштока на 1873 мм.

### Урок №3. Понятие о карте, плане.

#### Масштабы

1. Понятие о карте, плане.
2. Численный масштаб
3. Линейный масштаб
4. Поперечный масштаб
5. Точность масштаба

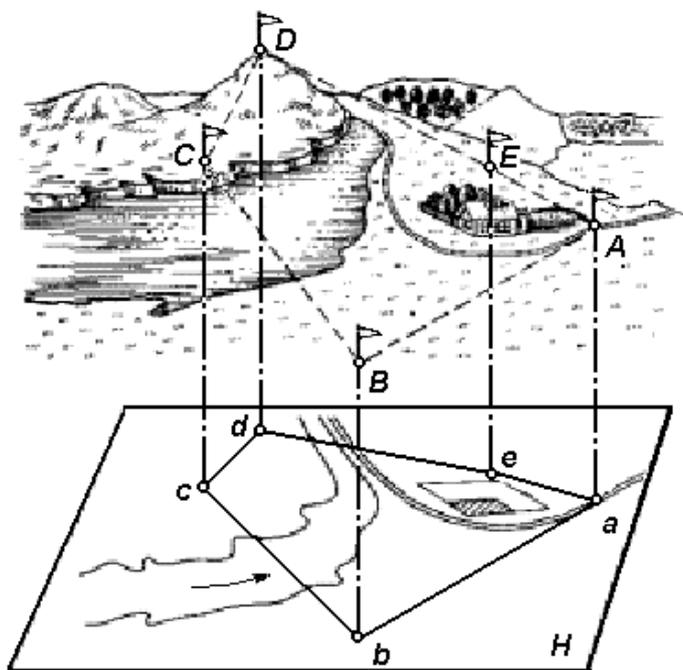


Рис. 26. Проектирование участка земной поверхности на горизонтальную плоскость

Чтобы спроектировать линию местности на горизонтальную плоскость, нужно определить её горизонтальное проложение (проекцию линии на горизонтальную плоскость) и уменьшить его до определенного масштаба. Для проектирования на горизонтальную плоскость какого-либо многоугольника (рис. 26) измеряют расстояния между его вершинами и горизонтальные проекции его углов.

Совокупность линейных и угловых измерений на земной поверхности называется геодезической съемкой. По результатам геодезической съемки составляют план или карту.

План– чертёж, на котором в уменьшенном и подобном виде изображается горизонтальная проекция небольшого участка местности.

Карта– уменьшенное и искаженное, вследствие влияния кривизны Земли, изображение горизонтальной проекции значительной части или всей земной поверхности, построенное по определенным математическим законам.

Таким образом, и план, и карта – это уменьшенные изображения земной поверхности на плоскости. Различие между ними состоит в том, что при составлении карты проектирование производят с искажениями поверхности за счет влияния кривизны Земли, на плане изображение получают практически без искажений.

В зависимости от назначения планы и карты могут быть контурные и топографические. На контурных планах и картах условными знаками изображают ситуацию, т.е. только контуры (очертания) горизонтальных проекций местных предметов (дорог, строений, пашен, лугов, лесов и т.п.).

На топографических картах и планах кроме ситуации изображают ещё рельеф местности.

Для проектирования железных, шоссейных дорог, каналов, трасс, водопроводов и других сооружений необходимо иметь вертикальный разрез или профиль местности.

Профилем местностиназывается чертёж, на котором изображается в уменьшенном виде сечение вертикальной плоскостью поверхности Земли по заданному направлению.

Как правило, разрез местности (рис. 27, а) представляет собой кривую линию ABC...G. На профиле (рис. 27, б) она строится в виде ломаной линииabc...g. Уровенную поверхность

изображают прямой линией. Для большей наглядности вертикальные отрезки (высоты, превышения) делают крупнее, чем горизонтальные (расстояния между точками).



Рис. 27. Вертикальный разрез (а) и профиль (б) местности

Масштабом называется степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане, карте или аэроснимке. Различают численный и графические масштабы; к последним относятся линейный, поперечный и переходный масштабы.

**Численный масштаб.** Численный масштаб выражается в виде дроби, числитель которой равен единице, а в знаменателе стоит число, показывающее степень уменьшения горизонтальных проложений. На топографических картах численный масштаб подписывается внизу листа карты в виде 1:М, например, 1:10000. Если длина линии на карте равна  $s$ , то горизонтальное проложение  $S$  линии местности будет равно:

$$S = s * M . \quad (5.1)$$

В нашей стране приняты следующие масштабы топографических карт: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Этот ряд масштабов называется стандартным. Раньше этот ряд включал масштабы 1:300 000, 1:5000 и 1:2000.

**Линейный масштаб.** Линейный масштаб - это графический масштаб; он строится в соответствии с численным масштабом карты в следующем порядке:

- проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок  $a$  постоянной длины, называемый основанием масштаба (при длине основания  $a=2$  см линейный масштаб называется нормальным); для масштаба 1:10 000  $a$  соответствует 200 м,
- у конца первого отрезка ставится нуль,
- влево от нуля подписывают одно основание масштаба и делят его на 20 частей,
- вправо от нуля подписывают несколько оснований,
- параллельно основной прямой проводят еще одну прямую и между ними прочерчивают короткие штрихи (рис.5.1).

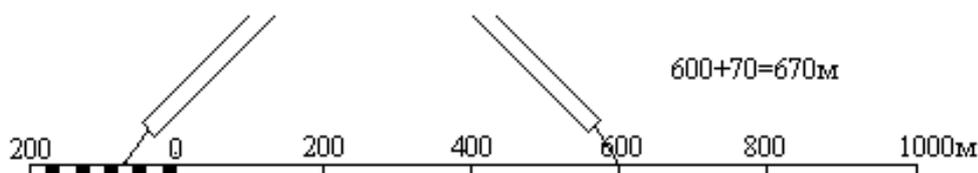


Рис.5.1 Линейный масштаб помещается внизу листа карты.

Чтобы измерить длину линии на карте, фиксируют ее раствором циркуля-измерителя, затем правую иглу ставят на целое основание так, чтобы левая игла находилась внутри первого основания. Считывают с масштаба два отсчета:  $N_1$ - по правой игле и  $N_2$ - по левой; длина линии равна сумме отсчетов

$$S = N_1 + N_2;$$

сложение отсчетов выполняют в уме.

**Поперечный масштаб.** Проведем прямую линию  $CD$  и отложим на ней несколько раз основание масштаба - отрезок  $a$  длиной 2 см (рис.5.2). В полученных точках восстановим перпендикуляры к линии  $CD$ ; на крайних перпендикулярах отложим  $m$  раз вверх от линии  $CD$

отрезок постоянной длины и проведем линии, параллельные линии CD. Крайнее левое основание разделим на n равных частей. Соединим i-тую точку основания CA с (i-1)-й точкой линии BL; эти линии называются трансверсалими. Построенный таким образом масштаб называется поперечным.

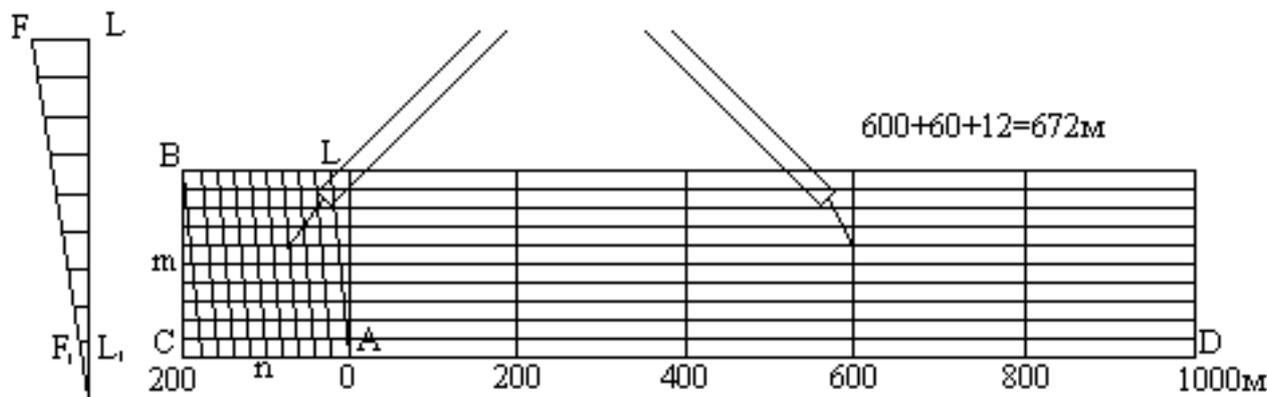


Рис.5.2 Если основание масштаба равно 2 см, то масштаб называется нормальным; если  $m = n = 10$ , то масштаб называется сотенным.

Наименьшее деление поперечного масштаба равно отрезку  $F_1L_1$ ; на такую длину отличаются два соседних параллельно расположенных отрезка при движении вверх по трансверсали и по вертикальной линии. Теория поперечного масштаба заключается в выводе формулы цены его наименьшего деления.

Рассмотрим два подобных треугольника  $AF_1L_1$  и  $AFL$ , из подобия которых следует:

$$\frac{F_1L_1}{FL} = \frac{AL_1}{AL}, \quad (5.2)$$

откуда  $F_1L_1 = FL \cdot (AL_1 / AL)$ .

По построению  $FL = a/n$  и  $(AL_1 / AL) = 1/m$ . Подставим эти равенства в формулу (5.2) и получим:

$$F_1L_1 = \frac{a}{m \cdot n}. \quad (5.3)$$

При  $m = n = 10$  имеем  $F_1L_1 = a/100$ , то-есть, у сотенного масштаба цена наименьшего деления равна одной сотой доле основания.

Порядок пользования поперечным масштабом:

циркулем-измерителем зафиксировать длину линии на карте, одну ножку циркуля поставить на целое основание, а другую - на любую трансверсаль, при этом обе ножки циркуля должны располагаться на линии, параллельной линии CD, длина линии составляет из трех отсчетов: отсчет целых оснований, умноженный на цену основания, плюс отсчет делений левого основания, умноженный на цену деления левого основания, плюс отсчет делений вверх по трансверсали, умноженный на цену наименьшего деления масштаба. Точность измерения длины линий по поперечному масштабу оценивается половиной цены его наименьшего деления.

Переходный масштаб. Иногда в практике приходится пользоваться картой или аэроснимком, масштаб которых не является стандартным, например, 1:17500, то-есть, 2 см на карте соответствуют 350 м на местности; наименьшее деление нормального поперечного сотенного масштаба будет при этом 3.5 м. Оцифровка такого масштаба неудобна для практических работ, поэтому поступают следующим образом. Основание поперечного масштаба берут не 2 см, а рассчитывают так, чтобы оно соответствовало круглому числу метров, например, 400 м. Длина основания в этом случае будет  $a = 400 \text{ м} / 175 \text{ м} = 2.28 \text{ см}$ .

Если теперь построить поперечный масштаб с длиной основания  $a = 2.28 \text{ см}$ , то одно деление левого основания будет соответствовать 40 м, а цена наименьшего деления будет равна 4 м.

Поперечный масштаб с дробным основанием называется переходным.

Точность масштаба. Карта или план - это графические документы. Принято считать, что точность графических построений оценивается величиной 0.1 мм. Длина горизонтального проложения линии

местности, соответствующего на карте отрезку 0.1 мм, называется точностью масштаба. Практический смысл этого понятия заключается в том, что детали местности, имеющие размеры меньше точности масштаба, на карте в масштабе изобразить невозможно, и приходится применять так называемые внемасштабные условные знаки.

Кроме понятия "точность масштаба" существует понятие "точность плана". Точность плана показывает, с какой ошибкой нанесены на план или карту точечные объекты или четкие контуры. Точность плана оценивается в большинстве случаев величиной 0.5 мм; в нее входят ошибки всех процессов создания плана или карты, в том числе и ошибки графических построений.

## Урок 4. Номенклатура карт и планов

1. Система разграфки и номенклатуры карт
2. Пример определения номенклатуры карты по координатам

Топографическая карта является многолистной. Каждый лист ограничен меридианами и параллелями, протяжение дуг которых зависит от масштаба карты.

Для удобства пользования их издают отдельными листами, границы которых принято называть рамками карты. Сторонами рамок являются меридианы и параллели, они ограничивают изображённый на листе карты участок местности. Каждый лист карты ориентирован относительно сторон горизонта так, что верхняя сторона рамки является северной, нижняя – южной, левая – западной, правая – восточной (рис. 2.22).



Рисунок 2.22 – Расположение листа карты относительно сторон горизонта

Разделение многолистной карты на отдельные листы по определённой системе называется разграфкой карты.

Система обозначения отдельных листов многолистной карты называется номенклатурой.

В основу номенклатуры положена международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Листы карты этого масштаба ограничены меридианами и параллелями и имеют размеры: по широте  $4^\circ$ , по долготе  $6^\circ$ .

Общее расположение листов карты масштаба 1:1 000 000 показано на рис. 2.26: в горизонтальном направлении образуются ряды, обозначенные заглавными буквами латинского алфавита, от А до V к северу и югу от экватора, а в вертикальном направлении получают колонны, пронумерованные арабскими цифрами от 1 до 60. Номера колонн считаются от меридиана с долготой  $180^\circ$  с запада на восток. Например, лист карты масштаба 1:1 000 000, на которой находится Смоленск, имеет номенклатуру N-36 (рис. 2.23).

Разграфка топографических карт более крупных масштабов установлена с соблюдением следующих условий:

- 1) границами листа карты служат меридианы и параллели;
- 2) размеры листов карты должны быть удобными для издания и практического пользования;
- 3) лист карты масштаба 1:1 000 000 должен делиться на целое число карт более крупного масштаба.

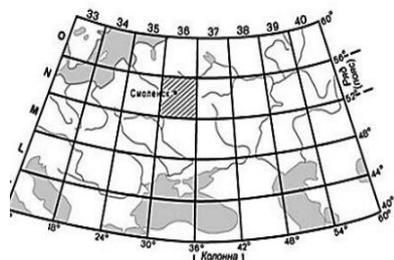


Рисунок 2.23

В соответствии с принятым рядом масштабом топографических карт и планов принята их следующая разграфка и номенклатура.

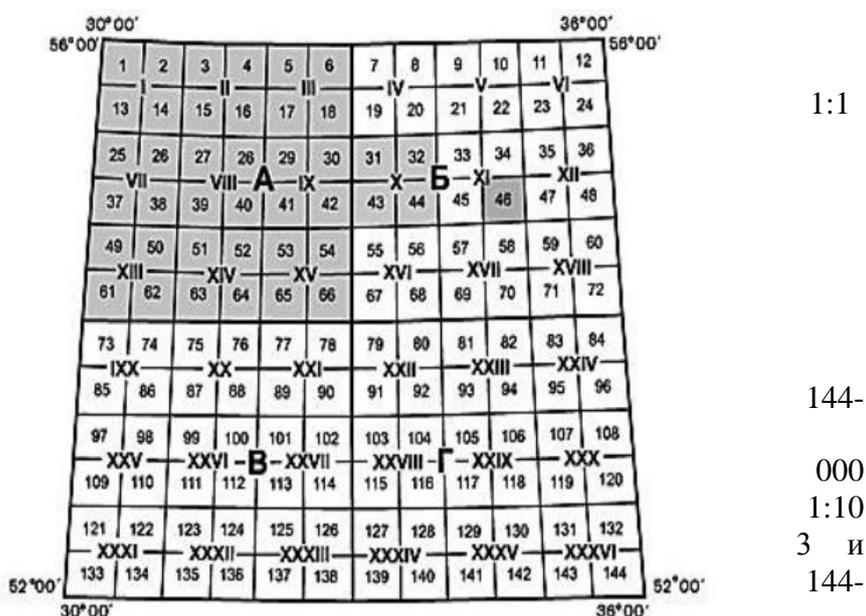
Территория, которая изображена на одном листе карты масштаба 1:1 000 000, может быть изображена на нескольких листах карты более крупного масштаба. Например, одному листу карты масштаба 1:1 000 000 соответствуют (рис. 2.24):

- четыре листа карты масштаба 1:500 000, обозначаемые буквами А, Б, В и Г; номенклатура этих листов имеет вид, например, N-37-А;
- девять листов карты масштаба 1:300 000, обозначаемых римскими цифрами I, II, ..., IX; пример номенклатуры листов этой карты I-N-37;
- 36 листов карты масштаба 1:200 000, обозначаемых также римскими цифрами, пример номенклатуры листов этой карты N-37-I;
- 144 листа карты масштаба 1:100 000, обозначаемые арабскими цифрами от 1 до 144; пример номенклатуры листов карты N-37-144.

Номенклатура каждого листа карты масштаба 1:50 000 и 1:25 000 связана с номенклатурой листа карты масштаба 1:100 000 (рис. 2.25).

Одному листу карты 1:100 000 соответствуют четыре листа карты масштаба 1: 50 000, обозначаемые заглавными русскими буквами А, Б, В, Г; пример их номенклатуры N-37-144-А.

Рисунок 2.24 – Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000 в листе карты масштаба 000 000



Одному листу карты масштаба 1:50 000 соответствуют четыре листа карты 1: 25 000, обозначаемые строчными буквами русского алфавита (а, б, в, г) пример их номенклатуры N-37-А-а.

Одному листу карты 1:25 000 соответствуют четыре листа карты 000, обозначаемые арабскими 1, 2, 4; пример их номенклатуры N-37-А-а-1.

Одному листу карты 1:100 000 соответствуют 256 листов плана масштаба 1:5 000 (16 рядов по 16 листов в каждом ряду), листы которого обозначаются арабскими цифрами от 1 до 256, заключёнными в скобках, например, N-37-144-(256).

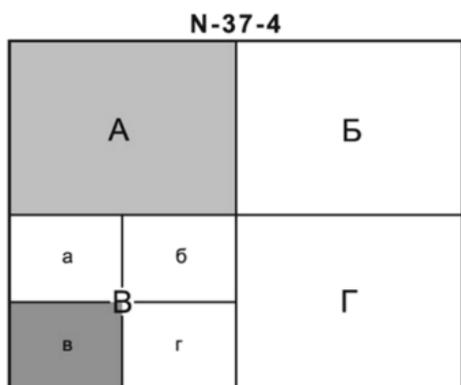


Рисунок 2.25– Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:50 000, 1:25 000 в листе карты масштаба 1:100 000

С увеличением широты листы топографических карт всех масштабов сужаются, оставаясь неизменными по высоте. Поэтому, начиная с параллели 60°, листы карт вычерчиваются вдвоенными, а выше 76° – четверёнными. Одному листу плана масштаба 1:5 000 соответствует девять листов плана масштаба 1: 2 000, которые обозначаются строчными русскими буквами а, б, в, г, д, е, ж, з, и, заключёнными в скобки, например, N-37-144-(256- и).

Нумерация листов карт любого масштаба (цифрами или буквами) всегда выполняется сверху вниз и слева направо.

При создании планов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500, как правило, применяется прямоугольная разграфка с размерами рамок для масштаба 1:5000 – 40 × 40 см, а для масштабов 1:2 000, 1:1000 и 1:500 – 50 × 50 см. В этом случае за основу разграфки принимается лист карты масштаба 1:5 000, обозначаемый арабскими цифрами. Ему соответствуют четыре листа масштаба 1:2 000, каждый из которых обозначается присоединением к номеру листа масштаба 1:5 000 одной из заглавных букв (А, Б, В, Г) русского алфавита, например, 14-Б.

Листу карты масштаба 1:2 000 соответствуют четыре листа масштаба 1:1 000, обозначаемых римскими цифрами (I, II, III, IV) и 16 листов масштаба 1:500, обозначаемых арабскими цифрами (1,2,...,16). В соответствии с этим номенклатура листа масштаба 1:1 000, например, будет 14-В-IV и для масштаба 1:500 – 14-Б-16.

Сводные данные о номенклатуре карт и планов, размерах их рамок приведены в таблице 2.2.

На любой карте обязательно указывается её номенклатура (рис. 2.27), над северной внешней рамкой листа карты (её обозначение и название наиболее крупного населённого пункта) – У-34-37-В-в (снгов).

Определить номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000 по заданным географическим координатам точки: широта  $\varphi = 53^{\circ}13'17''$ ; долгота  $\gamma = 47^{\circ}25'13''$ .

Сначала определяется номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000. По заданному значению

Таблица 2.2

Масштаб карты	Число листов в одном листе масштаба	Размер рамок по широте	Размер рамок по долготе	Пример номенклатуры листов
1. В отношении карты масштаба 1:1 000 000				
1:1 000 000	1	4°	6°	N-37
1:500 000	4	2°	3°	N-37-Г
1:300 000	9	1° 20'	2°	LN-37
1:200 000	36	40'	1°	N-37-XXI
1:100 000	144	20'	30'	N-37-144
2. В отношении карты масштаба 1:100 000				
1:50 000	4	10'	15'	N-37-144-Г
1:25 000	16	5'	7'30"	N-37-144-Г-г
1:10 000	64	2'30"	3'45"	N-37-144-Г-г-г
1:5 000	256	1' 15"	1' 52,5"	N-37-144-(256)
1:2 000	2304	25"	37,5"	N-37-144-(256-и)

широты  $\varphi = 53^{\circ}13'17''$  (см. рис. 2.26) определяем номер ряда N (между  $52^{\circ}$ – $56^{\circ}$ ) – это будет первой буквой в номенклатуре листа карты, и по заданной долготе  $\gamma = 47^{\circ}25'13''$  выбираем номер колонны 38 (между  $42^{\circ}$ – $48^{\circ}$ ) – это будет второй цифрой в номенклатуре листа карты масштаба 1:100 000. Значит, лист карты с заданными координатами имеет номенклатуру N – 38.

Затем переходим к масштабу 1:100 000,

для этого рисуем таблицу (рис. 2.28) в тетради (для удобства разграфки размером 12×12 клеток), в углах подписываем в градусах границы ряда по широте и границы колонны по долготе. Далее делим этот лист карты масштаба 1:1 000 000 на 144 части, разбиваем по широте через каждые три клетки по 1°, каждая клетка – 20', а по долготе через каждые две клетки по 1°, каждая клетка – 30'. Нумеруем ячейки арабскими цифрами и вновь по заданным широте и долготе точки определяем номер листа карты масштаба 1: 100 000, в котором расположена заданная точка. Это будет лист с номером 107. Номенклатура данного листа будет N–38–107.

У-34-37-В-в (СНОВ)  
номенклатура листа карты

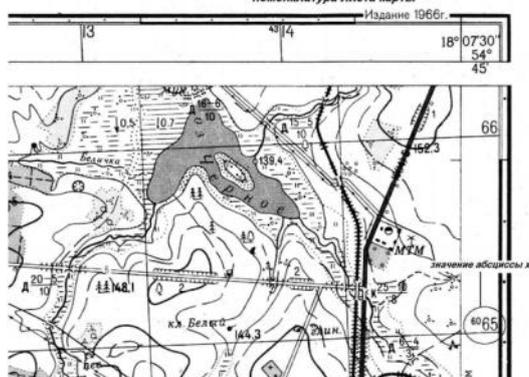


Рисунок 2.27 – Номенклатура карты У-34-37-В-в (снгов)

N - 38

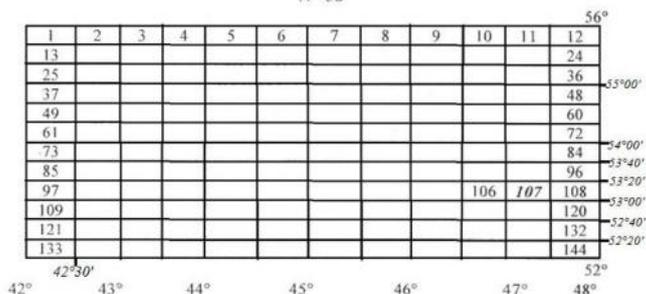


Рисунок 2.28

Затем этот лист (лист 107, с границами по широте  $53^{\circ}00'$  и  $53^{\circ}20'$  и по долготе  $47^{\circ}00'$  и  $47^{\circ}30'$ ) делим на 4 части, чтобы перейти к масштабу 1:50 000 и обозначаем новые листы заглавными буквами А, Б, В, Г (рис. 2.29). По заданным координатам точки определяем, в какой из этих листов она попадает. Это будет лист Б. Номенклатура данного листа будет N – 38 – 107 – Б.

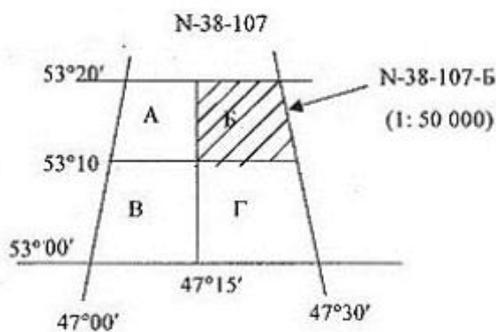


Рисунок 2.29

его границы по широте и долготе.

Затем этот лист (лист г, с границами по широте  $53^{\circ}10'$  и  $53^{\circ}15'$  и по долготе  $47^{\circ}22,5'$  и  $47^{\circ}30'$ ) делим на 4 части, чтобы перейти к масштабу 1:10 000, обозначаем листы арабскими цифрами 1, 2, 3, 4 и по заданным координатам точки определяем, в какой из этих листов попала наша точка. Это будет лист 1. (рис. 2.31). Таким образом, номенклатура листа карты масштаба 1:10 000 будет N-38-107-B-Г-1, в котором находится точка с заданными географическими координатами  $\varphi = 53^{\circ}13'17''$ ;  $\gamma = 47^{\circ}25'13''$ .

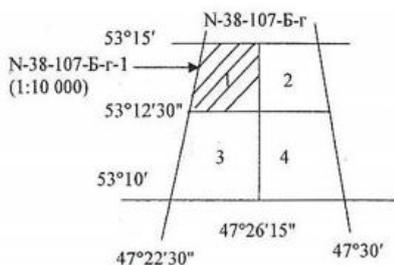


Рисунок 2.31

Затем этот лист (лист Б, с границами по широте  $53^{\circ}10'$  и  $53^{\circ}20'$  и по долготе  $47^{\circ}15'$  и  $47^{\circ}30'$ ) делим на 4 части, чтобы перейти к масштабу 1:25 000, нумеруем их строчными буквами а, б, в, г и по координатам точки определяем, в какой из этих листов попадает точка с заданными координатами. Это будет лист г (рис. 2.30). Номенклатура листа карты масштаба 1:25 000 будет N-38-107-Б-г. Вычерчиваем отдельно этот лист, указываем

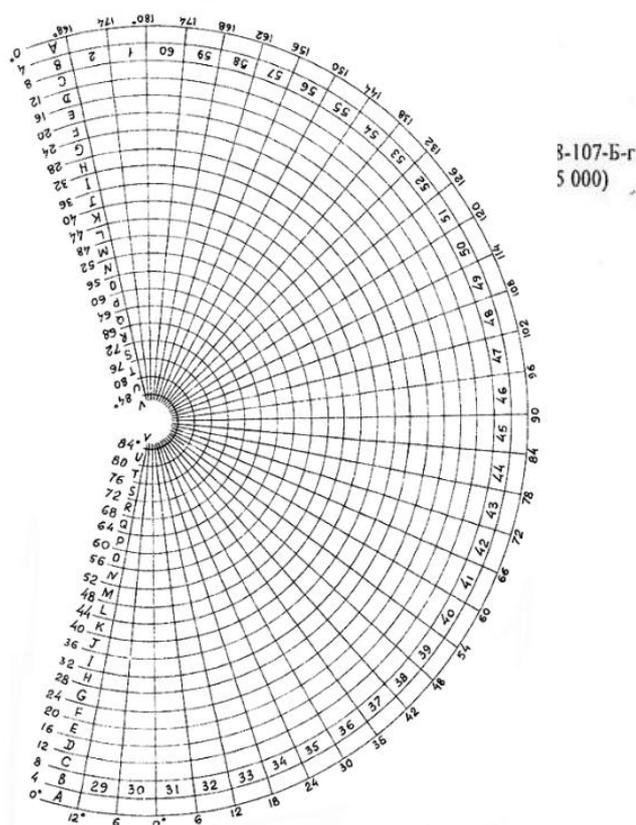


Рисунок 2.26 – Расположение листов карты масштаба 1:1 000 000

## Урок 5. Условные знаки топографических карт

1. Система условных обозначений на картах
2. Общие правила чтения топографических карт

На топографических картах и планах изображают разные объекты местности: контуры населённых пунктов, сады, огороды, озера, реки, линии дорог, линии электропередачи. Совокупность этих объектов называется ситуацией. Ситуацию изображают условными знаками.

Условные знаки – это графические обозначения, показывающие положение какого-либо объекта на местности и передающие его качественную и количественную характеристику.

Группы однородных местных предметов изображаются на картах с помощью основного (базового) условного знака. Качественная и количественная характеристика объектов одной группы определяется с помощью усложнения базового условного знака.

Чем крупнее масштаб карты, тем больше объектов и с большими подробностями показывается на ней при изображении данной территории. С уменьшением масштаба карты сокращается информационная ёмкость изображения на ней различных объектов.

Условные знаки, обязательные для всех учреждений и организаций, составляющих топографические карты и планы, устанавливаются Государственной службой геодезии и картографии России и издаются либо отдельно для каждого масштаба, либо для группы масштабов. Хотя число условных знаков велико (около 400), они легко запоминаются, так как внешне напоминают вид и характер изображаемых объектов.

Условные знаки подразделяются на пять групп:

- площадные;
- линейные;
- внемасштабные;
- пояснительные;
- специальные.

Площадные условные знаки (рис. 2.3, а) применяют для заполнения площадей объектов (например: пашни, леса, озера, луга); они состоят из знака границы объекта (точечный пунктир или тонкая сплошная линия) и заполняющих его изображений или условной окраски. Например, на условном знаке 1 показан берёзовый лес; цифры  $(20/0,18) \times 4$  характеризуют древостой, м: числитель – высоту ствола, знаменатель – толщину ствола, 4 – расстояние между деревьями.

Линейными условными знаками (рис. 2.3, б) обозначают объекты линейного характера (дороги, реки, линии связи, линии электропередачи), длина которых выражена в данном масштабе. На условных изображениях приводятся различные характеристики объектов. Например, на шоссе 7 показаны, м: ширина проезжей части – 8, всей дороги – 12; на железной дороге 8, м: +1,8 – высота насыпи, –2,9 – глубина выемки.

Внемасштабные условные знаки (рис. 2.3, в) служат для изображения объектов, размеры которых не отображаются в данном масштабе карты или плана (мосты, километровые столбы, колодцы, геодезические пункты).

Как правило, внемасштабные знаки определяют местоположение объектов, но по ним нельзя судить об их размерах. На знаках приводятся различные характеристики, например: длина 17 м и ширина 3 м деревянного моста 12, отметка 393,500 пункта геодезической сети 16.

Внемасштабные условные знаки можно разделить на 4 группы в зависимости от положения главной точки:

- знаки, имеющие центр симметрии (кружок, квадрат, прямоугольник, звёздочка и т. д.); главная точка совпадает с центром симметрии;
- знаки, имеющие широкое основание, главная точка – в середине основания;
- знаки, имеющие основание в виде прямого угла; главная точка – в вершине угла;
- знаки, представляющие сочетание нескольких фигур; главная точка – в центре симметрии нижней фигуры.

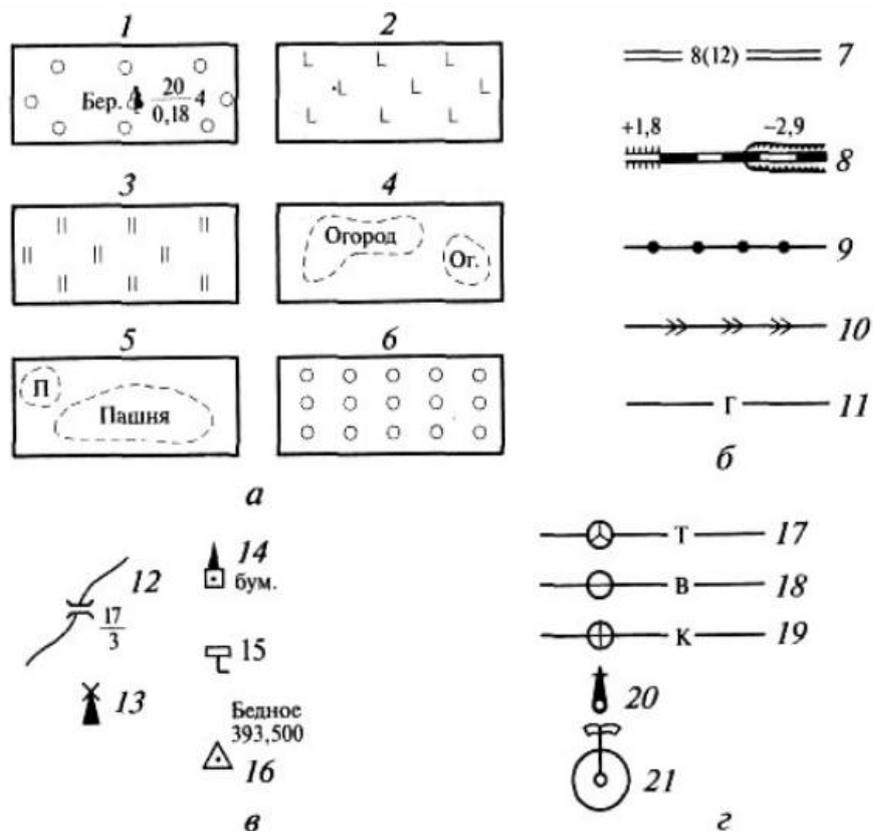


Рисунок 2.3 – Условные знаки:

- а* – площадные; *б* – линейные; *в* – внемасштабные; *г* – специальные
- 1 – берёзовый лес; 2 – вырубка; 3 – луг; 4 – огород; 5 – пашня;  
 6 – фруктовый сад; 7 – шоссе; 8 – железная дорога; 9 – линия связи;  
 10 – линия электропередачи; 11 – магистральный трубопровод (газ);  
 12 – деревянный мост; 13 – ветряная мельница; 14 – завод, фабрика;  
 15 – километровый столб; 16 – пункт геодезической сети; 17 – трасса;  
 18 – водопровод; 19 – канализация; 20 – водозаборная колонка;  
 21 – фонтан

Пояснительные условные знаки представляют собой цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты, например глубину и скорость течения рек, грузоподъёмность и ширину мостов, породу леса, среднюю высоту и толщину деревьев, ширину шоссе дорог. Их проставляют на основных площадных, линейных, внемасштабных знаках.

Специальные условные знаки (рис. 2.3, г) устанавливают соответствующие ведомства отраслей промышленности; их применяют для составления специализированных карт и планов этой отрасли. Например, знаки для маркшейдерских планов нефтегазовых месторождений – нефтепромысловые сооружения и установки, скважины, промысловые трубопроводы.

Чтобы придать карте или плану большую наглядность, для изображения различных элементов используют цвета: для рек, озёр, каналов, заболоченных участков – синий; лесов и садов – зелёный; шоссе дорог – красный; улучшенных грунтовых дорог – оранжевый.

Все остальное дают черным цветом. На изыскательских планах цветными делают подземные коммуникации (трубопроводы, кабели).

Топографические карты широко используются как в народном хозяйстве, так и в военном деле. Круг потребителей топографических карт весьма обширен. К ним обращаются учащийся и учёный, рабочий и инженер, офицер и солдат.

Топографические карты служат лучшим путеводителем на незнакомой местности. Топографическая карта в боевой обстановке является постоянным, а порой и единственным

средством детального изучения местности. Без топографических карт невозможно принять правильное решение и эффективно вести боевые действия.

Умение читать топографическую карту и знание правил работы с нею позволит решать самые разнообразные задачи, встречающиеся в повседневной жизни и в боевой деятельности.

Читать карту – это значит правильно и полно воспринимать символику её условных знаков, быстро и безошибочно распознавая по ним не только тип и разновидности изображаемых объектов, но и их характерные свойства.

Изучение местности по карте (чтение карты) включает определение общего её характера, количественных и качественных характеристик отдельных элементов (местных предметов и форм рельефа), а также определение степени влияния данной местности на организацию и ведение боя.

Изучая местность по карте, следует помнить, что со времени её создания на местности могли произойти изменения, которые не отражены на карте, т. е. содержание карты в какой-то мере не будет соответствовать действительному состоянию местности на данный момент. Поэтому изучение местности по карте рекомендуется начинать с ознакомления с самой картой.

При ознакомлении с картой по сведениям, помещённым в зарамочном оформлении, определяют масштаб, высоту сечения рельефа и время создания карты. Данные о масштабе и высоте сечения рельефа позволят установить степень подробности изображения на данной карте местных предметов, форм и деталей рельефа. Зная величину масштаба, можно быстрее определять размеры местных предметов или удаление их друг от друга.

Сведения о времени создания карты дадут возможность предварительно определить соответствие содержания карты действительному состоянию местности.

Затем читают и по возможности запоминают величины склонения магнитной стрелки, поправки направления. Зная на память поправку направления, можно быстрее делать перевод дирекционных углов в магнитные азимуты или ориентировать карту на местности по линии километровой сетки.

Общие правила и последовательность изучения местности по карте. Последовательность и степень подробности изучения местности определяется конкретными условиями обстановки, характером задачи, а также сезонными условиями.

Изучение местности, как правило, начинают с определения её общего характера, а затем детально изучают отдельные местные предметы, формы и детали рельефа, их влияние на условия наблюдения и ориентирования.

Определение общего характера местности имеет целью выявление важнейших особенностей рельефа и местных предметов, оказывающих существенное влияние на выполнение поставленной задачи. При определении общего характера местности на основе ознакомления с рельефом, населёнными пунктами, дорогами, гидрографической сетью и растительным покровом выявляют разновидность данной местности, степень её пересечённости и закрытости, что даёт возможность предварительно определить её тактические свойства.

Общий характер местности определяется беглым обзором по карте всего изучаемого участка. По первому взгляду на карту можно сказать о наличии населённых пунктов и отдельных массивов леса, обрывов и промоин, озёр, рек и ручьев, свидетельствующих о пересечённости местности.

Детальное изучение местности имеет целью определить качественные характеристики местных предметов, форм и деталей рельефа. На основе получения по карте таких данных и с учётом взаимосвязи топографических элементов местности (местных предметов и рельефа) делается оценка условий.

Определение качественных и количественных характеристик местных предметов производится по карте со сравнительно высокой точностью и большой подробностью.

При изучении по карте населённых пунктов определяют количество населённых пунктов, их тип и рассредоточенность, определяют степень обжитости того или иного участка (района) местности.

Читая карту, по условным знакам населённых пунктов устанавливают наличие, тип и расположение их на данном участке местности, определяют характер окраин и планировку,

плотность застройки, расположение улиц, главных проездов, наличие промышленных объектов, выдающихся зданий и ориентиров.

При изучении по карте дорожной сети уточняют степень развития дорожной сети и качество дорог, определяют условия проходимости данной местности и возможности эффективного использования транспортных средств.

При более подробном изучении дорог устанавливаются: наличие и характеристика мостов, насыпей, выемок и других сооружений; наличие труднопроходимых участков, крутых спусков и подъёмов; возможность съезда с дорог и движения рядом с ними.

Изучая гидрографию определяют по карте наличие водных объектов, уточняют степень изрезанности местности. Наличие водных объектов создаёт хорошие условия для водоснабжения и осуществления перевозок по водным путям.

Водные поверхности изображаются на картах синим или голубым цветом, поэтому они отчётливо выделяются среди условных знаков других местных предметов.

При изучении по карте рек, каналов, ручьев, озёр и других водных преград определяются ширина, глубина, скорость течения, характер грунта дна, берегов и прилегающей к ним местности; устанавливаются наличие и характеристика мостов, плотин, шлюзов, паромных переправ, бродов и участков, удобных для форсирования. При изучении почвенно-растительного покрова устанавливают по карте наличие и характеристику лесных и кустарниковых массивов, болот, солончаков, песков, каменистых россыпей и элементов почвенно-растительного покрова.

Изучение рельефа по карте начинается с определения общего характера неровностей того участка местности, на котором предстоит выполнять работы. При этом устанавливаются наличие, местоположение и взаимная связь наиболее характерных для данного участка типовых форм и деталей рельефа, определяется в общем виде их влияние на условия проходимости. Общий характер рельефа можно быстро определить по густоте и начертанию горизонталей, отметкам высот и условным знакам деталей рельефа.

Детальное изучение рельефа местности по карте связано с решением задач по определению высот и взаимного превышения точек, вида и направления крутизны скатов, характеристик (глубины, ширины и протяжённости) лощин, оврагов, промоин и других деталей рельефа.

Естественно, что необходимость решения конкретных задач будет зависеть от характера поставленной задачи.

Земная поверхность не является плоскостью. Даже участки равнинной местности небольшой площади нельзя считать плоскостями. Различного рода возвышения и углубления большие и малые необходимо учитывать при строительстве площадок и зданий, дорог и каналов, мостов и плотин, при проектировании участков для полива, механизированной обработки и пр.

## Урок 6. Рельеф местности и их виды

1. Рельеф. Основные формы рельефа
2. Изображение рельефа на планах и картах

Различные возвышения и углубления на земной поверхности учитывают при строительстве площадок и зданий, дорог и каналов, мостов и плотин, при проектировании участков для полива, механизированной обработки и пр. Совокупность разнообразных неровностей земной поверхности называют **Рельефом**.

Рельеф местности оказывает влияние на почвообразование, а значит и на вид сельскохозяйственного использования территории. Рельеф местности не является чем то постоянным, неизменным. Под влиянием сил, действующих внутри Земли, колебаний температуры, действий воды, ветра, растений, деятельности человека рельеф с течением времени изменяется. Поэтому мероприятия, направленные на рациональное использование земной территории, связаны с необходимостью периодического изучения рельефа и отображения его на картах, планах и профилях, по которым проектируют эти мероприятия.

Из разнообразных неровностей земной поверхности можно выделить **основные формы рельефа**: горы, котловины, хребты, лощины, седловины.

Рельеф земной поверхности весьма разнообразен, но все многообразие форм рельефа для упрощения его анализа типизировано на небольшое количество основных форм (рис. 1).

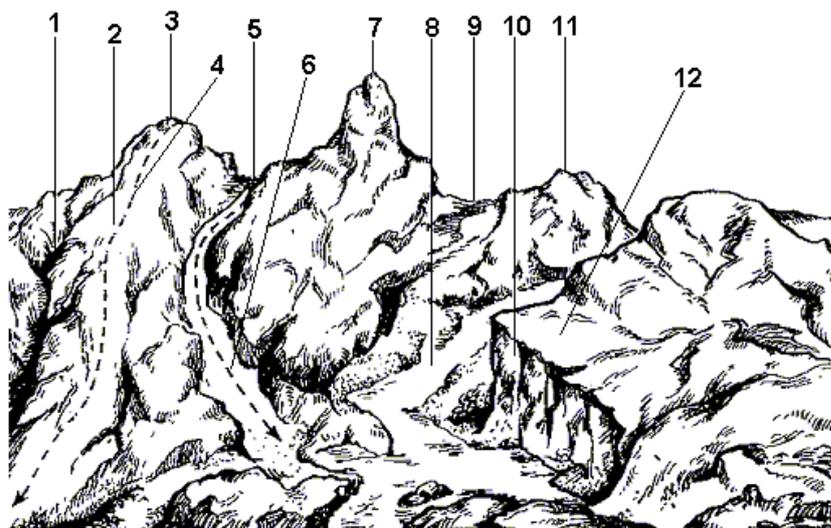


Рис. 1. Формы рельефа:

1 — лощина; 2 — хребет; 3, 7, 11 — гора; 4 — водораздел; 5, 9 — седловина; 6 — тальвег; 8 — река; 10 — обрыв; 12 — терраса

К основным формам рельефа относятся:

**Гора** — это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа. Наивысшая точка её называется *вершиной*. Вершина может быть острой — пик, или в виде площадки — плато. Боковая поверхность состоит из скатов. Линия слияния скатов с окружающей местностью называется подошвой или основанием горы. Гору высотой менее 200 м над окружающей поверхностью называют *холмом*.

**Котловина** — форма рельефа, противоположная горе, представляющая собой замкнутое углубление. Самая низкая точка её — дно. Боковая поверхность состоит из скатов; линия их слияния с окружающей местностью называется бровкой.

**Хребет** — это возвышенность, вытянутая и постоянно понижающаяся в каком — либо направлении. У хребта два склона; в верхней части хребта они сливаются, образуя водораздельную линию, или водораздел.

**Лощина** — форма рельефа, противоположная хребту и представляющая вытянутое в каком — либо направлении и открытое с одного конца постоянно понижающееся углубление. Два ската лощины; сливаясь между собой в самой низкой части её образуют водосливную линию или тальвег, по которой стекает вода, попадающая на скаты. Разновидностями лощины являются долина и овраг: первая является широкой лощиной с пологими задернованными скатами, вторая — узкая лощина с крутыми обнаженными скатами. Долина часто бывает ложем реки или ручья.

**Седловина** — это место, которое образуется при слиянии скатов двух соседних гор. Иногда седловина является местом слияния водоразделов двух хребтов. От седловины берут начало две лощины, распространяющиеся в противоположных направлениях. В горной местности через седловины обычно пролегают дороги или пешеходные тропы; поэтому седловины в горах называют перевалами.

Для изображения рельефа местности в характерных точках (на вершинах, дне, водоразделах, водотоках, бровках, подошвах, седловинах и в точках перегибов скатов) определяют высоты и подписывают их на планах и картах.

Для изображения рельефа местности на планах и картах применяют условные обозначения, которые дают представление о формах рельефа земной поверхности, крутизне скатов, высотах точек и превышениях.

Рельеф местности на планах и картах изображают различными способами (штриховкой, пунктиром, цветной пластикой), но чаще всего с помощью горизонталей (изогипсов), числовых отметок и условных знаков.

Горизонталь на местности можно представить как след, образованный пересечением уровенной поверхности с физической поверхностью Земли. Например, если представить холм, окружённый неподвижной водой, то береговая линия воды и есть **горизонталь** (рис. 2). Лежащие на ней точки имеют одинаковую высоту.

Допустим, что высота уровня воды относительно уровенной поверхности 110 м (рис. 30). Предположим теперь, что уровень воды упал на 5 м и часть холма обнажилась. Кривая линия пересечения поверхностей воды и холма будет соответствовать горизонтали с высотой 105 м. Если последовательно снижать уровень воды по 5 м и проектировать кривые линии, образованные пересечением поверхности воды с земной поверхностью, на горизонтальную плоскость в уменьшенном виде, то получим изображение рельефа горизонталями на плоскости.

Таким образом кривая линия, соединяющая все точки местности с равными отметками, называется **горизонталью**.

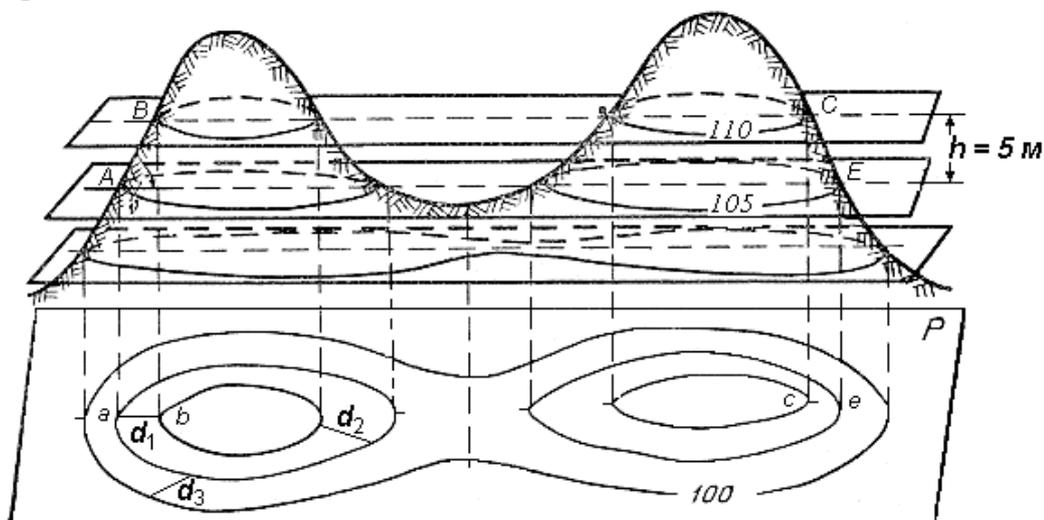


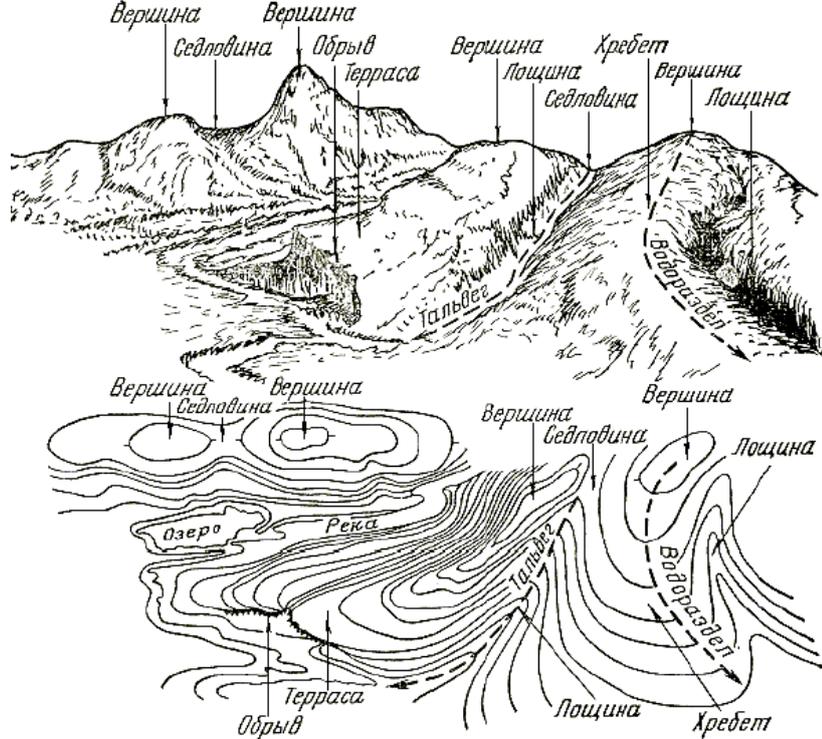
Рис. 2. Способ изображения рельефа горизонталями

При решении ряда инженерных задач необходимо знать свойства горизонталей:

1. Все точки местности, лежащие на горизонтали, имеют равные отметки.
2. Горизонтالي не могут пересекаться на плане, поскольку они лежат на разных высотах. Исключения возможны в горных районах, когда горизонталями изображают нависший утес.
3. Горизонтали являются непрерывными линиями. Горизонтали, прерванные у

рамки плана, замыкаются за пределами плана.

4. Разность высот смежных горизонталей называется **высотой сечения рельефа** и обозначается буквой **h**.



Высота сечения рельефа в пределах плана или карты строго постоянна. Её выбор зависит от характера рельефа, масштаба и назначения карты или плана. Для определения высоты сечения рельефа иногда пользуются формулой

$$h = 0,2 \text{ мм} \cdot M,$$

где  $M$  – знаменатель масштаба.

Такая высота сечения рельефа называется нормальной.

5. Расстояние между соседними горизонталями на плане или карте называется **заложением ската** или **склона**. Заложение есть любое расстояние между соседними горизонталями (см. рис. 30), оно

характеризует крутизну ската местности и обозначается  $d$ .

Вертикальный угол, образованный направлением ската с плоскостью горизонта и выраженный в угловой мере, называется **углом наклона ската**  $\nu$  (рис. 3). Чем больше угол наклона, тем круче скат.

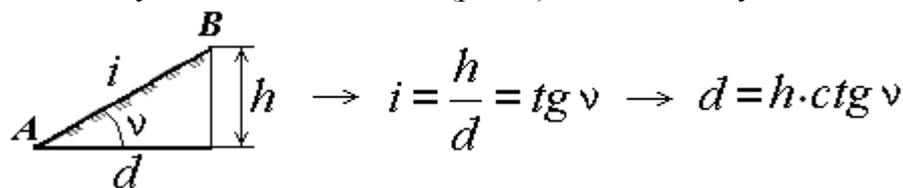


Рис. 3. Определение уклона и угла наклона ската

Другой характеристикой крутизны служит уклон  $i$ . Уклоном линии местности называют отношение превышения к горизонтальному проложению. Из формулы следует (рис. 3), что уклон безразмерная величина. Его выражают в сотых долях (%) или тысячных долях – промиллях (‰).

Если угол наклона ската до  $45^\circ$ , то он изображается горизонталями, если его крутизна более  $45^\circ$ , то рельеф обозначают специальными знаками. Например, обрыв показывается на планах и картах соответствующим условным знаком (рис. 4).

Изображение основных форм рельефа горизонталями приведено на рис. 4.

Для изображения рельефа горизонталями выполняют топографическую съемку участка местности. По результатам съемки определяют координаты (две плановые и высоту) для характерных точек рельефа и наносят их на план (рис. 5). В зависимости от характера рельефа, масштаба и назначения плана выбирают высоту сечения рельефа  $h$ .

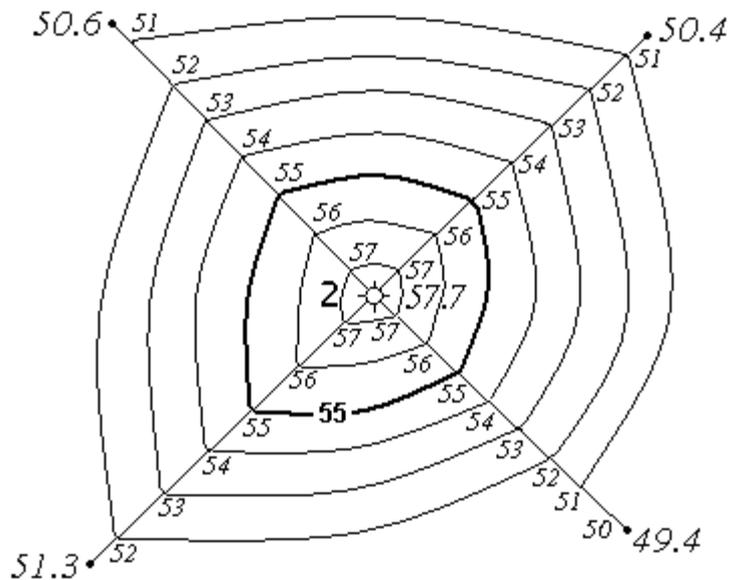


Рис. 5. Изображение рельефа горизонталями

Для инженерного проектирования обычно  $h = 1$  м. Отметки горизонталей в этом случае будут кратны одному метру.

Положение горизонталей на плане или карте определяется с помощью интерполирования. На рис. 33 приведено построение горизонталей с отметками 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57 м. Горизонтали кратные 5 или 10 м проводят на чертеже утолщенными и подписывают. Подписи наносят таким образом, чтобы верх цифр указывал сторону повышения рельефа. На рис. 33 подписана горизонталь с отметкой 55 м.

Там, где заложения больше, наносят штриховые линии (**полугоризонтал**и). Иногда, чтобы сделать чертеж более наглядным, горизонталы сопровождают небольшими черточками, которые ставятся перпендикулярно горизонталям, по направлению ската (в сторону стока воды). Эти черточки называются **бергштрихи**.

## Урок 7. Задачи, решаемые на топографических картах

Задачи, которые можно решать по карте, следующие:

1. Определение по карте географических координат т. а (рис. 5.25):

$$\begin{aligned} \text{т. а} \quad \text{г. Малиновская} \quad j &= 54^{\circ}40'21''; \\ l &= 18^{\circ}05'03''. \end{aligned}$$

2. Определение по карте прямоугольных координат т. б (см. рис. 5.25):

$$\begin{aligned} \text{т. б} \quad m. 148,1 \quad x &= 6065\ 300 \text{ м}; \\ y &= 4312\ 800 \text{ м}. \end{aligned}$$

3. Определение направления аб (см. рис. 5.25):

$$\begin{aligned} a &= 60^{\circ}; \\ A &= a + g = 60^{\circ} + (-2^{\circ}22') = 57^{\circ}38'; \\ A_m &= A - d = 57^{\circ}38' - (6^{\circ}12' + 1^{\circ}02') = 50^{\circ}24'. \end{aligned}$$

4. Определение крутизны ската по линии а – б (табл. 5.4):  $n_1 = 1,8^{\circ}$  и т.д.

Таблица 5.4

№	1	2	3	4	5	6
n	1,8°	1,6°	1,6°	0,40°	0,50°	1,2°

5. Построение линии заданного уклона (рис. 5.26):

$$i = h : d; d = h : i; h = 2,5 \text{ м}; i = 0,035; d = 2,5 : 0,035 = 71 \text{ м}.$$

Для масштаба 1: 10000: в 1 см – 100 м;

$$x \text{ см} - 71 \text{ м}; \quad x = 0,71 \text{ см или } \gg 7 \text{ мм}.$$

Раствором циркуля в 7 мм (или более) шагают от горизонтали до горизонтали, выбирая наиболее рациональный ход:

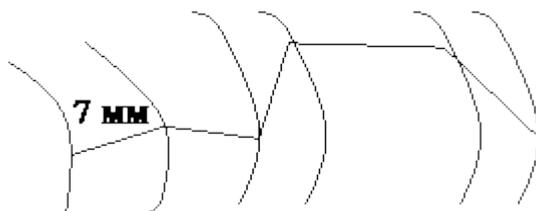


Рис. 5.26. Построение линии заданного уклона

6. Построение продольного профиля по линии а – б (рис. 5.27):

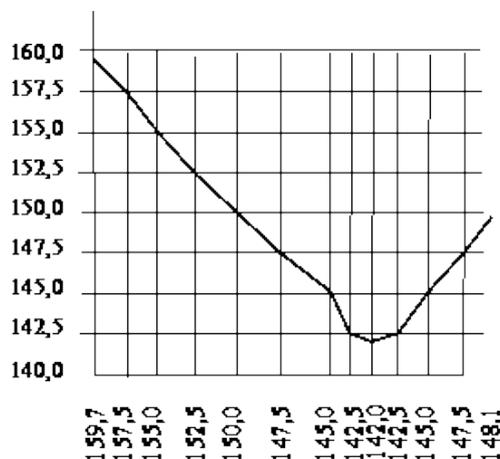
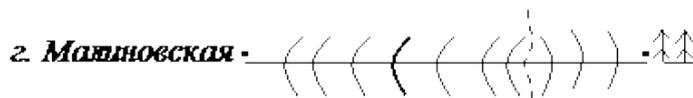


Рис. 5.27. Продольный профиль

7. Определение расстояния аб (см. рис. 5.25):  $d = 1053 \text{ м}.$

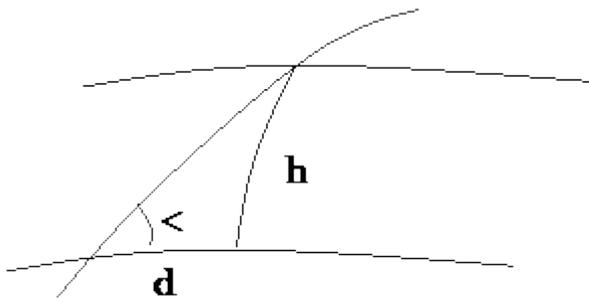


Уклон  $i$  линии –

отношение превышения  $h$  к заложению линии  $d$  (рис. 5.22). Уклон – мера крутизны ската.

Например,  $h = 1 \text{ м}, d = 20 \text{ м}. i = 1/20 = 0,05.$

Уклоны выражаются в процентах  $i = 5\%$  или в промиллях  $i = 50 \text{ ‰}$ . Чем больше  $d$ , тем меньше крутизна  $\angle$ .



линии  $\text{tg}\alpha = i = \frac{h}{d};$  (5.1)

уклон

крутиз

на ската  $\alpha$ .

Рис. 5.22. Уклон линии

График заложений по уклонам

График строится по формуле  $d = \frac{h}{i},$

где  $h$  – константа для данной карты;  $i$  – задается.

Пример: Масштаб 1:10 000,  $h = 1$  м,  $i = 0,001$  (табл. 5.2). Подставляя в формулу,

получим  $d = \frac{1}{0,001} = 1000$  м, что на карте масштаба 1:10 000 составляет 10 см.

Таблица 5.2

h, м	1	1	1	1	1	1					
i ‰	0,0 01	0,0 02	0,0 03	0,0 04	0,0 05	0,0 06					
d, м	100 0	500	333	250	200	167					
d, см	10	5	3,3 3	2,5	2,0	1,6 7					
на карте, см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	i ‰

Рис. 5.23. График заложений по уклонам

График заложений по углам

График строится по формуле  $d = h \cdot \text{ctg}\alpha,$

где  $h$  – константа для данной карты;

$\alpha$  – задается.

Пример: Масштаб 1:10 000,  $h = 2,5$  м (табл. 5.3). Для  $\alpha = 0^\circ 30'$ ;  $d = 2,5 \cdot \text{ctg } 0^\circ 30' = 286,5$  м, что на карте составляет 2,86 см и т.д. для углов  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ \dots 10^\circ$ .

Таблица 5.3

$h$ , м	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$\alpha$ , град.	$0^\circ 30'$	$1^\circ$	$2^\circ$	$3^\circ$	$5^\circ$	...	$10^\circ$
$\text{ctg } \alpha$	114.59	57.29	28.64	19.08	11.43	...	5.67
$d$ , м	286.47	143.22	71.59	47.70	28.58	...	14.18
На карте, см	2,86	1,43	0,72	0,48	0,29	...	0,14

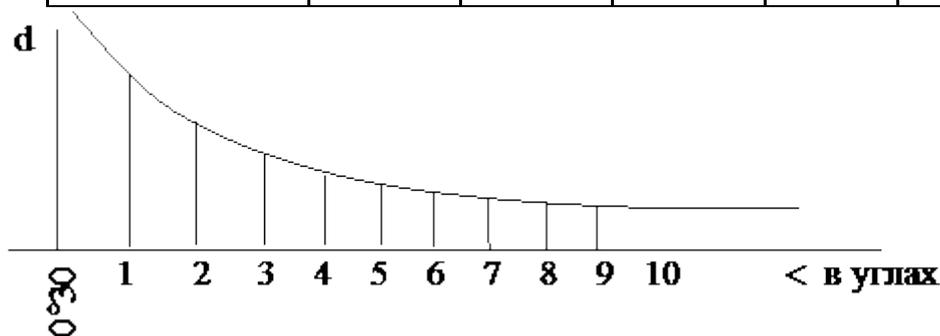


Рис. 5.24. График заложений по углам

Горизонталь - замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одну и ту же высоту над начальной уровенной поверхностью

*Свойства горизонталей:*

- точки, лежащие на одной и той же горизонтали, имеют одинаковую высоту;
- все горизонталы должны быть непрерывны;
- горизонталы не могут пересекаться или раздваиваться;
- расстояния между горизонталями в плане характеризуют крутизну ската – чем меньше расстояние (заложение), тем круче скат;
- кратчайшее расстояние между горизонталями соответствует направлению наибольшей крутизны ската;
- водораздельные линии и оси лощин пересекаются горизонталями под прямыми углами;
- горизонталы, изображающие наклонную плоскость, имеют вид параллельных кривых.

Когда расстояние между горизонталями на плане превышает 2 см, для уточнения форм рельефа применяют дополнительные горизонталы – полугоризонталы (рис.5.21).

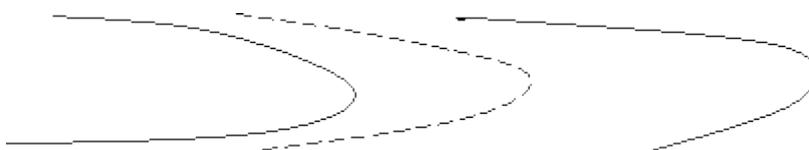


Рис. 5.21.  
Полугоризонталь

а) Гора, холм (рис. 5.16) – куполообразная или коническая возвышенность земной поверхности

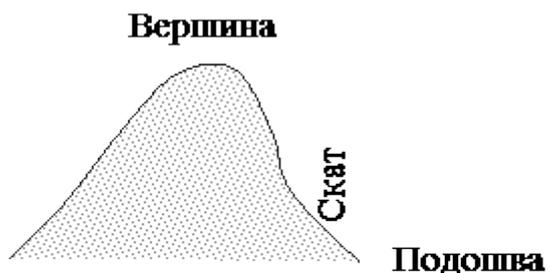


Рис. 5.16. Гора

Небольшая гора – холм (сопка), искусственный холм – курган.

б) котловина (рис. 5.17) – чашеобразное замкнутое со всех сторон углубление

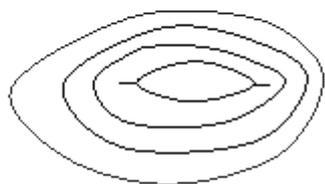


Рис. 5.17. Котловина

одном направлении

и образованная двумя противоположными скатами

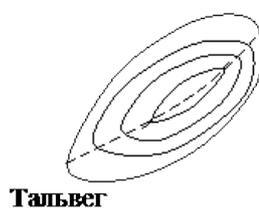
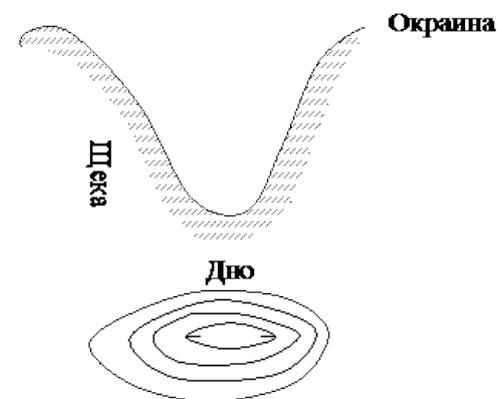
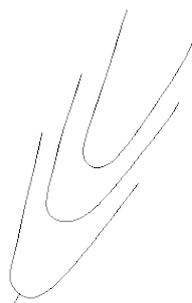
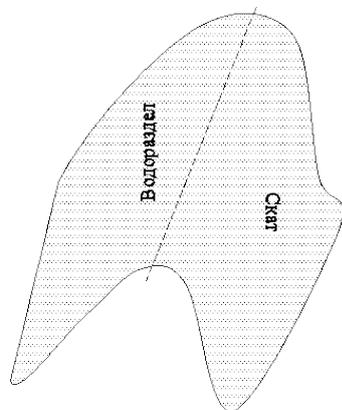


Рис. 5.18. Хребет

г) лощина (рис. 5.19) – вытянутое в одном направлении желобообразное углубление с наклоном в одну сторону



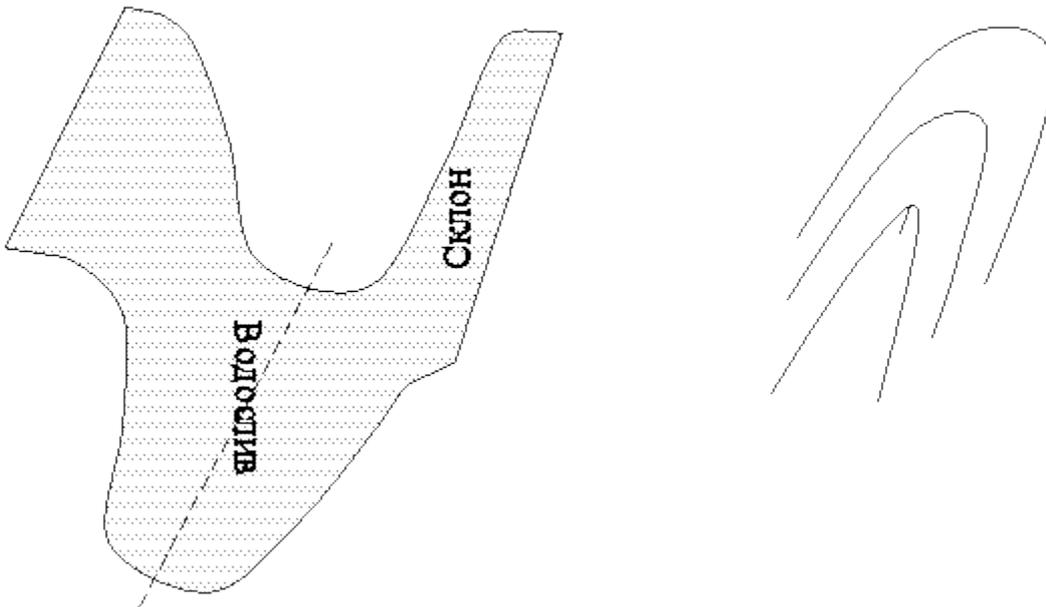
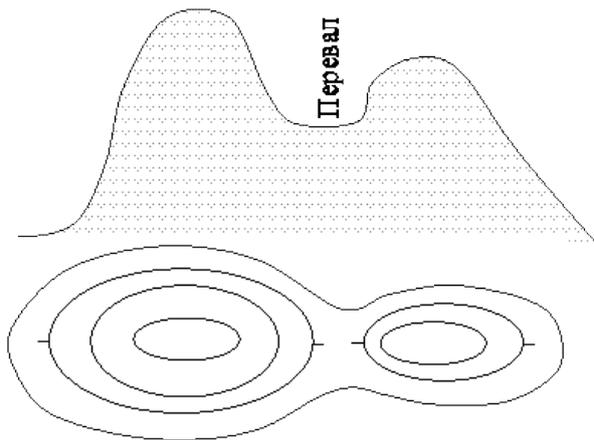


Рис. 5.19. Лощина

Широкая лощина – долина; узкая лощина – балка; в горах узкая лощина – ущелье.



д) седловина (рис. 5.20) – понижение между двумя соседними горными вершинами или возвышенностями

Рис. 5.20. Седловина

Рельеф – совокупность неровностей физической поверхности Земли (рис.5.15).

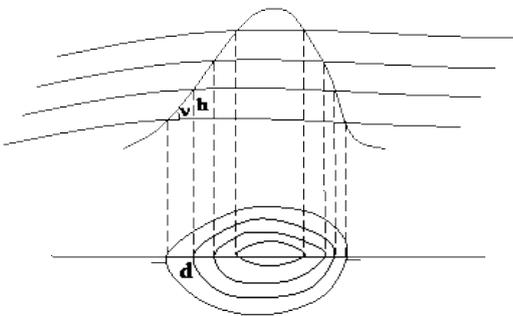


Рис. 5.15. Рельеф:

d – заложение горизонталей (расстояние между соседними горизонталями на плоскости);  
h – высота сечения рельефа (разность высот двух соседних горизонталей);

$\rho$  – крутизна склона;

$\cup$  – горизонталь;

$\text{—}$  – бергштрих (направление понижения скатов).

## Урок 8. Ориентирование линий

1. Ориентирование линий
2. Построение графика ориентирования
3. Определение ориентирных углов и румбов, заданных на топографической карте

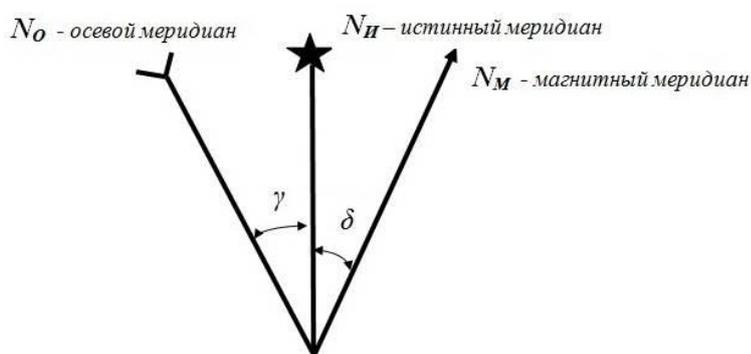
При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой или чертежом необходимо определить положение линии (ориентировать линию).

Ориентировать линию на местности – значит определить её положение относительно другого направления, принятого за исходное.

В качестве исходных в геодезии используют следующие направления (рис. 2.16):

-северное направление  $N_{И}$  истинного (географического) меридиана;

-северное направление  $N_{М}$  магнитного меридиана;



-северное направление  $N_{O}$  осевого меридиана зоны или направления параллельного ему.

Рисунок 2.16 – Исходные направления для ориентирования линий (график ориентирования)

Направление  $N_{И}$  – это горизонтальная линия в плоскости географического меридиана. Оно указывает на Северный полюс Земли.

Направление  $N_{М}$  – это горизонтальная линия в плоскости магнитного меридиана, то есть отвесной плоскости, проходящей через ось свободно подвешенной магнитной стрелки. Из-за неравномерного распределения магнитных масс внутри Земли направление магнитного меридиана не совпадает с направлением на магнитный полюс. Кроме того, магнитная ось Земли отклонена от оси вращения Земли примерно на  $12^\circ$ . Под влиянием этих факторов между направлениями географического и магнитного меридианов в какой-либо точке на поверхности Земли образуется угол  $\delta$  (рис. 2.16). Этот угол называют склонением магнитной стрелки и отсчитывают от истинного меридиана к магнитному. Восточному склонению приписывают знак плюс, западному – знак минус.

Направление  $N_{O}$  – это направление, как правило, параллельное осевому меридиану или оси абсцисс координатной сетки зоны. Если точка расположена на осевом меридиане, то направления  $N_{И}$  и  $N_{O}$  совпадают. Если точка не на осевом меридиане, то между осевым и истинным меридианом образуется угол  $\gamma$  (рис. 2.16). Этот угол называют сближением меридианов. Он отсчитывается от истинного меридиана к осевому меридиану. Восточному сближению приписывают знак плюс, западному – минус.

Сближение меридианов можно выбрать из схемы под южной рамкой топографической карты или вычислить по формуле

$$\gamma = \Delta\lambda \sin\varphi,$$

где  $\Delta\lambda$  – разность долгот географического меридиана точки и осевого меридиана зоны;  $\varphi$  – широта точки.

Все эти исходные направления и углы приводятся на карте в виде схемы в левом нижнем углу и называются график ориентирования (рис. 2.16).

Ориентирование линии на местности относительно исходных направлений осуществляют с помощью ориентирных углов:

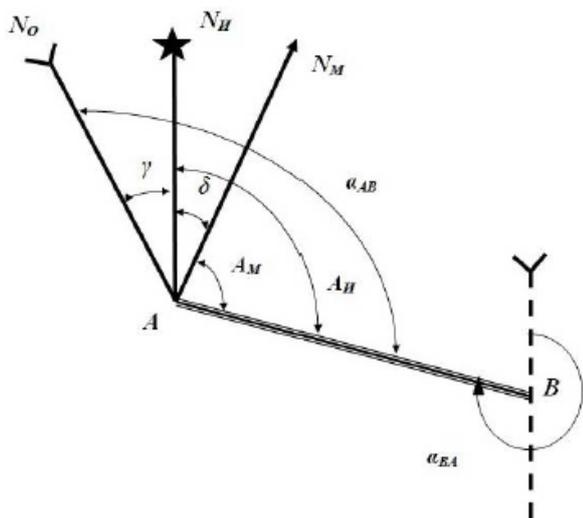


Рисунок 2.17 – Ориентирные углы

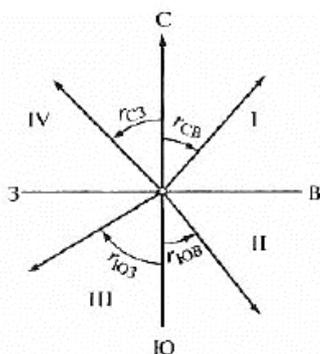


Рисунок 2.18 – Румбы

- истинный азимут  $A_{И}$ ;
- магнитный азимут  $A_{М}$ ;
- дирекционный угол  $\alpha$ .

Угол между северным направлением  $N_{И}$  истинного меридиана и направлением данной линии АВ называют истинным азимутом  $A_{И}$  (рис. 2.17) Истинный азимут отсчитывают от истинного меридиана по направлению часовой стрелки, он изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Истинные азимуты линий местности определяют астрономическими наблюдениями или с помощью приборов – гиротеодолитов.

Угол между северным направлением  $N_{М}$  магнитного меридиана и направлением данной линии АВ называют магнитным азимутом и обозначают  $A_{М}$  (рис. 2.17). Он отсчитывается от магнитного меридиана по ходу часовой стрелки и изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Угол между северным направлением  $N_0$  осевого меридиана и направлением данной линии АВ называют дирекционным углом (рис. 2.17). Дирекционный угол  $\alpha$  отсчитывается от осевого меридиана по ходу часовой стрелки и изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

На топографических картах и планах параллели осевому меридиану нанесены в виде координатной километровой сетки.

В геодезии принято различать прямое и обратное направления линии. Если направление линии АВ от точки А к точке В считать прямым, то ВА – обратное направление той же линии. В соответствии с этим угол  $\alpha_{AB}$  – прямой угол линии АВ в точке А, а  $\alpha_{BA}$  – обратный угол этой же линии в точке В.

Зависимость между этими углами видна на рисунке 2.17:

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ.$$

На практике иногда пользуются румбами. Румбом ( $r$ ) (рис. 2.18) называют острый угол между ближайшим (северным или южным) исходным направлениями данной линией. Обозначение румба начинают с указания четверти: СВ (северовосток), ЮВ (юго-восток), ЮЗ (юго-запад) и СЗ (северо-запад); далее записывают числовое значение угла. Соответственно обозначают румбы в четвертях, например: в первой –  $r_{СВ}$ , во второй –  $r_{ЮВ}$ . Румбы измеряют в градусах ( $0-90^\circ$ ).

Таблица 2.1 – Формулы перехода

Четверть	Румб	Азимут	Связь между румбом и азимутом линии
I	СВ: $r$	$0 \dots 90^\circ$	$r = \alpha$
II	ЮВ: $r$	$90^\circ \dots 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$
III	ЮЗ: $r$	$180^\circ \dots 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$
IV	СЗ: $r$	$270^\circ \dots 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$

График углов ориентирования – это схема, на

которой указывается расположение осевого и магнитного меридианов относительно истинного и указываются величины углов ориентирования: сближение меридианов  $\gamma$  и склонение магнитной стрелки  $\delta$ . При построении графика ориентирования сначала изображают вертикальной линией

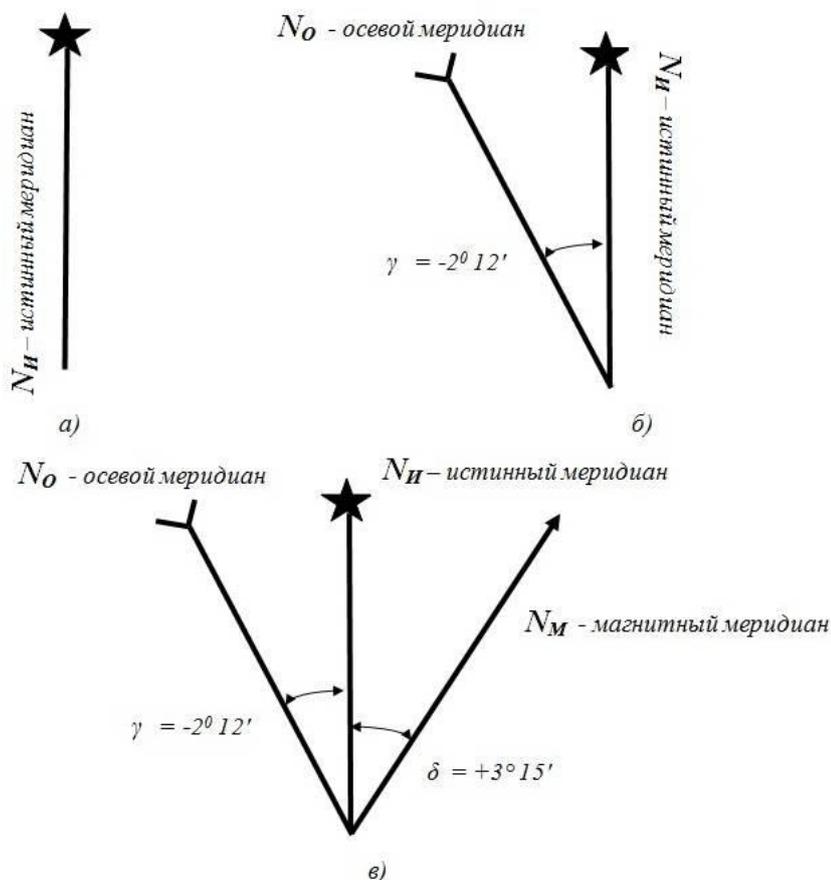
положение истинного меридиана, а затем в зависимости от указанных углов ориентирования располагают относительно истинного меридиана осевой и магнитный меридианы. Например, пусть требуется построить график ориентирования, если  $\gamma = -2^{\circ} 12'$ ,  $\delta = +3^{\circ} 15'$ . Проведём вертикальную линию, обозначающую положение истинного меридиана (рис. 2.19, а). Так как у нас заданный угол сближения меридианов имеет знак (-) значит, сближение меридианов западное и осевой меридиан будет расположен к западу по отношению к истинному. Схематично изображаем положение осевого меридиана (рис. 2.19, б). Так как у нас в задании склонение магнитной стрелки имеет знак (+) значит, оно восточное и магнитный меридиан будет расположен к востоку по отношению к истинному. Схематично изображаем положение магнитного меридиана (рис. 2.19, в).

Углы  $\gamma$  и  $\delta$  также могут быть оба восточных или оба западных.

По определению, дирекционный угол – это угол, отсчитанный от северного направления осевого меридиана по часовой стрелке до заданного направления. Дирекционные углы измеряются в пределах от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$  градусов.

Для измерения дирекционного угла линии можно через начальную точку заданного направления провести линию, параллельную оси абсцисс (вертикальной линии километровой сетки) и при этой точке измерить угол. Так, при определении дирекционного угла линии АВ через начальную точку этого направления (т. А) проводят линию, параллельную вертикальной линии километровой сетки, и от северного направления проведённой параллельной линии до заданного направления линии АВ измеряют угол. Приложив к точке пересечения 0 нуль транспортира и совместив его нулевой диаметр с километровой линией, отсчитывают по часовой стрелке угол  $\alpha$  от северного направления. В нашем примере (рис. 2.21) измеренный дирекционный угол линии АВ  $\alpha_{AB} = 104^{\circ}$ . Аналогично проводят измерения дирекционных углов линий ВС и СА;  $\alpha_{BC} = 220^{\circ}$ ,  $\alpha_{CA} = 344^{\circ}$ .

Рисунок 2.19 – График ориентирования



По определению, истинный азимут линии – это угол, отсчитанный от северного направления истинного меридиана по часовой стрелке до заданного направления. Азимуты измеряются в пределах от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$  градусов.

Так как непосредственное измерение азимуты затруднительно, то первоначально определяют дирекционные углы линий (способ описан выше), а затем вычисляют азимуты линий по формуле, которую выводят из графика ориентирования (рис. 2.20):

$$A_{И} = \alpha - \gamma,$$

где  $\gamma$  – сближение меридианов – берут с вспомогательного чертежа (графика углов ориентирования), помещённого за южной рамкой листа карты слева от масштаба (рис. 2.21).

Сближение меридианов может быть западным, если осевой меридиан расположен левее истинного, или восточным, если осевой меридиан расположен восточнее истинного.

Восточное сближение меридианов имеет знак (+), а западное знак (-). При расчётах знак угла не учитывается, он показывает только направление.

Так, истинный азимут линии АВ, вычисленный по формуле будет равен:

$$A_{И(AB)} = 104^\circ - 2^\circ 24' = 103^\circ 60' - 2^\circ 24' = 101^\circ 36'$$

Аналогично из графика ориентирования составляется формула для магнитного азимута (рис. 2.20):

$$A_M = \alpha - (\gamma + \delta),$$

где  $\delta$  – склонение магнитной стрелки – берут с вспомогательного чертежа (графика углов ориентирования), помещённого за южной рамкой листа карты слева от масштаба (рис. 2.21).

Так, магнитный азимут линии АВ, вычисленный по формуле будет равен:

$$A_{M(AB)} = 104^\circ - (2^\circ 24' + 6^\circ 12') = 104^\circ - 8^\circ 36' = 95^\circ 24'$$

По этим же формулам вычисляются азимуты линий ВС и СА (меняются только дирекционные углы).

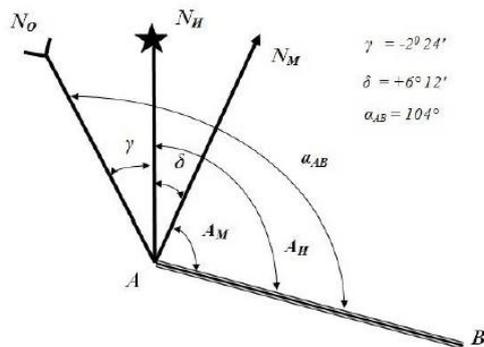


Рисунок 2.20

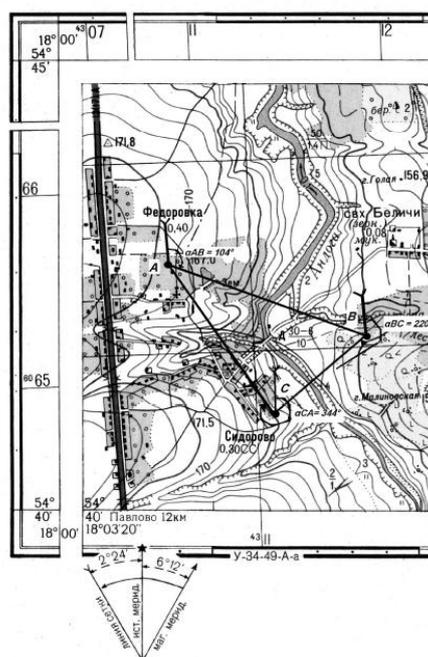


Рисунок 2.21 – Измерение на карте дирекционных углов

Зная дирекционные углы, можно определить румбы. По таблице 2.1 используя значение дирекционного угла  $\alpha$ , устанавливаем четверть и формулу для вычисления румба линии.

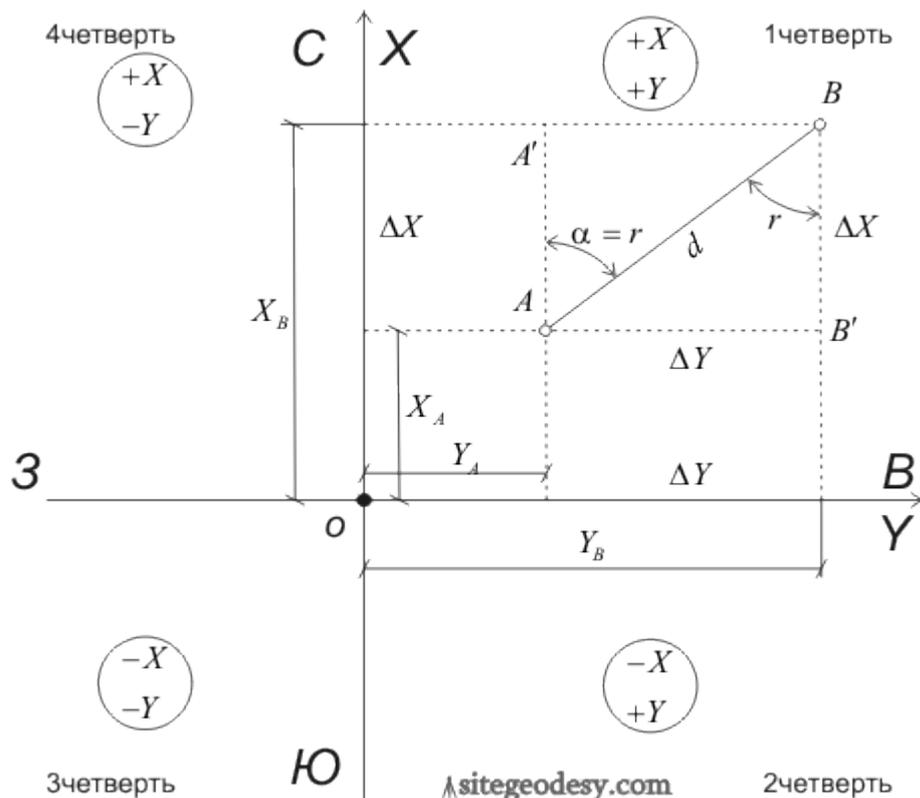
Например,  $\alpha_{AB} = 104^\circ$ , значит по таблице 1:  $r = 180^\circ - \alpha$ , II четверть. Подставляя в формулу значения угла, получаем:  $r = 180^\circ - 104^\circ = 76^\circ$ .

Следовательно, румб линии АВ запишем: ЮВ:76°.

## Урок 9. Связь между ориентирующими углами. Прямая и обратная геодезические задачи

1. Прямая и обратная геодезические задачи
2. Связь между ориентирующими углами

**Прямая геодезическая задача** заключается в том, что по известным координатам одной точки (например точка А), вычисляют координаты другой точки (например точка В), для чего необходимо знать **горизонтальное проложение (длину) линии** между этими точками ( $d = AB$ ) и **дирекционный угол** этой линии  $\alpha_{AB}$



Решение **прямой геодезической задачи** выполняется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y \end{aligned} \right\} (1)$$

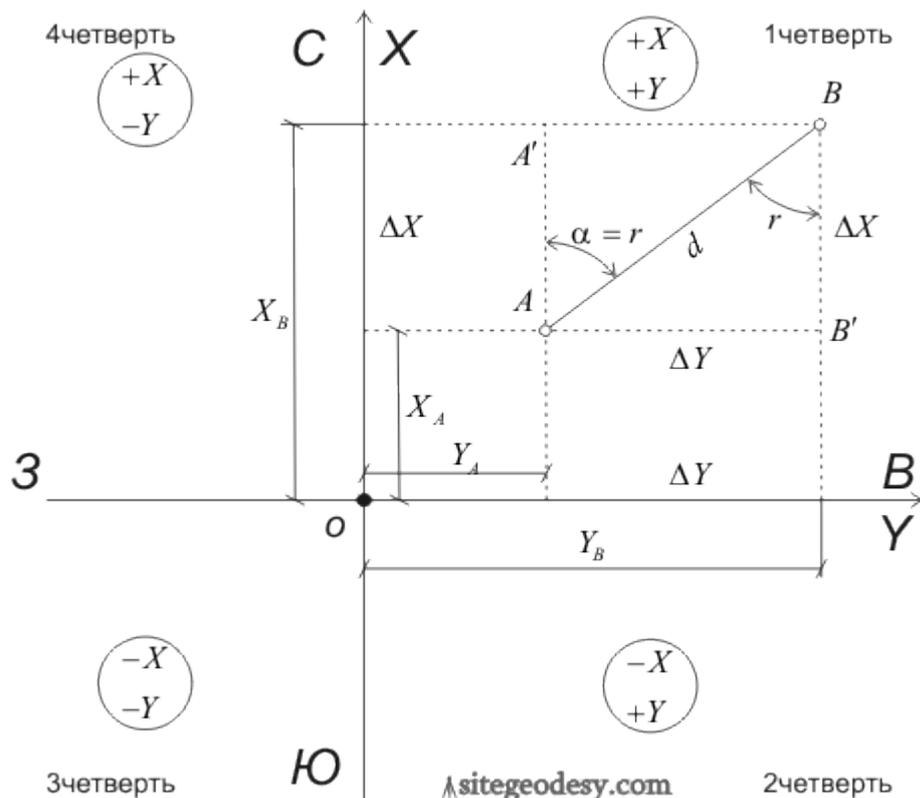
где  $\Delta X, \Delta Y$  называются приращениями координат и определяются из решения **прямоугольного треугольника AA'B**:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= d \cos \alpha \\ \Delta Y &= d \sin \alpha \end{aligned} \right\} (2)$$

Знаки приращений координат ( $\Delta X, \Delta Y$ ) зависят от четверти, в которой находится заданное направление и определяются по формулам 2, с помощью рисунка приведенного выше, или с помощью таблицы

Четверть	Значение дирекционного угла	Название румба	Связь между румбами и дирекционными углами	Знаки приращения координат	
				$\Delta X$	$\Delta Y$
1	$0^\circ - 90^\circ$	СВ	$r = \alpha$	+	+
2	$90^\circ - 180^\circ$	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	-	+
3	$180^\circ - 270^\circ$	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	-	-
4	$270^\circ - 360^\circ$	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	+	-

**Обратная геодезическая задача** заключается в том, что по известным координатам двух точек (например точек А и В) вычисляют **горизонтальное проложение (длину) линии** между этими точками ( $d = AB$ ) и **дирекционный угол** этой линии  $\alpha_{AB}$ .



Решение **обратной геодезической задачи** выполняется в следующем порядке:

1) вычисляют приращения координат

$$\Delta X = X_B - X_A$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A$$

2) из решения **прямоугольного треугольника**  $AB'B$  определяют **румб** линии  $r_{AB}$ :

$$\text{tgr} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

откуда

$$r = \text{arctg} \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|$$

3) по знакам приращений координат  $(\Delta X, \Delta Y)$  с помощью таблицы определяют в какой четверти находится заданное направление и по известному **румбу** линии  $(r_{AB})$  определяют **дирекционный угол** линии  $\alpha_{AB}$

Четверть	Значение дирекционного угла	Название румба	Связь между румбами и дирекционными углами	Знаки приращения координат	
				$\Delta X$	$\Delta Y$
1	$0^\circ - 90^\circ$	СВ	$r = \alpha$	+	+
2	$90^\circ - 180^\circ$	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	-	+
3	$180^\circ - 270^\circ$	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	-	-
4	$270^\circ - 360^\circ$	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	+	-

4) определяют **горизонтальное проложение** (длину линии)

$$d = \frac{\Delta X}{\cos \alpha}$$

$$d = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha}$$

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

Горизонтальное проложение линии может быть вычислено трижды, что является хорошим контролем вычислений.

### Пример решения прямой геодезической задачи

**Дано:** координаты точки  $A$  равны  $X_A = 25\text{м}$ ,  $Y_A = 140\text{м}$ , горизонтальное проложение линии  $d_{AB} = 124\text{м}$ , дирекционный угол линии  $AB$  равен  $\alpha_{AB} = 217^\circ 14' 23''$

**Найти:** координаты точки  $B$  ( $X_B = ?$ ,  $Y_B = ?$ )

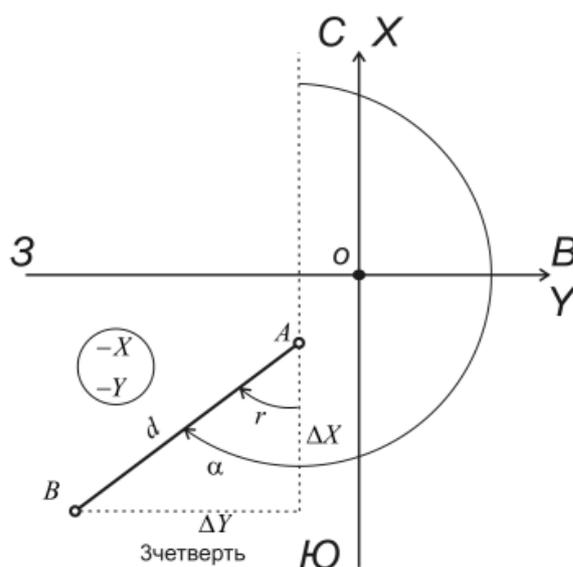
#### Решение:

1) определяем приращения координат

$$\Delta X = d \cos \alpha = 124\text{м} \times \cos 217^\circ 14' 23'' = 124\text{м} \times (-0,7961) = -98,72\text{м}$$

$$\Delta Y = d \sin \alpha = 124\text{м} \times \sin 217^\circ 14' 23'' = 124\text{м} \times (-0,6052) = -75,04\text{м}$$

знаки приращений координат говорят о том, что заданное направление находится в 3 четверти



2) определяем координаты точки  $B$

$$X_B = X_A + \Delta X = 25\text{м} - 98,72\text{м} = -73,72\text{м}$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y = 140\text{м} - 75,04\text{м} = 64,96\text{м}$$

## Пример решения обратной геодезической задачи

**Дано:** координаты точек  $A$  и  $B$  равны

$$\begin{aligned} X_A &= 247,32\text{м} \\ Y_A &= 870,54\text{м} \\ X_B &= 705,65\text{м} \\ Y_B &= -567,83\text{м} \end{aligned}$$

**Найти:** горизонтальное проложение и дирекционный угол линии  $AB$  ( $d_{AB} - ?$ ,  $\alpha_{AB} - ?$ )

**Решение:**

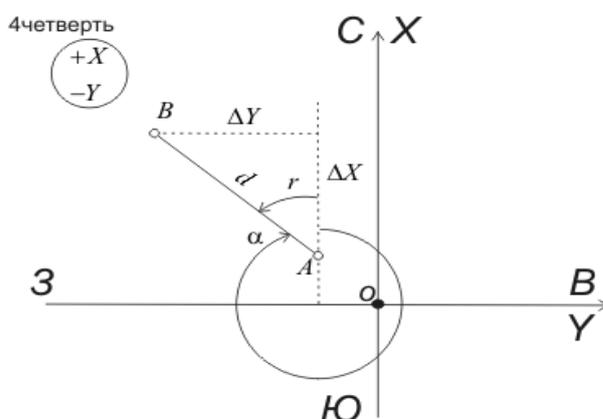
- 1) определяем приращения координат

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_B - X_A = 705,65 - 247,32 = 458,33\text{м} \\ \Delta Y &= Y_B - Y_A = -567,83 - 870,54 = -1438,37\text{м} \end{aligned}$$

- 2) определяем румб линии  $AB$

$$r = \arctg \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| = \arctg \left| \frac{-1438,37}{458,33} \right| = \arctg |-3,13829| = 72,325759^\circ = 72^\circ 19' 33''$$

3) по знакам приращений координат (числитель  $\Delta Y$  имеет знак минус, знаменатель  $\Delta X$  имеет знак плюс), пользуясь таблицей связи румбов и дирекционных углов, определяем, что заданное направление находится в 4 четверти и румб линии  $AB$  равен  $r_{AB} = СЗ : 72^\circ 19' 33''$



- 4) Для 4 четверти, пользуясь таблицей, определяем, что румб находится по формуле

$$r = 360^\circ - \alpha$$

Перепишав формулу румба (переносим правую и левую части формулы с изменением знака), дирекционный угол найдем по формуле:

$$r = 360^\circ - \alpha \Rightarrow \alpha = 360^\circ - r = 360^\circ - 72^\circ 19' 33'' = 287^\circ 40' 27''$$

- 5) определяем горизонтальное проложение линии  $AB$

$$\begin{aligned} d &= \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{458,33}{\cos 287^\circ 40' 27''} = \frac{458,33}{0,3036035} = 1509,63\text{м} \\ d &= \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = \frac{-1438,37}{\sin 287^\circ 40' 27''} = \frac{-1438,37}{-0,9527985} = 1509,63\text{м} \\ d &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{458,33^2 + (-1438,37)^2} = 1509,63\text{м} \end{aligned}$$

## Урок 10. Построение Государственной Геодезической Сети. Погрешности измерений

1. Геодезические сети
2. Виды погрешностей измерений. Свойства случайных погрешностей
3. Критерии оценки точности.

Для осуществления инженерно-строительного производства требуется наличие на местности исходных точек, у которых определены координаты и высоты с соответствующей точностью.

Точка, закреплённая на местности, с определёнными координатами и высотами называется геодезическим пунктом (рис. 4.1). Совокупность геодезических пунктов, положение которых определено в общей для них системе координат, называют геодезической сетью (ГГС).

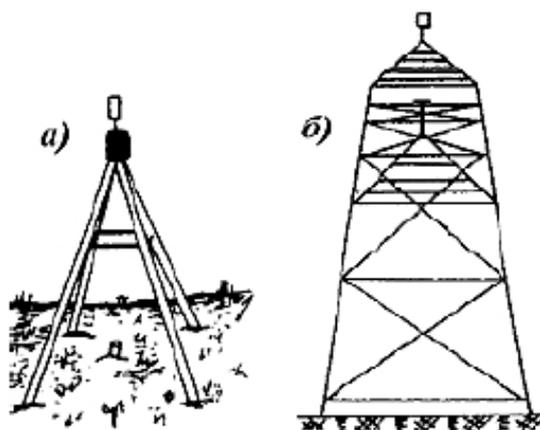


Рисунок 4.1 – Геодезические пункты.

а) пирамида; б) сигнал

Государственная геодезическая сеть делится на плановую и высотную.

По назначению и точности построения плановые ГГС подразделяются на следующие виды:

- государственную геодезическую сеть (ГГС), являющуюся главной геодезической основой всех топографо-геодезических работ, подразделяется по точности на четыре класса (1, 2, 3 и 4 классов);
- геодезические сети сгущения (сети местного значения) служат для дальнейшего сгущения ГГС и являются геообоснованием для топосъёмки в масштабах 1:5 000–1:500 и инженерно-геодезических работ;
- съёмочные геодезические сети (плановое съёмочное обоснование) представляет собой сеть пунктов, опирающихся на пункты старших классов, с которых непосредственно выполняется съёмка местности;
- специальные геодезические сети, развиваемые при строительстве сооружений.

Общим принципом построения геодезических сетей был и остаётся принцип «от общего к частному». Сначала на всей территории страны создаётся редкая сеть пунктов высшего класса; их координаты и отметки получают с максимально возможной точностью при использовании всех достижений науки и техники, затем сеть сгущают пунктами меньшей точности, используя пункты высшего класса как исходные. Процесс сгущения геодезических сетей продолжается до тех пор,

пока на данном участке будет создана сеть с нужной плотностью пунктов (рис. 4.2).

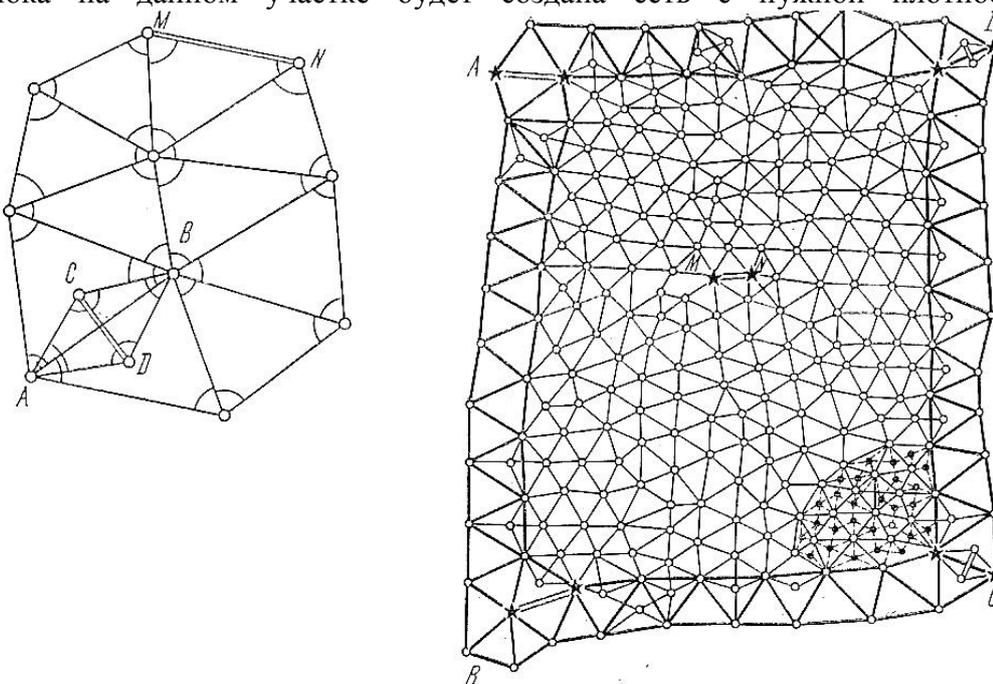


Рисунок 4.2 – Принцип построения ГГС

Геодезические сети строятся методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации и их сочетаниями, а также прямой, обратной, комбинированной засечками и другими методами.

Триангуляция – система пунктов, образующих сплошную сеть перпендикуляров, в которых измерены все углы и отдельные длины сторон (базисы) (рис. 4.3);

Трилатерация – сеть треугольников, в которых измерены только длины стороны (рис. 4.3);

Полигонометрия – система прямых линий, образующих полигонометрический ход, в котором измерены длины всех сторон и углы между сторонами (рис. 4.4).

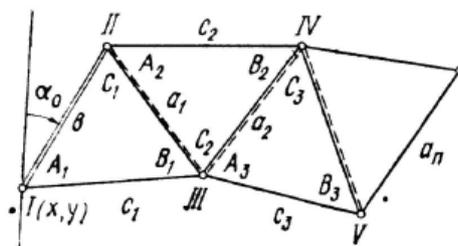


Рисунок 4.3 – Способ триангуляции и трилатерации

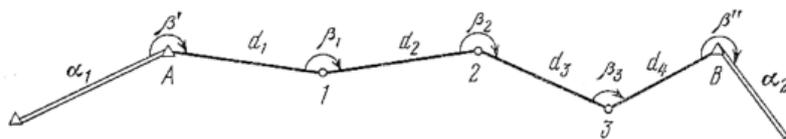


Рисунок 4.4 – Способ полигонометрии

Ломаную линию называют ходом, отрезки ломаной линии – сторонами хода, горизонтальные углы между отрезками – углами поворота; вершины полигонометрических ходов – пунктами полигонометрии.

Государственная плановая сеть устанавливает единую систему координат (x, y) на территории страны и является основой для исследовательских и поисковых работ в геологии, экологии, при топографических съёмках и проектировании сооружений. Система взяла своё начало в Пулковке и была создана с помощью астрономо-геодезической сети. Через эту же сеть распространяется на всю территорию страны общеземная система.

Государственная высотная сеть устанавливает единую систему высот (отметок Н) на территории страны. На всей территории страны вычисление высот производится в нормальной системе высот от нуля Кронштадтского футштока. Эта система называется Балтийской.

Погрешности бывают систематические, грубые, случайные.

**Грубые** - возникают в результате невнимательности (просчеты, неверные записи). Для их устранения измерения повторяют несколько раз.

**Систематические** - обусловлены неточностью измерительных приборов. Для уменьшения влияния вводят поправки.

**Случайные** погрешности обусловлены несовершенством приборов, изменением условий измерений, личными ошибками, неточным наведением и другими. Случайные погрешности определяются по формуле

$$X_i = l_i - X,$$

где  $l_i$  - результат измерения

$X$  - истинное значение определяемой величины.

**Статистические свойства случайных погрешностей:**

1. Свойство ограниченности (при данных условиях измерений случайные погрешности не могут превышать предела  $|\Delta_i| < \Delta_{\text{пред}}$ . В качестве предельной погрешности с вероятностью  $p = 0.9973$  принимают утроенное значение стандарта  $\Delta_{\text{пред}} = 3m$ ;

2. Свойство плотности - малые по абсолютной величине погрешности появляются чаще больших.

3. Свойство компенсации - среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений  $\lim \Sigma \Delta_i = 0$ ;

4. Свойство симметрии - одинаковые по абсолютной величине положительные и отрицательные погрешности равновозможны.

6. Критерии оценки точности.

Все измерения, как бы тщательно они не были выполнены, сопровождаются погрешностями. В этом легко убедиться, измерив одну и ту же величину несколько раз и сравнив полученные результаты. В общем случае они будут отличаться друг от друга.

Все погрешности измерений можно подразделить на три группы:

1. **Грубые погрешности или промахи**, резко отклоняют результаты измерений от истинного значения. Всегда они возникают только по вине исполнителя. Наиболее действенными методами обнаружения грубых погрешностей является производство избыточных измерений. Вот почему в геодезии каждую величину измеряют, как правило, не менее двух раз.

2. **Систематические элементарные погрешности** порождаются существенными связями между факторами измерений и возникают всякий раз при одних и тех же условиях. Систематические погрешности подчинены какой-то в той или иной степени определенной закономерности.

Закономерности эти поддаются изучению. И при определенных условиях систематические погрешности могут быть исключены из отдельного результата измерений.

3. **Случайные элементарные погрешности** порождаются не существенными, а второстепенными случайными связями между факторами измерений, при данных условиях измерений они могут быть, а могут и не появиться, могут быть большими или меньшими, положительными или отрицательными. *Величина и знак этих погрешностей носит случайный характер.*

Суммарное влияние элементарных систематических погрешностей образует *систематическую погрешность*  $\theta$  результата измерения, а суммарное влияние элементарных случайных погрешностей — *случайную погрешность*  $\Delta$  результата измерений.

Таким образом, погрешность измерения  $\varepsilon$  можно представить как сумму двух составляющих:  $\varepsilon = \theta + \Delta$ .

## Урок 11. Линейные измерения

1. Приборы непосредственного измерения линий
2. Компарирование мерных лент и рулеток
3. Порядок измерения линий штриховой лентой
4. Вычисление горизонтальной проекции наклонной линии местности
5. Косвенные измерения длин линий
6. Параллактический способ измерения расстояний

Измерения линий на местности могут выполняться непосредственно, путем откладывания мерного прибора в створе измеряемой линии, с помощью специальных приборов дальномеров и косвенно. Косвенным методом измеряют вспомогательные параметры (углы, базисы), а длину вычисляют по формулам.

Для измерения длин линий посредством откладывания мерного прибора используют стальные мерные ленты, которые обычно изготавливают из ленточной углеродистой стали. В геодезической практике чаще всего применяются штриховые и шкаловые ленты.

Штриховые ленты (рис. 47, а) имеют длину 20 и 24 м, ширину 15 – 20 мм и толщину 0,3 – 0,4

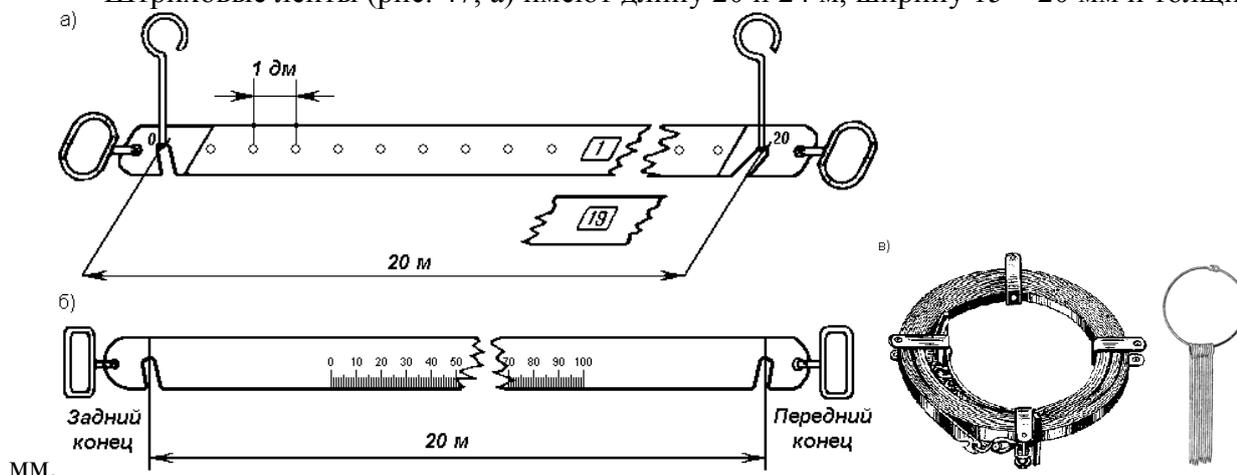


Рис. 47. Мерные ленты.

На ленте нанесены метровые деления, обозначенные прикрепленными бляшками, и дециметровые деления, обозначенные отверстиями. Метровые деления на обеих сторонах оцифрованы. Счет оцифровки делений ведется на одной стороне от одного конца ленты, а на другом – от другого конца. За длину ленты принимают расстояние между штрихами, нанесенными на крюках у концов ленты. К крюкам приделаны ручки. К ленте прилагается 6 или 11 шпилек на кольцо. Шпильки сделаны из стальной проволоки диаметром 5 – 6 мм и длиной 30 – 40 см в нерабочем положении ленту наматывают на кольцо (рис. 47, в).

Шкаловая лента (рис.47, б) выпускается длиной 20 – 24 м, шириной 6 – 10 мм и толщиной 0,15 – 0,20 мм. На обоих концах ленты, в пределах второго дециметра, имеются миллиметровые шкалы длиной по 100 мм каждая.

Для измерения небольших расстояний применяют стальные и тесьмяные рулетки длиной 5, 10, 20, 50 м. Деления на рулетках нанесены на одной стороне через 1см и редко через 1 мм. Свернутая рулетка помещается в металлический или пластмассовый корпус.

Мерные ленты и рулетки перед измерением ими линий должны быть проверены. Данная проверка называется компарированием и состоит в установлении действительной длины мерного прибора путем его сравнения с образцовым прибором, длина которого точно известна.

Для компарирования штриховых лент за образцовый мерный прибор принимают одну из лент, имеющих на производстве, длину которой выверяют в лаборатории Государственного надзора за стандартами и измерительной техникой Государственного комитета стандартов РФ и пользуются ею при сравнении с рабочими лентами. Компарирование шкаловых лент производят на специальных приборах, называемых стационарными компараторами.

Простейший способ компарирования штриховых лент состоит в следующем. На горизонтальной поверхности, например, на полу, укладывают образцовую ленту. Рядом с ней кладут проверяемую ленту так, чтобы их края касались друг друга, а нулевые штрихи совмещались. Жестко закрепив концы с нулевыми штрихами, ленты натягивают с одинаковой силой и измеряют миллиметровой линейкой величину несовпадения конечных штрихов на других концах лент. Данная величина показывает на сколько миллиметров рабочая лента короче или длиннее образцовой и называется поправкой за компарирование  $\Delta\ell$ .

Длина проверяемой 20-метровой ленты не должна отличаться от длины образцовой ленты более чем на  $\pm 2$  мм. В противном случае в результаты измерения линий вводят поправки. При этом, выполняя измерения линий рабочей лентой, полагают, что её длина равняется 20 м. Поправки определяют по формуле

$$\Delta d = \frac{D}{20} \cdot \Delta\ell$$

где  $D$  – длина измеренной линии.

Поправку вычитают из результатов измерения, когда рабочая лента короче образцовой, и прибавляют, когда она длиннее.

Прямую линию на местности обычно обозначают двумя вехами, установленными на её концах. Если длина линии превышает 100 м или на каких-то её участках не видны установленные вехи, то с целью удобства и повышения точности измерения её длины используют дополнительные вехи. Их устанавливают в воображаемой отвесной плоскости, проходящей через данную линию. Эту плоскость называют створом линии. Установка вех в створ данной линии называется вешением (рис. 48).

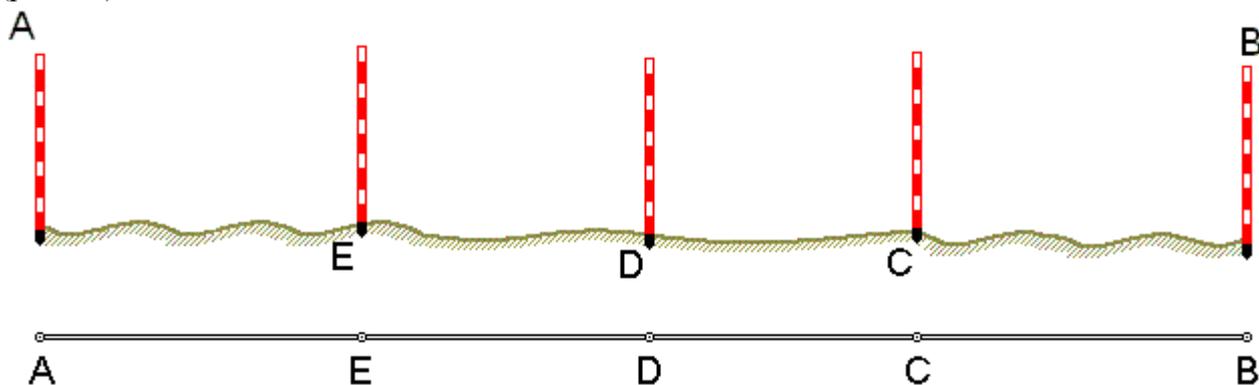


Рис. 48. Вешение линии

Вешение линий может производиться на глаз, с помощью полевого бинокля или зрительной трубы прибора. Вешения обычно ведут «на себя». Наблюдатель становится на провешиваемой линии у вехи А (рис. 48), а рабочий по его указанию ставит веху в точку С так, чтобы она закрывала собой веху В. Таким же образом последовательно устанавливают вехи в точках D и E. Установка вех в обратном направлении (от себя), является менее точной, так как ранее выставленные вехи закрывают видимость на последующие. Более точно вехи в створ выставляют по теодолиту, установленному в точке А и сориентированному на веху В.

Измерение линий на местности штриховыми лентами производят двое рабочих. По направлению измерения один из них считается задним, второй – передним. Ленту аккуратно разматывают с кольца. Её оцифровка должна возрастать по ходу измерения.

Для закрепления мерной ленты в створе линии используется 6 шпилек. Перед началом измерения 5 шпилек берет передний мерщик и одну – задний. Задний мерщик совмещает с началом линии нулевой штрих ленты. Используя прорезь в ленте, закрепляет шпилькой её конец рядом с колышком, обозначающим начальную точку линии (рис. 49, а).

Передний мерщик, имея в руке 5 шпилек, по указанию заднего мерщика, встряхнув ленту, натягивает её в створе линии и фиксирует первой шпилькой передний конец ленты. Затем задний мерщик вынимает свою шпильку из земли, вешает её на кольцо, и оба мерщика переносят ленту вперед вдоль линии. Дойдя до воткнутой в землю передним мерщиком шпильки, задний мерщик

закрепляет на ней свой конец ленты, а передний, натянув ленту, закрепляет её передний конец следующей шпилькой (рис. 49, б). В таком порядке мерщики укладывают ленту в створе линии 5 раз.

После того как передний мерщик зафиксирует пятой шпилькой свой конец ленты, задний мерщик передает ему кольцо с пятью шпильками, которые он собрал в процессе измерения (рис. 49, в). Число таких передач (т.е. отрезков по 100 м при длине ленты в 20 м) записывают в журнале измерений. Последний измеряемый остаток линии обычно меньше полной длины ленты. При определении его длины метры и дециметры отсчитывают по ленте, а сантиметры оценивают на глаз (рис. 49, е).



Рис. 49. Измерение линии мерной лентой

Измеренная длина линии  $D$  вычисляется по формуле :

$$D = 100 \cdot a + 20 \cdot b + c,$$

где  $a$  – число передач шпилек;

$b$  – число шпилек у заднего мерщика на кольце;

$c$  – остаток.

Для контроля линию измеряют вторично 24-метровой или той же 20-метровой в обратном направлении. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из двух измерений, если их расхождение не превышает:

– 1/3000 части от длины линии при благоприятных условиях измерений;

– 1/2000 – средних условиях измерений;

– 1/1000 – неблагоприятных условиях измерений.

При создании планов местности вычисляют горизонтальную проекцию каждой линии, т.е. её горизонтальное проложение  $S$ .

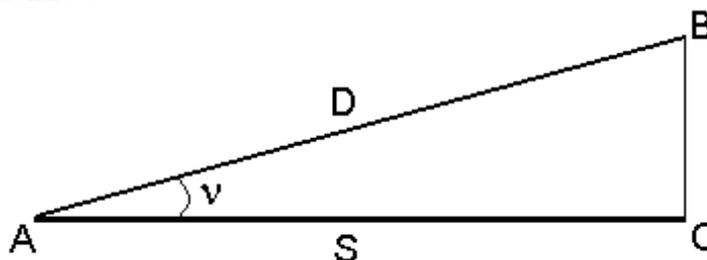


Рис. 50. Горизонтальная проекция линии

Если линия  $AB$  (рис. 50) наклонена к горизонту под углом  $v$ , то определить горизонтальное проложение можно, воспользовавшись формулой

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

где  $D$  – длина измеренной наклонной линии  $AB$ ;  $v$  – угол наклона.

Иногда для определения горизонтального проложения используют поправку за наклон

$$\Delta v = D - S = D - D \cos v = D(1 - \cos v) = 2 D \sin^2 \frac{v}{2},$$

тогда

$$S = D - \Delta v.$$

Поправку за наклон вводят при углах наклона более  $1^\circ$ . Углы наклона измеряют теодолитом.

При измерении расстояний лентой или рулеткой встречаются случаи, когда местное препятствие (река, овраг, здание, дорога и т.п.) делает непосредственное измерение невозможным. Тогда применяют косвенные методы определения расстояний.

Различают три случая определения недоступных расстояний.

1. При взаимной видимости точек разбивают базис  $b$  и измеряют горизонтальные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рис. 51).

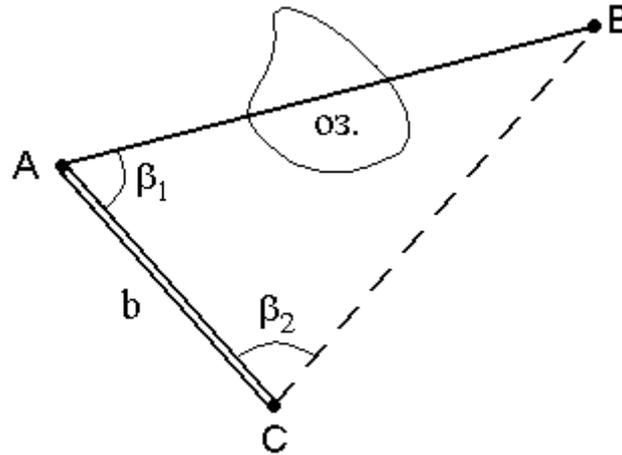


Рис. 51. Косвенное измерение расстояния через озеро

Для определения расстояния  $AB$  используют теорему синусов

$$AB = \frac{b \cdot \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}$$

2. При взаимной невидимости точек (рис. 52) выбирают точку  $C$  из которой видны точки  $A$  и  $B$ , измеряют расстояния  $S_1, S_2$  и угол  $\beta$ .

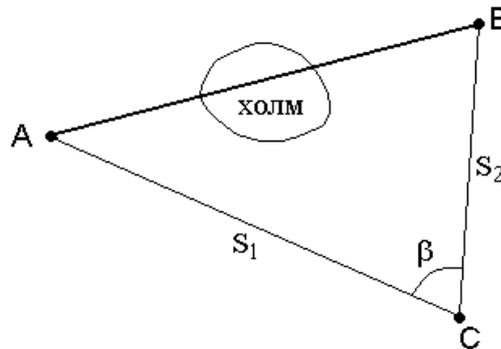


Рис. 52. Косвенное измерение расстояния через холм

Используя теорему косинусов, находят расстояние  $AB$

$$AB^2 = S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 \cdot S_2 \cos \beta$$

3. Если обе точки измеряемого расстояния недоступны, то разбивают базис  $b$  и из точек  $C$  и  $D$  измеряют углы  $\beta; \gamma; \delta; \tau$ .

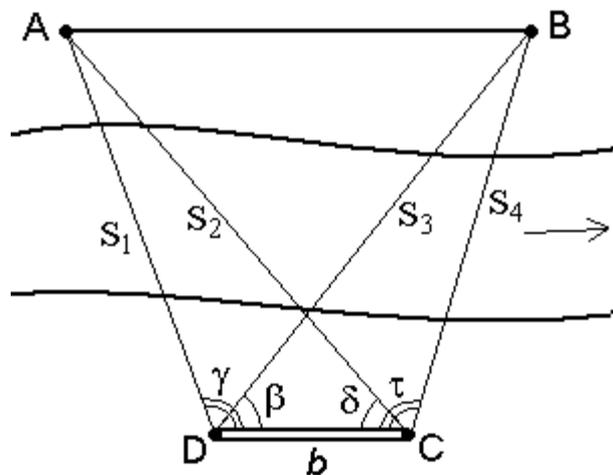


Рис. 53. Косвенное измерение расстояний если недоступны обе точки  
По теореме синусов дважды для контроля находят с контролем расстояние АВ.

$S_1 = \frac{b \cdot \sin \delta}{\sin(\gamma + \delta)}$	$S_2 = \frac{b \cdot \sin \gamma}{\sin(\gamma + \delta)}$
$S_3 = \frac{b \cdot \sin \tau}{\sin(\beta + \tau)}$	$S_4 = \frac{b \cdot \sin \beta}{\sin(\beta + \tau)}$

$$AB^2 = S_1^2 + S_3^2 - 2S_1S_3 \cos(\gamma - \beta) = S_2^2 + S_4^2 - 2S_2S_4 \cos(\tau - \delta).$$

Этот способ основан на решение треугольника ABC, в котором для определения расстояния SC высокой точностью измеряют перпендикулярную измеряемой линии малую сторону  $l$ , называемую базисом, и противолежащий ей острый параллактический ей острый параллактический угол  $\beta$  (рис.

$$S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$$

54). Расстояние  $S$  вычисляют по формуле

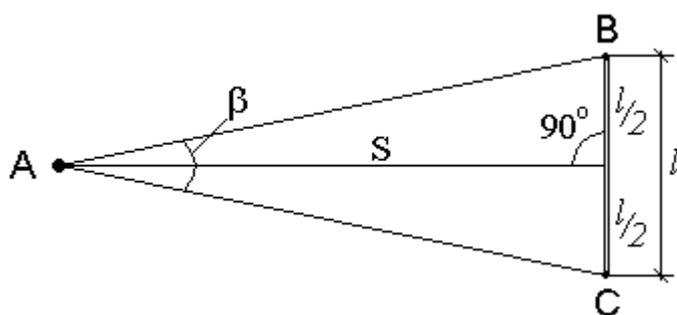


Рис. 54. Параллактический способ измерения расстояний.

Измеряя расстояние этим способом, сразу получают горизонтальное проложение, поэтому введение поправок за наклон линии не требуется.

## Урок 12. Угловые измерения

1. Принципы измерения углов на местности
2. Классификация теодолитов
3. Устройство теодолитов
4. Поверки теодолитов
5. Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности

На местности измерения углов производятся при помощи инструментов, называемых теодолитами. Мерой измерения углов служит градус, представляющий  $1/90$  прямого угла или  $1/360$  окружности. Градус содержит 60 угловых минут, минута делится на 60 угловых секунд. В некоторых странах применяют градусную систему, в которой градус составляет  $1/400$  окружности, градусная минута  $1/100$  град, а градусная секунда –  $1/100$  градусных минут.

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерения служит гон, равный 1 градус или 54 угловых минут; тысячная его доля, равная 3,24 угловых секунд, называется миллигон.

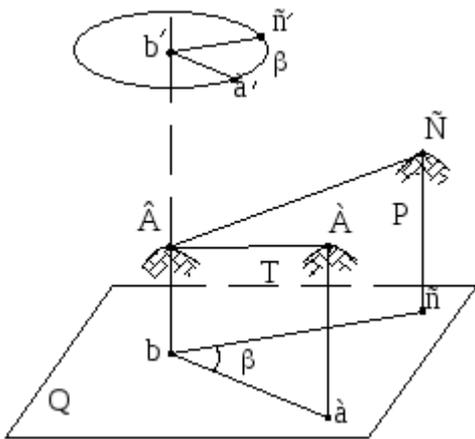


Рис. 4.1. Принцип измерения горизонтального угла

Если на местности закрепим три точки, образующих угол ABC (рис. 4.1), и в точке В установить теодолит, то угол  $\beta$  будет соответствовать линейному углу abc двугранного угла, образованному двумя плоскостями Р и Т, таким образом, горизонтальным углом является ортогональная проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость.

Для измерения угла  $\beta$  достаточно установить теодолит таким образом, чтобы центр горизонтального круга совпал с ребром двугранного угла, а его плоскость была горизонтальной, при этом угол  $\beta$  будет равен углу  $\gamma$ , т.е.  $\beta = \alpha - \gamma$

Отсчет получается в точке пересечения шкалы угломерного круга плоскостью Т, отсчет – в точке пересечения шкалы плоскостью Р.

Вертикальный угол или углом наклона является угол, лежащий в вертикальной плоскости и заключенный между горизонтальной плоскостью и наклонной линией, совпадающей с направлением на определяемую точку местности.

Теодолит – геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний и углов ориентирования. Теодолиты классифицируются по различным признакам: точности, конструктивным особенностям и назначению. По точности теодолиты подразделяются на три категории: высокоточные, со средней квадратической ошибкой измерения угла одним приемом до  $1''$ , точные –  $2-5''$  и технические –  $15-60''$ .

Высокоточный теодолит Т1 характеризуется средней квадратической погрешностью измерения горизонтального угла одним приемом, равной  $1''$ . Он применяется для угловых измерений в плановых опорных сетях 1 и 2 классов, а также для производства прецизионных геодезических работ при строительстве и эксплуатации ответственных инженерных сооружений.

Точные теодолиты Т2 и Т5 со средними квадратическими погрешностями измерения углов соответственно  $2''$  и  $5''$ . Они теодолиты применяются при создании плановых опорных сетей 3 и 4 классов, а также сетей сгущения 1 разряда и при геодезических разбивочных работах соответствующей точности.

Технические теодолиты Т15, Т30; из них первые два используются при развитии съемочных сетей и топографических съемках и выполнения разбивочных работ, не требующих высокой точности.

Устройство теодолитов реализует принцип измерения горизонтального и вертикального углов. Инструмент состоит из подставки с тремя подъемными винтами (1). На подставке располагаются

закрепительный (2) и микрометрический (14) винты лимба (рис. 4.2). Лимб разбит на  $360^\circ$  с ценой деления  $1^\circ$ . Внутри лимба находится алидада, которая соосна с лимбом, и имеющая отсчетное устройство. На алидаде расположены колонки оси вращения зрительной трубы. На защитном корпусе имеется цилиндрический уровень (12) горизонтального круга с юстировочными винтами (11). Цилиндрический уровень служит для приведения инструмента в рабочее положение. На корпусе также расположены закрепительный (13) и микрометрический (3) винты алидады. Зрительная труба (9) представляет собой оптическую систему, состоящую из объектива, окуляра (5) и сетки нитей. На корпусе имеются закрепительный (8) и микрометрический (4) винты зрительной трубы или вертикального круга. Обойма сетки нитей защищена от внешних воздействий предохранительным колпачком (6).

Система осей обеспечивает вращение алидадной части и лимба вокруг вертикальной оси. В качестве отсчетных устройств теодолитов могут применяться шкаловой и штриховой микрометры (рис. 4.3).

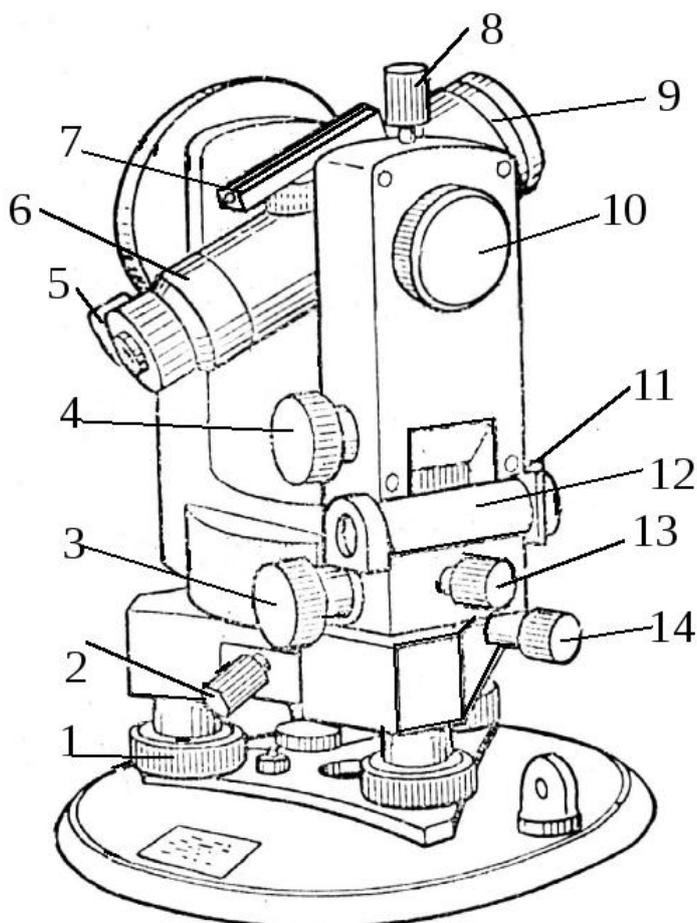


Рис. 4.2. Общий вид теодолита Т30: 1 – подъемный винт; 2 – закрепительный винт лимба; 3 – наводящий винт алидады; 4 – наводящий винт трубы; 5 – окуляр отсчетного микрометра; 6 – колпачок; 7 – оптический визир; 8 – закрепительный винт трубы; 9 – зрительная труба; 10 – кремальера; 11 – юстировочный винт уровня при алидаде; 12 – уровень при алидаде; 13 – закрепительный винт алидады; 14 – наводящий винт лимба

Д

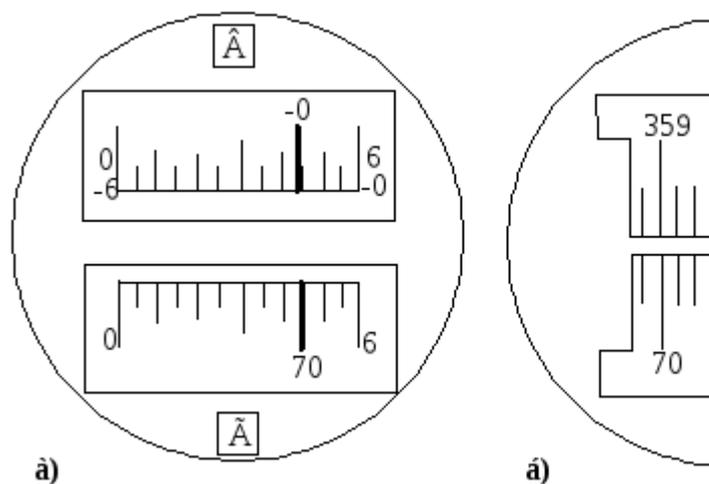


Рис. 4.3. Отсчетные устройства теодолитов: а) шкаловой микроскоп: отсчет по горизонтальному кругу  $70^{\circ}45'$ , по вертикальному –  $(-0^{\circ}16')$ ; б) штриховой микроскоп: отсчет по горизонтальному кругу  $70^{\circ}45'$ , по вертикальному –  $359^{\circ}46'$

Для измерения углов наклона на теодолите имеется вертикальный круг, лимб которого жестко соединен с осью вращения зрительной трубы.

В комплект инструмента входят окулярные насадки, которые надевают на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа. Окулярная насадка представляет собой призму, изменяющую направление визирования на  $90^{\circ}$ .

Мнимая ось, проходящая от глаза наблюдателя через крест сетки нитей и совпадающая с оптической осью зрительной трубы, называется визирной осью или визирным лучом.

На боковой крышке теодолита имеется планка-паз для установки ориентир-буссоли, которой служит для определения магнитных азимутов линии местности.

Для установки теодолитов используют штативы, верхняя часть которых представляет собой площадку и называется головкой штатива. Теодолит крепится к головке с помощью станкового винта. Ножки штатива снабжены заостренными наконечниками с упорами. Упоры служат для задавливания ножек в грунт для придания инструменту устойчивого положения.

Для визирования на ориентируемую точку при измерении используют вехи или специальные марки.

Перед началом работы теодолит подвергают внешнему осмотру. Необходимо убедиться в отсутствии внешних повреждений, целостности оптической системы, ее качества. Проверяют плавность хода подъемных и наводящих винтов, надежность фиксации вращающихся частей теодолита закрепительными винтами.

Поскольку теодолит имеет оси, находящиеся друг относительно друга в определенной геометрической зависимости. Основными осями теодолита являются (рис. 4.4):  $PP_1$  - ось вращения инструмента;  $HH_1$  - ось вращения зрительной трубы;  $UU_1$  - ось цилиндрического уровня горизонтального круга;  $VV_1$  - визирная ось.

**Первая проверка.** Ось цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита. Проверку выполняют в следующем порядке. Цилиндрический уровень горизонтального круга располагают по направлению двух подъемных винтов теодолита. Вращая винты, одновременно выводят пузырек уровня в нуль-пункт ампулы. Затем поворачивают инструмент на  $90^{\circ}$ , т.е. по направлению третьего подъемного винта, с помощью которого вновь выводят пузырек в нуль-пункт. Затем поворачивают горизонтальный круг еще раз на  $90^{\circ}$ , т.е. на  $180^{\circ}$  относительно первоначального направления. Если пузырек уровня при этом остался на середине ампулы или отклонился от нее не более чем на одно деление, то условие проверки считается выполненным. Если же пузырек уровня отклонится от нуль-пункта более чем на одно деление, то исправительными (юстировочными) винтами уровня перемещают его в сторону нуль-пункта на половину дуги смещения; а оставшееся отклонение устраняют подъемными винтами, по направлению которых расположен уровень. После чего проверку необходимо повторить, чтобы убедиться в исправности уровня..

**Вторая проверка.** Визирная ось  $VV_1$  зрительной трубы должна быть перпендикулярна ее оси вращения  $HH_1$ . Для выполнения данной проверки наводят зрительную трубу на отдаленную визирную цель, расположенную примерно на уровне горизонта инструмента, и берут отсчет ( $KП$ ) по горизонтальному кругу. Затем, переведя трубу через зенит и открепляя алидаду, вновь наводят ее на ту же визирную цель и снова берут отсчет ( $КЛ$ ) по шкале горизонтального круга. Разность отсчетов составляет двойную коллимационную ошибку, тогда

$$c = \frac{KП - КЛ \pm 180^{\circ}}{2}, \quad (4.1)$$



где  $KП$  - отсчет по горизонтальному кругу при круге право;

$КЛ$  - отсчет по горизонтальному кругу при круге лево.

Величина коллимационной ошибки не должна превышать  $2t$ , где  $t$  – точность отсчитывания. Если это условие не выполняется, то вычисляют правильный отсчет

$$R = \frac{КП + КЛ \pm 180^0}{2} . \quad (4.2)$$

Этот отсчет с помощью микрометричного винта алидады устанавливают на шкале горизонтального круга, снимают предохранительный колпачок, ослабляют вертикальные винты сетки и боковыми исправительными винтами совмещают крест сетки нитей с изображением визирной цели. Закрепив исправительные винты, поверку повторяют.

Третья поверка. Ось вращения зрительной трубы  $НН_1$  должна быть перпендикулярна к вертикальной оси  $PP_1$  инструмента. Устанавливают теодолит в 20-30 м от стены здания и, приведя ось вращения инструмента в отвесное положение, наводят крест сетки нитей на высоко расположенную точку. Плавно опускают зрительную трубу примерно до горизонтального положения и отмечают проекцию точки на стене. Переводят зрительную трубу через зенит, открепляют закрепительный винт алидады и вновь наводят ее на ту же точку. Снова проецируют эту точку на тот же уровень и отмечают проекцию. Если обе проекции точки совпали, то условие выполнено. Допустимое расхождение при угле наклона  $30^\circ$  и расстоянии до стены 20-30 м составляет 30 мм. Условие этой поверки гарантируется заводом-изготовителем. Поэтому исправление недопустимой ошибки возможно либо в условиях мастерских, либо отправляют инструмент на завод-изготовитель.

Четвертая поверка. Вертикальная нить сетки зрительной трубы должна быть параллельна оси вращения  $PP_1$  теодолита. Приведя вертикальную ось инструмента в отвесное положение, совмещают вертикальную нить с нитью укрепленного в 8-10 м от прибора отвеса. Если при подъеме и опускании трубы вертикальная нить сетки не сходит с нити отвеса, следовательно условие выполнено. Для исправления положения сетки нитей снимают предохранительный колпачок и, ослабив винты, прикрепляющие окуляр к корпусу трубы, поворачивают диафрагму до совпадения вертикальной нити с нитью отвеса. Вслед за этим поверку необходимо повторить.

**Определение места нуля (МО).** МО – это отсчет по лимбу вертикального круга, соответствующий горизонтальному положению визирной оси зрительной трубы и отвесному положению вертикальной оси теодолита.

Приведя с помощью уровня и подъемных винтов ось вращения теодолита в отвесное положение, наблюдают любую неподвижную и хорошо видимую точку при  $КЛ$  и  $КП$ , снимают отсчеты по вертикальному кругу и вычисляют значения места нуля:

– для 2Т30:  $МО = 0,5(КЛ + КП)$ ;

– для Т30:  $МО = 0,5(КЛ + КП \pm 180)$ .

Для приведения места нуля к  $0^\circ$  удобнее всего при  $КЛ$  навести трубу на любую точку. Взять отсчет по вертикальному кругу  $КЛ$ , и, вращением наводящего винта трубы, установить на вертикальном круге отсчет, равный  $КЛ - МО$ . При этом центр сетки сместится по вертикали с наблюдаемой точки. Его необходимо вернуть на точку, действуя вертикальными исправительными винтами сетки, предварительно слегка ослабив боковые исправительные винты. Проверку следует повторить. После выполнения условия поверки все исправительные винты сетки должны быть затянуты и предохранительный колпачок, закрывающий доступ к юстировочным винтам сетки, должен быть навинчен на трубу.

Ось  $К, К'$  оптического центрира должна совпадать с вертикальной осью теодолита. Установив на штативе теодолит и приведя его вертикальную ось в отвесное положение, отмечают на листе бумаги, положенном под штатив, проекцию центра кружка оптического центрира. Если при вращении алидады отмеченная точка остается в центре кружка или отходит от него не более, чем на половину его радиуса, то условие выполнено. В противном случае слегка вывинчивают винты, закрепляющие окулярное колено центрира и перемещают его до совмещения с центром кружка сетки.

В унифицированных теодолитах серии 2Т оптические центриры юстируют только в мастерской.

Теодолит устанавливают над точкой, центрируют с помощью механического отвеса или оптического центрира, подъемными винтами приводят его в рабочее положение. Сетку нитей зрительной трубы настраивают в соответствии со зрением наблюдателя

Измерение угла выполняют по методике, согласно выбранному способу измерения. Существует несколько способов измерения горизонтальных углов: способ приемов, способ круговых приемов, способ повторений и др.

Способ приемов состоит из двух полуприемов и заключается в следующем:

Зрительную трубу наводят на точку, фиксирующую направление одной из сторон угла (рис. 4.5), и закрепляют лимб вместе с алидадой, берут отсчет  $a_1$ . Затем открепляют алидаду и наводят зрительную трубу на вторую точку, закрепляют алидаду и снимают отсчет  $b_1$ . После этого поворачивают алидаду относительно лимба примерно на  $90^\circ$ , переводят трубу через зенит и наводят ее на первую точку, берут отсчет  $a_2$ . Снова открепляют алидаду и наводят зрительную трубу на вторую точку, берут отсчет  $b_2$ . Результаты измерений заносят в полевой журнал.

Вычисляют значения углов в полуприемах

$$\begin{aligned} \beta_1 &= a_1 - b_1; \\ \beta_2 &= a_2 - b_2. \end{aligned} \quad (4.3)$$

При выполнении условия  $|\beta_1 - \beta_2| \leq 2t$ , вычисляют среднее значение угла из двух полуприемов

Рис. 4.6. Способ круговых приемов

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}. \quad (4.4)$$

Рис. 4.5. Способ отдельного угла

Способ круговых приемов. Этот способ применяют, когда число направлений на станции больше двух.

Способ позволяет выразить результаты измерений на пункты в виде измеренных направлений.

При этом способе (рис. 4.6) в качестве начального выбирается одна из точек (1), на которую наводят зрительную трубу теодолита, и берут начальный отсчет, близкий к  $0^\circ$  (например,  $0^\circ 06'$ ).

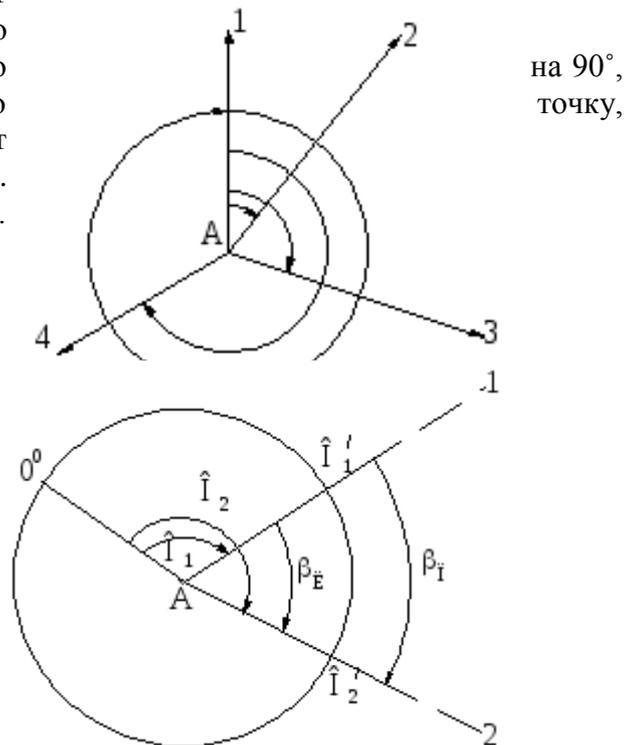
Открепляют алидаду и наводят зрительную трубу последовательно по ходу часовой стрелки на точки (2, 3, 4) со взятием отсчетов, после замыкают горизонт, т.е. вторично наводят на начальную точку.

Затем зрительную трубу переводят через зенит и снова наводят на начальную точку (1) и все действия повторяют в обратном порядке, но уже против хода часовой стрелки. В том случае, если

используют несколько приемов, то лимб между приемами переставляют на величину  $\frac{180^\circ}{n}$ , где  $n$  - число приемов.

Измерение угла при одном положении вертикального круга (*КЛ* или *КП*) составляет один полуприем. Полный цикл измерения угла при двух положениях круга составляет один прием.

При измерении углов наклона необходимо различать положительные и отрицательные их значения, так как отсчеты берутся относительно горизонта инструмента согласно направлению визирной оси «вверх» или «вниз». При вычислении углов наклона необходимо учитывать место нуля. Местом нуля (*МО*) называется отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси. *МО* определяется следующим образом: зрительную трубу приведенного в рабочее положение теодолита наводят на удаленную, хорошо видимую точку, расположенную выше горизонта



инструмента, и берут отсчет  $KЛ$ , затем трубу переводят через зенит, снова наводят на эту же точку и берут отсчет  $KП$ .  $МО$  определяют согласно формуле

$$МО = \frac{KЛ + KП}{2}. \quad (4.5)$$

$МО$  может иметь любые значения. Однако желательно, чтобы оно было близким или равным нулю. Исправляют  $МО$  следующим образом: определяют угол наклона согласно

$$\nu = \frac{KЛ - KП}{2}. \quad (4.6)$$

Это значение устанавливают на шкале вертикального круга с помощью микрометрического винта зрительной трубы. Изображение выбранной точки сойдет с горизонтальной нити сетки, тогда, ослабив горизонтальные исправительные винты сетки нитей, вертикальными винтами, один выкручивая, а другой закручивая, совмещают горизонтальную нить с точкой наведения.

Углы наклона можно вычислить через  $МО$ :

$$\nu = KЛ - МО;$$

$$\nu = МО - KП. \quad (4.7)$$

### Урок 13. Теодолитная съемка

1. Сущность теодолитной съемки
2. Теодолитные ходы

**Теодолитной** называется горизонтальная (контурная) съемка местности, в результате которой может быть получен план с изображением ситуации местности (контуров и местных предметов) без рельефа. Теодолитная съемка относится к числу крупномасштабных (масштаба 1:5000 и крупнее) и применяется в равнинной местности в условиях сложной ситуации и на застроенных территориях: в населенных пунктах, на строительных площадках, промплощадках предприятий, на территориях железнодорожных узлов, аэропортов и т. п. В качестве планового съемочного обоснования при теодолитной съемке обычно используются точки теодолитных ходов.

**Теодолитные ходы** представляют собой системы ломаных линий, в которых горизонтальные углы измеряются техническими теодолитами, а длины сторон — стальными мерными лентами и рулетками либо оптическими дальномерами. По точности теодолитные ходы подразделяются на ходы точности 1:3000, 1:2000 и 1:1000. Обычно теодолитные ходы не только нужны для выполнения съемки ситуации местности, но и служат геодезической основой для других видов инженерно-геодезических работ. Теодолитные ходы развиваются от пунктов плановых государственных геодезических сетей и сетей сгущения.

По форме различают следующие виды теодолитных ходов:

- 1) **разомкнутый ход**, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования (рис. 75, а);
- 2) **замкнутый ход** (полигон) — сомкнутый многоугольник, обычно примыкающий к пункту геодезического обоснования (рис. 75, б);
- 3) **висячий ход**, один из концов которого примыкает к пункту геодезического обоснования, а второй конец остается свободным (рис. 75, в).

Форма теодолитных ходов зависит от характера снимаемой территории. Так, для съемки полосы местности при трассировании осей линейных объектов (дорог, трубопроводов, ЛЭП и т. п.) прокладывают разомкнутые ходы. При съемках населенных пунктов, строительных площадок обычно по границе участка прокладывают замкнутый ход (полигон). При необходимости внутри полигона прокладывают диагональные ходы, которые могут образовывать узловы точки

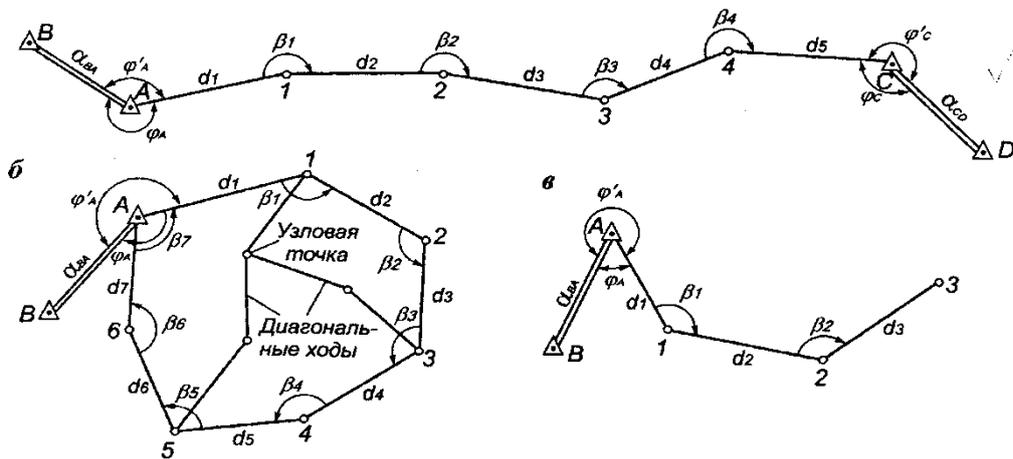


Рис. 75. Теодолитные ходы:

а — разомкнутый ход; б — замкнутый ход (полигон); в — висячий ход

(см. рис. 75, б). Проложение висячих теодолитных ходов допускается лишь в отдельных случаях при съемке неответственных объектов; при этом длина висячего хода не должна превышать 300 м при съемках масштаба 1:2000 и 200 м — масштаба 1:1000.

Теодолитная съемка складывается из подготовительных, полевых и камеральных работ. Наибольший объем приходится на полевые работы, которые включают в себя рекогносцировку снимаемого участка, прокладку теодолитных ходов и полигонов, их привязку к пунктам геодезической опорной сети и съемку ситуации.

В период камеральной подготовки выясняют необходимость съемки и выбирают ее масштаб, исходя из требуемой точности изображения ситуации местности. Затем подбирают и изучают имеющиеся в наличии картографические материалы (планы, карты и профили), а также географическое описание района будущей съемки. Если в районе съемки имеются пункты геодезической опорной сети, то составляют схему их расположения, а из каталогов выписывают координаты. На основе имеющихся планов и карт наиболее крупных масштабов намечают теодолитные ходы. Длины теодолитных ходов, прокладываемых между опорными геодезическими пунктами, выбираются исходя из масштаба съемки, принятой точности ходов и топографических условий местности и не должны превышать установленных величин (табл. 4).

Согласно намеченной схеме теодолитных ходов составляется предварительный проект полевых работ. Проект должен содержать календарный план и смету на работы, расчет необходимого количества исполнителей и транспорта, перечень необходимых приборов, оборудования и материалов. Для выполнения теодолитной съемки необходимо иметь теодолит, стальную ленту с комплектом шпилек либо оптический дальномер, рулетку, эклиметр и экер.

Таблица 4

**Допустимая длина теодолитного хода, км**

Масштаб съемки	Открытая местность, застроенная территория			Закрытая местность	
	Для теодолитных ходов точности				
	1:3000	1:2000	1:1000	1:2000	1:1000
1:5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	—	—

## Урок 14. Методы съемки подробностей

Съемка ситуации – геодезические измерения на местности для последующего нанесения на план ситуации (контуров и предметов местности).

Выбор способа съемки зависит от характера и вида снимаемого объекта, рельефа местности и масштаба, в котором должен быть составлен план.

Съемку ситуации производят следующими способами: перпендикуляров; полярным; угловых засечек; линейных засечек; створов (рис. 60).

Способы съемки ситуации:

- 1) Способ перпендикуляров;
- 2) полярный способ;
- 3) способ угловых засечек;
- 4) способ линейных засечек;
- 5) способ створов.

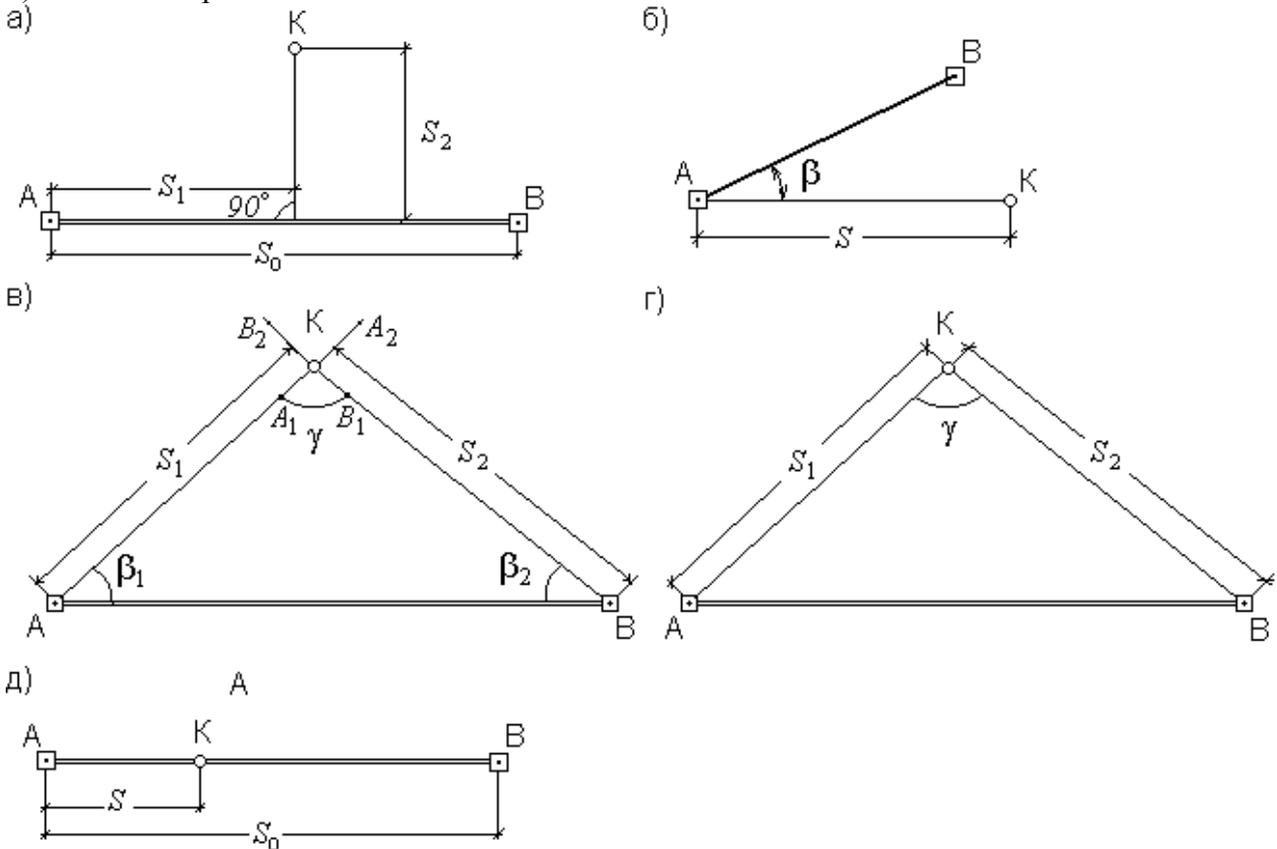


Рис. 60. Способы съемки ситуации:

а – перпендикуляров, б – полярный, в – угловых засечек, г – линейных засечек, д – створов.

**Способ перпендикуляров** (способ прямоугольных координат) – применяется обычно при съемке вытянутых в длину контуров, расположенных вдоль и вблизи линий теодолитного хода, проложенных по границе снимаемого участка. Из характерной точки К (рис. 60, а) опускают на линию хода А – В перпендикуляр, длину которого  $S_2$  измеряют рулеткой. Расстояние  $S_1$  от начала линии хода до основания перпендикуляра отсчитывают по ленте.

**Полярный способ** (способ полярных координат) – состоит в том, что одну из станций теодолитного хода (рис. 60, б) принимают за полюс, например, станцию А, а положение точки К определяют расстоянием  $S$  от полюса до данной точки и полярным углом  $\beta$  между направлением на точку и линией А – В. Полярный угол измеряют теодолитом, а расстояние дальномером. Для упрощения получения углов, теодолит ориентируют по стороне хода.



С развитием технологий процедура обработки результатов измерений значительно упростилась. Большой популярностью сегодня пользуются как специализированные геодезические программы ([ГЕОМИКС](#)), так и общедоступные, вроде Excel.

Порядок внесения данных в ведомость

Изучим более подробно данный документ и порядок его заполнения. Чтобы лучше разобраться в этом вопросе рассмотрим его на примере теодолитного хода, изображённого на рис. 2.



Рисунок 2. Схема разомкнутого теодолитного хода

После первичной камеральной обработки координаты точек, ориентирные и измеренные горизонтальные углы, а также расстояния между ними будут занесены в ведомость. На рис. 3. наглядно изображено, как она будет выглядеть в заполненном виде.

Стоит отметить, что в зависимости от технического задания и вида геодезических работ, ее оформление может отличаться, а некоторые величины отсутствовать или же наоборот.

Ведомость координат теодолитного хода

№ Точек	Углы измеренные	Углы исправленные	Азимуты или дирекционные углы	Румбы	Горизонт. проложения	Вычисленные				Исправленные				Координаты	
						±	Δx	±	Δy	±	Δx	±	Δy	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	—	—	$\alpha_{12}$	$r_{12}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_1$	$Y_1$
2	$\beta_2$	$\beta_2$	$\alpha_{23}$	$r_{23}$	$D_{23}$	±	$\Delta X_{23}$	±	$\Delta Y_{23}$	±	$\Delta X_{23}$	±	$\Delta Y_{23}$	$X_2$	$Y_2$
3	$\beta_3$	$\beta_3$	$\alpha_{34}$	$r_{34}$	$D_{34}$	±	$\Delta X_{34}$	±	$\Delta Y_{34}$	±	$\Delta X_{34}$	±	$\Delta Y_{34}$	$X_3$	$Y_3$
4	$\beta_4$	$\beta_4$	$\alpha_{45}$	$r_{45}$	$D_{45}$	±	$\Delta X_{45}$	±	$\Delta Y_{45}$	±	$\Delta X_{45}$	±	$\Delta Y_{45}$	$X_4$	$Y_4$
5	$\beta_5$	$\beta_5$	$\alpha_{56}$	$r_{56}$	$D_{56}$	±	$\Delta X_{56}$	±	$\Delta Y_{56}$	±	$\Delta X_{56}$	±	$\Delta Y_{56}$	$X_5$	$Y_5$
6	$\beta_6$	$\beta_6$	$\alpha_{67}$	$r_{67}$	$D_{67}$	±	$\Delta X_{67}$	±	$\Delta Y_{67}$	±	$\Delta X_{67}$	±	$\Delta Y_{67}$	$X_6$	$Y_6$
7	$\beta_7$	$\beta_7$	$\alpha_{78}$	$r_{78}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_7$	$Y_7$
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_8$	$Y_8$
						±	$\sum \Delta X_{выч}$	±	$\sum \Delta Y_{выч}$	±	$\sum \Delta X_{испр}$	±	$\sum \Delta Y_{испр}$		
						±	$\sum \Delta X_{теор}$	±	$\sum \Delta Y_{теор}$						
						$f_{\Delta x}$									
						$f_{\Delta y}$									
						$f_{\Delta s} = 1/(\sum D / f_{\Delta s})$									
						$f_{доп} = 1/2000$									
						$f_{доп} = 1/1000$									
						$f_{\beta} = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор}$									
						$доп f_{\beta} = 1 - \sqrt{n}$									
						$\Delta \beta = f_{\beta} / n$									

Рисунок 3. Заполненная таблица ведомости вычисления координат теодолитного хода

Разберем каждую графу в данном документе по порядку его заполнения:

1. Первая графа предназначена для снимаемых пунктов, которые нужно внести в бланк по порядку их возрастания.

2. Координаты исходных точек должны быть записаны в раздел координат, под номерами 15 и 16. Он находится в самом конце таблицы.
3. Начальные и конечные дирекционные углы (4) и румбы (5) вносят в одноименные столбцы.
4. Второй раздел ведомости отведен под измеренные углы точек теодолитного хода.
5. Далее следует горизонтальное проложение, которое определяется при помощи формул:

$$D=d \cdot \cos \nu \quad D_2=d_2 \cdot \cos \nu_2$$

$$D_2=d_2 \cdot \cos \nu_2$$

**Ведомость координат теодолитного хода**

№ Точек	Углы измеренные	Углы исправленные	Азимуты или дирекционные углы	Румбы	Горизонт. проложения	Вычисленные				Исправленные				Координаты	
						+	-	+	-	+	-	+	-	x	y
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	16
2	$\beta_2$	$\beta_2$	$\alpha_{12}$	$r_{12}$	$D_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$X_2$	$Y_2$
3	$\beta_3$	$\beta_3$	$\alpha_{23}$	$r_{23}$	$D_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$X_3$	$Y_3$
4	$\beta_4$	$\beta_4$	$\alpha_{34}$	$r_{34}$	$D_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$X_4$	$Y_4$
5	$\beta_5$	$\beta_5$	$\alpha_{45}$	$r_{45}$	$D_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$X_5$	$Y_5$
6	$\beta_6$	$\beta_6$	$\alpha_{56}$	$r_{56}$	$D_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$X_6$	$Y_6$
7	$\beta_7$	$\beta_7$	$\alpha_{67}$	$r_{67}$	$D_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$X_7$	$Y_7$
8	—	—	$\alpha_{78}$	$r_{78}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_8$	$Y_8$
						$\pm \sum \Delta X_{\text{выч}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{выч}}$	$\pm \sum \Delta X_{\text{испр}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{испр}}$						
						$\pm \sum \Delta X_{\text{теор}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{теор}}$								
$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$						$f_{\text{роб}} = 1 / (\sum D / f_{\text{доп}})$									
$\text{доп} f_{\beta} = 1' \cdot \sqrt{n}$						$f_{\text{доп}} = 1/2000$									
$\Delta \beta = -f_{\beta} / n$						$f_{\text{доп}} = 1/1000$									

Рисунок 4. Начальные данные в ведомости

Потом идет определение невязок и ориентирных углов в такой последовательности:

6. Определить сумму измеренных углов  $\sum \beta_{\text{изм}}$
7. Вычислить и занести в таблицу  $\sum \beta_{\text{теор}}$ , применив следующее выражение:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = (\alpha_n - \alpha_k) - 180 \cdot n$$

$\alpha_n, \alpha_k$  — конечный и начальный дирекционный угол;  
 $n$  — количество точек хода.

1. Обозначенная в таблице формула  $f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$  — угловая невязка хода.

**Ведомость координат теодолитного хода**

№ Точек	Углы измеренные	Углы исправленные	Азимуты или дирекционные углы	Румбы	Горизонт. проложения	Вычисленные				Исправленные				Координаты	
						+	-	+	-	+	-	+	-	x	y
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	16
2	$\beta_2$	$\beta_2$	$\alpha_{12}$	$r_{12}$	$D_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$\pm \Delta X_{12}$	$\pm \Delta Y_{12}$	$X_2$	$Y_2$
3	$\beta_3$	$\beta_3$	$\alpha_{23}$	$r_{23}$	$D_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$X_3$	$Y_3$
4	$\beta_4$	$\beta_4$	$\alpha_{34}$	$r_{34}$	$D_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$X_4$	$Y_4$
5	$\beta_5$	$\beta_5$	$\alpha_{45}$	$r_{45}$	$D_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$X_5$	$Y_5$
6	$\beta_6$	$\beta_6$	$\alpha_{56}$	$r_{56}$	$D_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$X_6$	$Y_6$
7	$\beta_7$	$\beta_7$	$\alpha_{67}$	$r_{67}$	$D_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$X_7$	$Y_7$
8	—	—	$\alpha_{78}$	$r_{78}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_8$	$Y_8$
						$\pm \sum \Delta X_{\text{выч}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{выч}}$	$\pm \sum \Delta X_{\text{испр}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{испр}}$						
						$\pm \sum \Delta X_{\text{теор}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{теор}}$								
$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$						$f_{\text{роб}} = 1 / (\sum D / f_{\text{доп}})$									
$\text{доп} f_{\beta} = 1' \cdot \sqrt{n}$						$f_{\text{доп}} = 1/2000$									
$\Delta \beta = -f_{\beta} / n$						$f_{\text{доп}} = 1/1000$									

Рисунок 5.

Положения ориентирных углов, невязок и знаков приращения в таблице.

2. Выражение  $\text{доп} f_{\beta} = 1' \cdot \sqrt{n}$  — допустимая невязка.

3. Применять выражение  $\Delta\beta = -f\beta/n$   $\Delta\beta = -f\beta/n$  следует в том случае, если соблюдается условие  $f\beta \leq \text{доп}f\beta$   $f\beta \leq \text{доп}f\beta$ . При несоблюдении необходимо перепроверить исходные данные и предыдущие расчеты на предмет ошибок.
4. Поправки в дальнейшем распределяют по измеренным углам и записывают в пункт 3, используя формулу:

$$\beta_{\text{испр}} = \beta_{\text{изм}} + \Delta\beta \quad \beta_{\text{испр}} = \beta_{\text{изм}} + \Delta\beta$$

5. Обязательно соблюдение условия:  $(\sum \beta_{\text{изм}} - 180 \cdot n) = \sum \beta_{\text{теор}} (\sum \beta_{\text{изм}} - 180 \cdot n) = \sum \beta_{\text{теор}}$
6. Рассчитывается значение дирекционных углов и заносится в пункт 4: для левых:  $\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_{\text{изм}} - 180$  правых:  $\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180 - \beta_{\text{изм}}$
7. Вычисляются румбы (пункт 5) и знаки приращения координат (п. 7,9,11,13)



Рисунок 6. Взаимосвязь румбов и дирекционных углов

Завершающий этап заполнения таблицы состоит в определении значений приращения абсцисс и ординат.

$$\Delta X = d \cdot \cos \cdot \alpha$$

$$\Delta Y = d \cdot \sin \cdot \alpha \quad \Delta Y = d \cdot \sin \cdot \alpha$$

Записываем полученные  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  каждой точки в графу 8 и 10, после чего находим  $\sum \Delta X_{\text{выч}}$  и  $\sum \Delta Y_{\text{выч}}$ .

Потом следует определить относительные значения теоретической суммы, которые представлены в таблице как  $\sum \Delta X_{\text{теор}}$  и  $\sum \Delta Y_{\text{теор}}$ .

Поскольку в данном примере разбирается разомкнутый ход, проводятся такие вычисления:

$$\sum \Delta X_{\text{теор}} = X_{\text{к}} - X_{\text{н}}$$

$$\sum \Delta Y_{\text{теор}} = Y_{\text{к}} - Y_{\text{н}}$$

Для замкнутого же полигона они будут равняться нулю.

**Ведомость координат теодолитного хода**

№ То- чек	Углы измеренные	Углы исправлен- ные	Азимуты или дирекционные углы	Румбы	Горизонт. протяжения	Вычисленные				Исправленные				Координаты	
						+	-	+	-	+	-	+	-	x	y
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	—	—	$\alpha_{12}$	$r_{12}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_1$	$Y_1$
2	$\beta_2$	$\beta_2$	$\alpha_{23}$	$r_{23}$	$D_{23}$	±	$\Delta X_{23}$	±	$\Delta Y_{23}$	±	$\Delta X_{23}$	±	$\Delta Y_{23}$	$X_2$	$Y_2$
3	$\beta_3$	$\beta_3$	$\alpha_{34}$	$r_{34}$	$D_{34}$	±	$\Delta X_{34}$	±	$\Delta Y_{34}$	±	$\Delta X_{34}$	±	$\Delta Y_{34}$	$X_3$	$Y_3$
4	$\beta_4$	$\beta_4$	$\alpha_{45}$	$r_{45}$	$D_{45}$	±	$\Delta X_{45}$	±	$\Delta Y_{45}$	±	$\Delta X_{45}$	±	$\Delta Y_{45}$	$X_4$	$Y_4$
5	$\beta_5$	$\beta_5$	$\alpha_{56}$	$r_{56}$	$D_{56}$	±	$\Delta X_{56}$	±	$\Delta Y_{56}$	±	$\Delta X_{56}$	±	$\Delta Y_{56}$	$X_5$	$Y_5$
6	$\beta_6$	$\beta_6$	$\alpha_{67}$	$r_{67}$	$D_{67}$	±	$\Delta X_{67}$	±	$\Delta Y_{67}$	±	$\Delta X_{67}$	±	$\Delta Y_{67}$	$X_6$	$Y_6$
7	$\beta_7$	$\beta_7$	$\alpha_{78}$	$r_{78}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_7$	$Y_7$
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_8$	$Y_8$
						±	$\sum \Delta X_{выч}$	±	$\sum \Delta Y_{выч}$	±	$\sum \Delta X_{испр}$	±	$\sum \Delta Y_{испр}$		
						±	$\sum \Delta X_{теор}$	±	$\sum \Delta Y_{теор}$						
						$f_{абс}$									
						$f_{отн} = 1/(\sum D/f_{абс})$									
						$f_{доп} = 1/2000$									
						$f_{доп} = 1/1000$									
$\sum \beta_{изм}$		$\sum \beta_{испр}$													
$\sum \beta_{теор}$															
$f_{\beta} = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор}$															
$доп f_{\beta} = 1 \cdot \sqrt{n}$															
$\Delta \beta = f_{\beta}/n$															

Рисунок 7. Вычисленные и исправленные значения координат, их невязки и допуск  
 Определяем абсолютную невязку по формуле:

$$f_{абс} = \sqrt{(f_X^2 + f_Y^2)}$$

Линейные невязки  $f_X$  и  $f_Y$ , которые указаны в ней, следует находить следующим образом:  
 Относительная невязка хода:

$$f_{абс} = f_{абс} / \sum D$$

В таблице она отображена в виде правильной дроби, поэтому имеет вид:

$$f_{отн} = 1 / (f_{абс} / \sum D)$$

Полученная относительная невязка ( $f_{отн}$ ) должна быть равной 1:2000, если теодолитный ход относится к первому разряду. Условие 1:1000 применимо для хода второго разряда.

Если условие выполняется, заполняем графу 12 и 14, применив формулы:

$$\sum \Delta X_{испр} = \Delta X_{выч} + \frac{D \cdot (-f_x)}{D}$$

$$\sum \Delta Y_{испр} = \Delta Y_{выч} + \frac{D \cdot (-f_y)}{D}$$

В правильности вычислений можно убедиться при помощи равенства:

$$\sum \Delta X_{испр} = \Delta X_{теор}$$

$$\sum \Delta Y_{испр} = \Delta Y_{теор}$$

$$f_X = \sum \Delta X_{выч} - \sum \Delta X_{теор}$$

Финальный этап состоит в определении координат:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta X_{\text{испр}}$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y_{\text{испр}}$$

**Ведомость координат теодолитного хода**

№ Точек	Углы измеренные	Углы исправленные	Азимуты или дирекционные углы	Румбы	Горизонт. проложения	Вычисленные				Исправленные				Координаты	
						+	-	+	-	+	-	+	-	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	—	—	$\alpha_{12}$	$r_{12}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_1$	$Y_1$
2	$\beta_2$	$\beta_2$	$\alpha_{23}$	$r_{23}$	$D_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$\pm \Delta X_{23}$	$\pm \Delta Y_{23}$	$X_2$	$Y_2$
3	$\beta_3$	$\beta_3$	$\alpha_{34}$	$r_{34}$	$D_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$\pm \Delta X_{34}$	$\pm \Delta Y_{34}$	$X_3$	$Y_3$
4	$\beta_4$	$\beta_4$	$\alpha_{45}$	$r_{45}$	$D_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$\pm \Delta X_{45}$	$\pm \Delta Y_{45}$	$X_4$	$Y_4$
5	$\beta_5$	$\beta_5$	$\alpha_{56}$	$r_{56}$	$D_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$\pm \Delta X_{56}$	$\pm \Delta Y_{56}$	$X_5$	$Y_5$
6	$\beta_6$	$\beta_6$	$\alpha_{67}$	$r_{67}$	$D_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$\pm \Delta X_{67}$	$\pm \Delta Y_{67}$	$X_6$	$Y_6$
7	$\beta_7$	$\beta_7$	$\alpha_{78}$	$r_{78}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_7$	$Y_7$
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$X_8$	$Y_8$
						$\pm \sum \Delta X_{\text{выч}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{выч}}$	$\pm \sum \Delta X_{\text{испр}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{испр}}$						
						$\pm \sum \Delta X_{\text{теор}}$	$\pm \sum \Delta Y_{\text{теор}}$								
						$f_{\text{адс}}$									
						$f_{\text{отн}} = 1/(\sum D/f_{\text{адс}})$									
						$f_{\text{доп}} = 1/2000$									
						$f_{\text{доп}} = 1/1000$									
		$\sum \beta_{\text{изм}}$	$\sum \beta_{\text{испр}}$												
		$\sum \beta_{\text{теор}}$													
		$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$													
		$\text{доп } f_{\beta} = 1 - \sqrt{n}$													
		$\Delta \beta = f_{\beta}/n$													

Рисунок 8. Заполнение последнего раздела ведомости

Заполняем графу 16 и завершаем обработку ведомости координат вершин теодолитного хода.

## Урок 16. Геометрическое нивелирование

1. Сущность геометрического нивелирования
2. Продольное нивелирование
3. Устройство нивелира

Геодезические измерения, выполняемые для определения превышений между точками земной поверхности, называются **нивелированием**.

### Определение превышения

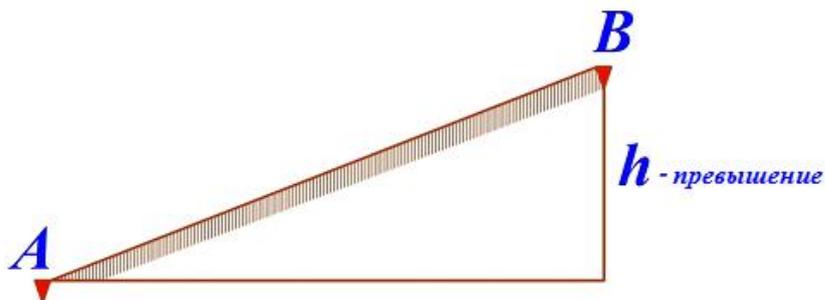


Рис. 1

Существуют различные методы нивелирования. В инженерной практике наибольшее распространение получили методы **геометрического** и **тригонометрического** нивелирования. Наиболее **точным** является метод геометрического нивелирования.

Геометрическое нивелирование выполняется с помощью геодезического прибора – **нивелира** – и **нивелирных реек**. Существует два способа геометрического нивелирования.

### Нивелирование "вперед"

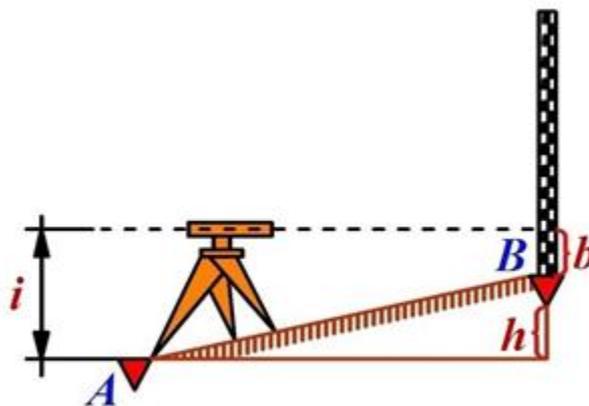


Рис. 2

формула нивелирования «вперед»:  $h = i - b$

### Нивелирование из "середины"

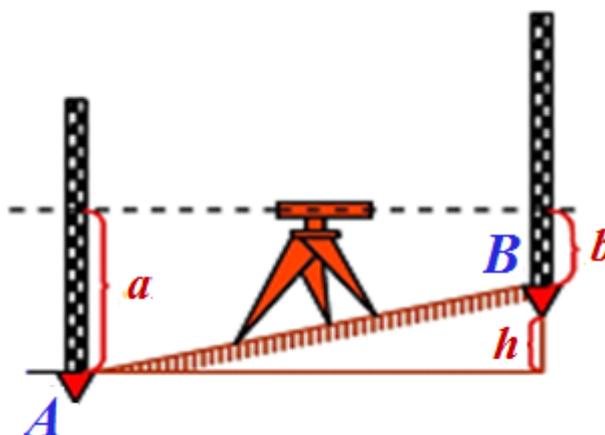


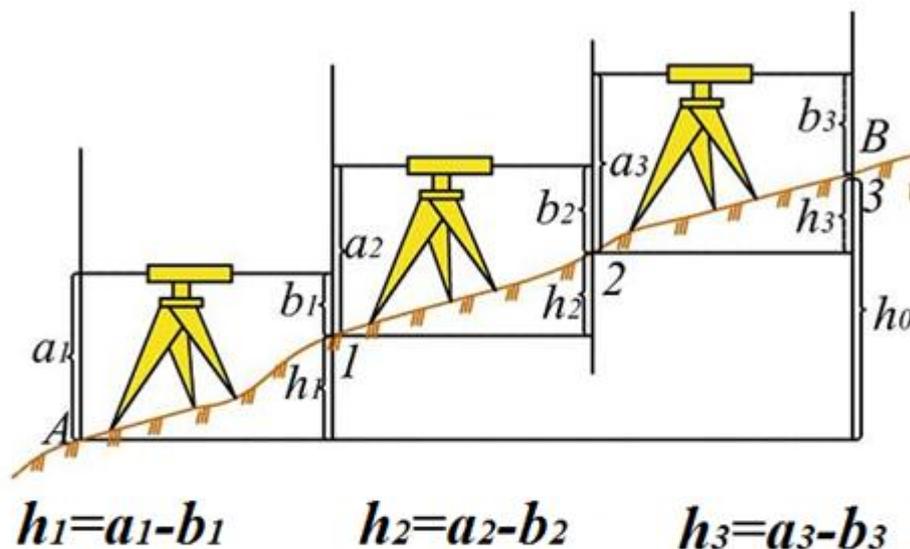
Рис. 3

формула нивелирования из «середины»:  $h = a - b$

Наиболее целесообразно производить нивелирование способом «из **середины**», так как в этом случае повышается производительность нивелирования вследствие увеличения расстояния между рейками, кроме того исключается ряд ошибок, присущих методу нивелирования.

При нивелировании на значительные расстояния применяют **последовательное нивелирование**.

## Последовательное нивелирование



Общее превышение точки B над точкой A равно сумме превышений, т.е.  $h_0 = h_1 + h_2 + h_3 + \dots = \sum h$

Рис. 4

Места постановки нивелира называют **станциями**. Точки, на которые отсчеты берутся с соседних станций, называются **связующими точками**. При создании высотных государственных геодезических сетей и сетей сгущения применяется нивелирование **I-го, II-го, III-го и IV-го** классов. При создании съемочных геодезических сетей, а также при изысканиях и строительстве инженерных сооружений применяется **техническое нивелирование**.

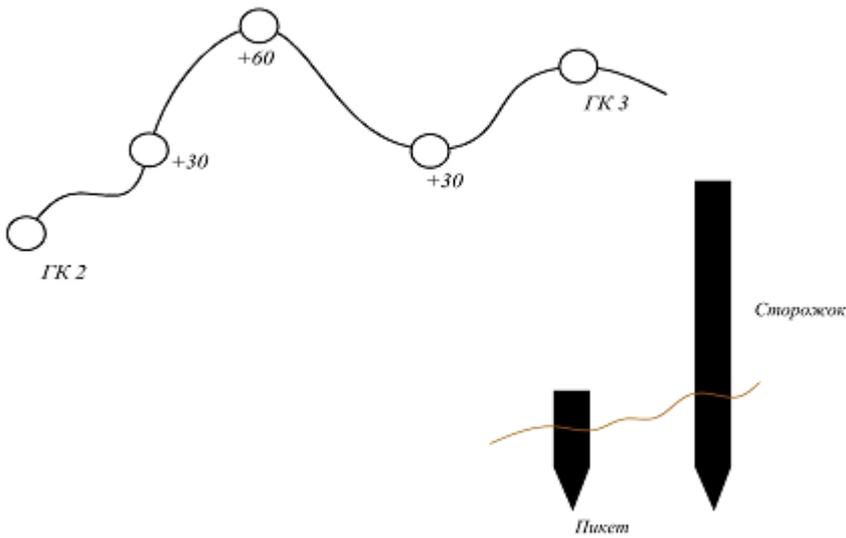
В зависимости от назначения работы и характера местности техническое нивелирование делится на **продольное** и **нивелирование поверхности**.

Выполняется при изыскании и проектировании сооружений, вытянутых в длину (дорог, подземных коммуникаций и т.д.). По результатам нивелирования строится профиль, и по нему ведется проектирование.

Вдоль оси трассы будущего сооружения прокладывается **нивелирный ход** – в виде магистрали с возможно более длинными сторонами. Ход обязательно должен быть привязан к точкам высотной геодезической сети – **реперам или маркам**.

Подготовка трассы для нивелирования заключается в **разбивке пикетажа**.

### Разбивка пикетажа



**Рис. 31**

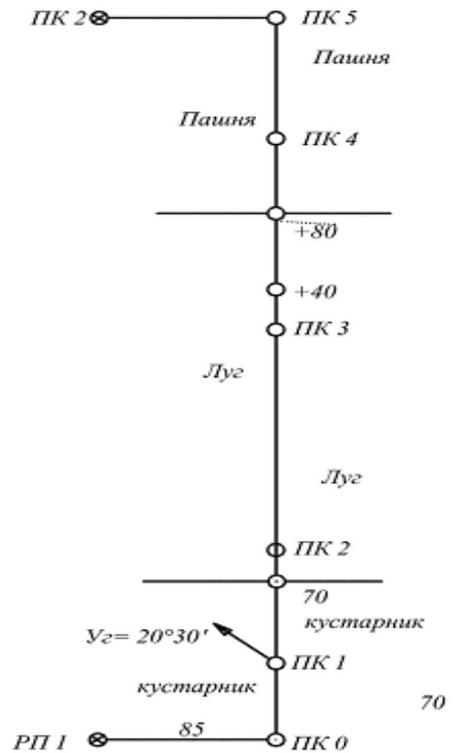
Пикеты намечаются через **100 м**. Нумерация пикетов начинается с **нуля**. Между пикетами могут встретиться перегибы местности, эти точки закрепляются кольями и называются **промежуточными**, или **плюсовыми**.

На поворотах трассы теодолитом измеряют горизонтальные углы (Уг.1). Вправо и влево от трассы снимается ситуация. Результаты съемки, а также пикеты и плюсовые точки заполняются в **пикетажный журнал**.

Пикетажный журнал изготавливается из миллиметровой бумаги, все расстояния наносятся в масштабе. Углы поворота трассы показываются стрелками, подписывается их величина.

**Основные части нивелира – это подставка с тремя подъемными винтами, зрительная труба. Труба имеет закрепительный и наводящий винты.**

### Пикетажный журнал



**Рис. 32**

## Внешний вид нивелира

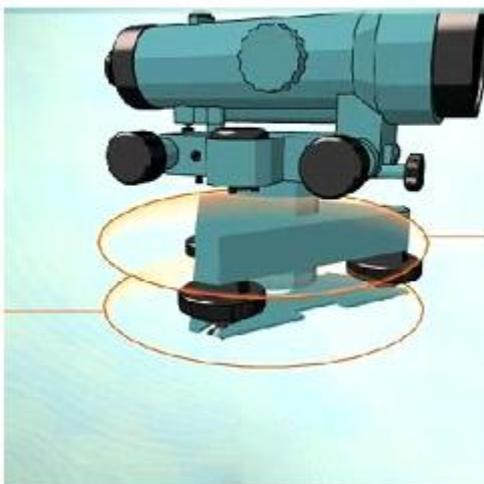


Рис. 10

Для приближенной установки оси вращения нивелира в отвесное положение служит круглый уровень.

## Ось круглого уровня

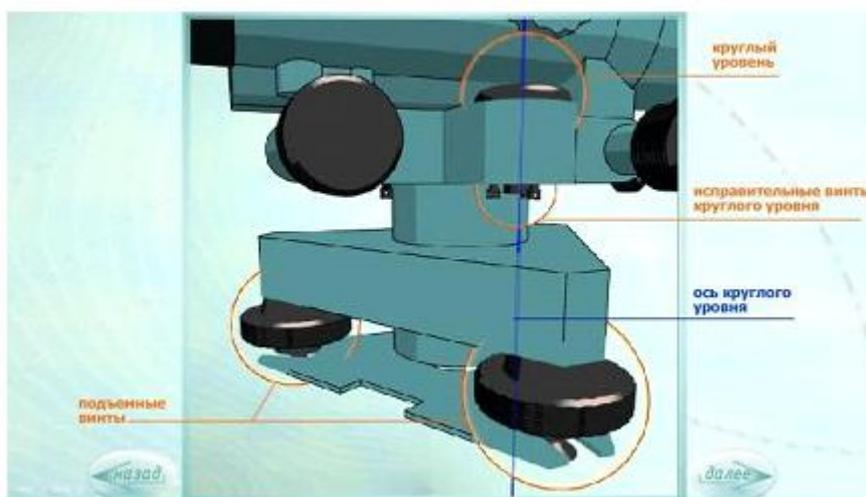


Рис. 11  
Круглый уровень

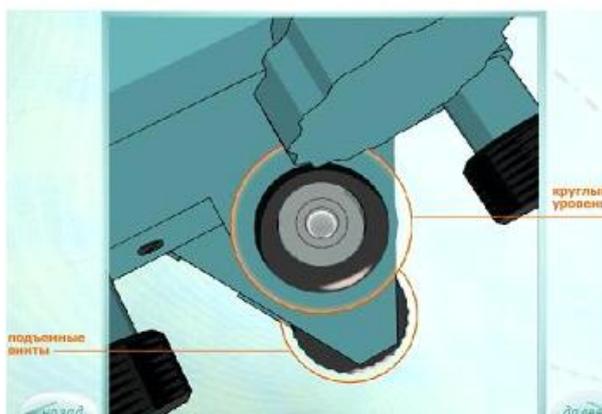
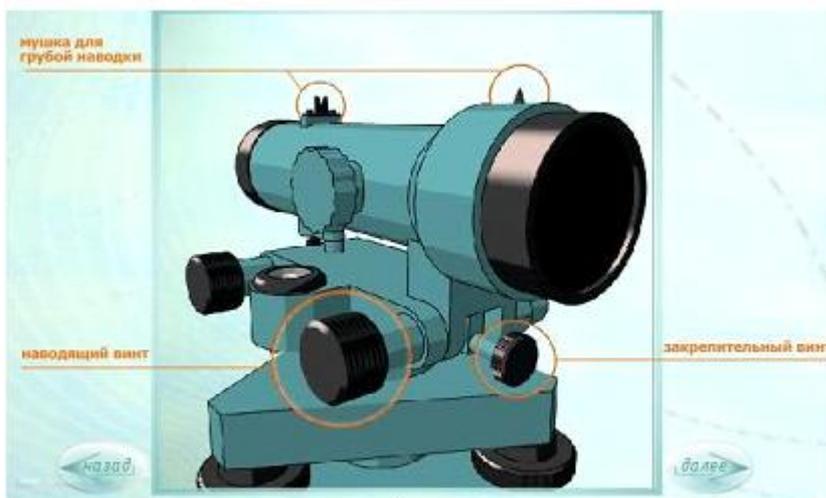


Рис. 12

Осью круглого уровня называется прямая, проходящая через нуль –пункт уровня перпендикулярно плоскости, касательной к внутренней поверхности уровня в его нуль–пункте.

### **Винты для установки трубы для наблюдений**



**Рис. 13**

Установка трубы для наблюдений выполняется диоптрийным кольцом (по глазу) и кремальерой (по предмету).

### **Кремальера и диоптрийное кольцо**



**Рис. 14**

В настоящее время применяются нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. В этих нивелирах используются компенсатор.

Сбоку от трубы располагается цилиндрический уровень, помещенный в металлическую коробку.

### **Цилиндрический уровень**



**Рис. 15**

При помощи оптических линз, расположенных над уровнем, изображение концов пузырька уровня передается в поле зрения окуляра. Совмещение изображений концов пузырька уровня

производится с помощью элевационного винта, который выполняет медленные перемещения визирной оси в вертикальной плоскости.

### Поле зрения трубы нивелира

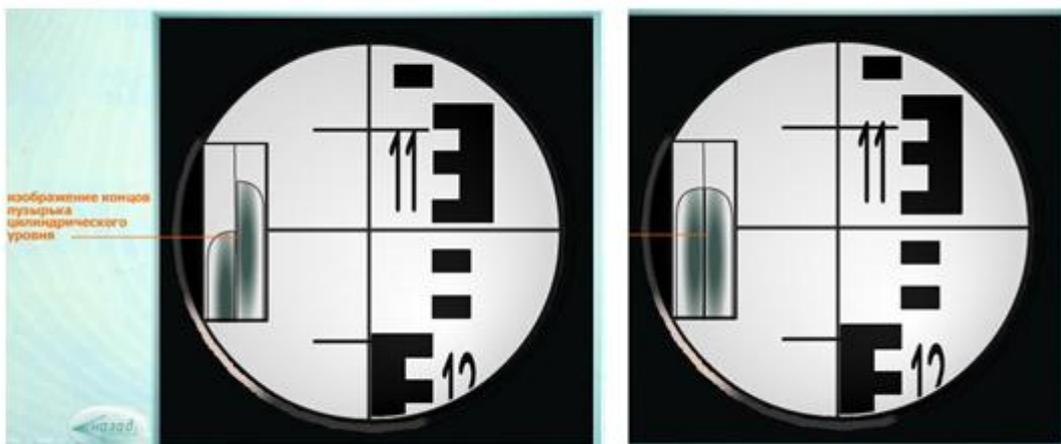


Рис. 16

### Оси нивелира

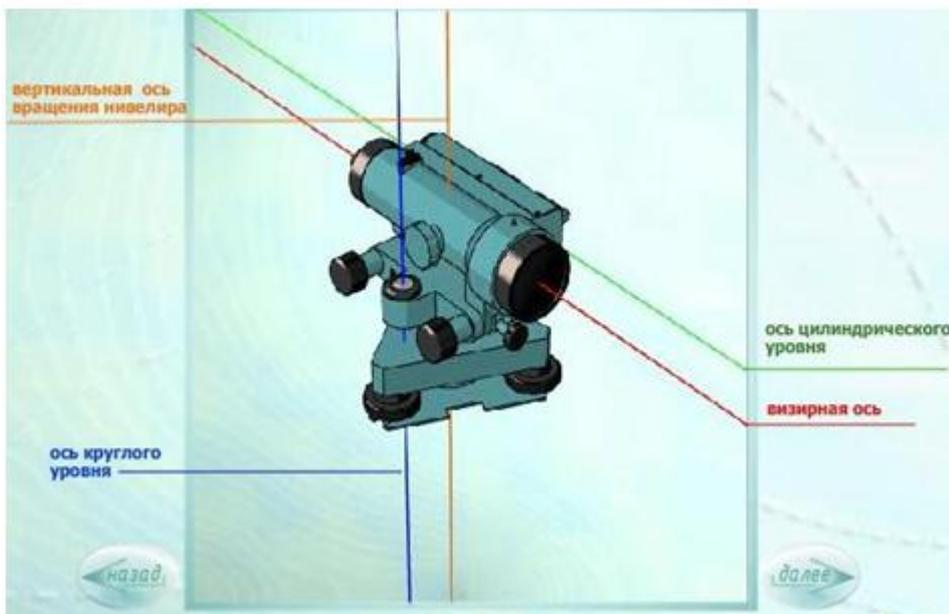


Рис. 17

## Урок 17. Нивелирование поверхности

1. Геодезические работы при нивелировании поверхности
2. Нивелирование поверхности по магистралям
3. Нивелирование по квадратам.

**Нивелированием поверхности** называют топографическую съёмку местности с применением геометрического нивелирования для съёмки рельефа. В результате получают топографический план с изображением контуров ситуации и рельефа.

Для проведения на землях сельскохозяйственного назначения технических работ, например планировки орошаемых лугов и пастбищ, ликвидации на них замкнутых переувлажненных микро понижений, а также для проектирования и строительства орошаемых и осушаемых гидромелиоративных систем, проектирования аэродромов, населенных пунктов, культурноторговых, спортивных центров, дорог и других инженерных сооружений необходимо предварительно детально изучить рельеф территории.

В зависимости от способа определения планового положения снимаемых контуров и нивелируемых точек различают и способы нивелирования поверхности – *по квадратам, по параллельным линиям, по магистралям.*

В зависимости от рельефа и открытости местности, площади и конфигурации участка нивелирование поверхности выполняется в масштабах 1: 500; 1:1000; 1:2000 или 1:5000. Планы составляют на бумажных носителях, а также в цифровой форме, используемой в системах автоматического проектирования (САПР). Нивелирование поверхности, как вид топографической съёмки предусмотрено инструкцией СН 212-73, где определена точность съёмки равнинного рельефа и густота точек нивелирной сети.

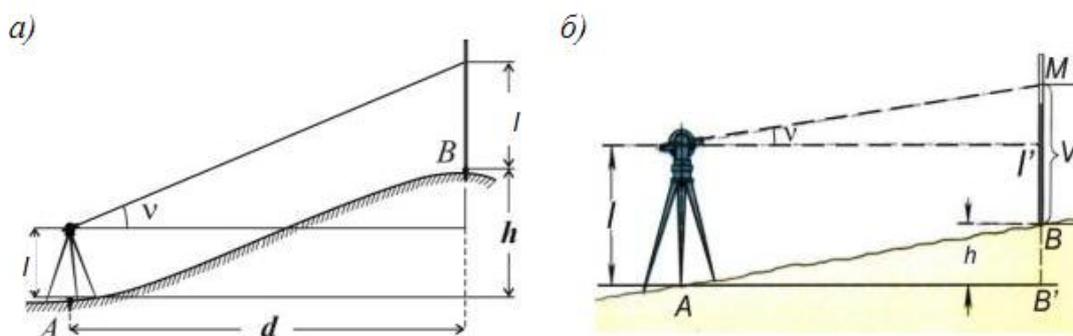
Планово-высотное съёмочное обоснование на участке съёмки может создаваться теодолитными ходами. Высотные координаты пунктов съёмочного обоснования определяют нивелированием IV класса и техническим. Электронные тахеометры позволяют строить планово-высотное съёмочное обоснование более эффективными методами.

**Способ параллельных линий** используют, когда местность покрыта лесом или высоким кустарником, в котором прорубают параллельные просеки, на них выбирают характерные точки рельефа, а далее используют магистральный способ.

Нивелирование по магистралям применяют при сильно выраженном рельефе местности и при характерных точках рельефа на водоразделах и водостоках прокладывают теодолитные и нивелирные ходы, преимущественно в закрытой местности;

При способах по магистралям и параллельных линий применяется метод тригонометрического нивелирования, основанный на использовании наклонного луча визирования.

Рассмотрим простейший случай, когда визирный луч наводят на точку рейки, расположенной на высоте инструмента (рисунок 14.1.а).



**Рисунок 14.1 - Схема определения превышений при тригонометрическом нивелировании**

Теодолит-тахеометр устанавливают над точкой *A* и измеряют высоту инструмента *I*. Рейку или веху ставят в точке *B*, визирную ось направляют на точку, где отмечена высота *I*. По вертикальному кругу делают отсчёт и вычисляют угол наклона. Лентой или дальномером измеряют расстояние *AB*. Из рисунка 14.1,а видно, что:

$$h = d \cdot \text{tg} .$$

При производстве геодезических работ на местности визирный луч приходится наводить на любую высоту *V*, отмеченную на рейке. На рисунке

*BB'* = *h* превышение;

*BI* = *I* высота инструмента

*BM* = *V* высота визирования;

*IM* = *d tg* .

Откуда:

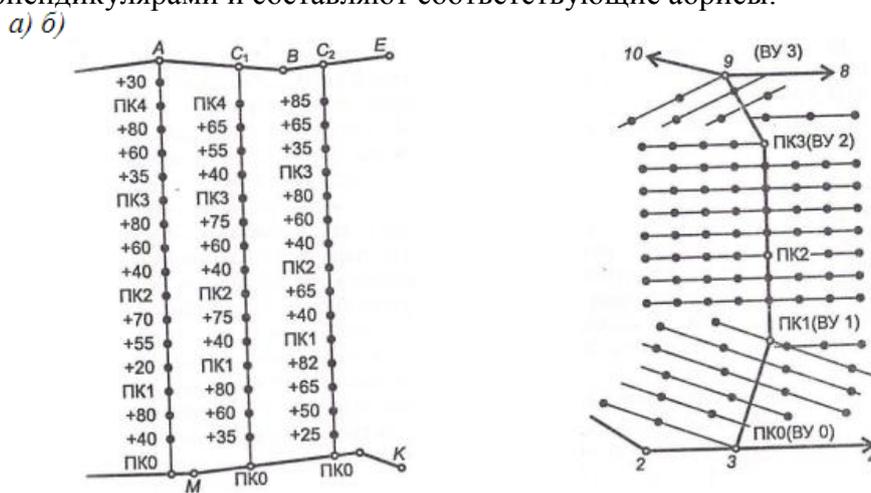
$$B'B + BM = B'I + IM$$

или  $h + V = I + d \cdot \text{tg} , \text{ м.е.}$

$$h = d \cdot \text{tg} + I - V$$

Нивелирование по параллельным линиям применяется на местности, покрытой растительностью препятствующей развитию сетки квадратов. Для этого по контуру участка прокладывают теодолитно-нивелирный ход, опирающийся на исходные геодезические пункты и реперы. На сторонах хода закрепляют створные точки, являющиеся опорными для прямых профильных линий, пересекающих участок (рисунок 14.2,а). Профильные линии назначают через 20 м при съёмках масштаба 1: 500 и 1: 1000 и через 40-50 м при съёмке масштаба 1: 2000.

На профильных линиях разбивают пикетаж, сотенные пикеты обозначают кольями, плюсовые точки - сторожками через каждые 20 или 40 м (соответственно масштабу съёмки). Пикетажные надписи делают на сторожках. Одновременно выполняют съёмку контуров местности в основном перпендикулярами и составляют соответствующие абрисы.



**Рисунок 14.2 – Плановые основы нивелирования поверхности:**  
*а - по параллельным профильным линиям; б - по магистралям и поперечникам*

Вдоль каждой линии прокладывают нивелирный ход технической точности, который опирается на пункты с известными отметками. С каждой станции нивелируют связующие и промежуточные точки на нескольких соседних профильных линиях. Между последовательными станциями нивелирования выбирают по две связующие точки. Отсчёты берут по чёрной стороне рейки, и записывают в журнал продольного нивелирования.

Способ нивелирования поверхности по магистралям применяется при съёмке заболоченной местности, частично покрытой растительностью, перекрывающей прямую видимость через весь

участок между опорными пунктами основного теодолитного хода, проложенного вдоль контура участка (рисунок 14.2,б). Для съёмки через участок прокладывают магистрали - теодолитные ходы, опирающиеся на пункты основного теодолитновысотного хода. На сторонах магистрали разбивают пикетаж через 20 или 4050 м в соответствии с масштабом съёмки.

Сотенные пикеты закрепляют устойчивыми кольями. Плюсовые точки обозначают сторожками с надписями их пикетного положения. На пикетах и плюсовых точках строят поперечники длиной до 100-120 м в обе стороны от магистрали, как правило, под углом 90 к соответствующей её стороне. На поперечниках сторожками через 20 или 40 м обозначают точки высотной съёмки. Съёмку ситуации выполняют относительно магистралей и поперечников.

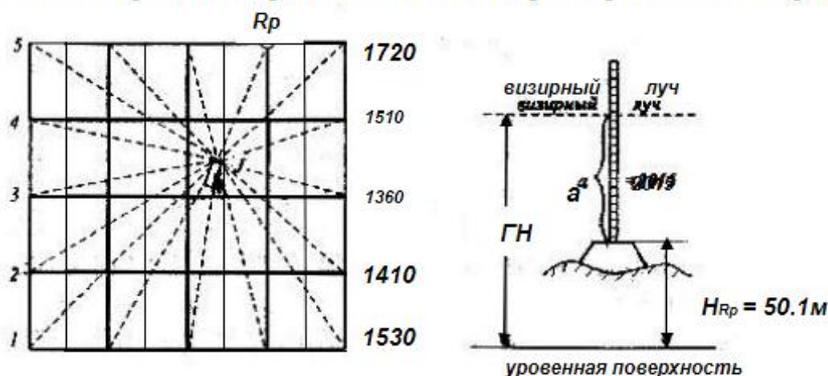
Обозначенные точки поверхности вдоль магистрали нивелируют ходом технического нивелирования с двумя связующими точками между станциями. Расстояние до промежуточных нивелируемых точек принимается до 150 м. Записи отсчётов по рейкам выполняются так же, как при нивелировании по параллельным линиям.

В условиях открытой и сравнительно ровной местности при топографической съёмки открытых участков нивелирование поверхности производят *по квадратам* в крупных масштабах (1:500 - 1:50000) с малой (0,1 - 0,5) высотой сечения рельефа в целях составления проекта вертикальной планировки и подсчета объемов земляных работ.

На участке мерной лентой и теодолитом разбивают сеть квадратов с длиной сторон 10, 20 или 40 м (рисунок 14.3). На сторонах основного прямоугольника откладывают принятые длины сторон квадратов. Пользуясь вешками в точках 1, 2, 3 и т.д. разбивают вершины квадратов внутри прямоугольника. Вершины квадратов закрепляют кольешками, на сторонах подписывают их номера.

Порядок нивелирования квадратов зависит от их размеров и условий местности. Если участок пологий и его площадь не превышает 200 200 м, нивелир устанавливают примерно в центре участка и снимают отсчеты по рейкам, которые последовательно ставят на вершины всех квадратов.

Высоты вершин квадратов вычисляют через горизонт нивелира (ГН).



Если размеры участка и характер рельефа не позволяют пронивелировать вершины всех квадратов с одной станции, намечают несколько станций. Связующими точками являются вершины квадратов, которые можно пронивелировать с соседних станций. На эти точки отсчёты берут дважды: по рабочей стороне рейки и по контрольной. На остальные точки отсчёты снимают только по чёрной стороне рейки. Для контроля связующие точки должны составлять нивелирный ход (замкнутый или разомкнутый).

## Урок 18. Обработка журнала технического нивелирования

- 1) Рассчитать сумму отсчетов по задней рейке ( $\Sigma z$ ).
- 2) Рассчитать сумму отсчетов по передней рейке ( $\Sigma n$ ).
- 3) Вносим результаты расчетов в соответствующие графы в журнале и находим разницу этих двух сумм ( $\Sigma z - \Sigma n$ ); полученное значение представляет удвоенное превышение по профилю.
- 4) Для контроля правильности расчетов определяют суммы наблюдаемых превышений, а затем средних.
- 5) Если между пикетами имеются иксовые точки, то определяется общее среднее превышение между пикетами.
- 6) В процессе нивелирования была допущена некоторая погрешность (высотная погрешность), которую необходимо учесть при определении истинного превышения трассы. Высотная невязка определяется следующим образом:

$$fh = \Sigma h_{\text{ср. трассы}} - h_{\text{трассы ист.}},$$

где  $h_{\text{трассы ист.}} = H_{A \text{ К}} - H_{A \text{ Н}}$ ;

$H_{A \text{ К}}$  – абсолютная отметка конца трассы ( $H_{A \text{ ПК4}}$ );

$H_{A \text{ Н}}$  – абсолютная отметка начала трассы ( $H_{A \text{ ПК0}}$ ).

- 7) Полученное значение высотной невязки необходимо сравнить с допустимым значением, рассчитываемым следующим образом:

$$fh_{\text{доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L},$$

где  $L$  – длина трассы в километрах (так как в задании 4 пикета, расстояние между которыми 100 м, то общая длина трассы 400 м или 0,4 км).

- 8) При соблюдении данного условия  $fh_{\text{расчетн.}} \leq fh_{\text{доп.}}$ . Высотная невязка разбрасывается относительно равномерно с обратным знаком на все  $h_{\text{ср.}}$  (например, если  $fh_{\text{расчетн.}} = -25$  мм, то для  $h_{\text{ср.1}}$  поправка будет +6 мм, для  $h_{\text{ср.2}}$  +6 мм,  $h_{\text{ср.3}}$  +6 мм и для  $h_{\text{ср.4}}$  +7 мм).
- 9) Для контроля суммируются все исправленные превышения ( $\Sigma h''$ ). Полученное значение должно равняться истинному превышению трассы  $h_{\text{трассы ист.}}$ .
- 10) Определение абсолютных отметок точек.

Абсолютные отметки начального и конечного пикета трассы даны в задании:

$H_{A \text{ ПК0}}$ ;

$H_{A \text{ ПК1}} = H_{A \text{ ПК0}} \pm (h'')$ ;

$H_{A \text{ ПК2}} = H_{A \text{ ПК1}} \pm (h'')$ ;

и т.д.

Результат заносится в графу отметки точек соответственно.

- 11) Для определения абсолютных отметок плюсовых точек необходимо на станции определять горизонт инструмента  $H_{\text{ГИ}}$  – расстояние от уровня моря до оси визирования прибора (данная величина на каждой станции будет иметь разное значение).

$H_{\text{ГИ}}$  рассчитывается через задний и передний пикеты и далее определяем среднее значение.

$$H_{\text{ГИ}} = H_{A \text{ ПК0}} + z_{\text{ч}};$$

$$H_{\text{ГИ}} = H_{A \text{ ПК1}} + n_{\text{ч}}.$$

Разница этих значений не должна превышать  $\pm 5$  мм. Для расчета  $H_{\text{ГИ}}$  будем брать значение по заднему пикету.

$$\text{Абсолютная отметка для плюсовой точки С: } H_{A \text{ С}} = H_{\text{ГИ}} - c_{\text{ч}}$$

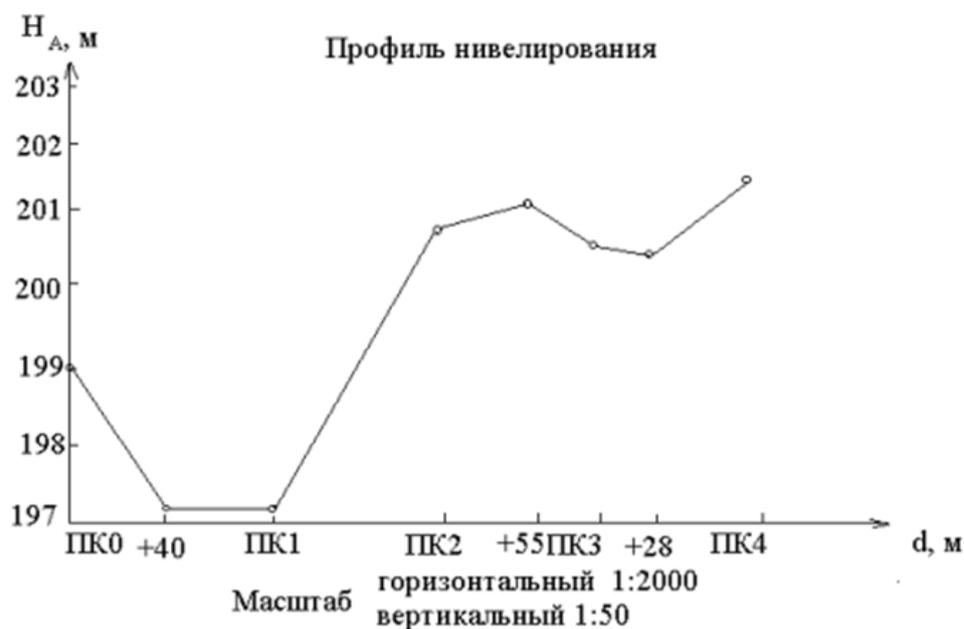
где  $c_{\text{ч}}$  – промежуточный отсчет по рейке.

- 12) Построение профиля местности (масштаб горизонтальный 1:2000, вертикальный 1:50).

**Журнал технического нивелирования (Образец)**

№ станции	№ пикетов и плюс. точек	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм			Горизонт инструмента ГИ, мм	Отметки точек, м
		задней з	передней п	промежут пр.	наблюд. н. h	средние h <sub>ср.</sub>	исправл. h <sup>и</sup>		
1	ПК0	0540	2432		- 1892	+5 - 1892	-1887	199,626	199,086
	ПК1	5307	7200		- 1893				
	+40			2355					197,271
2	ПК1	2630	0526		2104	+5 2106	2111		197,199
	x	7400	5292		2108				
3	x	1926	0418		1508	+6 1508	1514		
	ПК2	6695	5187		1508				
4	ПК2	1245	1357		- 112	+6 - 112	-106	202,065	
	ПК3	6013	6124		- 111				
	+55			0917					201,147
5	ПК3	1872	0836		1036	+6 1036	1042	202,582	200,718
	ПК4	6640	5603		1037				
	+28			1907					200,675
		<b>Σз=40268</b>	<b>Σп=34975</b>		<b>Σ=5293</b>	<b>Σ=2646</b>	<b>Σ=2674</b>		

**Σ з - Σ п = 5293 мм;**  
**h<sub>урассы.вст.</sub> = 2 674 мм;**  
**Δ h = -28 мм;**  
**Δ h = +5; +5; +6; +6; +6.**



## Урок 19. Тахеометрическая съемка

1. Основные сведения о тахеометрической съемке
2. Порядок работ на станции тахеометрического хода при работе теодолитом следующий.

Тахеометрическая съемка — основной вид съемки для создания планов небольших незастроенных и малозастроенных участков, а также узких полос местности вдоль линий будущих дорог, трубопроводов и других коммуникаций. С появлением тахеометров-автоматов этот способ съемки стал основным и для значительных по площади территорий, особенно когда необходимо получить цифровую модель местности.

При тахеометрической съемке ситуацию и рельеф снимают одновременно, где план составляют в камеральных условиях по результатам полевых измерений. Съемку производят с исходных точек — пунктов любых опорных и съемочных геодезических сетей. Съемочная сеть может быть создана в виде теодолитно-нивелирных ходов, когда отметки точек теодолитного хода определяют геометрическим нивелированием.

В большинстве случаев для съемки прокладывают тахеометрические ходы, отличающиеся тем, что все элементы хода (углы, длины линий, превышения) определяют теодолитом или электронным тахеометром. При этом одновременно с проложением тахеометрического хода производят съемку. В этом главное отличие тахеометрической съемки от других видов топографических съемок. Съемка теодолитом.

Порядок работ на станции тахеометрического хода при работе теодолитом следующий.

В первую очередь выполняют измерения, относящиеся к проложению съемочного хода. Теодолит устанавливают над точкой и приводят его в рабочее положение. На смежных точках хода устанавливают дальномерные (обычно нивелирные) рейки. Одним полным приемом измеряют горизонтальный угол хода. При двух положениях вертикального круга теодолита измеряют вертикальные углы на смежные точки хода. По дальномеру теодолита определяют расстояния до смежных точек. Измеряют высоту прибора.

Далее приступают к съемке. Для этого в первую очередь при левом круге (КЛ) ориентируют лимб теодолита на предыдущую точку. С этой целью нуль алидады совмещают с нулем лимба и, закрепив алидаду, вращением лимба наводят зрительную трубу на ориентирную точку. Трубу наводят на съемочные пикеты только вращением алидады. На съемочные пикеты устанавливают дальномерные рейки и измеряют на них при одном круге горизонтальные и вертикальные углы, а по дальномеру — расстояния. Если съемочный пикет является только контурной точкой, то вертикальный угол не измеряют.

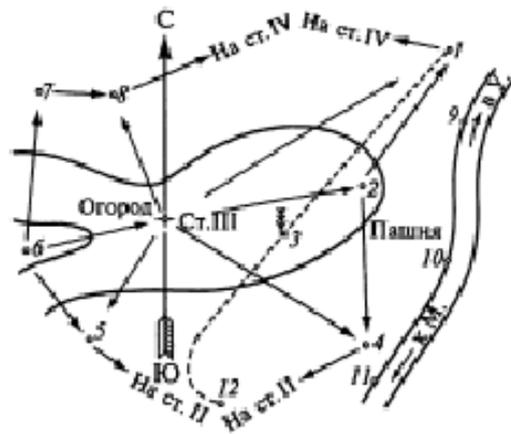
Результаты измерений записывают в журнал тахеометрической.

Положение съемочных пикетов выбирают таким образом, чтобы по ним можно было изобразить на плане ситуацию и рельеф местности. Их берут на всех характерных точках и линиях рельефа: на вершинах и подошвах холмов, дне и бровках котловин и оврагов, водоразделах и тальвегах, перегибах скатов и седловинах. При съемке ситуации определяют: границы угодий, гидрографию, дороги, контуры зданий, колодцы, т.е. все то, что подлежит нанесению на план в данном масштабе. Чем крупнее масштаб съемки, тем больше число съемочных пикетов и тем меньше расстояние между пикетами и от станции до пикетов.

Так, если при съемке масштаба 1:5000 максимальное расстояние до твердых контуров ситуации ограничено 150 м, а до нетвердых — 200 м, то в масштабе 1:500 — 60 и 80 м соответственно.

В процессе съемки на каждой станции составляют абрис (рис. 11.3).

Рис. 11.3. Абрис тахеометрической съемки



На нем показывают: положение станции хода, направление на предыдущую и последующую точки, расположение всех съемочных пикетов, рельеф и ситуацию местности. Съемочные пикеты отмечают теми же номерами 1... 12, что и в полевом журнале, ситуация местности изображается условными знаками, рельеф — горизонталями. Между точками на абрисе проводят стрелки, указывающие направление понижения местности.

По окончании работы на станции проверяют ориентирование лимба теодолита, для чего снова визируют на предыдущую точку хода. Если повторный отсчет отличается от начального более чем на  $5'$ , то съемку на данной станции переделывают. Для контроля на каждой станции определяют несколько пикетов, расположенных в полосе съемки со смежных станций.

В простейшем случае составление **плана по результатам тахеометрической съемки** начинают с построения координатной сетки и нанесения по координатам точек теодолитного хода.

**Правильность нанесения точек хода контролируют по длинам его сторон: измеряют расстояния между вершинами — выраженные в масштабе, они должны быть равны расстояниям между соответствующими точками на плане или отличаться не более чем на  $0,2$  мм.**

Вслед за этим наносят на план пикетные точки циркулем-измерителем, масштабной линейкой и транспортиром. Данные для нанесения берут из журнала тахеометрической съемки. Направление на пикеты со станции (рис. 11.4) строят по транспортиру.



Рис. 11.4. Построение направлений на пикеты со станции тахеометрического хода

Например, при съемке на станции II лимб теодолита был ориентирован по направлению на точку 1. Транспортир прикладывают центром к точке II плана, а отсчет  $0^{\circ}00'$  совмещают с направлением на точку 7. Направление на точку 1 получают, отложив по дуговой шкале транспортира  $18^{\circ}40'$ , а расстояние до точки I от станции II — отложив в масштабе плана горизонтальное проложение 48,9 м. Для этого по направлению  $18^{\circ}40'$  проводят карандашом тонкую линию, а измерителем по масштабной линейке находят отрезок 48,9 м и откладывают его по створу линии от станции II на точку 1.

Аналогично наносят и другие точки. Для ускорения работы поступают следующим образом. По внешней окружности транспортира карандашом отмечают направления на все пикеты. Рядом с

каждой точкой ставят номер. Если есть углы более  $180^\circ$ , то транспортир перекалывают, поворачивая его на  $180^\circ$ . После этого по нему отмечают значения угла минус  $180^\circ$ .

Когда все углы отмечены, транспортир снимают. Из станции, как из центра, на все точки проводят лучи и откладывают расстояния. Конец каждого отложенного расстояния дает положение точки. Точку изображают кружком, рядом выписывают из журнала его отметку.

Вместо транспортира применяют также **линейки-тахеографы**. Они представляют собой прозрачный круг с разграфкой от **0 до  $359^\circ$** . По отметкам станций и речных точек на плане проводят горизонтали с принятым сечением рельефа. Следы горизонталей отыскивают графической интерполяцией между точками, которые в абрисе соединены стрелками. Соединение каких-либо двух точек в абрисе говорит о том, что местность между ними имеет один скат, без перегибов.

Все контуры и рельеф, изображаемые на плане, вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками. Над северной рамкой делают заглавную надпись, под южной рамкой подписывают числовой масштаб, высоту сечения рельефа, вычерчивают линейный масштаб и график заложений.

## Урок 20. Порядок работы на станции при тахеометрической съемке

1. Порядок работы на станции
2. Оформление результатов тахеометрической съёмки

### Порядок работы на станции

1. Приведение прибора в рабочее положение (центрирование, горизонтирование)
2. Определение места нуля
3. Измерение высоты прибора в см (фиксируется на рейке)
4. Ориентирование

При КЛ ориентируют лимб теодолита на предыдущую точку хода, с этой целью 0 лимба совмещают с 0 алидады и, закрепив алидаду, вращением лимба наводят зрительную трубу на точку, лимб закрепляют. На пикеты зрительную трубу наводят только вращением алидады.

5. На пикеты устанавливается рейка, измеряются горизонтальные и вертикальные углы, расстояния.

Положение пикетов выбирают таким образом, чтобы по ним на плане можно было изобразить ситуацию и рельеф местности. Их берут на всех характерных точках и линиях рельефа.

При съемке ситуации определяют границы угодий, гидрографию, дороги, контуры зданий, т. е. все, что подлежит нанесению на план в данном масштабе.

6. По окончании работы проверяют ориентирование. Для этого вновь визируют на предыдущую точку хода; отсчет должен отличаться от первоначального не более чем на  $5'$ .

Обработка материалов тахеометрической съемки и составление плана.

Выполняют математическую обработку результатов полевых измерений, приведенных в журнале тахеометрической съемки. Для этого вычисляют место нуля и углы наклона между станциями по сторонам тахеометрического хода, при этом используют следующие рабочие формулы для теодолита 2Т30: где КП и КЛ - отсчеты по лимбу теодолита при круге право и круге лево, МО - место нуля.

Тахеометрическая съемка обычно выполняют при положении круга «лево». Величину места нуля (МО) определяют перед выполнением съемки и при необходимости приводят к нулю.

При вычислении углов наклона на речные точки место нуля в пределах точности теодолита не учитывают, в остальных случаях округляют до ближайшей четной минуты.

В соответствующие графы журнала записывают расстояния  $D$ , горизонтальные проложения  $d$  и превышения  $h'$ , которые вычисляют с помощью тахеометрических таблиц или микрокалькуляторов по формулам:

$$d = K l \cos;$$

$$h = h' + i - v;$$

$$h = (Kl)/2 \sin^2;$$

где  $i$  - высота прибора;

$v$  - высота наведения;

$k$  - коэффициент нитяного дальномера;

$l$  - количество делений на рейке;

- угол наклона.

Если углы наклона не превышают  $2^\circ$ , то измеренные линии принимают за горизонтальные проложения. Горизонтальные проложения вычисляют с округлением до  $0,1$  м, а превышения - с точностью до  $0,01$  м. Знаки превышения одинаковы со знаками углов наклона. Далее выполняют увязку высот тахеометрического хода.

После вычисления превышений на всех станциях их увязывают между станциями по тахеометрическому ходу. Для этого выписывают горизонтальные приложения между станциями, прямые и обратные превышения.

При вычислении средних превышений между станциями ставят знак прямого превышения. Теоретическая сумма превышений равна разности высот станций III и I:

$$h_T = H_{III} - H_I,$$

Невязку сравнивают с допустимой, которая вычисляют по формуле:

$$f_{h \text{ доп.}} = 0,04 S n,$$

где  $S = [S]/n$  - средняя длина линий, в метрах (7)  $n$  - число линий в ходе.

Если невязка допустима, то ее распределяют на каждое превышение с обратным знаком, пропорционально длинам линий. Высота II станции равна:

$$H_{II} = H_I + h_{I-II}$$

Высоты станций записывают на соответствующие страницы журнала, а затем вычисляют высоты пикетов по формуле:

$$H = H_{ст} + h_I$$

Далее производят составление и вычерчивание плана.

На листе чертёжной бумаги (1/8 часть стандартного листа) строят сетку координат. Для этого откладывают от левого края  $6$  см, снизу  $5$  см, относительно этой точки разбивают координатную сетку и наносят точки по координатам. Масштаб  $1: 2000$ . Укладывают основание транспорта по линии ориентирования, по его окружности откладывают углы на реечные точки, отмечают маленькой черточкой.

Источники:

1. Основы геодезии и маркшейдерского дела, Недра, Москва, 1985 г., Коробченко Ю.В., Федоров Б.Д.
2. Борщ-Компониец В.И. Маркшейдерское дело - 1989 г.
3. Геодезия и маркшейдерия, Автор: В.Н. Попов, В.А. Букринский, П.Н. Бруевич, Д.И. Боровский и др. Год: 2017, четвертое издание