

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)**

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ

Учебное пособие

Ухта, УГТУ, 2016

УДК 528.4:630*383(075.8)

ББК 26.1 я7+43.904.520 я7

О-75

Бурмистрова, О. Н.

О-75 Основы геодезии и топографии [Текст] : учеб. пособие / О. Н. Бурмистрова, Ю. Н. Пильник, С. И. Сушков, И. А. Ефимова. – Ухта : УГТУ, 2016. – 168 с. : ил.

ISBN 978-5-88179-944-1

Учебное пособие предназначено для студентов по направлению подготовки 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств.

В учебном пособии изложен лекционный и практический материал по курсу «Основы геодезии и топографии». Четыре раздела содержат в себе основные понятия о плане, карте, профиле, картографических проекциях и номенклатуре топографических карт, описываются методы работы с картой; освещаются общие сведения о топографических съёмках (методы создания съёмочного обоснования проложением теодолитных и нивелирных ходов, знакомство с геодезическими инструментами, способы измерения геодезических элементов и вычислительной обработки результатов измерений).

УДК 528.4:630*383(075.8)

ББК 26.1 я7+43.904.520 я7

Учебное пособие рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Ухтинского государственного технического университета.

Рецензенты: И. В. Григорьев, зав. кафедрой технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова, профессор, д.т.н.; Е. А. Чернышов, генеральный директор ООО «Тиманлес».

© Ухтинский государственный технический университет, 2016

© Бурмистрова О. Н., Пильник Ю. Н., Сушков С. И., Ефимова И. А., 2016

ISBN 978-5-88179-944-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ.....	6
1.1 Предмет и задачи геодезии и топографии	6
1.2 Краткий очерк развития геодезии и топографии.....	7
1.3 Общие сведения о Земле.....	11
1.3.1 Формы и размеры Земли	11
1.3.2 Понятие меридиана и параллели	13
1.3.3 Основные виды проекций	13
2. ПЛАН И КАРТА	18
2.1 Понятие о плане и карте	18
2.2 Путь создания карты	19
2.3 Содержание топографических карт	19
2.4 Система условных обозначений на картах	22
2.5 Общие правила чтения топографических карт	26
2.6 Масштаб.....	29
2.7 Определение по карте длины отрезка	31
2.8 Системы координат	32
2.8.1 Географические координаты	33
2.8.2 Определение географических координат по карте.....	34
2.8.3 Плоские прямоугольные координаты Гаусса – Крюгера	35
2.8.4 Определение прямоугольных координат по карте	37
2.8.5 Полярные координаты	40
2.8.6 Определение полярных координат.....	41
2.9 Ориентирование линии на местности	42
2.9.1 Построение графика ориентирования	45
2.10 Система разграфки и номенклатуры карт	49
2.11 Рельеф местности и его изображение на топографических картах.....	57
2.11.1 Решение задач по горизонталям	61
2.12 Рекомендации к выполнению работы с топографической картой	67
2.13 Определение площадей по картографическим материалам.....	68
3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ	74
3.1 Общие сведения.....	74
3.2 Угловые измерения	75
3.2.1 Теодолит, его устройство	75
3.2.2. Типы теодолитов	78

3.2.3. Теодолит Т30	79
3.2.4. Поверки и юстировки теодолита	81
3.2.5. Измерение горизонтальных углов	84
3.2.6 Измерение вертикальных углов.....	87
3.3 Измерение длин линий.....	90
3.3.1 Устройства для измерения длин линий.....	90
3.3.2 Измерение длин линий механическим прибором (на примере мерной ленты)	91
3.3.3 Поправки, вводимые в длины линии, измеренные механическими приборами	93
3.3.4 Измерение расстояний при помощи физико-оптических мерных приборов (на примере нитяного дальномера)	94
3.4 Измерение превышений.....	95
3.4.1 Нивелир.....	95
3.4.2 Устройство нивелира с цилиндрическим уровнем.....	96
3.4.3 Устройство нивелирных реек	97
3.4.4 Поверки и юстировки нивелиров	99
3.4.5 Подготовка нивелира для наблюдений	101
3.4.6 Работа на станции нивелирного хода.....	101
4. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ	104
4.1 Общие сведения о топографических съёмках	104
4.2 Геодезические сети	105
4.3 Основные геодезические задачи.....	108
4.4 Теодолитная съёмка	109
4.4.1 Сущность теодолитной съёмки	109
4.4.2 Способы съёмки ситуации	112
4.4.3 Обработка результатов теодолитной съёмки.....	114
4.4.4 Нивелирование	122
4.4.5 Обработка результатов технического нивелирования	126
4.4.6 Тахеометрическая съёмка	131
4.4.7 Вычислительная обработка результатов тахеометрической съёмки	133
4.4.8 Построение топографического плана.....	135
ГЛОССАРИЙ	143
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	150
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	151

ВВЕДЕНИЕ

В курсе лекций в общедоступной форме изложен лекционный и практический материал по курсу «Основы геодезии и топографии» для подготовки студентов по направлению 35.03.02 Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств.

Данное пособие состоит из четырёх глав.

В первой главе изложены основные сведения о геодезии и топографии, о форме и размерах Земли.

Во второй главе представлены методы работы с картой и планом, даны понятия о масштабе, системе координат, номенклатуре карты, рельефе. Приводятся примеры решения задач по карте. По карте выполняется первое практическое задание.

В третьей главе рассмотрены основные геодезические приборы (теодолит, нивелир) и приёмы измерений ими на местности (измерение углов, превышений). Даны рекомендации по выполнению практических работ с приборами.

Четвёртая глава посвящена съёмке местности, рассмотрена теодолитная съёмка, нивелирование и тахеометрическая съёмка. Подробно раскрыт вопрос камеральной обработки теодолитного хода, технического нивелирования и тахеометрической съёмки с построением плана местности. На основании полученных знаний выполняются практические задания и по результатам расчётов строится план местности.

Проверка и закрепление полученных знаний производится во время прохождения учебной геодезической практики.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ

1.1 Предмет и задачи геодезии и топографии

Слово «*геодезия*» образовано из греческих слов «*ge*» – земля и «*dazomai*» – разделяю, делю на части; если перевести его дословно, то получится «землеразделение».

В настоящее время *геодезия* – это наука, рассматривающая методы и способы измерения земной поверхности, применение которых даёт возможность определять форму и размеры Земли, а также производить съёмку (измерения) отдельных её частей для изображения на картах, планах, используемых для создания различных инженерных сооружений.

Значение геодезии очень велико, например, для государственного планирования и развития производительных сил страны необходимо изучать её территорию в топографическом отношении. Топографические карта и планы, создаваемые геодезистами, нужны всем, кто работает или передвигается по Земле: геологам, морякам, лётчикам, проектировщикам, строителям, земледельцам, лесоводам, туристам и т. д.

Геодезия включает в себя:

- *Высшую геодезию* – изучает фигуру и размер Земли, методы определения координат точек на поверхности для территории всей страны.
- *Космическую геодезию* – решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников земли.
- *Топографию* – рассматривает способы изучения земной поверхности и изображение её на картах и планах.
- *Фотограмметрию* – решает задачи измерений по аэро-, фото- и космическим снимкам для различных целей.
- *Инженерную геодезию* – изучает методы геодезического обеспечения при разработке проектов строительства, эксплуатации различных сооружений, а также при изучении, освоении и охране природных ресурсов.
- *Маркшейдерю (подземная геодезия)* изучает методы проведения геодезических работ в подземных горных выработках.

Одним из больших разделов геодезии является топография. *Топография* (от греч. «*topos*» – место, местность и «*grapho*» – пишу), научно-техническая дисциплина, изучающая земную поверхность и размещённые на ней объекты в геометрическом отношении, с целью изображения их на топографических картах, планах и профилях. Главной задачей топографии является создание топографических карт и планов.

В своей теории и практическом применении топография использует достижения целого ряда наук: математики, физики, электроники и др. Большое значение топография имеет для изучения географических дисциплин картографии, геоморфологии, почвоведения, геологии, ландшафтоведения и др. В задачу картографии входят вопросы теории и способов изображения на плоскости частей земной поверхности (отдельных государств, материков, земного шара), а также разработка методов и процессов создания и использования различных карт.

Значение топографии для науки и практики трудно переоценить. Особенно велика роль топографии при картографировании природной среды. Описания местности не могут заменить топографических карт и планов, на которых наглядно передаются все подробности местности. Топографические карты являются необходимыми при проведении полевых экспедиционных работ и представляются незаменимыми при выполнении картометрических исследований. Созданные топографические карты являются основным материалом для составления общегеографических карт.

Большая роль принадлежит *топографии и геодезии* в народном хозяйстве. Геодезические измерения предшествуют многим основным видам деятельности в развитии народного хозяйства страны. Геодезические измерения производятся на поверхности Земли и в её недрах, в приземных слоях атмосферы, в океанах и морях.

Геодезические изыскания выполняются на стадии проектирования, строительства и реконструкции населённых пунктов, железных и шоссейных дорог, тоннелей, мостов, магистральных нефте- и газопроводов, и других объектов, а также для наблюдений за сдвигом и осадкой крупных сооружений.

Огромное значение геодезические работы имеют в сельском хозяйстве, с которым геодезия связана с древних времён. Проведение землеустроительных работ, направленных на рациональное использование земельных ресурсов, учёт сельскохозяйственных земель и их качества, строительство гидромелиоративных и гидротехнических сооружений – все это тесно связано с геодезическими измерениями.

Геодезические работы разделяются на *полевые* и *камеральные*

– *Полевые работы* состоят из измерений горизонтальных и вертикальных углов, а также горизонтальных, наклонных и вертикальных расстояний.

– *Камеральные работы* состоят из вычислений результатов полевых измерений и графических построений.

1.2 Краткий очерк развития геодезии и топографии

Истоки зарождения геодезии и топографии проследить исторически трудно. Вероятно, они относятся к тому времени, когда люди начали пользоваться землёй

для выращивания сельскохозяйственных культур. Поэтому возникла необходимость в делении земли, установлении площади её отдельных участков. Позже методы геодезии потребовались для строительства оросительных и осушительных систем, разного рода инженерных сооружений.

Считается, что возникновение геодезии связано с деятельностью человека в плодородных долинах рек Нила, Тигра и Евфрата. В Египте сохранились древнейшие инженерные сооружения, строительство которых было невозможно без хорошо разработанных геодезических методов измерений. В 6 тысячелетии до н. э. был построен канал, соединяющий р. Нил с Красным морем. В 5 тысячелетии до н. э. проводились большие ирригационные работы на р. Нил и мероприятия по осушению болот и регулированию водных ресурсов. В это же время в Египте были построены грандиозные сооружения (пирамида Хуву с квадратным основанием, сторона которого равна 227,5 м, и высотой 137,2 м, а также пирамида Хофры и др.). Возведение подобных сооружений, несомненно, было связано с геодезическими работами.

Однако геодезия, как наука, с разработкой соответствующих теоретических обоснований и методов оформилась несколько позже в Древней Греции и получила дальнейшее развитие в Древнем Риме.

В V в. до н. э. греческий учёный Парменид высказал предположение о шарообразности Земли. Доказательства этой гипотезы привёл в своих сочинениях Аристотель (384–322 гг. до н. э.). Он же ввёл термин «геодезия» и относил эту науку к отрасли знаний связанной с астрономией и географией.

Выдающийся астроном и географ, глава Александрийской библиотеки Эратосфен (276–194 гг. до н. э.) в своём труде «Географика» подробно рассмотрел вопрос о фигуре Земли, привёл данные о размерах и форме её обитаемой части – ойкумены и показал последнюю на карте. Ему же принадлежит и наиболее близкое к действительности определение длины земного меридиана.

Развитие современных методов при выполнении геодезических работ относится к XVII в. Большим шагом вперёд явилась разработка голландским учёным В. Снеллиусом метода триангуляции, благодаря которому стало возможным проводить на земной поверхности линейные измерения огромной протяжённости, что позволило определять длины дуг параллелей и меридианов Земли. Во второй половине XVII в. появились первые геодезические приборы с оптической трубой – нивелиры. Теодолит с оптической трубой был изобретён лишь в конце XVIII в. английским механиком Рамсденом.

До конца XVII в. при определении размеров Земли исходным считалось, что Земля – шар. Ньютон (1643–1727) на основе открытого им закона всемирного тяготения теоретически обосновал неизбежность сплюснутости Земли

у полюсов, если она когда-то была в огненно-жидком состоянии. Для проверки этой теории французская академия наук произвела геодезические измерения в Перу в 1735–1742 гг. по дуге пересекающей экватор и в 1736–1737 гг. в Лапландии на широте около 66° . Эти исследования подтвердили теорию Ньютона.

В конце XVIII в. французские учёные Ж. Деламбр и П. Мешен измерили дугу меридиана от Барселоны до Дюнкерка. На основе этих измерений были получены одни из первых точных данных о размерах земного эллипсоида и принята мера длины линий – метр, как одна десятиmillionная часть четверти дуги Парижского меридиана.

Большой вклад в развитие топографии и геодезии внесли немецкие учёные К. Гаусс (теория ошибок измерений, общая теория изображения сферической поверхности на плоскости с сохранением равноугольности) и Ф. Бессель (определение параметров земного эллипсоида).

В России геодезия и топография получили широкое развитие при Петре I. В 1701 г. в Москве была построена первая в России школа математических и навигационных наук, в задачу которой входила подготовка навигаторов и геодезистов. В 1715 г. в Санкт-Петербурге была открыта морская академия с классом геодезии. В 1721 г. была разработана первая в России Инструкция по выполнению топографических съёмок, на основе которой были составлены карты 164 уездов Европейской части России и 26 уездов Сибири. Большим значением для развития геодезии было открытие в 1739 г. Географического департамента. Вскоре были изданы первые учебники по геодезии «Практическая геометрия» С. Назарова и «Первые основания геодезии» С. К. Котельникова.

В 1779 г. в Москве была основана Межевая школа, впоследствии – Межевый институт – высшее учебное заведение по подготовке геодезистов. К концу XVIII в. на территории России были определены координаты 67 астрономических пунктов. В 1797 г. было создано Депо карт, преобразованное в 1812 г. в Военно-топографическое депо, а затем в 1822 г. – в Корпус военных топографов. Наряду с Корпусом военных топографов геодезические работы выполняли Переселенческое управление, Межевое ведомство, Главное гидрографическое управление, Горное ведомство, Министерство путей сообщения, Русское географическое общество.

Геодезические работы по определению формы и размеров Земли в России были начаты в 1816 г. геодезистами академиком Петербургской Академии наук, директором Пулковской обсерватории В. Я. Струве (1793–1864) и почётным членом Петербургской Академии наук, генералом К. И. Теннером (1783–1860). Градусное измерение дуги меридиана протяжённостью $25^\circ 20'$ от устья р. Дунай до Ледовитого океана (г. Фугленс, Норвегия).

Большой вклад в развитие геодезии в России в XIX в. внёс профессор А. П. Болотов, который в 1845 г. издал учебник «Курс высшей и низшей геодезии». Развитию геодезической теории и практики в то время содействовали научные труды учёных-геодезистов А. А. Тилло, В. В. Витковского, Ф. А. Слудского, А. Н. Савича, Д. Д. Геденова и др.

В конце 1920-х гг. Ф. Н. Красовский разработал программу развития ГГС. Созданная по этой программе единая астрономо-геодезическая сеть не имела аналогов в мировой практике по стройности построения и точности. В 1940 г. под руководством Ф. Н. Красовского и А. А. Изотова были вычислены новые размеры Земли, принятые для геодезических и картографических работ на территории СССР. Таким образом, была создана единая государственная опорная геодезическая сеть.

Современная геодезия и топография решает множество задач. Прежде всего очевидна её роль в создании карт больших и малых территорий (соответственно географических и топографических). Но не только: геодезия совместно с астрономией, гравиметрией (наукой об измерении ускорения силы тяжести), геофизикой, геодинамикой и другими науками о Земле позволяет определять геометрические и геофизические параметры планеты, находить вариации скорости её вращения, учитывать движение полюсов, изучать деформации земной коры, осуществлять прецизионный контроль инженерных сооружений. В отдельные дисциплины выделились морская геодезия, прикладная геодезия, космическая (спутниковая) геодезия. Но при всем разнообразии решаемых задач и областей применения собственно геодезические измерения сводятся к определению всего трёх геометрических величин: расстояний, углов и превышений (разностей высот точек). Эти величины могут быть полезны и сами по себе, особенно в прикладной геодезии (на стройплощадках, при разметке местности), но, главное, они позволяют вычислить координаты определяемых точек. Координаты – вот что интересует чаще всего; они нужны и морякам, и авиаторам, и военным, и участникам экспедиций, и строителям.

За последние двадцать лет произошёл новый качественный скачок, который можно назвать второй революцией в геодезии и топографии. Появились глобальные спутниковые системы, кардинально изменившие ситуацию в геодезии и навигации. Они позволяют сразу же, без всяких предварительных измерений, определять координаты любых точек на поверхности Земли и находить расстояние между ними с высокой точностью.

Геодезия и топография играют важную роль в городском и линейном строительстве. Сейчас развитие населённых пунктов и городов невыполнимо без подробного топографического плана, в котором подробно отображены все

подземные коммуникации. На топографических картах также подробно показан рельеф и названия улиц с номерами домов.

Геодезические работы предшествуют проектированию как мелких, так и крупных объектов строительства, осуществляют контроль строительства, сопровождают строительство, а при окончании строительства создаётся исполнительная съёмка, в которой чётко отображены все деформации и отклонения от проекта.

Также большую роль геодезические работы играют при оформлении земли в собственность. Ведь любая сделка с участками в настоящий момент требует межевого плана, а составление межевого плана без геодезических работ невозможно. Сейчас изучением геодезии и топографии как основных наук занимаются многие колледжи и университеты.

1.3 Общие сведения о Земле

1.3.1 Формы и размеры Земли

Физическая поверхность Земли представляет собой сочетание возвышенностей и углублений, которые, как правило, заполнены водой, поскольку большую часть поверхности составляет поверхность океанов и морей, то за общую фигуру Земли приняли очертание поверхности воды в спокойном её состоянии мысленно продолженным под материками. В любой точке эта поверхность перпендикулярна и т. о. везде горизонтальна, такая поверхность называется *уровенной*, приуроченная к среднему уровню океана, и называется *среднеуровенной поверхностью* (рис. 1.1).

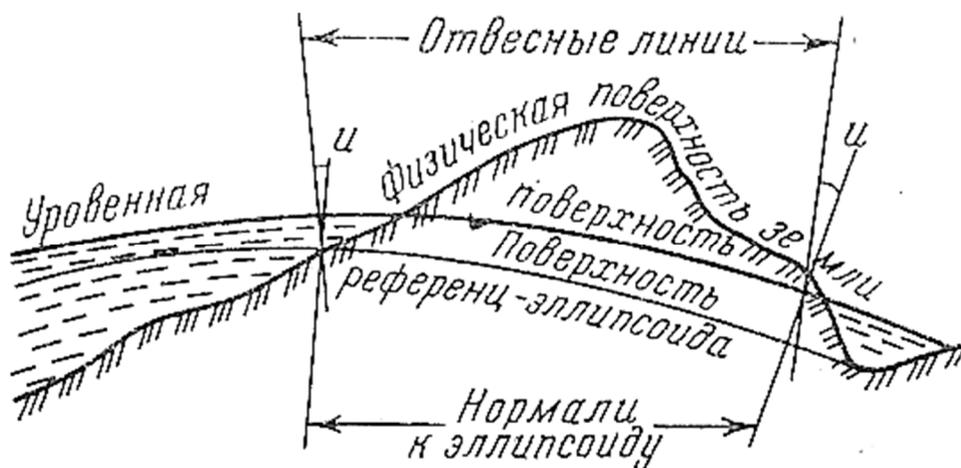


Рисунок 1.1 – Форма Земли

Тело, ограниченное среднеуровенной поверхностью, называется *геоидом*. Вследствие неравномерности распределения масс в земной коре поверхность

геоида не является правильной геометрической поверхностью, поэтому для изучения фигуры Земли используют правильное тело – эллипсоид вращения, фигура, которая близка к геоиду. Она характеризуется большой и малой полуосями и полярным сжатием (рис. 1.2).

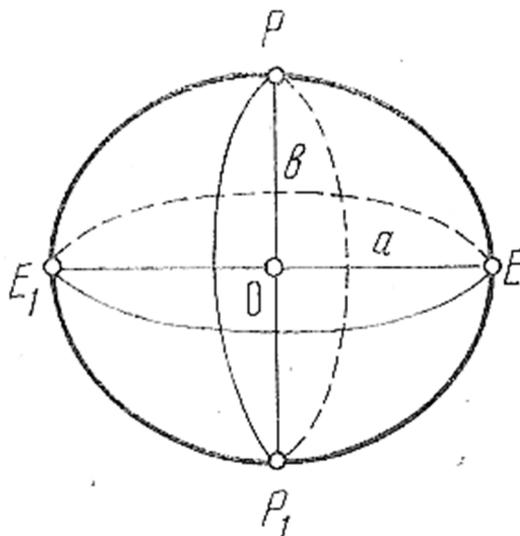


Рисунок 1.2 – Земной эллипсоид

Для территории нашей страны принят *референц-эллипсоид Красовского* параметры которого соответствуют следующим значениям (рис. 1.3):

- большая полуось (экваториальный радиус – расстояние от центра планеты до экватора) $A = 6\,378\,245$ м;
- малая полуось (полярный радиус – расстояние от центра планеты до полюса) $B = 6\,356\,863$ м;
- полярное сжатие $1/298,3$.

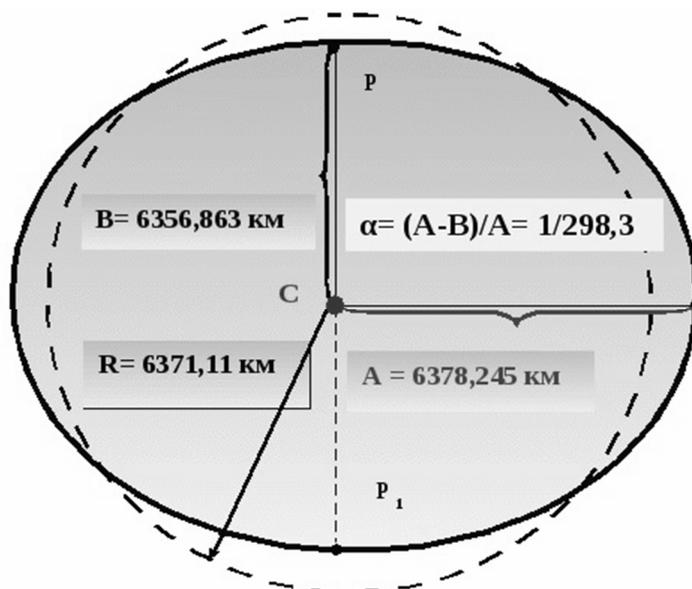


Рисунок 1.3 – Референц-эллипсоид Красовского

Как видно, разница полярного и экваториального радиусов составляет ≈ 21 км.

В практических расчётах Землю принимают за шар со средним радиусом $R = 6371,11$ км.

1.3.2 Понятие меридиана и параллели

Меридиан – линия пересечения с поверхностью Земли плоскости W , проходящей через ось вращения (рис. 1.4). Меридиан, проходящий через определённую точку Гринвичской обсерватории (Англия), называют *Гринвичским (нулевым, начальным) меридианом*.



Рисунок 1.4 – Понятие меридиана и параллели

Параллель – линия пересечения с поверхностью Земли плоскости V , перпендикулярной к оси вращения. Самая большая параллель называется *экватором* (рис. 1.4).

Параллель – замкнутая линия. Меридиан – тоже замкнутая линия, но в различных задачах и определениях меридианом является линия в плоскости W от точки северного полюса до точки южного полюса.

1.3.3 Основные виды проекций

Проекция – это изображение какого-либо объекта на плоскости. Для получения изображения поверхности Земли на плоскости необходимо выполнить т. наз. картографическое проектирование, которое должно обеспечивать получение изображения по возможности с наименьшими искажениями. В связи

с этим картографическую проекцию можно определить как способ изображения земной поверхности на плоскости.

При проектировании поверхности Земли на плоскость необходимо выполнить требование непрерывности изображения без каких-либо разрывов. При этом каждой точке земной поверхности на изображении (карте) должна соответствовать только одна точка.

Существует четыре вида искажений:

- *искажение длин*, что приводит к изменениям масштаба изображения при перемещениях по карте;
- *искажение площадей*, проявляющееся в изменении масштаба площадей фигур при перемене места;
- *искажение углов*, определяющееся различиями в значениях горизонтальных углов, измеренных на изображении и на местности;
- *искажение форм*, определяемое нарушением действительных форм объектов с их изображением.

Для изображения сфероидической поверхности Земли на горизонтальной плоскости используются различные методы (*сфероидическая поверхность* – это поверхность, образованная от вращения эллипса вокруг малой оси). При этом во всех случаях в качестве поверхности, на которую производят проецирование, используют плоскость и поверхности второго порядка, разворачивающиеся в плоскость без искажений. Такими поверхностями являются цилиндр (с основанием в виде круга или эллипса) и коническая поверхность (с основанием в виде круга или эллипса).

Все проекции по характеру искажений подразделяются на *равновеликие, равноугольные и произвольные* (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Классификация проекций по характеру искажений

Равновеликие проекции передают без искажений площади любых фигур на эллипсоиде и карте.

Равноугольные (конформные) проекции сохраняют углы и направления при передаче их с эллипсоида на карту. В этих проекциях сохраняется подобие малых фигур.

В *произвольных проекциях* могут быть искажения фигур и направлений, однако при этом является известным суть искажений, поскольку и произвольная проекция строится по каким-либо строгим математическим зависимостям. Примером произвольной проекции может служить *равнопромежуточная проекция*, в которой сохраняется масштаб изображения по одному из направлений (меридианам или параллелям).

Для получения непрерывного изображения местности на плоскости разработаны способы, позволяющие проектировать всю земную поверхность на вспомогательную поверхность (цилиндрическую, коническую или плоскость).

Поверхности, на которые проектируют земной шар, могут быть *касательными* к шару, либо *секущими*, при этом в том и другом случаях могут быть по-разному ориентированы относительно основных геометрических элементов земного шара: оси вращения Земли и плоскости экватора. По способу ориентирования вспомогательных геометрических поверхностей проекции делят на следующие (рис. 1.6):

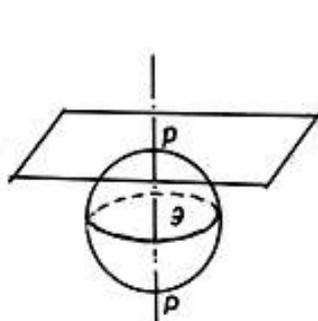
- *полярные (нормальные)*, в которых плоскость проектирования касается поверхности земного шара в точке полюса, или ось цилиндра (или конуса) совпадает с осью вращения Земли;
- *экваториальные (поперечные)*, в которых плоскость проектирования касается экватора в какой-либо точке, либо ось цилиндра (или конуса) совпадает с плоскостью экватора;
- *косые (горизонтальные)*, в которых плоскость проектирования касается земного шара в любой заданной или выбранной точке.

В зависимости от положения вспомогательной поверхности относительно поверхности земного эллипсоида проекции можно условно подразделить на *касательные* и *секущие* (рис. 1.7).

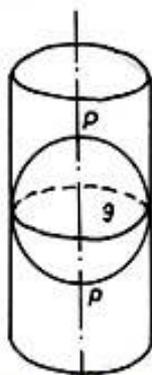
Касательная плоскость в азимутальных проекциях имеет только одну общую точку с поверхностью земного эллипсоида. Эта точка является *точкой нулевых искажений*. Секущая плоскость в азимутальных проекциях образует с поверхностью земного эллипсоида линию пересечения, являющуюся *линией нулевых искажений*. В касательных конических и цилиндрических проекциях имеется одна линия касания (линия нулевых искажений), а в секущих – две.

В каких-то случаях в секущих проекциях обе линии пересечения могут и не изобразиться на той или иной карте, но только по причине ограничения изображаемой территории в соответствии с назначением карты.

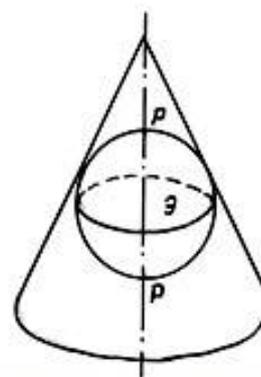
Нормальные



**азимутальные
полярные**

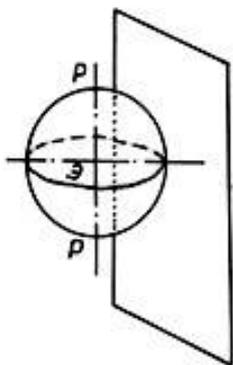


цилиндрические

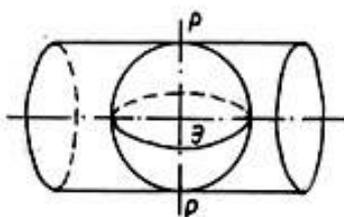


конические

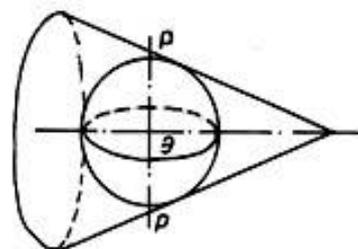
Поперечные



**азимутальные
экваториальные**

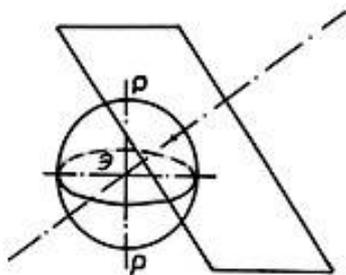


цилиндрические

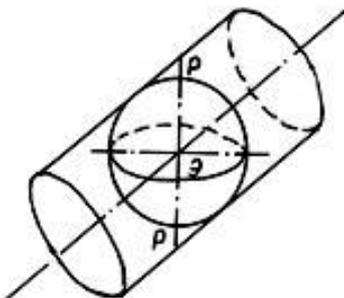


конические

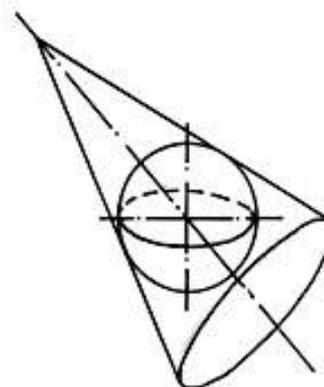
Косые



**азимутальные
горизонтальные**



цилиндрические



конические

Рисунок 1.6 – Классификация проекций по способу ориентирования вспомогательных геометрических поверхностей

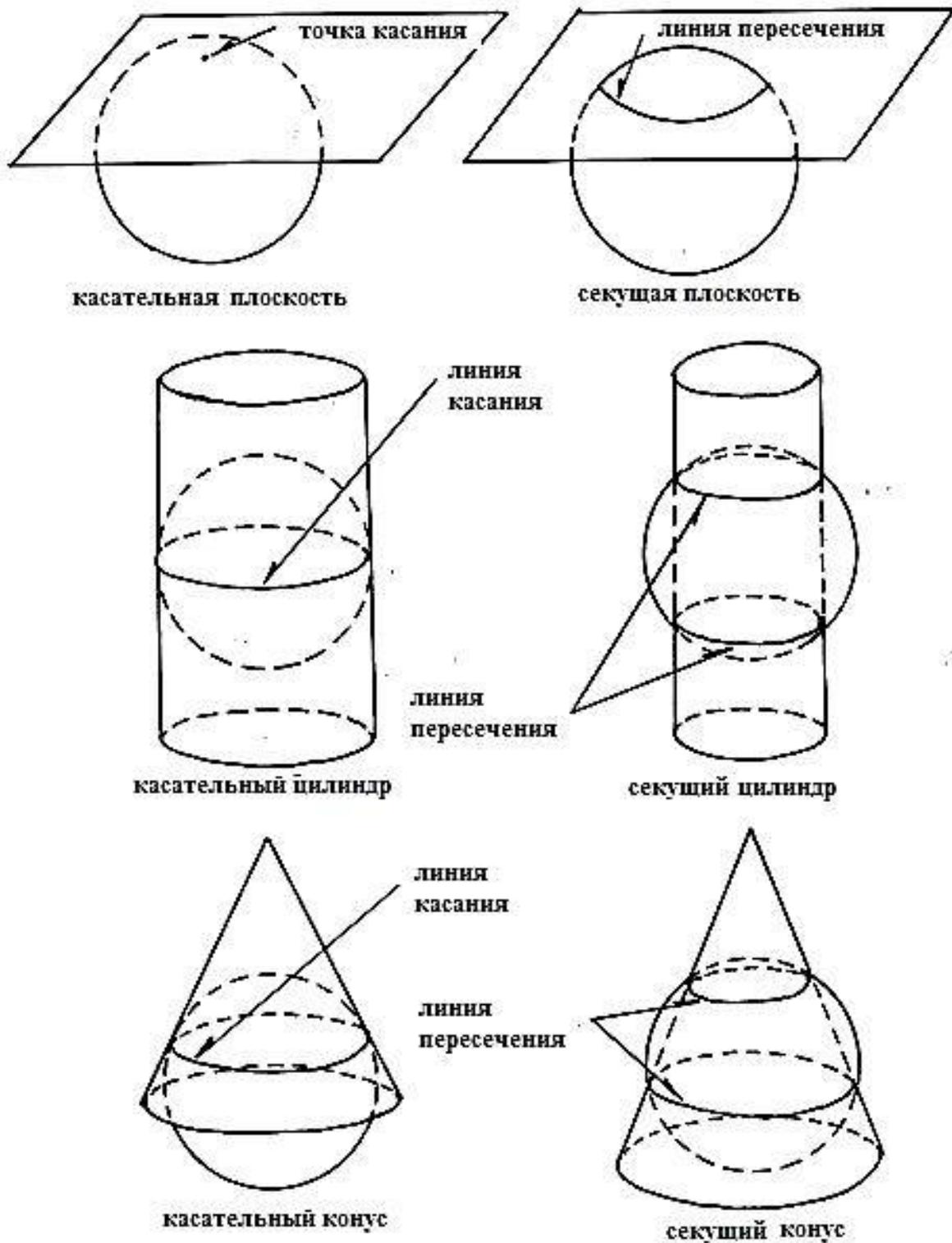


Рисунок 1.7 – Классификация проекций в зависимости от положения вспомогательной поверхности

2. ПЛАН И КАРТА

2.1 Понятие о плане и карте

Изображения земной поверхности на бумаге представляют в виде планов и карт.

Планом называют уменьшенное и подобное изображение небольших по площади участков земной поверхности, полученное с помощью горизонтальной проекции и построенное без учёта кривизны Земли.

Планы строят в системе прямоугольных геодезических координат в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

В зависимости от назначения составляют планы:

- *контурные;*
- *топографические.*

На *контурных планах* условными знаками изображают только контуры (очертания) горизонтальных проекций контуров и предметов местности (строев, дорог, насаждений и т. п.). Совокупность предметов местности и контуров, нанесённых на план, называют *ситуацией плана*.

На *топографических планах* кроме ситуации изображают рельеф местности.

Картой называют подобное, уменьшенное и построенное по определённым математическим законам изображение значительного участка земной поверхности на горизонтальной плоскости с учётом кривизны Земли.

Карты имеют *картографическую сетку* – это пересечение параллелей и меридианов.

Карты принято подразделять по содержанию, назначению и масштабу. По содержанию карты бывают:

- *общегеографические;*
- *тематические.*

По назначению:

- *универсальные;*
- *специальные.*

Общегеографические карты отображают земную поверхность с показом всех её основных элементов (населённые пункты, гидрография и т. д.).

К *тематическим картам* относят карты, основное содержание которых определяется отображаемой конкретной темой. На них с большей детальностью отображаются отдельные элементы местности или наносятся специальные данные, не показанные на общегеографических картах (отдельные явления природы или общества, например карта плотности населения, и т. д.).

К *общегеографическим картам* относят и *топографические карты*, которые представляют собой подробные карты местности, позволяющие определять как плановое, так высотное положение точек на земной поверхности. Эти карты являются крупномасштабными. Они служат основой для составления общегеографических карт более мелкого масштаба.

По масштабам карты условно делят на три вида:

- *крупномасштабные* (1:100 000 и крупнее);
- *среднемасштабные* (1:100 000–1:1 000 000);
- *мелкомасштабные* (мельче 1:1 000 000).

2.2 Путь создания карты

Мало кто знает, каких усилий стоит создание карты. В неё вложен кропотливый и нелёгкий, зачастую полный лишений труд многих людей различных специальностей. Лётчики произвели аэрофотосъёмку, геодезисты создали каркас карты в виде пунктов триангуляции, фотограмметристы и топографы выполнили дешифрирование аэроснимков, показали условными знаками предметы местности и зарисовали рельеф, картографы отредактировали содержание карты, чертёжники оформили издательский оригинал и, наконец, картоиздатели отпечатали тираж (рис. 2.1).

Так, пройдя большой путь, рождается топографическая карта – подробная и точная красочная картина местности.

Не всегда карта была такой точной и подробной, и не всегда проходила она такой путь. Но общим в «биографии» карты остаётся одно: она рождается в результате съёмки местности. Способов съёмки существует много – от простейших, в результате которых получают схематические карты, до самых совершенных, с применением сложнейшей аппаратуры, обеспечивающей высокую точность.

2.3 Содержание топографических карт

Листы топографических карт (рис. 2.2) имеют три рамки: *внешнюю (оформительскую)*, *внутреннюю (картографическую)* и *минутную*. Над северной внешней рамкой указана номенклатура листа карты (её обозначение и название наиболее крупного населённого пункта) – *У-34-37-В-в (снов)*. Под южной внешней рамкой в центре указан масштаб карты в трёх видах: численный (например, 1:10 000), именованный (в 1 см 100 м) и линейный (графическое построение).

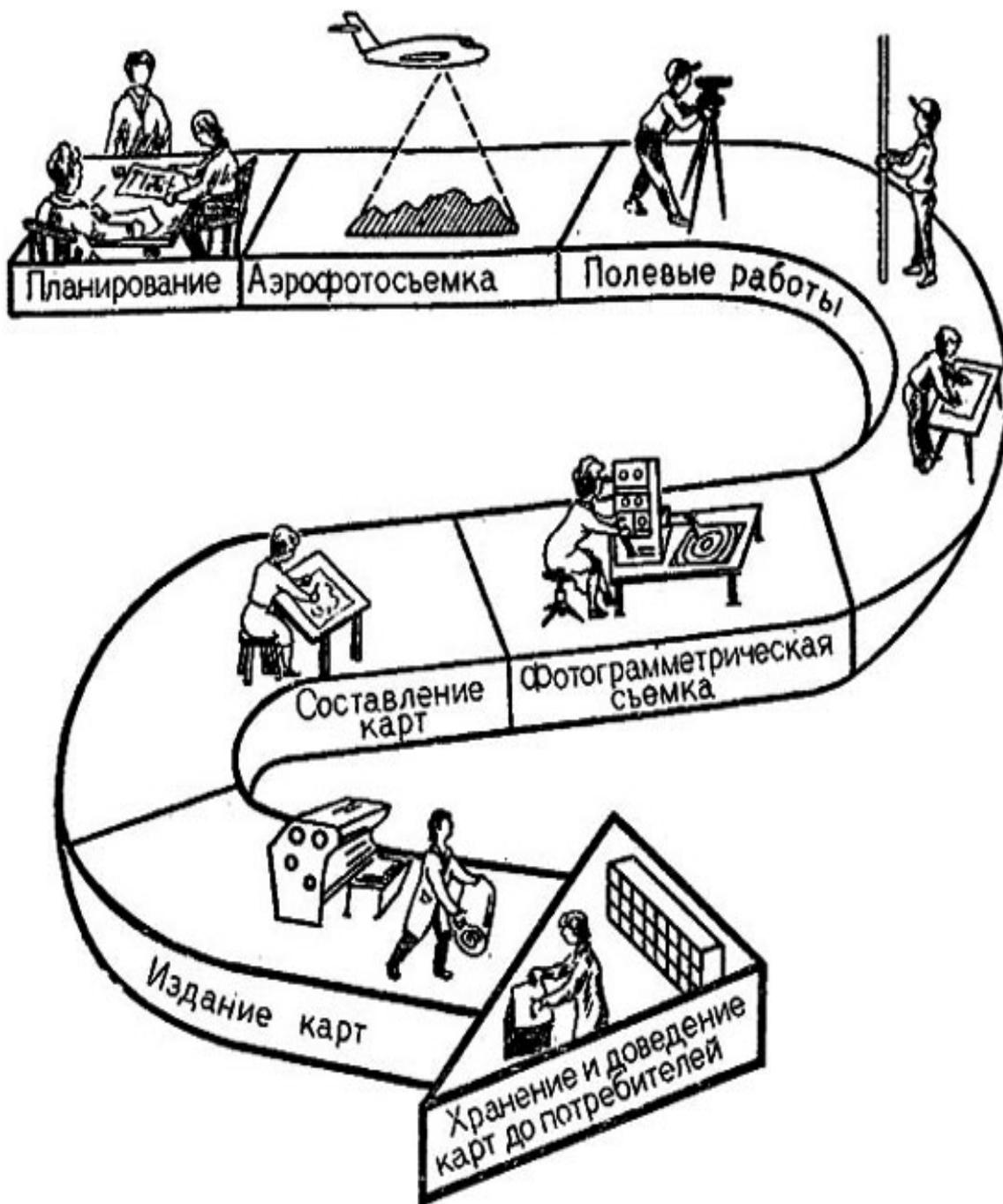


Рисунок 2.1 – Путь создания карты

Под линейным масштабом подписана высота сечения рельефа и принятая система отсчёта высот. Слева от масштаба приведены сведения о среднем значении сближения меридианов, склонения магнитной стрелки и приведены схемы взаимного расположения истинного меридиана, магнитного меридиана и осевого меридиана (линия сетки) для местности, изображённой на этой карте (*график ориентирования*). Справа от масштаба приводится *график масштаба заложений*.

Внутренняя (картографическая) рамка карты представлена изображениями параллелей (южной и северной) и меридианов (западного и восточного).

ЧАСТЬ ЛИСТА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ
 минутная рамка внутренняя рамка

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

Издание 1966г.

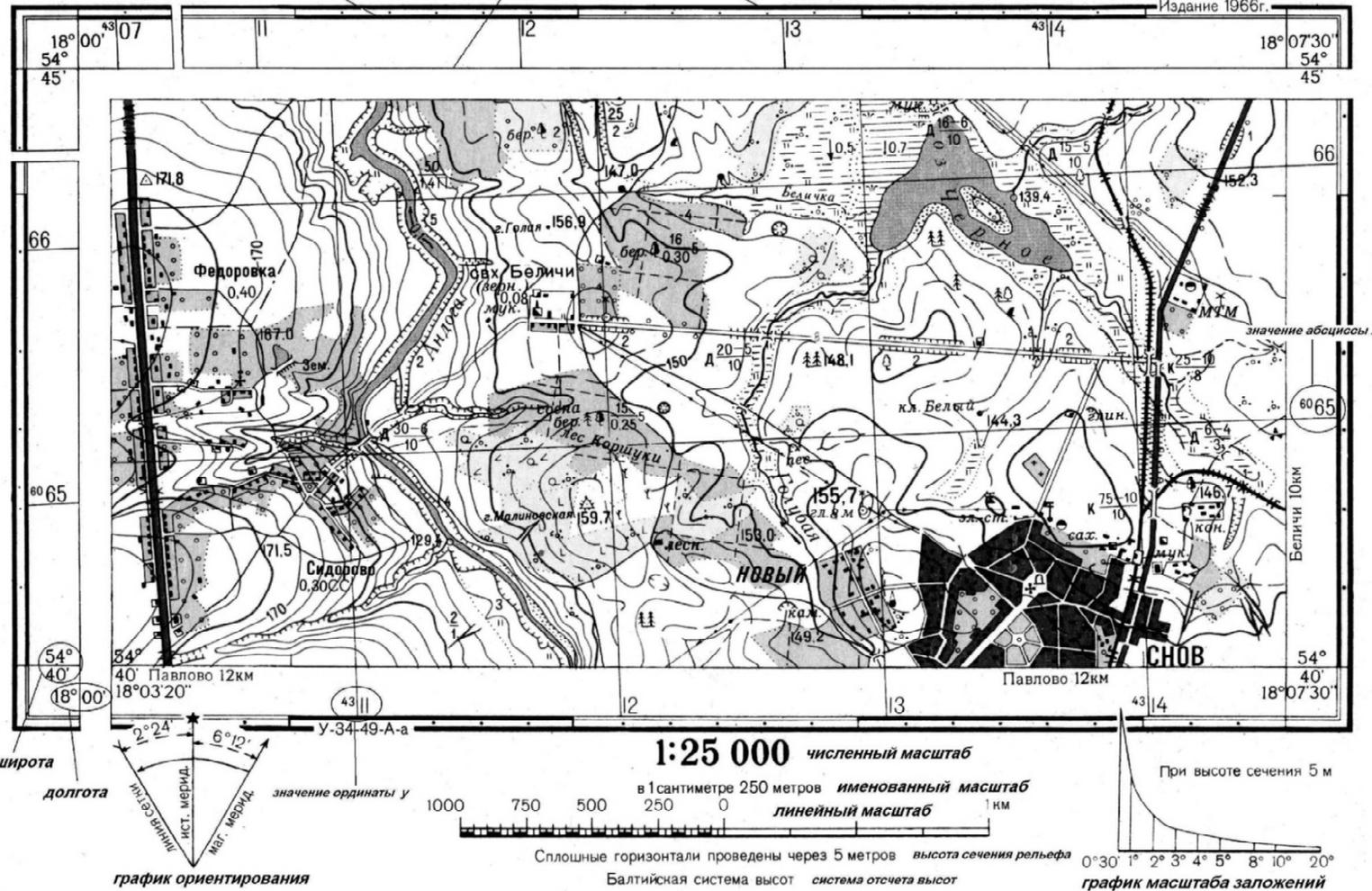


Рисунок 2.2 – Часть листа топографической карты

Между внутренней и внешней рамками имеется минутная рамка (в виде шкалы). Одно деление шкалы – минута. Каждая минута разбита точками на отрезки по $10''$. Точки показаны между минутной и внешней рамками. На некоторых картах точки не показаны. На западной и восточной сторонах показаны шкалы широт, на северной и южной сторонах – шкалы долгот.

В каждом углу карты между внутренней и минутной рамками подписаны значения географических координат: широт и долгот. Долгота западного меридиана карты $18^{\circ}00'$; долгота восточного меридиана карты $18^{\circ}07'30''$; широта южной параллели карты $54^{\circ}40'$; широта северной параллели карты $54^{\circ}45'$.

На карте нанесены линии километровой сетки, оцифровка которых производится в соответствии с прямоугольной зональной системой координат Гаусса. Оцифровка сетки приведена между внутренней и минутной рамками и может содержать либо две последние цифры километров, либо полное значение (для крайних линий сетки). Вдоль западной и восточной сторон указаны значения абсцисс X , по южной и северной сторонам – значения ординат Y . Минимальное значение абсциссы километровой линии на карте 6 065 км; максимальное значение абсциссы километровой линии на карте 6 066 км. Минимальное значение ординаты километровой линии на карте 4 311 км; максимальное значение ординаты километровой линии на карте 4 314 км.

Между линиями внутренней рамки даётся изображение местности в условных топографических знаках.

2.4 Система условных обозначений на картах

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.

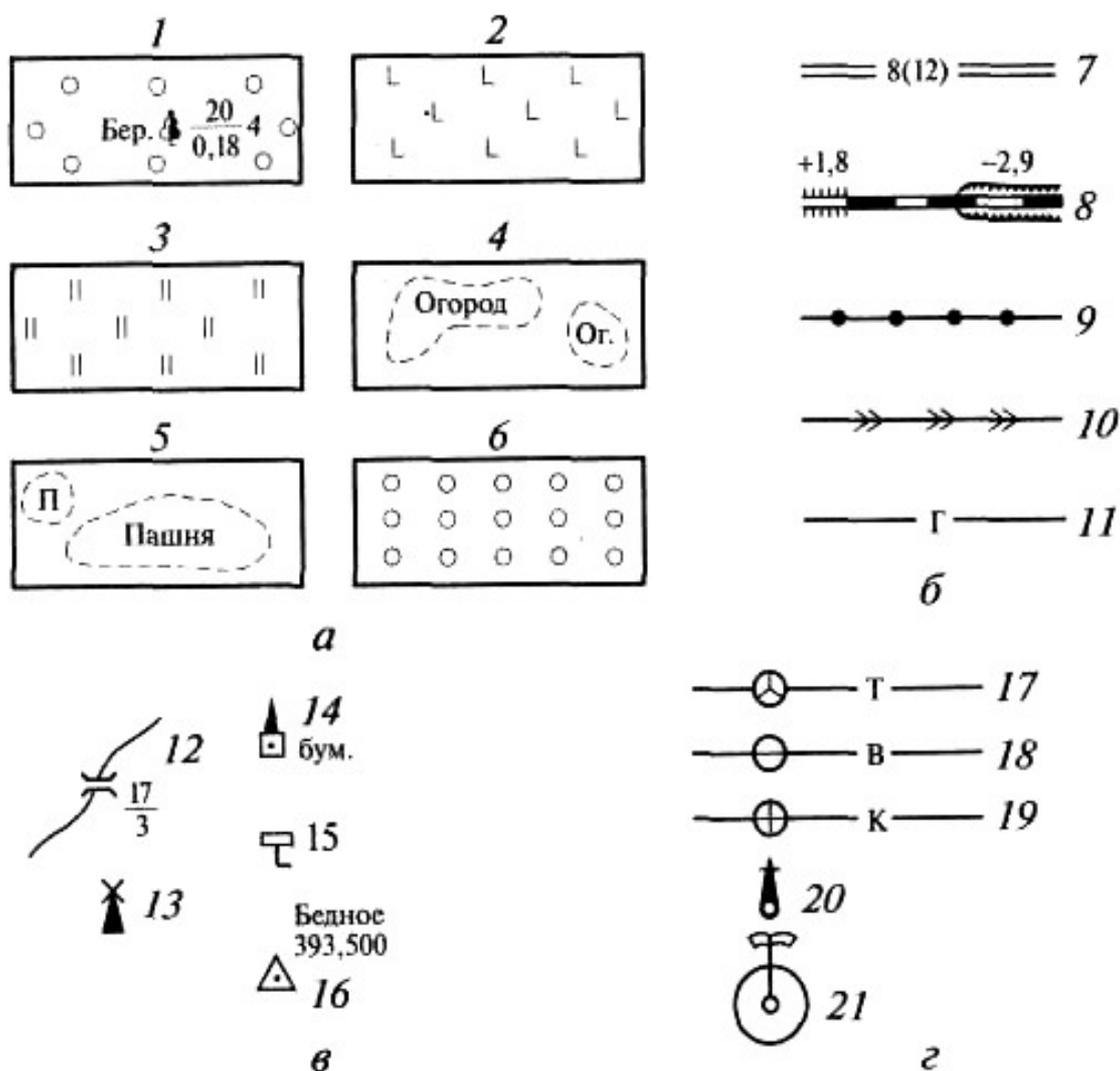
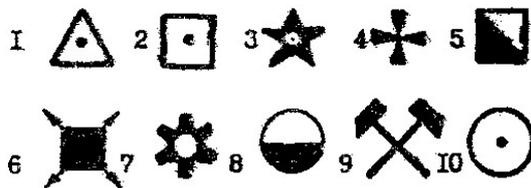


Рисунок 2.3 – Условные знаки:

- 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

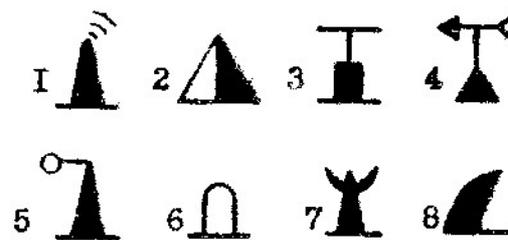
Геометрический центр фигуры

- 1 – пункты геодезической сети;
- 2 – точки съёмочной сети, закреплённые на местности центрами;
- 3 – астрономические пункты;
- 4 – церкви;
- 5 – заводы, фабрики и мельницы без труб;
- 6 – электростанции;
- 7 – водяные мельницы и лесопилки;
- 8 – склады горючего и газгольдеры;
- 9 – шахты и штольни действующие;
- 10 – нефтяные и газовые скважины без вышек.



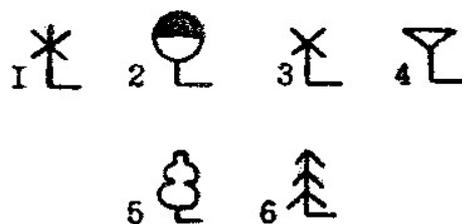
Середина основания знака

- 1 – заводские и фабричные трубы;
- 2 – терриконы;
- 3 – телеграфные и радиотелеграфные контро-ры и отделения, телефонные станции;
- 4 – метеорологические станции;
- 5 – семафоры и светофоры;
- 6 – памятники, монументы, братские могилы, туры и каменные столбы высотой более 1 м;
- 7 – буддийские монастыри;
- 8 – отдельно лежащие камни.



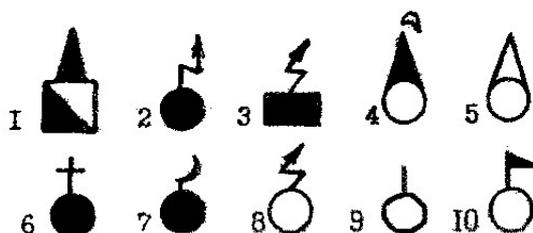
Вершина прямого угла у основания знака

- 1 – ветряные двигатели;
- 2 – бензоколонки и заправочные станции
- 3 – ветряные мельницы;
- 4 – постоянные знаки речной сигнализации;
- 5 – отдельно стоящие лиственные деревья;
- 6 – отдельно стоящие хвойные деревья.



Геометрический центр нижней фигуры

- 1 – заводы, фабрики и мельницы с трубами;
- 2 – будки трансформаторные;
- 3 – радиостанции и телецентры;
- 4 – нефтяные и газовые вышки;
- 5 – сооружения башенного типа;



- 6 – часовни;
- 7 – мечети;
- 8 – радиомачты и телевизионные мачты;
- 9 – печи для обжига извести и древесного угля;
- 10 – мазары, суборганы.

Этими главными точками необходимо пользоваться при точных измерениях расстояний между объектами по карте и при определении координат объектов. К немасштабным условным знакам относятся такие знаки дорог, ручьев и других линейных объектов, у которых в масштабе выражается только длина, ширина же не может быть измерена по карте. Точное положение таких объектов на местности соответствует продольной оси (середина) знака на карте.

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

Специальные условные знаки (рис. 2.3, з) 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; шоссежных дорог – красный; улучшенных грунтовых дорог – оранжевый.

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

2.5 Общие правила чтения топографических карт

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.

2.6 Масштаб

Топографические планы и карты изображают в определённых численных масштабах.

Масштабом называется отношение длины линии на плане или карте к соответствующей ей горизонтальной проекции линии местности.

Различают два вида масштабов: *численные* и *графические* (рис. 2.4).

Численный масштаб – это дробь, в числителе которой всегда единица, а в знаменателе число, показывающее степень уменьшения при изображении предмета на планах (чертежах).

Численный масштаб записывается выражением:

$$M = 1 : m,$$

например, $M = 1:25\ 000$.

Он обычно сопровождается словесным описанием, например: «*в одном сантиметре 250 метров*»; такая словесная форма выражения масштаба называется именованным масштабом и в развёрнутом виде звучит так: «*в одном сантиметре карты содержится 250 метров местности*». Так как при описании масштабов числитель и знаменатель содержат одни и те же единицы измерения,

то для перевода численного масштаба в именованный от сантиметров в знаменателе нужно перейти к метрам, т. е. разделить знаменатель на 100.

При пользовании численным масштабом каждый раз приходится производить вычисления, что при большом числе измерений неудобно и непроизводительно.

Чтобы избежать многократных вычислений, применяют графические масштабы, которые делятся на *линейные* и *поперечные*.

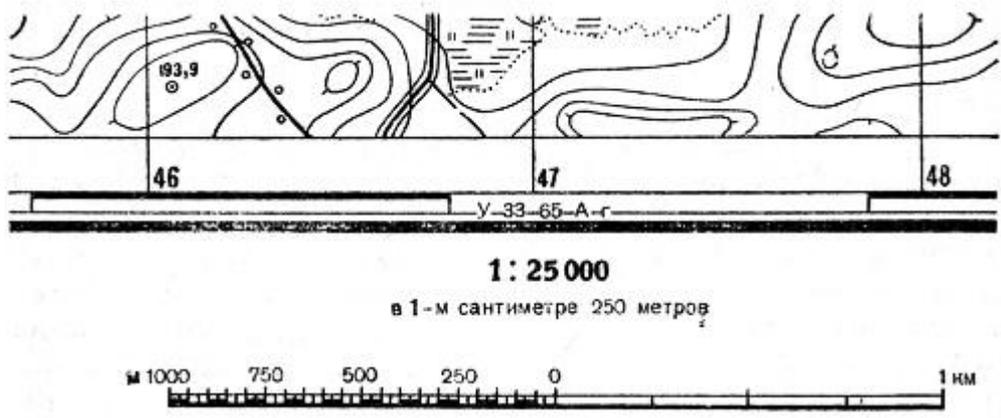


Рисунок 2.4 – Численный и линейный масштабы карты

Линейный масштаб карты представляет собой прямую, на которой несколько раз отложен один и тот же отрезок, называется основанием масштаба (обычно 2 см). Крайние левые основания делятся на 10 (20) частей. Подписывается линейный масштаб в соответствии с численным (рис. 2.5).

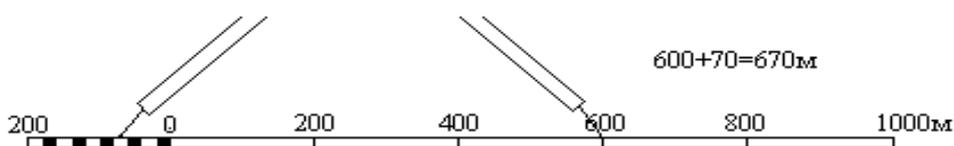


Рисунок 2.5

Используется для определения расстояния при помощи линейного масштаба.

Раствор измерителя устанавливается на расстоянии между точками, а затем измеритель переносят на линейный масштаб, таким образом, чтобы правая игла попала на целое деление, а левая расположилась в крайнем левом основании.

Для более точных графических работ применяется *поперечный масштаб* (рис. 2.6). На прямой линии несколько раз откладывают основной масштаб. Из всех делений восстанавливают вверх перпендикуляры, на которых откладывают

по 10 равных произвольных отрезков. Через деления проводят прямые параллельные основанию. Верхнюю и нижнюю часть крайнего левого прямоугольника делят на 10 частей, деления соединяют следующим образом: крайнее верхнее левое соединяют с первым нижним делением, первое верхнее со вторым нижним и т. д.

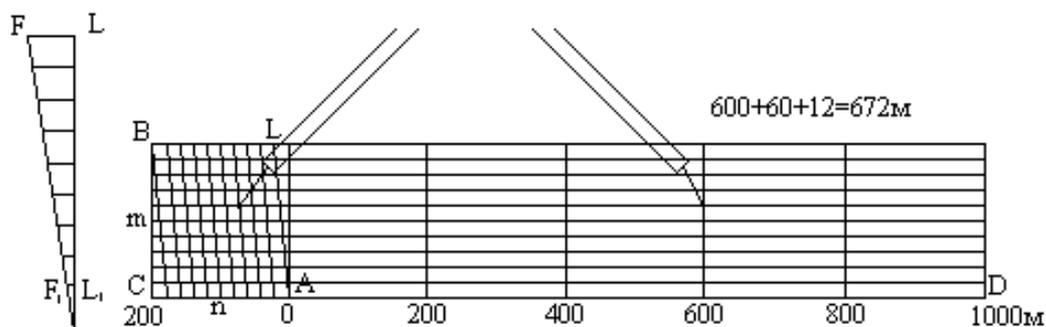


Рисунок 2.6 – Поперечный масштаб

Если основание масштаба равно 2 см, то такой масштаб будет называться *нормальным поперечным сотенным основанием*.

Поперечный масштаб считается более точным, поскольку его минимальное деление равно 1/100 доли основания, у линейного 1/10 доли основания.

В России принят следующий ряд масштабов топографических карт: 1: 1 000 000; 1:500 000; 1:300 000; 1:200 000; 1:100 000; 1:50 000; 1:25000; 1:10 000; для планов: 1:5 000; 1:2 000; 1: 1 000; 1:500.

2.7 Определение по карте длины отрезка

Чтобы определить по карте расстояние между местными предметами (точками местности) пользуясь численным масштабом, измеряют линейкой или циркулем расстояние между этими предметами (точками местности AB , BC , CA) в сантиметрах и умножают полученное число на величину масштаба. Например, по карте масштаба 1:25 000 расстояние между наблюдательными пунктами AB равно 5,5 см (рис. 5), а расстояние между этими пунктами на местности будет равно $5,5 \times 250 = 1375$ м (рис. 2.7).

При определении небольших расстояний между двумя точками проще пользоваться линейным масштабом. Для этого циркулем или линейкой измеряют на карте расстояние между этими точками и прикладывают его к линейному масштабу карты, по которому определяют искомое расстояние (в километрах и метрах) на местности.

При отсутствии циркуля и линейки расстояние между точками по карте можно определить по линейному масштабу, пользуясь ровной полоской бумаги.

Для этого полоску бумаги прикладывают к точкам на карте, между которыми определяют расстояние, и против этих точек на бумаге делают отметки в виде штрихов. Приложив отмеченный штрихами отрезок бумаги к линейному масштабу, определяют расстояние между этими точками на местности.

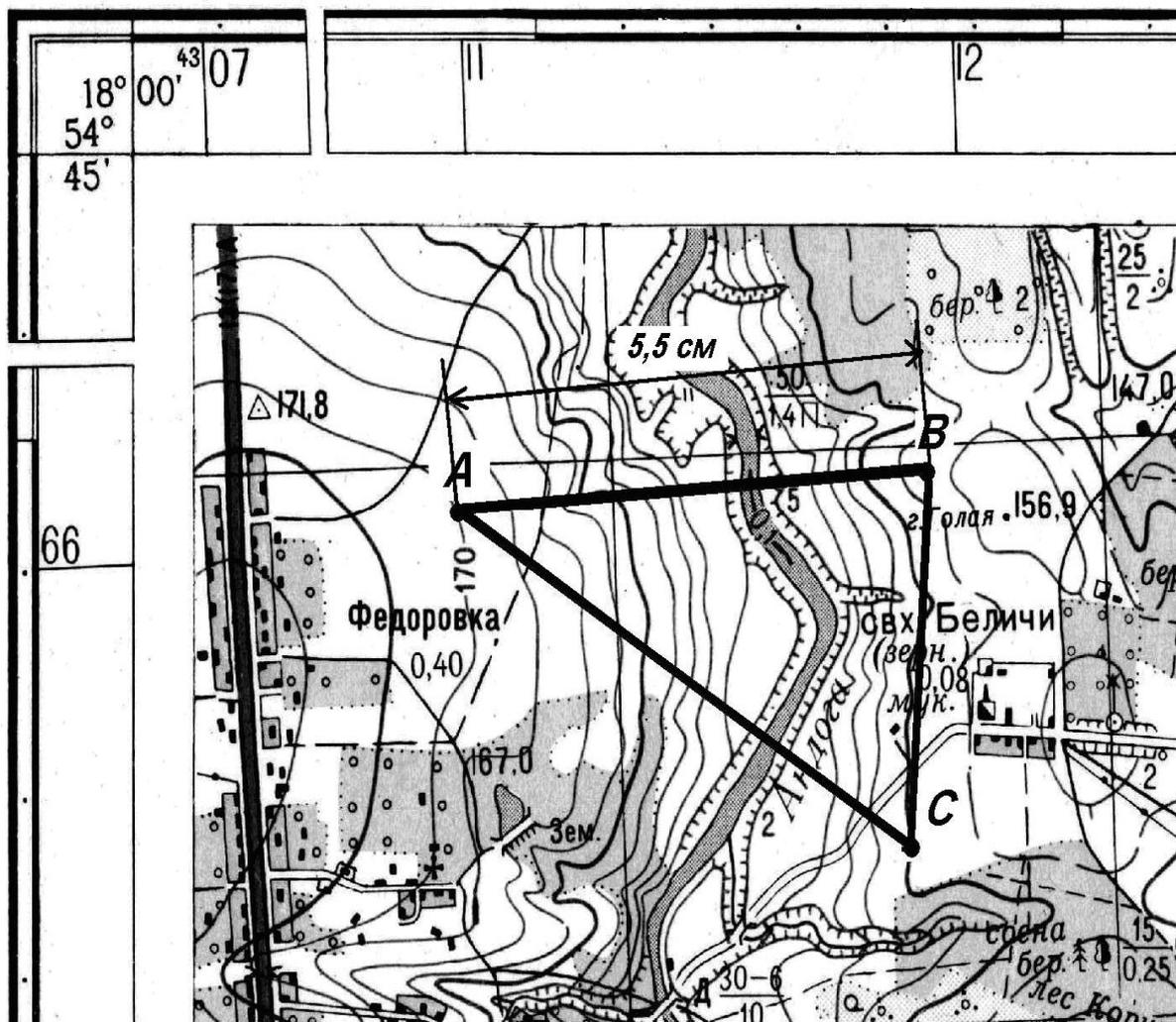


Рисунок 2.7 – Определение длины отрезка по карте

2.8 Системы координат

Существует много различных систем координат. Все они служат для определения положения точек на земной поверхности. Сюда относятся главным образом:

- *географические координаты;*
- *плоские прямоугольные координаты;*
- *полярные координаты.*

Вообще координатами принято называть угловые и линейные величины, определяющие положение точек на какой-либо поверхности или в пространстве.

2.8.1 Географические координаты

Земля совершает в течение суток один полный оборот вокруг земной оси PP' (рис. 2.8). Эта ось пересекает уровненную поверхность Земли в двух точках, называемых полюсами: P – северным, P' – южным. Через каждую точку земной поверхности, например M (рис. 2.8), можно провести отвесную линию MO , меридиан $PMNP'$, параллель ON и определить географические координаты.

Географические координаты – это угловые величины – широта (φ) и долгота (λ), определяющие положение точки на земном шаре.

Географической широтой (φ) называется угол, образованный плоскостью экватора и отвесной линией в данной точке земной поверхности (рис. 2.8). Эта величина угла показывает, насколько та или иная точка на земном шаре севернее или южнее экватора. Если точка расположена в Северном полушарии, то её географическая широта будет называться северной, а если в Южном полушарии – южной широтой. Широта точек, расположенных на экваторе, равна нулю (0°), а на полюсах (Северном и Южном) – 90° .

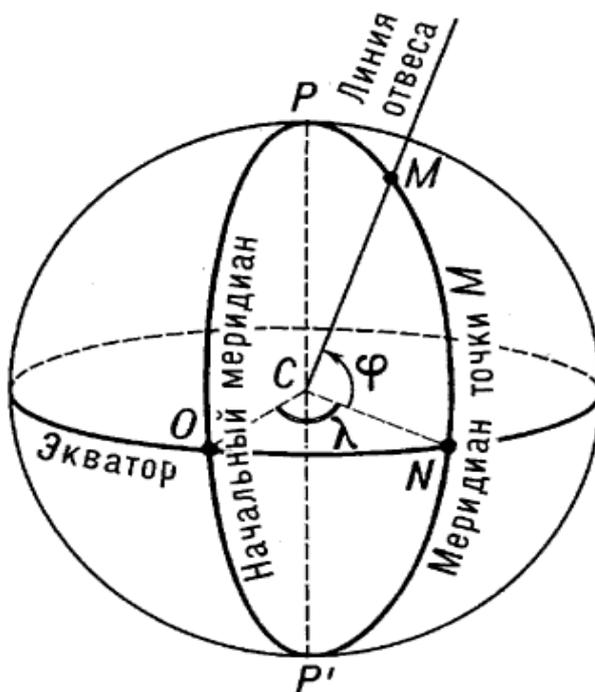


Рисунок 2.8 – Географические координаты

Географической долготой (λ) также является угол, но образованный плоскостью меридиана, принятого за начальный (нулевой), и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку.

Для однообразия определения долгот условились начальным меридианом считать меридиан, проходящий через астрономическую обсерваторию в Гринвиче (близ Лондона) и именовать его Гринвичским. Все точки, расположенные

от него к востоку, будут иметь восточную долготу (до меридиана 180°), а к западу от начального – западную долготу.

Заметим, что разность долгот двух пунктов на Земле показывает не только их взаимное расположение по отношению к нулевому меридиану, но и разницу во времени в этих пунктах в один и тот же момент. Дело в том, что каждые 15° (24-я часть окружности) по долготу равны одному часу времени. Исходя из этого, можно по географической долготы определять разность во времени в этих двух точках.

Пример: Москва имеет долготу $37^\circ 37'$ (восточную), а Хабаровск – $135^\circ 05'$, то есть лежит восточнее $97^\circ 28'$. Какое время имеют эти города в один и тот же момент?

Простые расчёты показывают, что если в Москве 13 часов, то в Хабаровске 19 часов 30 минут.

Географические координаты любой точки можно определить путём астрономических наблюдений, по результатам геодезических измерений на местности или графически по карте.

2.8.2 Определение географических координат по карте

На рисунке 2.9 показано оформление рамки листа любой топографической карты. Как видно из рисунка, в углах этой карты подписываются долгота меридианов и широта параллелей, образующих рамку листа данной карты.

Со всех сторон рамка имеет шкалы, разбитые на минуты (и для широты и для долготы). Более того, каждая минута точками разделена на 6 равных участков, которые соответствуют 10 секундам долготы или широты.

Таким образом, для того, чтобы определить широту какой-либо точки A на карте (рис. 2.9), надо через эту точку провести линию, параллельную нижней или верхней внутренней рамке карты, и прочесть справа или слева по шкале широты, соответствующие градусы, минуты, секунды.

В нашем примере широта южной рамки равна $54^\circ 40'$, тогда точка A имеет широту $\varphi = 54^\circ 40' 54''$. Аналогично, проводя вертикаль через точку A параллельно боковому (ближнему к данной точке) меридиану границы данного листа карты, читаем долготу (восточную) $\lambda = 18^\circ 03' 53''$.

Нанесение на карту точки по заданным географическим координатам производится в обратной последовательности. Вначале находят на шкалах указанные географические координаты, а потом через них проводят параллельную и перпендикулярную линии. Пересечение их на карте покажет точку с заданными географическими координатами.

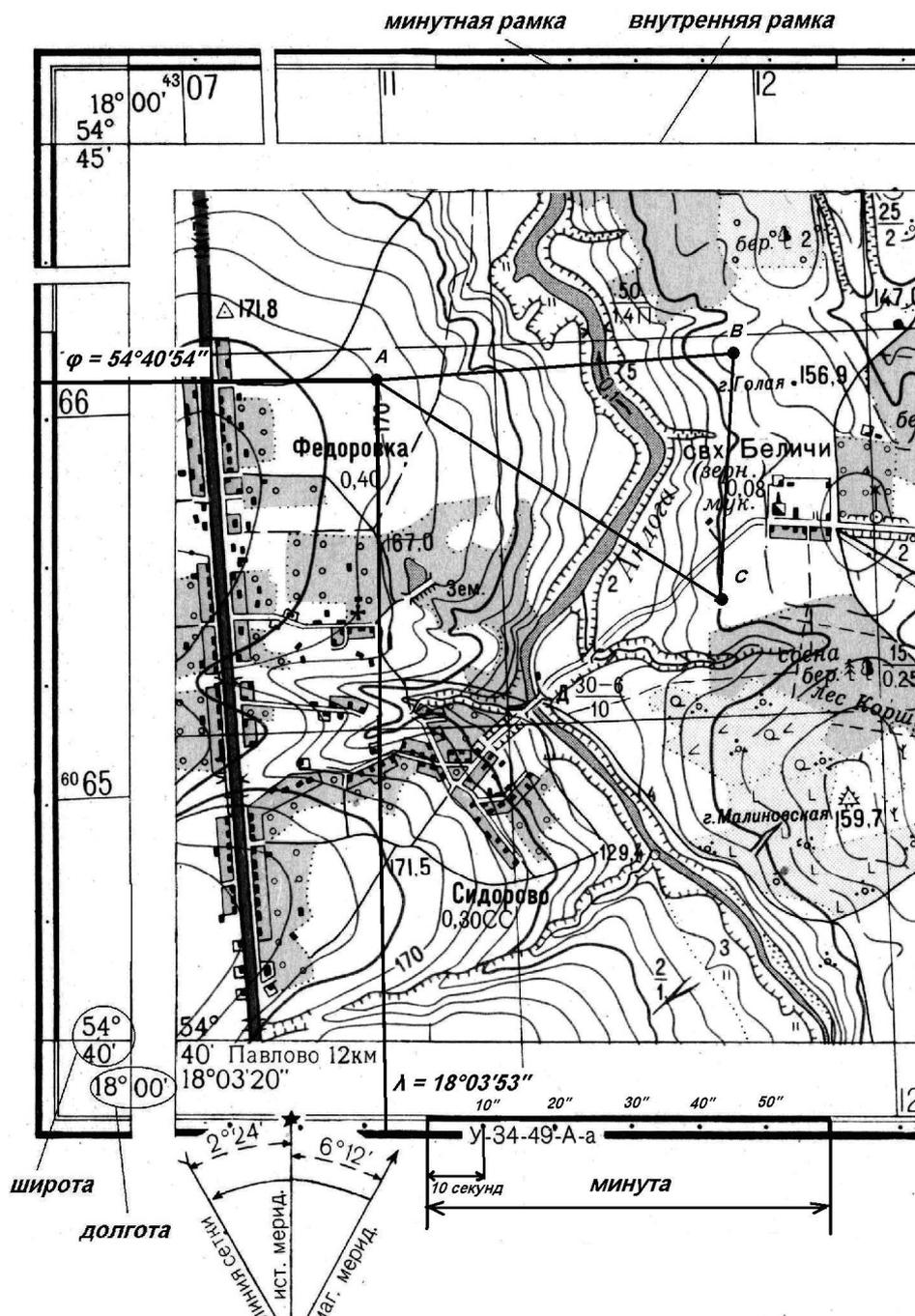


Рисунок 2.9 – Определение географических координат

2.8.3 Плоские прямоугольные координаты Гаусса – Крюгера

Для изображения значительных частей земной поверхности на плоскости применяются картографические проекции, дающие возможность перенести точки земной поверхности на плоскость по определённым математическим законам. Эти законы выражаются уравнениями картографической проекции, определяющими связь между координатами точек на карте и соответствующих точек на поверхности эллипсоида. В общем случае картографические проекции вызывают искажения углов и линий. В геодезии выгодно применять такую проекцию эллипсоида на плоскости, которая не искажала бы углов.

Проекции, в которых углы фигур на эллипсоиде равны соответствующим углам на плоскости, называются *равноугольными*. Таких проекций разработано множество. В России принята равноугольная картографическая проекция и соответствующая ей *система плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера*. При помощи этой проекции получают изображения отдельных участков уровнённой поверхности Земли на плоскости, причём каждый участок ограничен двумя меридианами, разность долгот которых равна 6° . Такой участок называется зоной. Вся поверхность Земли разбита на 60 зон (рис. 2.10).

Счёт зон ведётся от гринвичского меридиана на восток. Следовательно, номер зоны и номер колонны карты масштаба 1:1 000 000 всегда разнятся на 30 единиц. Средний меридиан каждой зоны называют осевым. Долготу этого меридиана любой зоны восточного полушария подсчитывают по формуле:

$$\lambda_0 = 6^\circ \cdot n - 3,$$

где n – номер зоны.

В равноугольной проекции Гаусса – Крюгера каждая зона в отдельности проецируется на плоскость, при этом осевой меридиан изобразится прямой линией без искажений, т. е. с точным сохранением длин вдоль осевого меридиана. Экватор также изобразится прямой линией. Все другие меридианы и параллели будут изображаться дугами.

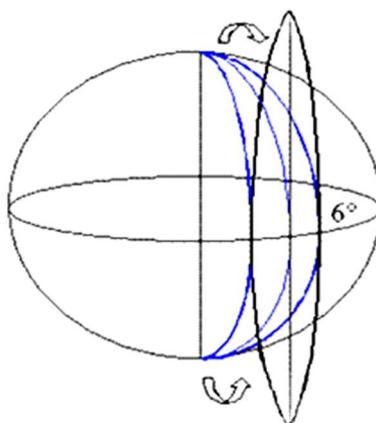


Рисунок 2.10

За начало плоских прямоугольных координат в каждой зоне принимают пересечение изображений осевого меридиана – оси абсцисс x и экватора – оси ординат y (рис. 2.11). Абсциссы x в северной части зоны – положительные, в южной части – отрицательные; ординаты y имеют знак плюс в восточной части зоны и знак минус в западной части зоны.

Для всех точек на территории России абсциссы имеют положительное значение. Для того чтобы и ординаты точек были только положительными,

в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км, т. е. все ординаты будут увеличены на 500 км. Таким образом, точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты y меньше 500 км, а к востоку – больше 500 км. Эти ординаты называются *преобразованными*.

Система координат в каждой зоне одинаковая. Для установления зоны, к которой относится точка с данными координатами, к значению ординаты слева приписывается номер зоны.

Пример записи прямоугольных координат: $x = 6\,071\,510$ м и $y = 4\,307\,812$ м; точка находится в четвертой зоне и имеет ординату от осевого меридиана, равную $307\,812 - 500\,000 = -192\,188$ м.

Для удобства пользования плоскими прямоугольными координатами на каждый лист топографической карты, начиная с масштаба 1:200 000, наносят сетку квадратов, которая называется *километровой*. Стороны квадратов параллельны осям x и y данной зональной системы координат, а размеры зависят от масштаба карты. Например, на картах масштабов 1:10 000–1:50 000 стороны квадратов соответствуют 1 км; на карте масштаба 1:100 000 – 2 км; на карте масштаба 1:200 000 – 10 км.

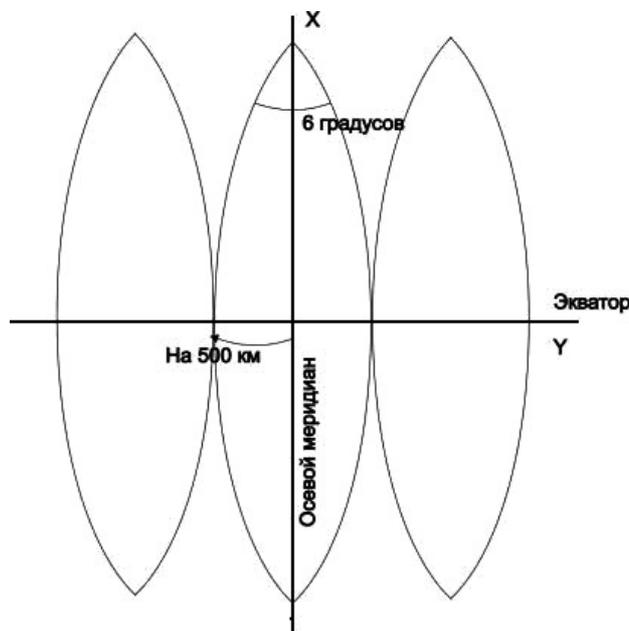


Рисунок 2.11 – Плоские прямоугольные координаты Гаусса – Крюгера

2.8.4 Определение прямоугольных координат по карте

Прямоугольные координаты x и y точки определяются относительно километровой линии сетки.

На каждом листе карты вдоль внутренней рамки даются значения координат километровой сетки от осевого меридиана данной зоны и от экватора.

Как видно из рисунков 2.12 и 2.13, значения полных координат подписываются только у крайних (верхней и нижней) линии сетки координат. У всех же промежуточных линий подписываются сокращённые обозначения, то есть только последние две цифры (десятки и единицы километров).

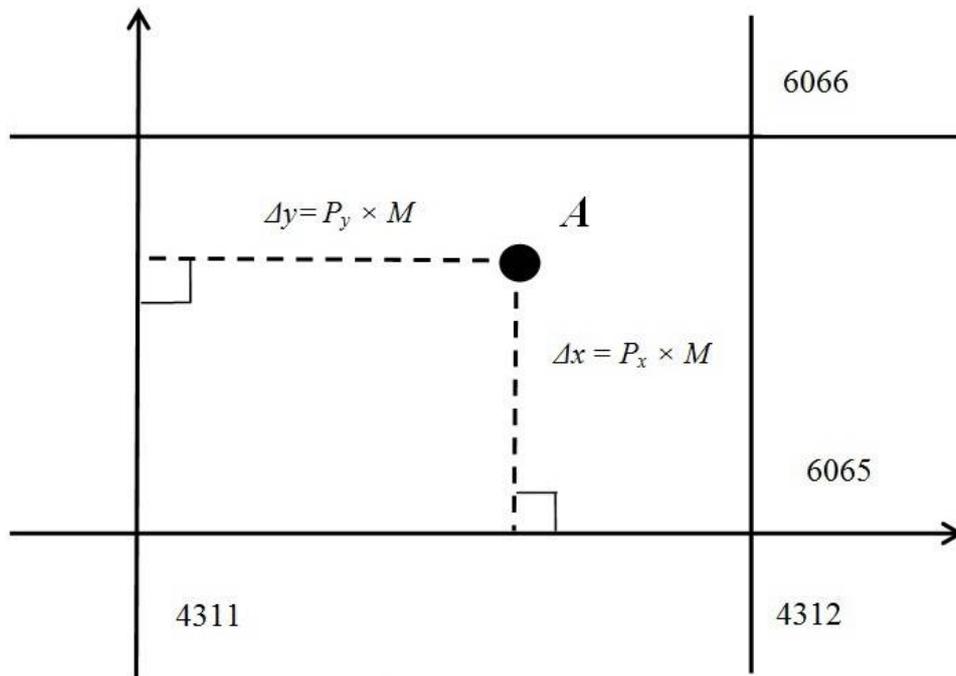


Рисунок 2.12 – Схема для определения прямоугольных координат

Например, нижняя линия километровой сетки (рис. 2.12, 2.13) имеет обозначение 6 065, а следующая над ней линия сетки обозначена только цифрой 66 км, а не 6 066. Цифры километровой сетки под южной и над северной рамкой листа карты обозначают ординаты (y) этих линий. Крайние линии также обозначены полными координатами – 4311 и 4 314. Но в отличие от горизонтальных линий, первая цифра у ординат обозначает номер зоны. Например, ордината $y = 4311$ км. Это значит, что лист данной карты расположен в четвертой шестиградусной зоне Гаусса.

С помощью километровой сетки координат можно, не прибегая к дополнительным измерениям, определить координаты любой точки на карте (с точностью до километра).

Приняв за оси координат частной системы километровые линии, опускают на них из определяемой точки перпендикуляры Δx и Δy (м), длины которых измеряют с помощью линейки и вычисляют с учётом масштаба:

$$\Delta x = P_x \cdot M; \quad \Delta y = P_y \cdot M,$$

где P – расстояние измеренное с помощью линейки;

M – величина масштаба.

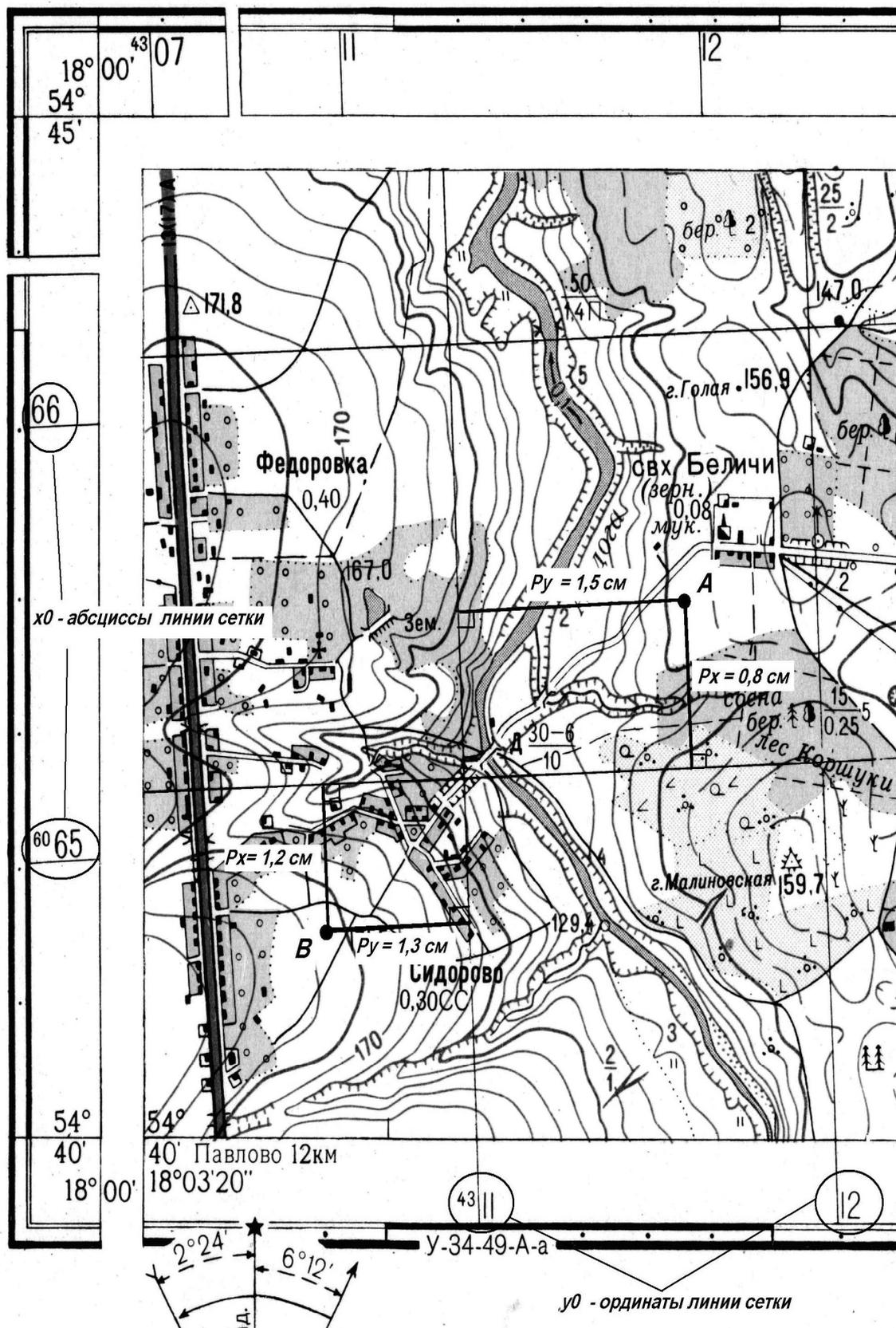


Рисунок 2.13 – Определение прямоугольных координат

Затем вычисляют координаты:

$$x = x_0 \pm \Delta x; y = y_0 \pm \Delta y,$$

где $x_0; y_0$ – координаты линии сетки (м).

Прямоугольные координаты принято записывать в метрах, поэтому необходимо координаты линии сетки при вычислении из километров перевести в метры (в 1 км – 1 000 м).

Для примера вычислим координаты точки *A* (рис. 2.12, 2.13). Приняв за оси координат частной системы километровые линии 6065 и 4311, опускаем на них из точки (*A*) перпендикуляры Δx и Δy , длины которых измеряют с помощью линейки ($P_x = 0,8$ см, $P_y = 1,5$ см) и вычисляют с учётом масштаба по формулам, приведённым выше. Масштаб карты 1:250 000, т. е. в 1 см – 250 м.

Следовательно:

$$\Delta x = 0,8 \cdot 250 = 200 \text{ м}; \quad \Delta y = 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ м};$$

$$x = 6\,065\,000 \text{ м} + 200 \text{ м} = 6\,065\,200 \text{ м};$$

$$y = 4\,311\,000 \text{ м} + 375 \text{ м} = 4\,311\,375 \text{ м}.$$

А вот координаты точки *B* будут вычисляться по следующим формулам:

$$\Delta x = 1,2 \cdot 250 = 300 \text{ м}; \quad \Delta y = 1,3 \cdot 250 = 325 \text{ м};$$

$$x = 6\,065\,000 \text{ м} - 300 \text{ м} = 6\,064\,700 \text{ м};$$

$$y = 4\,311\,000 \text{ м} - 325 \text{ м} = 4\,310\,675 \text{ м}.$$

При вычислениях главное понимать, когда Δx и Δy надо прибавлять, а когда вычитать. При движении от южной стороны к северной (снизу вверх) координата *x* увеличивается. При движении от западной стороны к восточной (слева на право) координата *y* увеличивается.

2.8.5 Полярные координаты

С появлением радиолокации и радиопеленгации появилась необходимость в определении на карте и на местности положения отдельных точек с помощью угла относительно какого-либо направления и расстояния до них от какой-то выбранной точки, которую называют *полюсом*.

Если мы возьмём вместо двух взаимно перпендикулярных осей *x* и *y* в системе плоских прямоугольных координат только одну ось *x* и начальную точку на ней 0 (полюс) и от неё определим угол α (*альфа*) (рис. 2.14), который называется *углом положения*, а также *расстояние* *D* (от полюса до точки), то эти две величины носят наименование «*полярные координаты*». В полярных координатах ось *x* называется *полярной осью*, а угол положения отдельной точки может иметь три обозначения и соответственно три наименования: *дирекционный угол* α ; *истинный азимут* $A_{и}$; *магнитный азимут* $A_{м}$.

Такое большое количество углов положения и их разное наименование объясняются тем, что именно мы примем за полярную ось в системе полярных координат, от какого направления мы будем замерять угол положения.



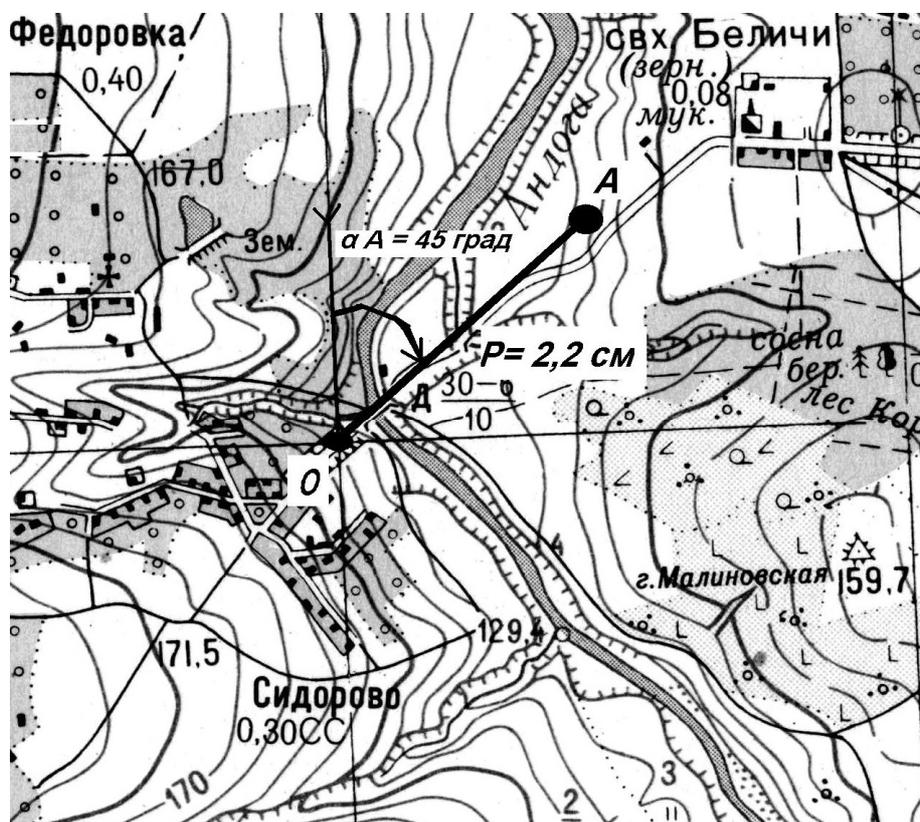
Рисунок 2.14 – Полярные координаты

2.8.6 Определение полярных координат

За полярную ось принимаем, например, вертикальную линию сетки (осевой меридиан – N_0), а за полюс – пересечение сетки или любую контурную точку на карте (пересечение дорог, вершину горы и т. п).

Измеряем дирекционный угол α от оси до точки, по карте при помощи транспортира (см. выше) по часовой стрелки и расстояние D от полюса до точки при помощи линейки с учётом масштаба карты.

Например, (рис. 2.15) полярные координаты т. А: $\alpha_A = 45^\circ$; $D_{OA} = P \cdot M = 2,2 \text{ см} \cdot 250 = 550 \text{ м}$.



Масштаб 1:25 000

Рисунок 2.15 – Определение полярных координат

2.9 Ориентирование линии на местности

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 $N_{О}$ осевого меридиана зоны или направления параллельного ему.

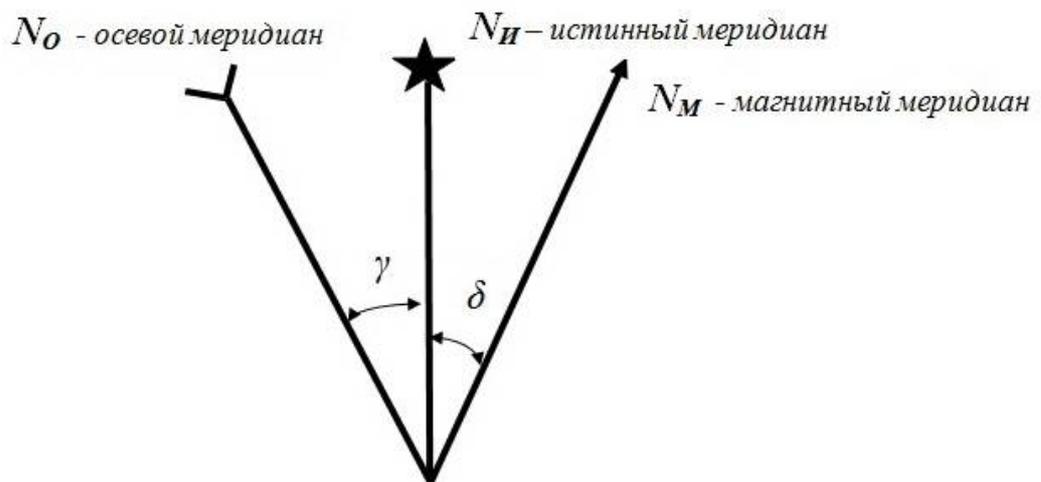


Рисунок 2.16 – Исходные направления для ориентирования линий
(график ориентирования)

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° . Под влиянием этих факторов между направлениями географического и магнитного меридианов в какой-либо точке на поверхности Земли образуется угол δ (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 γ (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;

φ – 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*:

- *истинный азимут* $A_{И}$;
- *магнитный азимут* $A_{М}$;
- *дирекционный угол* α .

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

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

Угол между северным направлением N_O осевого меридиана и направлением данной линии AB называют *дирекционным углом* (рис. 2.17). Дирекционный угол α отсчитывается от осевого меридиана по ходу часовой стрелки и изменяется от 0° до 360° .

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 AB от точки A к точке B считать прямым, то BA – обратное

направление той же линии. В соответствии с этим угол α_{AB} – прямой угол линии AB в точке A , а α_{BA} – обратный угол этой же линии в точке B .

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 направлением и данной линией. Обозначение румба начинают с указания четверти: СВ (северо-восток), 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°).

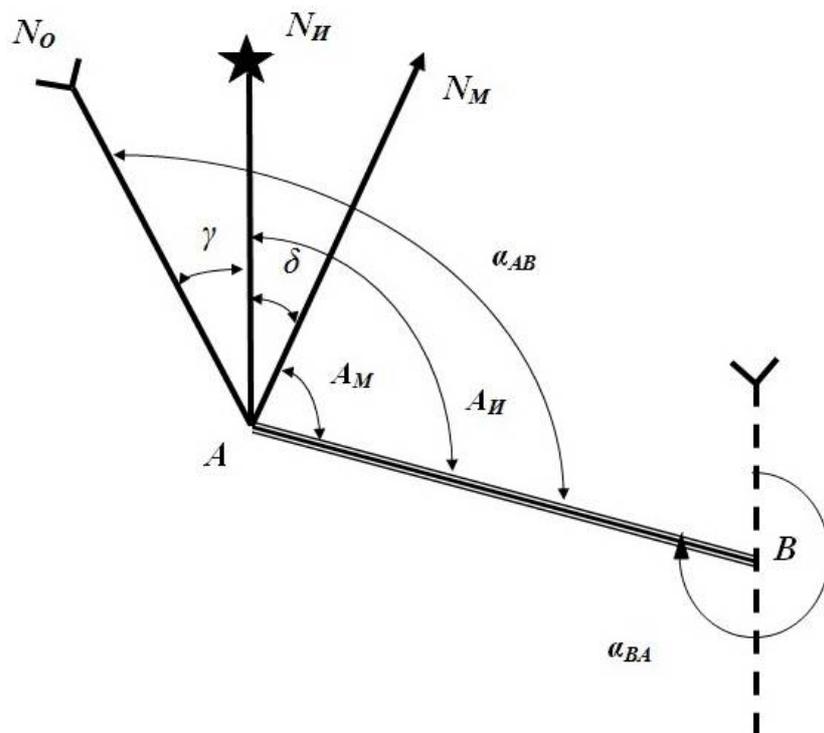


Рисунок 2.17 – Ориентирные углы

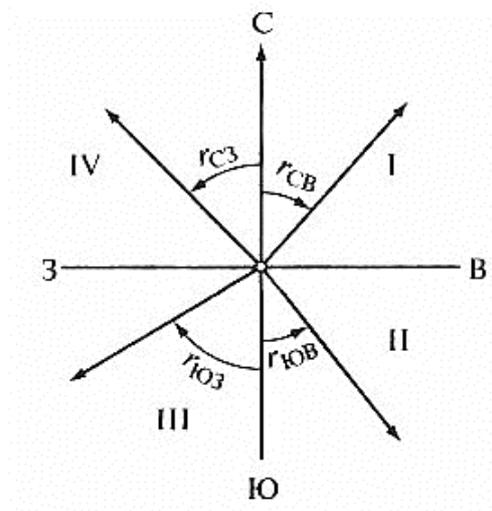


Рисунок 2.18 – Румбы

Румбы и азимуты связаны между собой формулами перехода (табл. 2.1).

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	$270^\circ \dots 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$

2.9.1 Построение графика ориентирования

График углов ориентирования – это схема, на которой указывается расположение осевого и магнитного меридианов относительно истинного и указываются величины углов ориентирования: сближение меридианов γ и склонение магнитной стрелки δ .

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 γ и δ также могут быть оба восточных или оба западных.

2.9.2 Определение ориентирных углов и румбов, заданных на топографической карте

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° до 360° 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 AB через начальную точку этого направления ($m. A$) проводят линию, параллельную вертикальной линии километровой сетки, и от северного направления проведённой параллельной линии

до заданного направления линии AB измеряют угол. Приложив к точке пересечения O нуль транспортира и совместив его нулевой диаметр с километровой линией, отсчитывают по часовой стрелке угол α от северного направления. В нашем примере (рис. 2.21) измеренный дирекционный угол линии AB $\alpha_{AB} = 104^\circ$. Аналогично проводят измерения дирекционных углов линий BC и CA ; $\alpha_{BC} = 220^\circ$, $\alpha_{CA} = 344^\circ$.

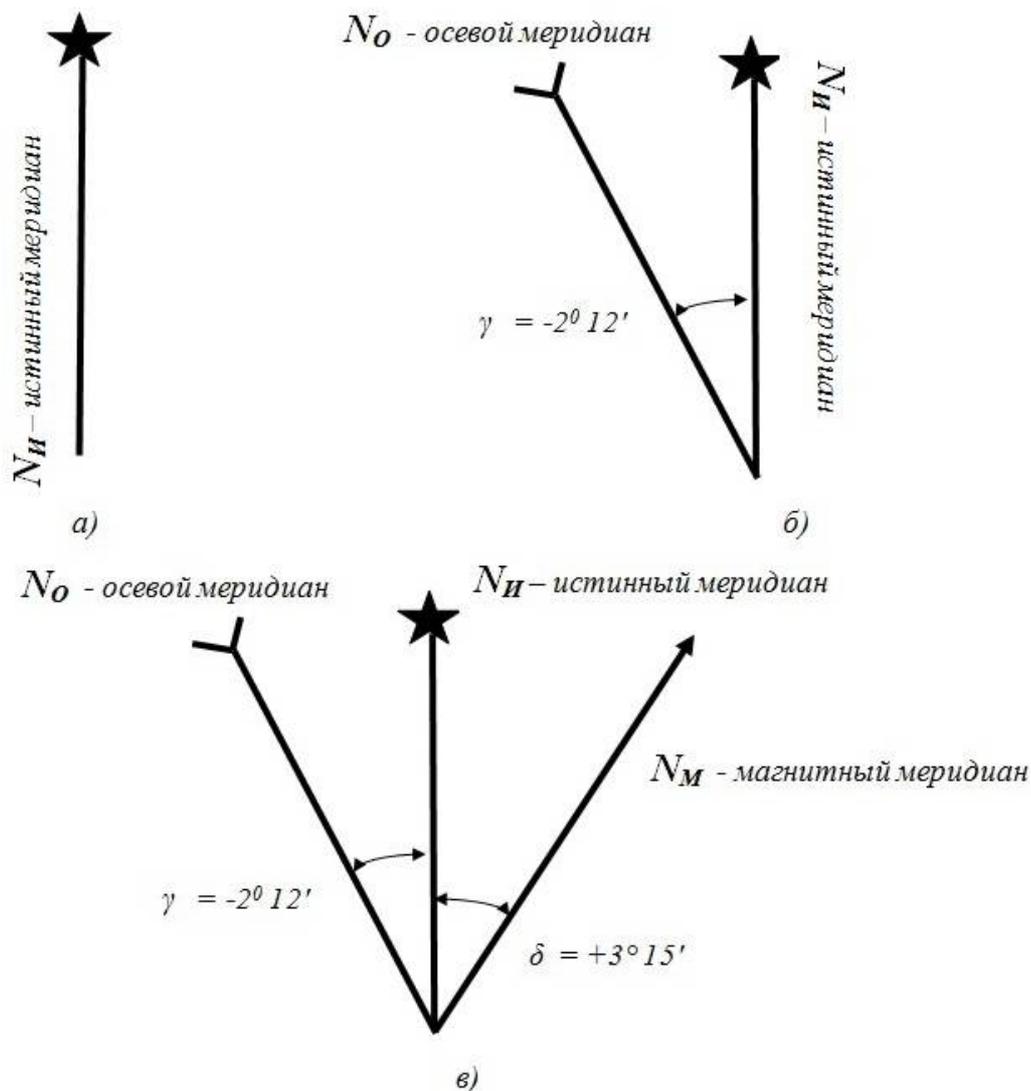


Рисунок 2.19 – График ориентирования

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° до 360° градусов.

Так как непосредственное измерение азимутов 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 γ – 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 AB , 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 δ – 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 AB , 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 BC и CA (меняются только дирекционные углы).

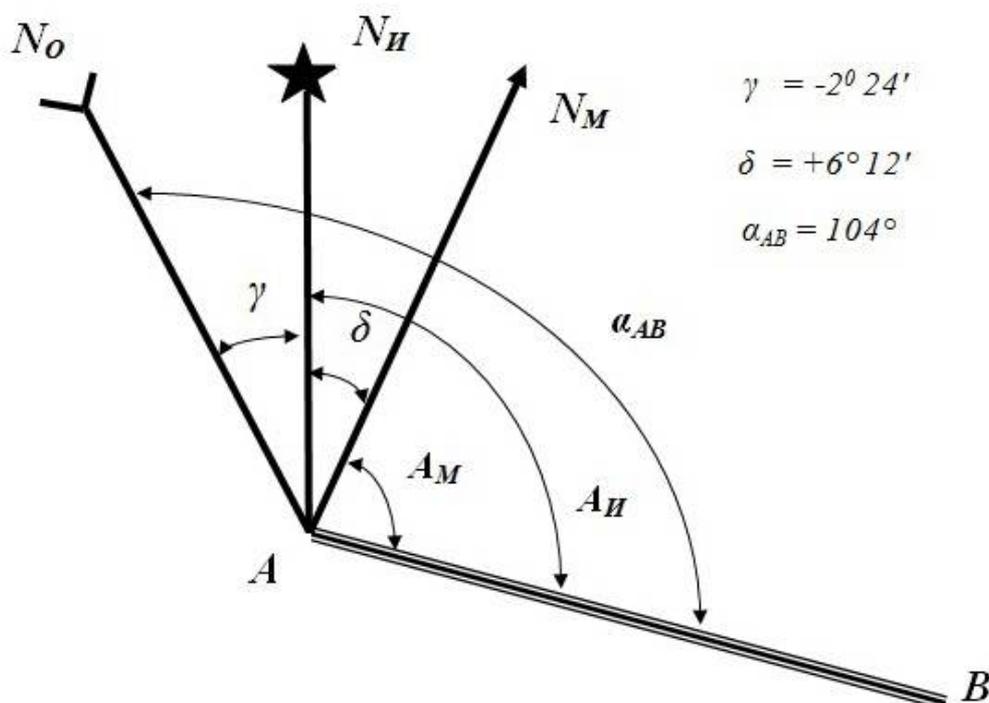


Рисунок 2.20

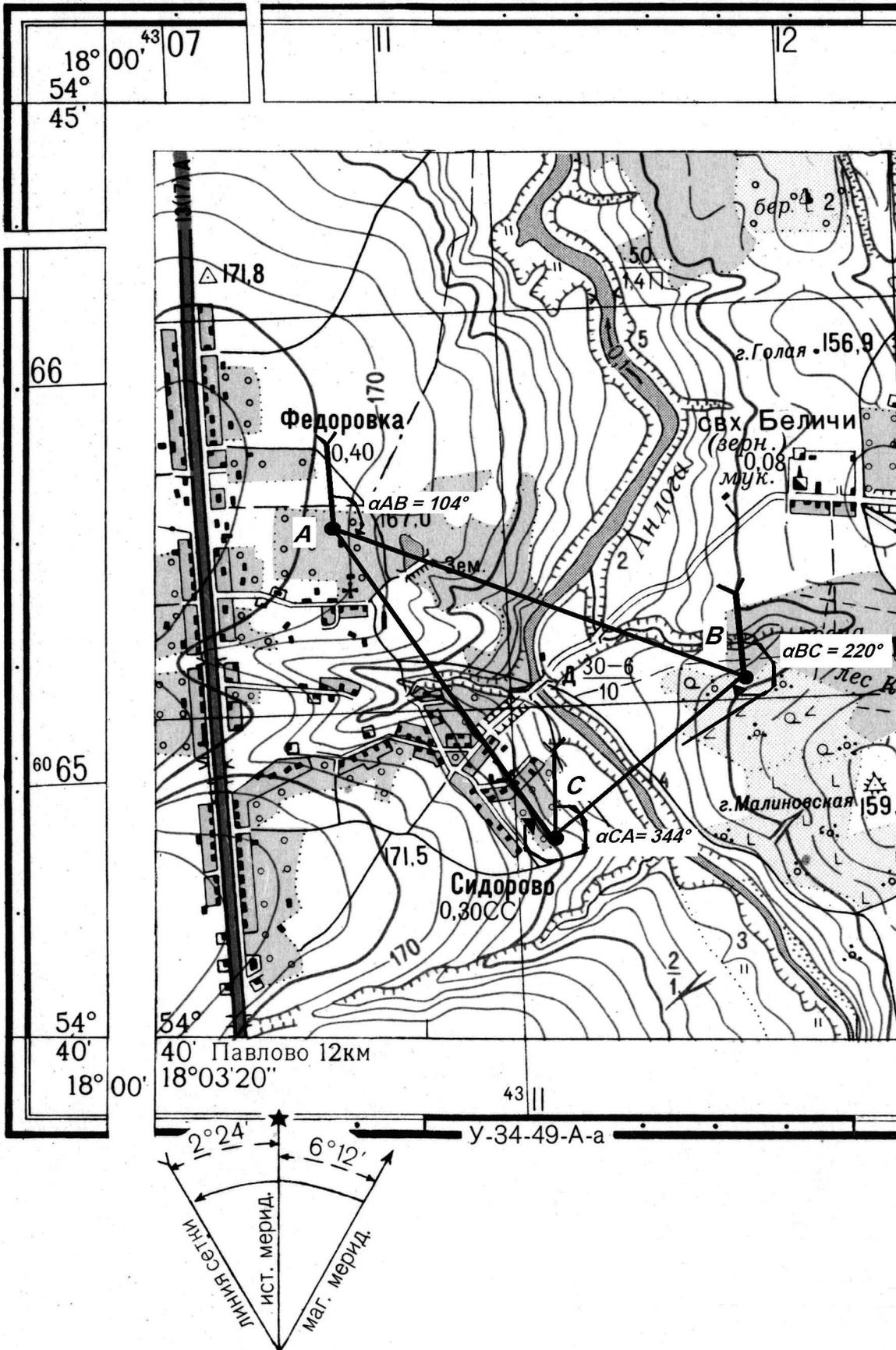


Рисунок 2.21 – Измерение на карте дирекционных углов

Зная дирекционные углы, можно определить румбы. По таблице 2.1 используя значение дирекционного угла α , 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 AB запишем: $ЮВ:76^\circ$.

2.10 Система разграфки и номенклатуры карт

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° , по долготе 6° .

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 *A* 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° 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.

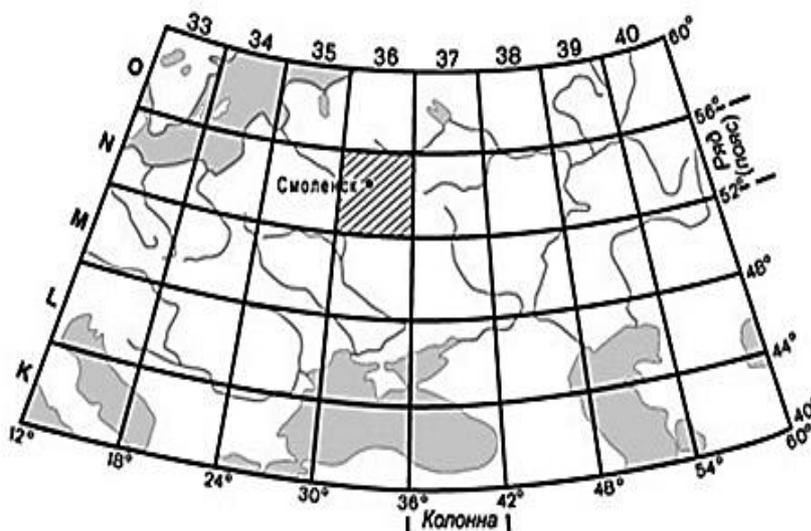


Рисунок 2.23

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 *A*, *B*, *B* и *Г*; номенклатура этих листов имеет вид, например, *N-37-A*;

- 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.

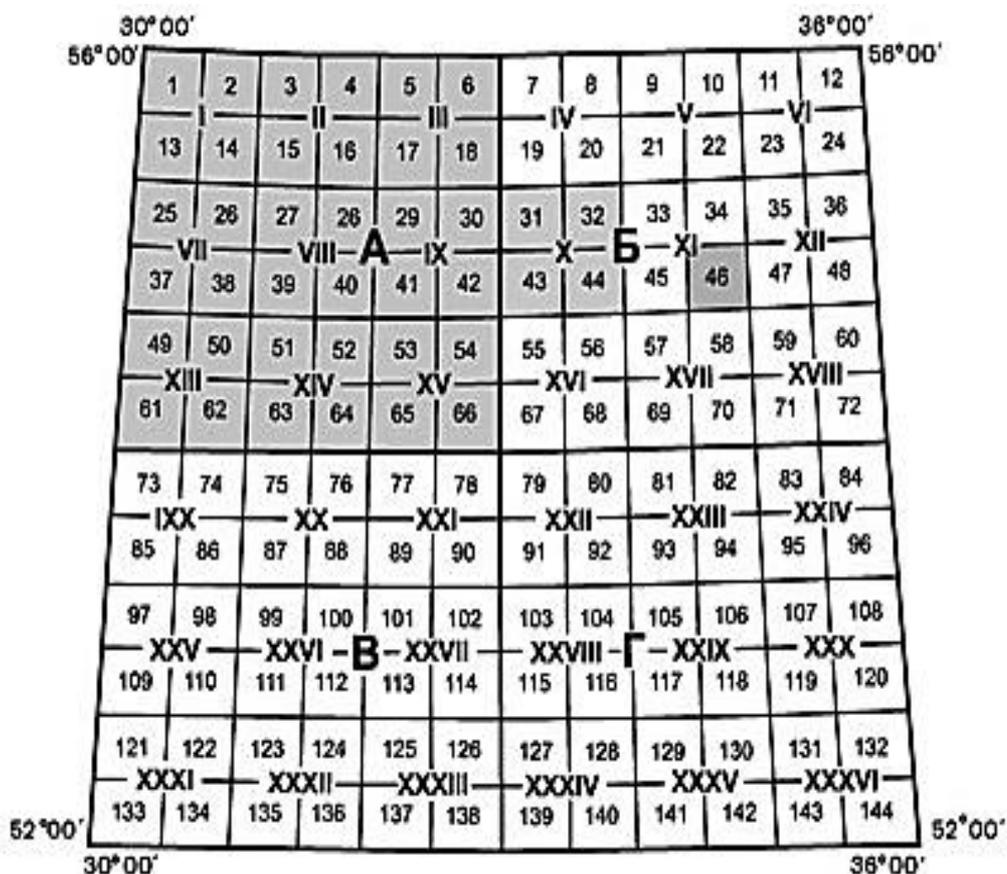


Рисунок 2.24 – Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000 в листе карты масштаба 1:1 000 000

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-37-144-А-а.

Одному листу карты 1:25 000 соответствуют четыре листа карты 1:10 000, обозначаемые арабскими 1, 2, 3 и 4; пример их номенклатуры N-37-144-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).

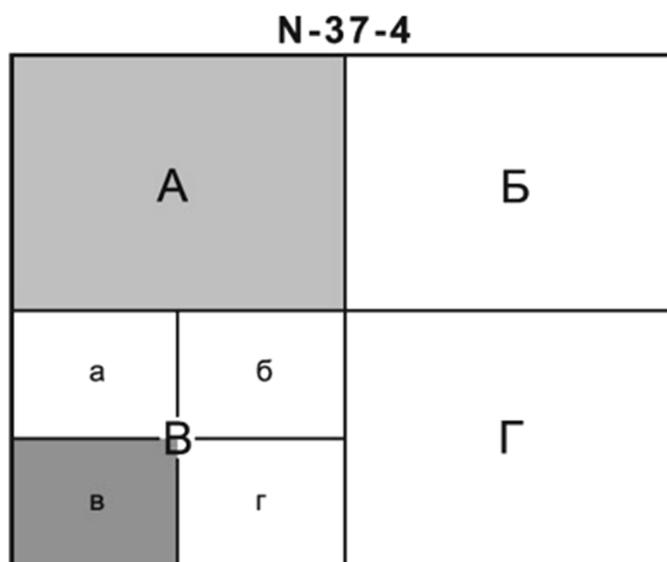


Рисунок 2.25– Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:50 000, 1:25 000 в листе карты масштаба 1:100 000

С увеличением ширины листы топографических карт всех масштабов сужаются, оставаясь неизменными по высоте. Поэтому, начиная с параллели 60°, листы карт вычерчиваются сдвоенными, а выше 76° – счетверёнными. 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 (снв).

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°	I-N-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-4
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)

Пример определения номенклатуры карты по координатам:

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

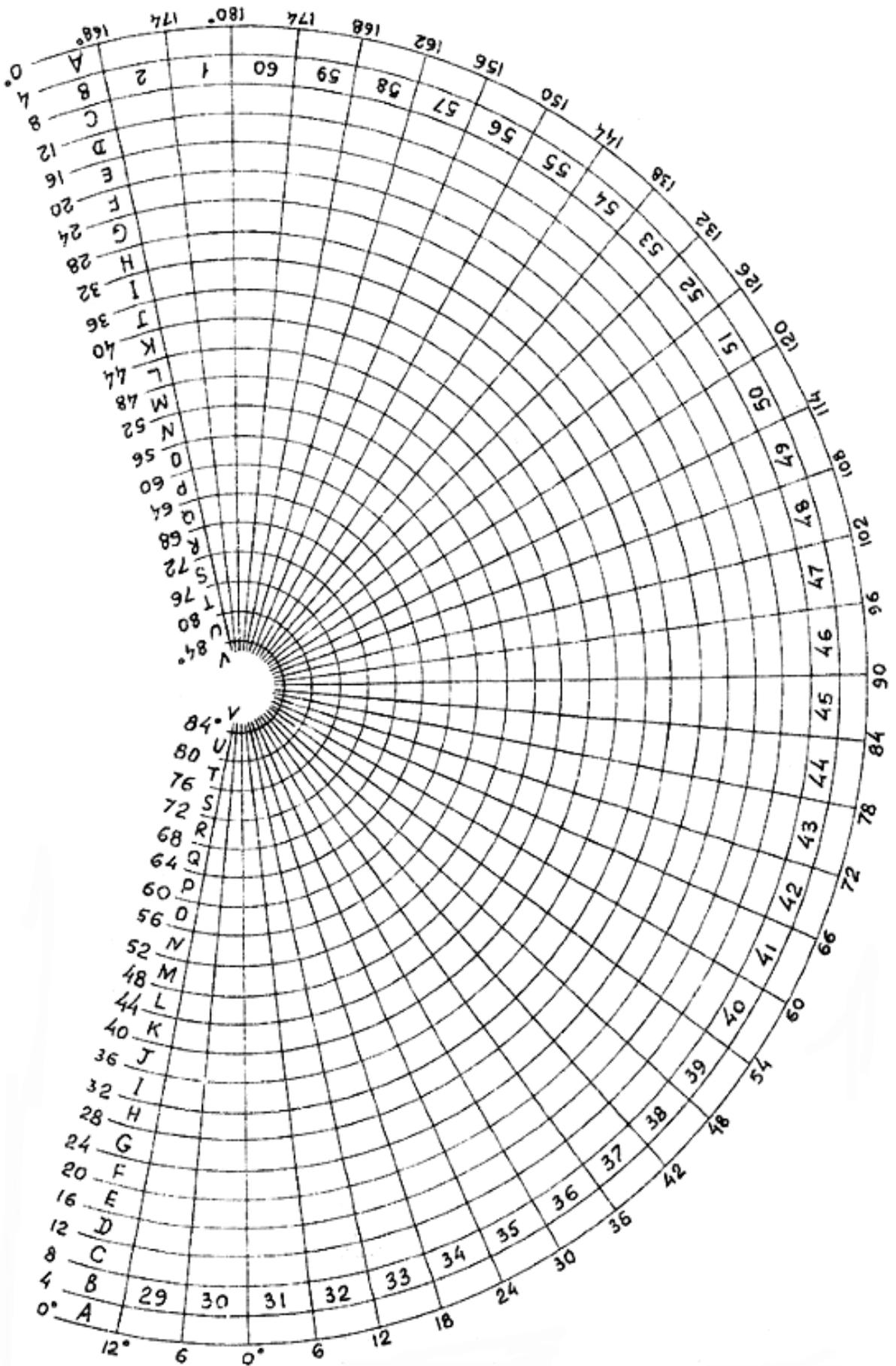


Рисунок 2.26 – Расположение листов карты масштаба 1:1 000 000

У-34-37-В-В (СНОВ)

номенклатура листа карты

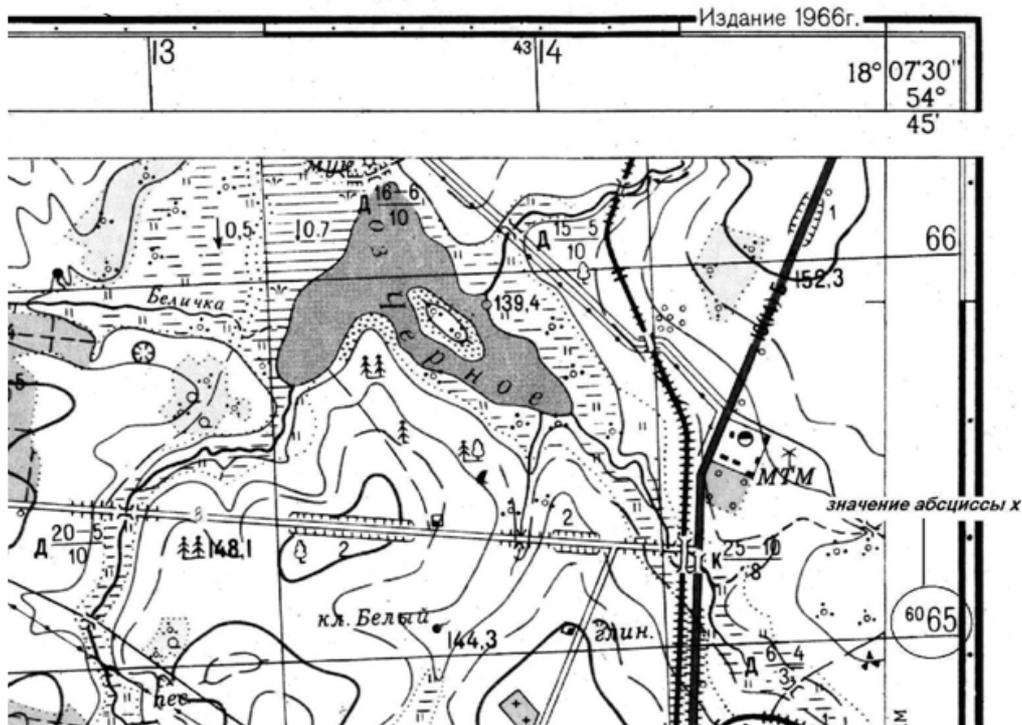


Рисунок 2.27 – Номенклатура карты У-34-37-В-в (снoв)

N - 38

												56°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
13												24
25												36
37												48
49												60
61												72
73												84
85												96
97									106	107	108	53°20'
109											120	53°00'
121											132	52°40'
133											144	52°20'
	42°30'											52°
42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°						

Рисунок 2.28

Затем этот лист (лист 107, с границами по широте 53°00' и 53°20' и по долготe 47°00' и 47°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.

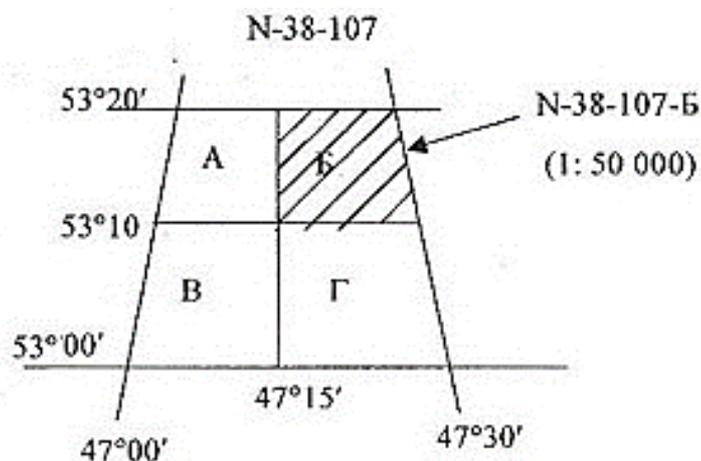


Рисунок 2.29

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 $N-38-107-B-г$. Вычерчиваем отдельно этот лист, указываем его границы по широте и долготе.

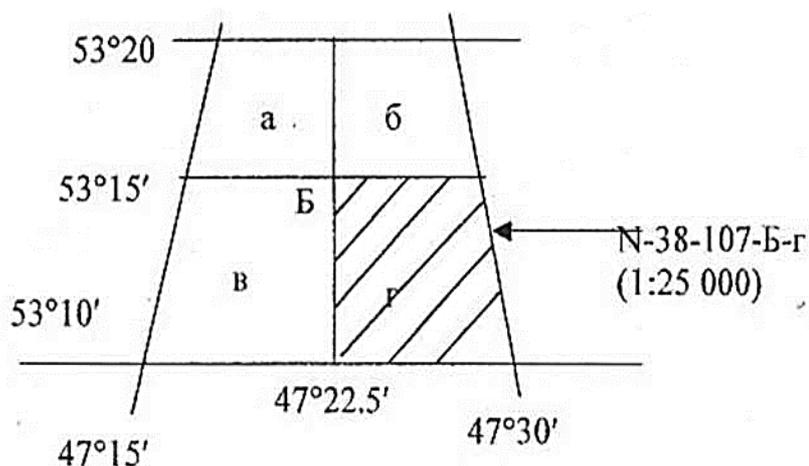


Рисунок 2.30

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 $\varphi = 53^{\circ}13'17''$; $\gamma = 47^{\circ}25'13''$.

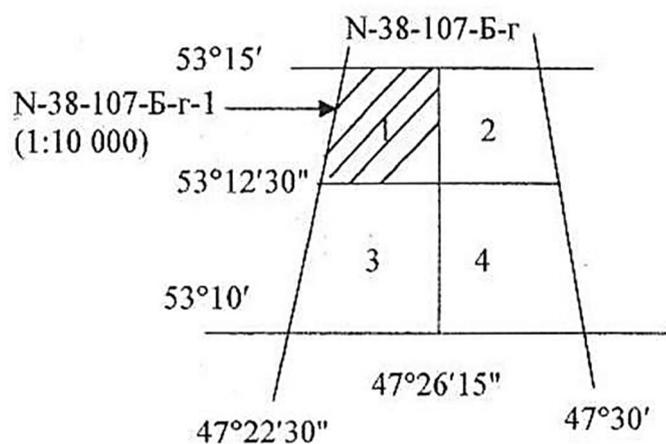


Рисунок 2.31

2.11 Рельеф местности и его изображение на топографических картах

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.

Совокупность разнообразных неровностей земной поверхности называют *рельефом*.

Рельеф местности не является чем-то постоянным, неизменным. Под влиянием сил, действующих внутри Земли, колебаний температуры, действия воды, ветра, растений, деятельности человека рельеф с течением времени изменяется. Изучение рельефа земной поверхности и способов его отображения на планах и картах имеет большое значение для решения широкого круга задач, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных сооружений и осуществлением различных землеустроительных мероприятий.

Из всех разнообразных неровностей земной поверхности можно выделить так называемые *основные формы рельефа* (рис. 2.32). К ним относятся *гора*, *котловина*, *хребет*, *лощина* и *седловина*.

Гора (или холм) – это возвышенность конусообразной формы. Она имеет характерную точку – *вершину*, *боковые скаты* (или склоны) и характерную линию – *линию подошвы*. *Линия подошвы* – это линия слияния боковых скатов с окружающей местностью. На скатах горы иногда бывают горизонтальные площадки, называемые *уступами*.

Котловина – это углубление конусообразной формы. Котловина имеет характерную точку – *дно*, *боковые скаты* (или склоны) и характерную линию –

линию бровки. Линия бровки – это линия слияния боковых скатов с окружающей местностью.

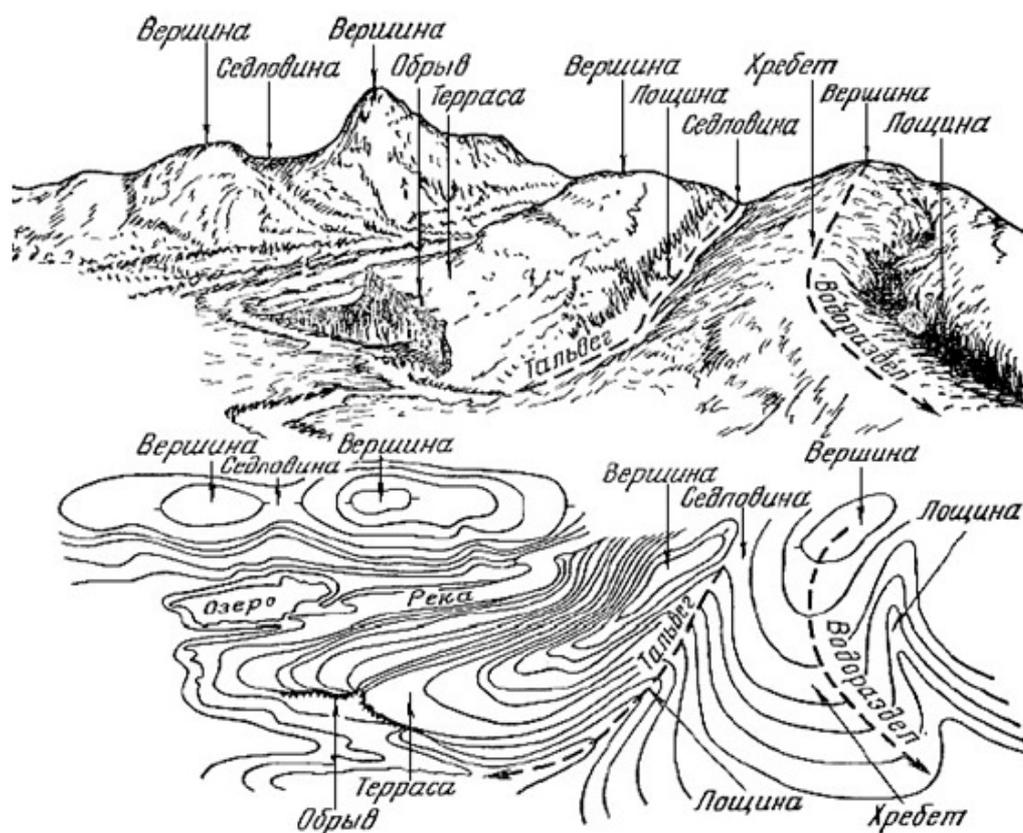


Рисунок 2.32 – Рельеф местности

Хребет – это вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении возвышенность. Он имеет характерные линии: одну линию *водораздела*, образуемую боковыми скатами при их слиянии вверху, и две *линии подошвы*.

Лощина – это вытянутое и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление. Лощина имеет характерные линии: одну линию *водослива* (или *линию тальвега*), образуемую боковыми скатами при их слиянии внизу, и две *линии бровки*.

Седловина – это небольшое понижение между двумя соседними горами; как правило, седловина является началом двух лощин, понижающихся в противоположных направлениях. Седловина имеет одну характерную точку – *точку седловины*, располагающуюся в самом низком месте седловины.

Существуют разновидности перечисленных основных форм, например, разновидности лощины: *долина*, *овраг*, *каньон*, *промоина*, *балка* и т. д. Иногда разновидности основных форм характеризуют особенности рельефа конкретного участка местности, например, в горах бывают *пики* – *остроконечные вершины гор*, *ущелья*, *теснины*, *щеки*, *плато*, *перевалы* и т. д.

Вершина горы, дно котловины, точка седловины являются характерными точками рельефа; линия водораздела хребта, линия водослива лощины, линия подошвы горы или хребта, линия бровки котловины или лощины являются характерными линиями рельефа.

На топографических картах рельеф изображают горизонталями. *Горизонталь* – это линия, соединяющая точки с равными высотами на карте. Понятие о ней можно получить, если представить себе сечение физической поверхности Земли уровневой поверхностью P_0 (рис. 2.33). Линия пересечения этих поверхностей, ортогонально спроецированная на горизонтальную плоскость и будет горизонталью. Чтобы изобразить горизонталями рельеф участка местности, необходимо выполнить сечения поверхности этого участка рядом уровневых поверхностей P_0, P_1, P_2, \dots , расположенных на одинаковом расстоянии h . В результате получатся горизонталь на карте с отметками $H + h; H + 2h$ и т. д. Расстояние h между соседними секущими уровнями поверхностями называется *высотой сечения рельефа*. Её значение всегда указывается на топографической карте под линейным масштабом. В зависимости от масштаба карты и характера рельефа высота сечения будет различной.

Расстояние между горизонталями в плане называется *заложением*. *Заложение* является проекцией линии ската на горизонтальную плоскость. *График заложений* (рис. 2.34) помещается на каждом листе топографических карт масштабов 1:200 000 и крупнее. Чем меньше заложение на карте данного масштаба, тем круче склон на местности.

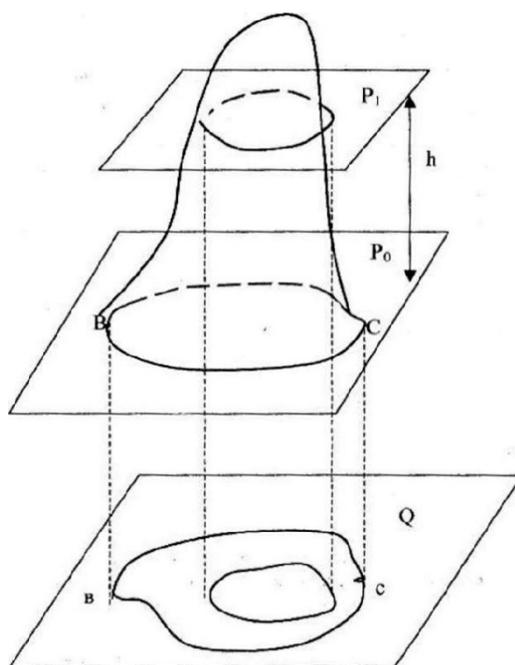


Рисунок 2.33 – Изображение рельефа горизонталями



Рисунок 2.34 – График заложений

На рисунке 2.35 показано, как изображаются горизонталями основные формы рельефа. Изображения горы и котловины, так же как и хребта и лоцины, сходны между собой. Чтобы отличить их друг от друга, у некоторых горизонталей ставят *бергштрихи* – чёрточки, перпендикулярные к горизонтали, указывающие направление ската. Основные горизонталю имеют отметки, кратные высоте сечения рельефа h , начиная от нуля счета высот. Каждая пятая основная горизонталь при $h = 1, 2, 5, 10$ м и каждая четвертая при $h = 0,5$ и $2,5$ м утолщаются.

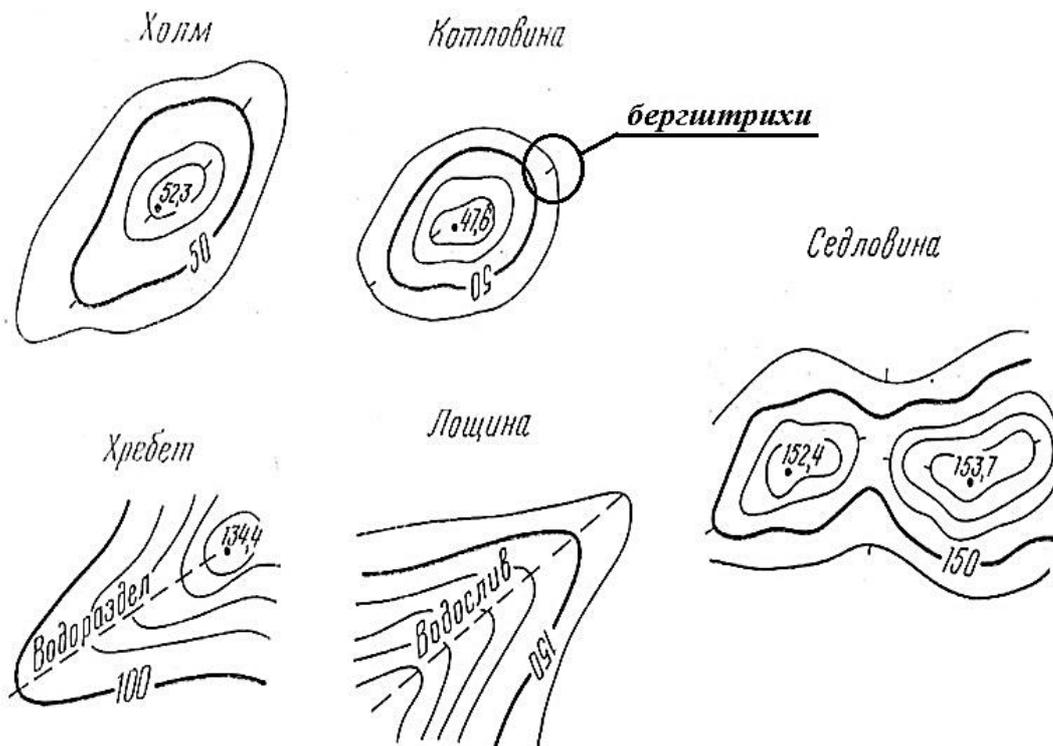


Рисунок 2.35 – Характерные формы рельефа

Отметки некоторых горизонталей подписывают на карте, при этом цифры располагают так, чтобы их верх был направлен в сторону повышения ската. Таким образом, по отметке одной горизонтали и известной высоте сечения рельефа можно определить отметки других горизонталей (рис. 2.35).

Для более детального изображения рельефа местности на картах наряду с горизонталями служат отметки характерных точек местности. Если при данной высоте сечения рельефа некоторые характерные особенности его не могут быть выражены, то их показывают дополнительными горизонталями – *полугоризонталями*, они проводятся через половину принятого на карте значения высоты сечения рельефа.

2.11.1 Решение задач по горизонталям

Определение отметок точек по горизонталям

Рассмотрим два случая (рис. 2.36):

1-й случай: точка *A* находится на горизонтали;

2-й случай: точки *B* находятся между горизонталями;

Когда точка *A* расположена на горизонтали (*1-й случай*), то её отметка равна отметке горизонтали. Отметка горизонтали может быть определена следующим образом:

– под южной рамкой карты указывается высота сечения рельефа, т. е. превышение между двумя сплошными соседними горизонталями (*h*);

– отыскиваем в районе расположения точки *A* подписанную горизонталь или точку с отметкой и устанавливаем, в какую сторону от точки *A* идёт понижение рельефа.

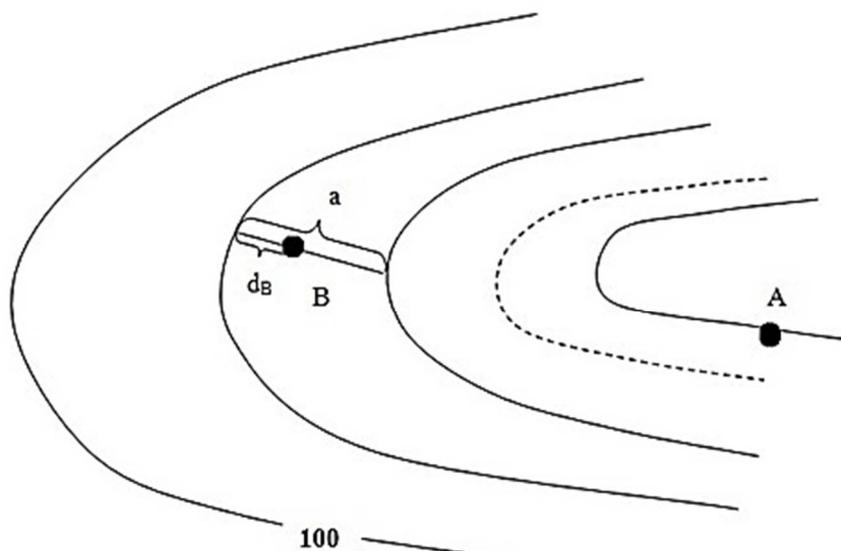
Понижение отметок рельефа можно определить по расположению бергштрихов, по надписанным горизонталям (основание цифры обращено в сторону понижения отметок) или по вторичным признакам (понижение идёт к рекам, ручьям, озёрам и т. д.).

Зная высоту сечения рельефа *h*, производим оцифровку горизонталей (все сплошные горизонтали имеют высоты, кратные *h*; в нашем примере высоты горизонталей оканчиваются на 5 м и 0 м. Горизонталь, вычерченная штрихпунктирной линией (полугоризонталь), отличается по высоте от сплошной горизонтали на $\frac{1}{2}$ высоты сечения (в нашем случае на 2,5).

На рисунке 2.36 высота сечения рельефа *h* равна 5 м, тогда, учитывая, что точка *A* лежит на горизонтали, расположенной на 3 сечения выше, чем горизонталь с отметкой 100 м, получим $H_A = 100 + 3 \cdot 5 = 115$ м.

Если точка расположена между горизонталями (случай 2), то вначале производят оцифровку сплошных горизонталей и полугоризонталей, так, как

описано в первом случае, а затем производят интерполяцию по расстоянию до ближайшей горизонтали.



Сплошные горизонтالي проведены через 5 м

Рисунок 2.36 – Определение отметок по горизонталям

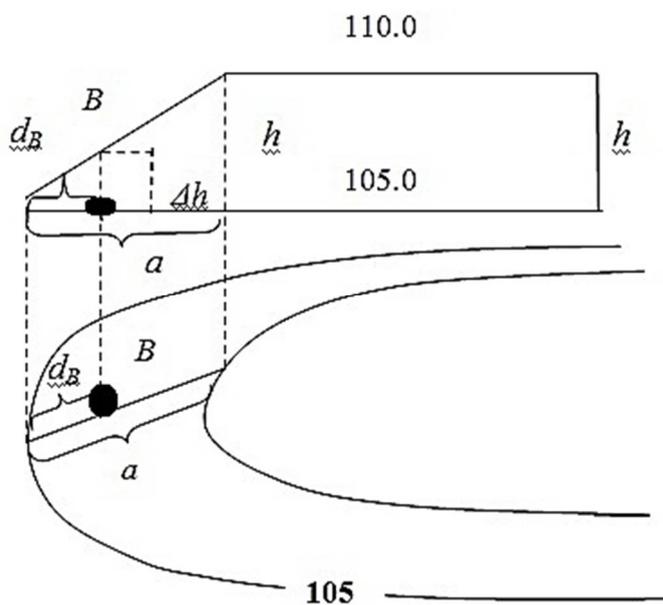


Рисунок 2.37 – Определение высоты точки В

Точка B расположена выше горизонтали 105 м на величину Δh , которая находится из пропорции (рис. 2.37):

$$\frac{\Delta h}{d_B} = \frac{h}{a},$$

где d_B – расстояние от горизонтали с отметкой 105 м до точки B , измеряется на карте линейкой в мм;

h – высота сечения рельефа, $h = 5$ м, дана на карте;

a – заложение расстояния между горизонталями в плане, измеряется на карте линейкой в мм.

Тогда

$$\Delta h = \frac{d_B \cdot h}{a} = \frac{3 \text{ мм} \cdot 5 \text{ м}}{10 \text{ мм}} = 1,5 \text{ м}.$$

Отметка точки B будет равна:

$$H_B = 105,0 + \Delta h = 105,0 + 1,5 = 106,5 \text{ м}.$$

Определение крутизны скатов

Рассмотрим часть ската BC (рис. 2.38) между соседними секущими уровнями P и Q и его изображение на карте.

Крутизну ската BC можно характеризовать углом ν , который линия местности BC образует с горизонтальной плоскостью Q . Из прямоугольного треугольника BCC' следует:

$$\operatorname{tg} \nu = h/a,$$

где h – высота сечения рельефа;

a – заложение.

Крутизну ската можно также определить уклоном i , который равен

$$i = \operatorname{tg} \nu.$$

Уклон линии обычно выражается в процентах % или в промилле ‰ (тысячные доли единицы).

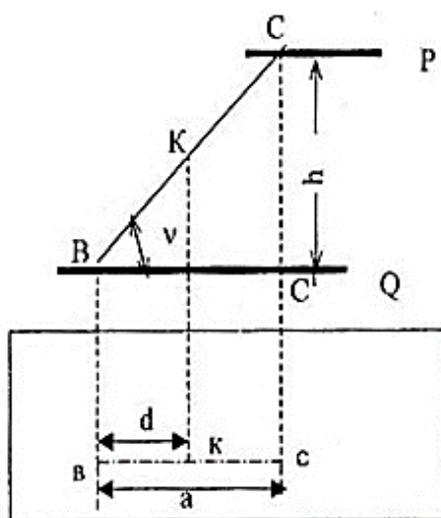


Рисунок 2.38 – Определение крутизны ската

Для определения крутизны ската на топографических картах имеется специальный график, называемый масштабом заложений (рис. 2.34). Вдоль его горизонтальной оси (основания) отложены значения углов наклона, а на перпендикулярах к ней – соответствующие им заложения в масштабе карты. Вершины перпендикуляров соединены кривыми. График рассчитан для основной высоты сечения рельефа (т. е. 5 м). Пусть требуется определить крутизну ската вдоль отрезка ab (рис. 2.39 и 2.40). Взяв отрезок ab в раствор циркуля, перемещают нижнюю ножку циркуля вдоль основания основного масштаба заложений до тех пор, пока верхняя точка не окажется на кривой. В данном примере крутизна ската равна $3,5^\circ$.

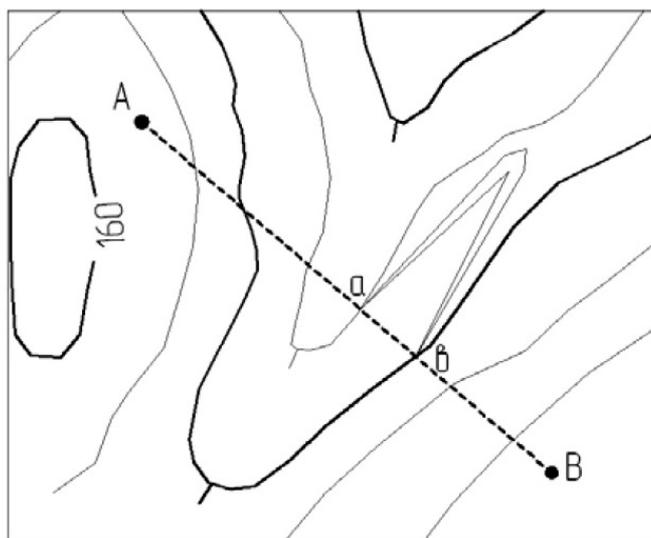


Рисунок 2.39



Рисунок 2.40 – График заложений для углов наклона

В задании требуется определить минимальный v_{\min} и максимальный v_{\max} уклон по линиям AB , BC , CA (рис. 2.40). Чем меньше расстояние между горизонталями (\min), тем круче склон v_{\max} , и наоборот, чем больше расстояние между горизонталями (\max), тем склон более пологий v_{\min} . Поэтому по каждой линии надо найти минимальное (\min) и максимальное (\max) расстояние между соседними основными горизонталями (разной высоты) и по графику определить соответствующие углы наклона.

В инженерной практике крутизна ската характеризуется также уклоном i , вычисляемым по формуле

$$i = \operatorname{tg} v = h/a.$$

Если линия задана между горизонталями плана, то h есть высота сечения рельефа и a – заложение, определяемое по плану.

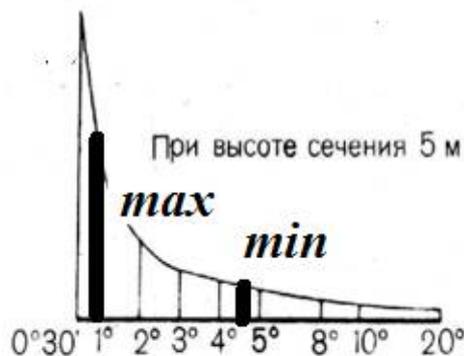
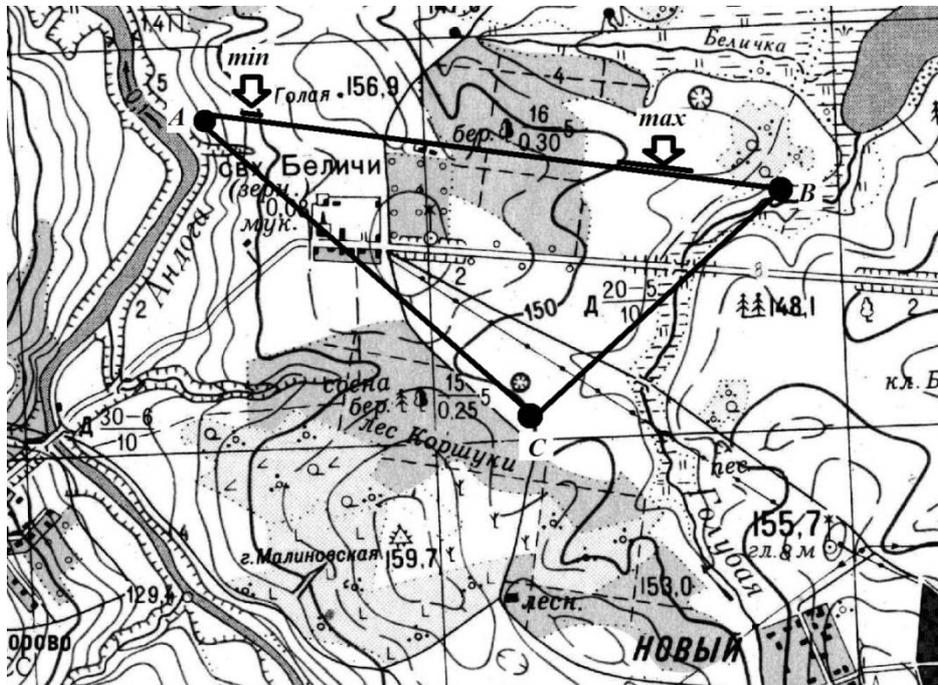


Рисунок 2.41 – Пример определения уклонов по линии АВ

Например, для линии AB :

– по линии AB выбирают минимальное (min) и максимальное (max) расстояние между горизонталями и берут это расстояние в раствор циркуля;

– циркуль прикладывают к графику таким образом, чтобы одна игла двигалась по горизонтальной линии до тех пор, пока вторая игла не окажется на кривой.

На рисунке 2.41 максимальный уклон (минимальное расстояние) v_{max} вдоль линии AB равен $4^{\circ}40'$; минимальный уклон (максимальное расстояние) v_{min} равен $1^{\circ}00'$.

Построение продольного профиля по заданному направлению

Продольный профиль – это вертикальный разрез местности.

На карте задано направление, например, AB , для которого необходимо построить продольный профиль (рис. 2.42 и 2.43).

Построение профиля ведут в следующей последовательности:

– для построения профиля к линии AB прикладывают согнутую полоску миллиметровой бумаги, по краю которой отмечают карандашом точки пересечения линии AB с горизонталями;

– развернув лист миллиметровой бумаги, по сгибу проводят горизонтальную линию и вычерчивают вниз таблицу (рис. 2.43), состоящую из двух граф: отметки, расстояние;

– с учётом высоты сечения и направления ската вычислить отметки (высоты) полученных точек и записать в графу «Отметки» (единицы измерения – метры). В этом случае горизонтальный масштаб профиля равен масштабу карты $M_T 1:25\ 000$;

– в графе «Расстояния» последовательно отложить отрезки равные измеренным расстояниям между точками пересечения. Расстояния подписываются исходя из масштаба (в 1 см 250 м), т. е. расстояние между отрезками в см надо умножить на масштаб (250 м) и мы получим расстояние на местности. Например, $1,2\text{ см} \cdot 250\text{ м} = 300\text{ м}$;

– вверх от $m. A$ вычерчиваем вертикальную шкалу. Вертикальный масштаб обычно берут в 10 раз крупнее горизонтального или принимают таким, чтобы рельеф был выражен. В нашем примере возьмём $M_B 1:500$;

– вычисляют условный горизонт ($УГ$) – отметку, от которой начинают построение профиля. Условный горизонт выбирают кратным основанию вертикального масштаба при условии свободного пространства от минимальной отметки профиля до линии *условного горизонта* в 4–5 см.

В нашем случае

$$УГ = H_{\min} - 4M_B = 195 - 4 \cdot 5 = 175 \text{ м.}$$

– от УГ по вертикальной шкале, согласно масштаба (в 1 см – 5 м), наносят значения высот через 5 м;

– из конца каждого отрезка восстанавливают перпендикуляр до отметки соответствующей его высоте, а полученные точки соединяют от руки плавной линией.

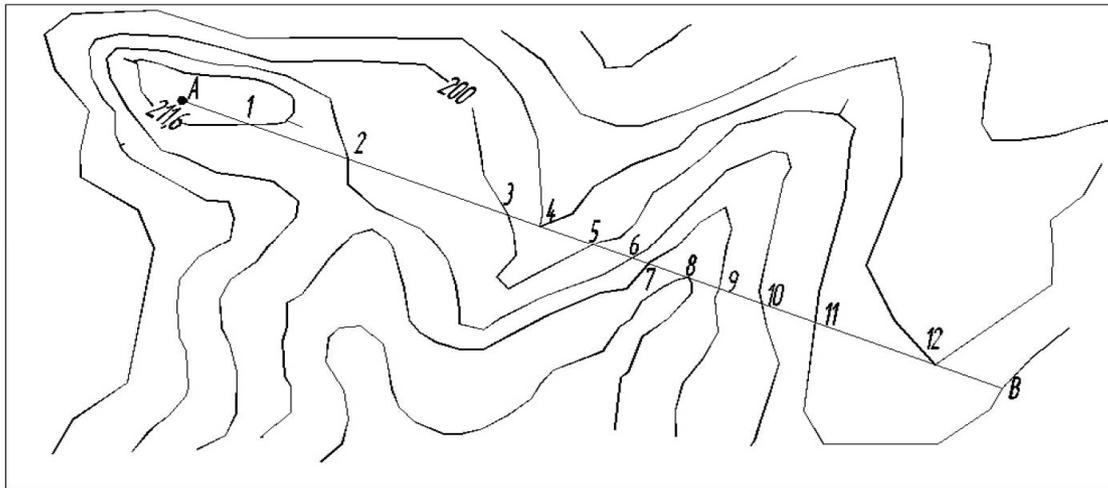


Рисунок 2.42 – Линия профиля на топографической карте

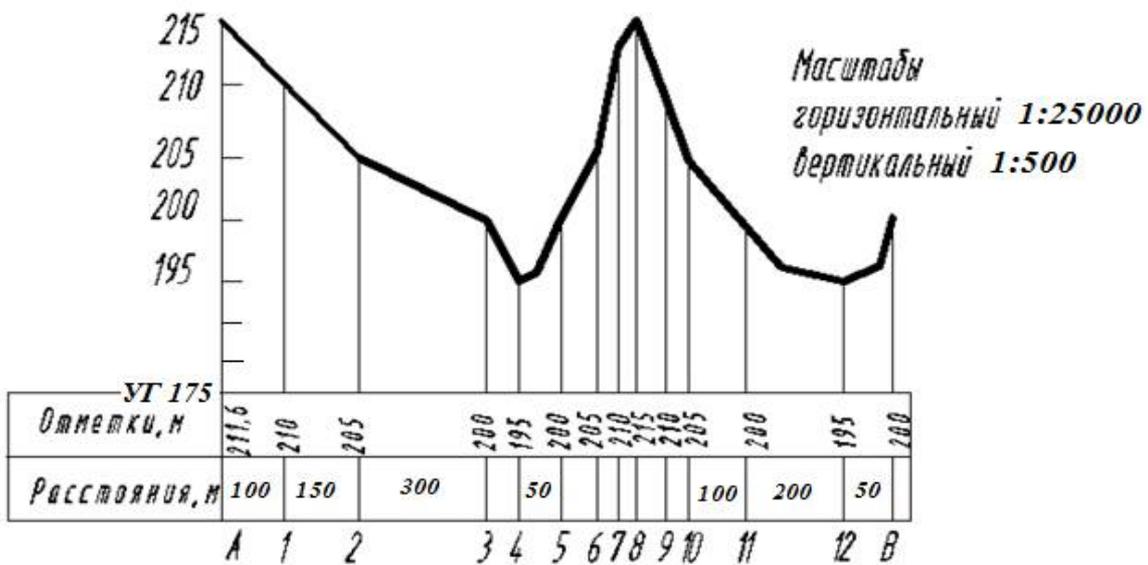


Рисунок 2.43 – Продольный профиль линии АВ

2.12 Рекомендации к выполнению работы с топографической картой

Для выполнения практической работы «Решение задач по топографической

карте» студент получает карту масштаба 1:25 000 с нанесёнными точками A , B , C для которых в последующем выполняются все необходимые задания:

1. Внимательно изучить содержание карты.
 2. Дать характеристику топографическим знакам, которые изображены с правой стороны карты (5 условных знаков).
 3. Определить расстояния между точками A , B и C в метрах на местности, используя масштаб карты.
 4. Найти географические координаты точек A , B и C .
 5. Определить прямоугольные координаты точек A , B и C .
 6. Построить график ориентирования по углам δ и γ , которые даны на карте преподавателем.
 7. Измерить дирекционные углы линий AB , BC и CA .
 8. Определить истинные и магнитные азимуты линий AB , BC и CA используя график ориентирования, который был построен по данным (преподавателем) углам δ и γ .
 9. Определить румбы линий AB , BC и CA .
 10. Найти полярные координаты точек A , B и C .
 11. Определить номенклатуру карты масштаба 1:10 000 по заданным географическим координатам.
 12. Определить высоты точек A , B , C .
 13. Определить максимальные v_{\max} минимальные v_{\min} уклоны по линиям AB , BC , CA .
 14. Построить профиль линии AB .
- Результаты оформляются в бланке (Приложение 1).

2.13 Определение площадей по картографическим материалам

Определение площадей участков местности может быть выполнено с той или иной степенью точности только в том случае, когда известен масштаб изображения. При этом в качестве картографического материала может служить как топографическая карта или план, так и другие изображения, например, геологическая карта, тематические и специальные карты и др.

Существует несколько способов определения площади фигуры: *аналитический, графический и механический*.

Аналитический способ определения площади. В этом способе площадь фигуры определяют по результатам непосредственных измерений на местности линий (расстояний) и углов. При этом фигура должна представлять собой тре-

угольник или многоугольник, что не всегда имеет место на практике. Если определяемая фигура представляет собой треугольник, квадрат, трапецию, прямоугольник и др., то площадь её вычисляется весьма легко по известным формулам геометрии с использованием результатов измерений на местности. Если многоугольник сложный, то для вычисления его площади сначала определяют прямоугольные координаты вершин в принятой системе координат Гаусса, либо в условной системе координат. В этом случае площадь такой фигуры определяют по формулам (в соответствии с рис. 2.24):

$$S = 0,5 [X_1(Y_2 - Y_n) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_4 - Y_2) + \dots + X_n(Y_1 - Y_{n-1})],$$

с контрольным вычислением по формуле

$$S = 0,5 [Y_1(X_2 - X_n) + Y_2(X_3 - X_1) + Y_3(X_4 - X_2) + \dots + Y_n(X_1 - X_{n-1})].$$

В формулах значение площади следует брать по модулю.

Рассмотренный метод даёт самые точные результаты, однако его применение требует проведения непосредственных измерений на местности.

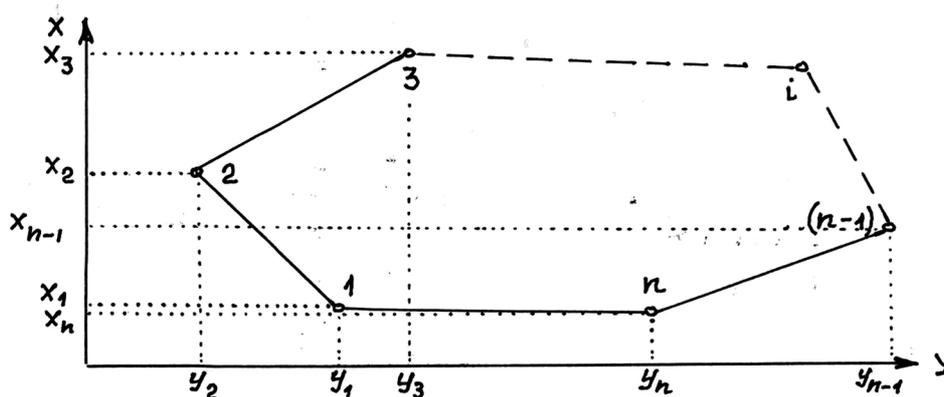


Рисунок 2.44 – Аналитический способ определения площади

Графический метод определения площади. Метод заключается в том, что данные для вычисления площадей простейших фигур берутся с картографического материала (с учётом его масштаба). Если фигура представляет собой многоугольник, то его разбивают на простые фигуры, обычно треугольники. При этом для повышения точности, разбивку выполняют два–три раза на разные треугольники и за окончательное значение принимают среднюю площадь из нескольких измерений. При разбивке сложных многоугольников следует стремиться, чтобы они, по возможности, не были остроугольными, а ближе были к равносторонним треугольникам.

Механический способ определения площади. Существенным преимуществом этого способа перед рассмотренными выше является то, что он позволяет определять площади участков земной поверхности практически любой формы

(фигур, имеющих криволинейные контуры). Для этого используются различные палетки, ротометры, механические и электронные планиметры.

Определение площадей с помощью палеток. Принцип определения площади с помощью палетки пояснен на рисунке 2.45. Палетка представляет собой прозрачную основу, на которой нанесены сетка квадратов с известной стороной (квадратная палетка – рисунке 2.45, а), серия параллельных линий с известным расстоянием между ними (линейная палетка – рисунке 2.45, б), упорядоченная группа точек с известными расстояниями между ними (точечная палетка – рисунке 2.45, в).

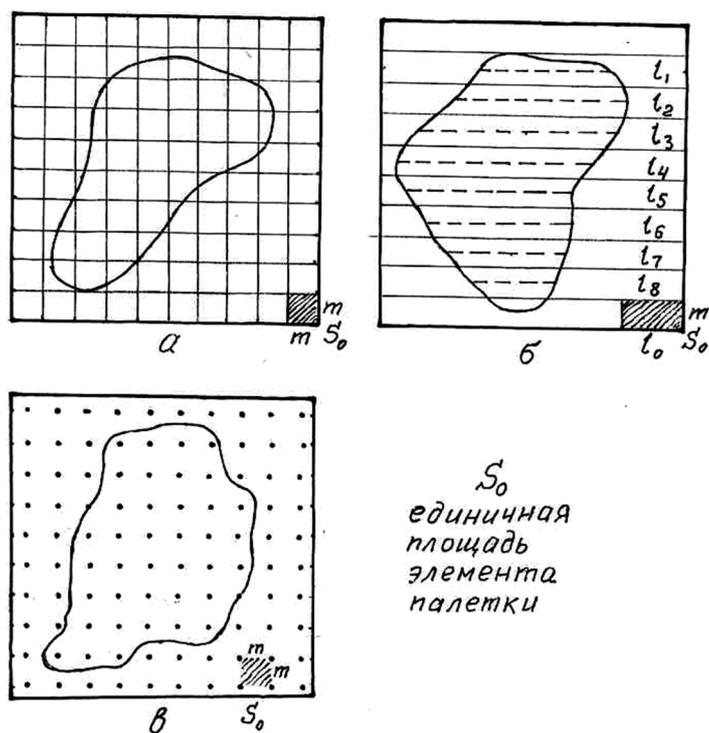


Рисунок 2.45 – Виды палеток:

а – квадратная; б – линейная; в – точечная

При использовании квадратной палетки для данного картографического материала определяют площадь элементарной ячейки (квадрата). Например, сторона квадрата равна 5 мм, масштаб карты 1:10 000. В этом случае сторона квадрата на местности будет равна 50 м, а площадь – 2 500 м². Палетку накладывают произвольно на фигуру и определяют число полных квадратов (N) и число всех неполных квадратов (n). Площадь определяют по формуле:

$$S = 0,5 (2N + n) S_0.$$

В соответствии с рисунком 2.25, а $N = 44$, $n = 6$, $S = 142\,500$ м² (при $S_0 = 2\,500$ м²).

Похожий принцип реализуется и при использовании линейной палетки. Только в качестве единичной площади здесь выступает элементарная полоса длиной l_0 , например, 1 см при известном расстоянии a между линиями. В пределах контура фигуры измеряют длины линий посередине между нанесёнными на палетку параллельными линиями, суммируют их и переводят через значение S_0 в площадь. Например, $S_0 (1 \text{ см}) = 5\,000 \text{ м}^2$, суммарное значение измеренных отрезков $L = 28,4 \text{ см}$, $S = 28,4 \times 5\,000 = 142\,000 \text{ м}^2$.

При использовании точечной палетки определяют площадь зоны влияния каждой точки, которая, вообще говоря, равна площади квадрата, как и в квадратной палетке. В контуре подсчитывают число точек (N) и умножают его на значение элементарной площади. При этом рекомендуется не принимать во внимание точки, совпадающие с контуром измеряемой площади. Например, $S_0 = 2500 \text{ м}^2$, $N = 57$, $S = 57 \times 2\,500 = 142\,500 \text{ м}^2$ (с учётом площади треугольника внизу фигуры).

Определение площадей с помощью планиметра.

Планиметр (рис. 2.46) – это механический прибор, состоящий из полюсного рычага 1 с грузиком 2. Грузик содержит в центре иглу 3 для закрепления его в устойчивом положении на столе. На другом конце полюсного рычага имеется сферическая шарнирная головка, которая свободно вставляется в гнездо 4 обводного рычага 5. На обводном рычаге имеется обводной штырь 6 (обводная марка) и счётный механизм 7. Счётный механизм имеет дисковую шкалу 8 счета оборотов, счётное колесо 9, один оборот которого соответствует одному делению дисковой шкалы. Внешний ободок 10 счётного колеса скользит по бумаге и за счёт трения проворачивается и приводит в движение через червячную передачу дисковую шкалу. Со шкалой счётного колеса сопряжена шкала нониуса 11, по которой берут отсчёт дробной части наименьшего деления шкалы счётного колеса.

Полный отсчёт содержит четыре значащих цифры: 1-я – отсчёт по шкале диска (5); 2-я – подписанное число на дисковой шкале до нулевого индекса нониуса (7); 3-я – число полных наименьших делений от ближайшей по возрастанию подписанной цифры счётного колеса до нулевого индекса нониуса (3); 4-я – ближайшее от нулевого индекса нониуса деление, совпадающее с делением шкалы счётного колеса (4); таким образом, отсчёт равен 5 734.

Измерение площади фигуры выполняется в следующей последовательности:

1. Установить планиметр на карте таким образом, чтобы при обводе фигуры угол между полюсным и обводным рычагом не был меньше 30° и больше 150° . При этом колесо счётного механизма обязательно должно перемещаться по поверхности бумаги. Если фигура большая, т. е. не обеспечивается поставленное выше условие, то её следует измерять по частям. После подбора уста-

новки планиметра закрепить полюс нажатием на грузик и в дальнейшем при измерениях не смещать.

2. Установить обводную иглу в точку фигуры с известной площадью (примерно в том же месте, что и измеряемая площадь; такой фигурой может быть квадратная сетка системы прямоугольных координат карты) и взять начальный отсчёт A_o по шкалам счётного устройства (например, $A_o = 5\ 783$).

3. Аккуратно обвести фигуру с известной площадью с возвращением в начальную точку. Взять отсчёт B_o (например, $B_o = 5\ 648$).

4. Установить обводную иглу в точку фигуры с неизвестной площадью и взять начальный отсчёт A (например, $A = 4\ 277$).

5. Аккуратно обвести фигуру с неизвестной площадью с возвращением в начальную точку. Взять отсчёт B (например, $B = 4\ 203$).

6. Вычислить разности отсчётов:

$$C_o = A_o - B_o \text{ и } C = A - B : C_o = 5\ 783 - 5\ 648 = 135;$$

$$C = 4\ 277 - 4\ 203 = 74.$$

Вычислить площадь фигуры. Предположим, что известная площадь S_o ($S_o = 4 \text{ км}^2$), тогда $S = (S_o C) : C_o$.

В приведённом примере: $S = (4 \text{ км}^2 \cdot 74) : 135 = 2,193 \text{ км}^2$.

Отношение $S_o / C_o = \mu$ – называется ценой деления планиметра. Таким образом, $S = \mu C$.

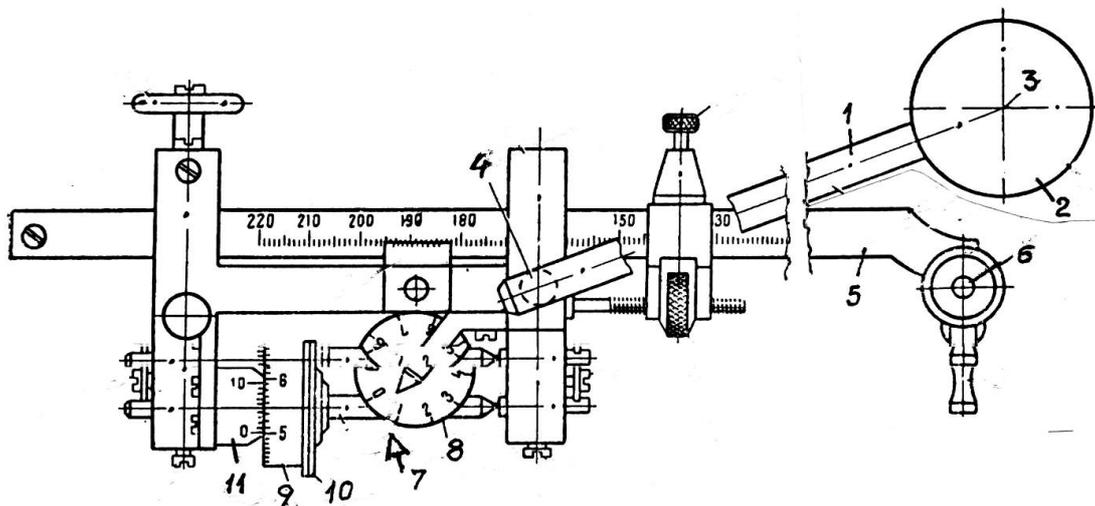


Рисунок 2.46 – Планиметр:

1 – полюсный рычаг; 2 – грузик; 3 – игла; 4 – гнездо; 5 – обводной рычаг;

6 – обводной штырь (обводная марка); 7 – счётный механизм;

8 – дисковая шкала; 9 – счётное колесо; 10 – ободок счётного колеса;

11 – нониус

Для повышения точности измерений площадь определяют несколько раз по схеме, приведённой выше. Целесообразно обвод площадей (известной и неизвестной) выполнять по часовой и против часовой стрелки, т. е. один полный приём измерения площади будет заключаться в двойном измерении. Обычно достаточно двух полных приёмов. Окончательное значение площади находят как среднее арифметическое из результатов полных приёмов измерений.

Если планиметр содержит два отсчётных устройства, то достаточно выполнить один полный приём, но при использовании во всех случаях двух отсчётных устройств, т. е. по каждой из точек брать по два отсчёта, например, A_{o1} , A_{o2} , B_{o1} , B_{o2} , A_1 , A_2 и т. д.

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

3.1 Общие сведения

Геодезический прибор – прибор, используемый в геодезии.

Если смотреть на геодезические приборы как средства получения информации в геодезии, тогда их можно разделить на *пять основных групп*:

- *угломерные приборы;*
- *приборы для измерения длин линий;*
- *приборы для измерения превышений (высот);*
- *комбинированные приборы (позволяют получать несколько характеристик);*
- *другие приборы и вспомогательное оборудование.*

Метрология выделяет средства измерения и приборы, которые не являются измерительными.

Разработку первых стандартов на геодезические приборы в бывшем СССР относят к 1963 г. Общие технические условия на геодезические приборы определены ГОСТ Р 53340-2009 «Приборы геодезические», согласно которому они делятся:

- По функциональному назначению геодезические приборы подразделяют на виды. Виды и условные обозначения геодезических приборов приведены в таблице 3.1.
- По точности геодезические приборы разделяют на *высокоточные, точные (средней точности) и технические.*
- По физической природе носителей информации выделяют приборы нескольких групп: *механические, оптико-механические, электронные, оптико-электронные и радиотехнические.*
- По условиям эксплуатации геодезические приборы подразделяют на *лабораторные (стационарные) и полевые (передвижные и носимые).*

Геодезические приборы конкретных типов допускается классифицировать по типу отсчётных устройств, конструкции осевых систем, виду зрительных труб, наличию компенсатора углов и другим признакам, определяющим конструктивные особенности.

К основным современным геодезическим приборам можно отнести:

- *нивелиры;*
- *теодолиты;*
- *тахеометры;*
- *дальномеры (как отдельные приборы);*

- *GPS/GNSS-приёмники и оборудование к ним;*
- *трассоискатели;*
- *сканирующие системы;*
- *построители плоскостей;*
- *фиксаторы уклона.*

Таблица 3.1 – Виды и условное обозначение геодезических приборов согласно ГОСТ Р 53340-2009 «Приборы геодезические»

Вид прибора	Условное обозначение	Вид прибора	Условное обозначение
Буссоль геодезическая	Б	Планиметр	П
Высотомер геодезический	В	Прибор вертикального проектирования	ПВП
Гиротеодолит	ГТ	Радиодальномер	РД
Дальномер геометрического типа	Д	Рейка нивелирная	РН
Искатель геодезический	И	Светодальномер	С
Кипрегель	К	Сканер лазерный геодезический	СЛ
Лазерный дальномер (безотражательный)	ДЛ	Спутниковый приёмник геодезический	СП
Лазерный построитель плоскостей	ЛП	Теодолит	Т
Нивелир оптико-механический	Н	Тахеометр номограммный	ТаН
Нивелир с цифровым отсчётом	НЦ	Тахеометр электронный	Та

3.2 Угловые измерения

Для измерения углов на местности используют прибор *теодолит*.

3.2.1 Теодолит, его устройство

Теодолит – это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов. Происхождение слова «теодолит» связано с греческими словами *theomai* – смотрю, вижу и *dolichos* – длинный, далеко.

Теодолит имеет следующие составные части: горизонтальный круг, состоящий из двух самостоятельных кругов – лимба с нанесёнными по краю делениями от 0° до 360° и алидады, несущей отсчётные устройства; зрительную трубу, вращающуюся в вертикальной плоскости вокруг оси, на одном из концов которой жёстко скреплён с ней вертикальный круг для измерения вертикальных углов. Для приведения оси вращения алидады (ось вращения теодолита) в отвесное положение, а плоскости лимба в горизонтальное положение, служит цилиндрический уровень и три подъёмных винта.

В комплекте с теодолитом имеются: *футляр, штатив, нитяной отвес, ориентир-буссоль, окулярные насадки*. Футляр (крышка) служит для переноса и хранения теодолита. Штатив нужен для установки теодолита над вершиной измеряемого угла. Для центрирования теодолита над вершиной угла предназначен нитяной отвес или оптический центрир. Ориентир-буссоль позволяет на местности измерять магнитные азимуты линий. Окулярные насадки, надеваемые на окуляры зрительной трубы и отсчётного микроскопа, позволяют наблюдать предметы, расположенные под углом более 45° к горизонту, и выполнять измерения на эти предметы.

В теодолите имеются закрепительные (зажимные) и микрометрические (наводящие) винты. Закрепительными винтами скрепляют подвижные части (лимб, алидаду, зрительную трубу) с неподвижными, наводящими винтами, сообщают малое и плавное вращение закреплённым частям.

При наблюдении предметов на них наводится вполне определённая точка трубы. Такой точкой является центр сетки нитей, представляющий собою пересечение горизонтальной нити и продолженной вертикальной. Сетка нитей видна в поле зрения трубы и изображена на специальной сеточной диафрагме, размещённой вблизи переднего фокуса окуляра (рис. 3.1). Сеточная диафрагма представляет собою стеклянную пластинку в металлической оправе.

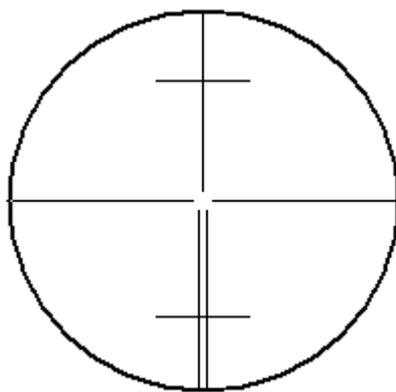


Рисунок 3.1 – Сетка нитей

Она может слегка перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях исправительными винтами сетки. Симметрично относительно горизонтальной нити нанесены дальномерные штрихи для определения расстояний.

Воображаемая прямая, проходящая через оптический центр объектива и центр сетки нитей, называется визирной осью. Отвесная плоскость, проходящая через визирную ось трубы, называется визирной плоскостью.

К оптическим характеристикам зрительной трубы относятся: увеличение, поле зрения, относительная яркость и разрешающая способность, которую принимают за точность визирования трубой.

Увеличение зрительной трубы показывает, во сколько раз увеличивается размер предмета, рассматриваемого в зрительную трубу, по сравнению с размером этого же предмета, видимого невооружённым глазом.

Поле зрения трубы называется то пространство, которое видно в трубу при её неподвижном положении.

Яркость изображения определяется количеством света, которое падает на глаз в секунду времени на квадратный миллиметр изображения.

Для приведения осей и плоскостей прибора в отвесное или горизонтальное положение служат уровни, они бывают двух типов: круглые – для предварительной, грубой установки приборов и цилиндрические – для окончательной, точной установки. Цилиндрический уровень представляет собой стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой отшлифована в виде бочкообразного сосуда, в продольном сечении представляющего дугу окружности некоторого радиуса.

Стеклянные сосуды уровней заполняют эфиром или смесью эфира со спиртом в подогретом состоянии. Когда наполнитель остынет и сожмётся в объёме, образуется пространство, заполненное парами наполнителя, то есть пузырёк. Чтобы можно было судить о перемещении пузырька, на наружной поверхности уровня наносятся штрихи. Расстояние между штрихами обычно равно 2 мм. Середина трубки уровня называется нуль-пунктом. На цилиндрическом уровне нуль-пункт обычно не обозначается, а относительно него штрихи наносятся симметрично. Касательная к внутренней поверхности трубки, проходящая через нуль-пункт вдоль длины цилиндрического уровня, называется осью уровня. Когда середина пузырька уровня совпадает с нуль-пунктом, ось уровня занимает горизонтальное положение. При смещении пузырька уровня на одно деление ось уровня наклоняется на некоторый угол, который называется ценой деления уровня. Чем меньше цена деления уровня, тем чувствительнее, точнее уровень.

В качестве отсчётных приспособлений применяются штриховой и шкаловой микроскопы (рис. 3.2), микроскоп-микрометр и оптический микрометр.

В штриховом микроскопе в середине поля зрения виден штрих, относительно которого осуществляется отсчёт по лимбу (рис. 3.2, *а*). Перед отсчётом по лимбу необходимо определить цену деления лимба. Цена деления лимба составляет 10 угловых минут, т. е. градус разделён на шесть частей. Число минут оценивается на глаз. Точность отсчёта составляет 1'.

В шкаловом микроскопе в поле зрения видна шкала, размер которой соответствует цене деления лимба (рис. 3.2, *б, в*). Для теодолита технической

точности размер шкалы и цена деления лимба равны $60'$. Шкала разделена на двенадцать частей и цена её деления составляет 5 угловых минут. Если перед числом градусов знака минус нет, отсчёт производится по шкале, где перед цифрами от 0 до 6 знака минус нет, в направлении слева направо (рис. 3.2, б). Если перед числом градусов стоит знак минус, в этом случае минуты отсчитываются по шкале вертикального круга, где перед цифрами от 0 до 6 стоит знак минус в направлении справа налево (рис. 3.2, в). Десятые доли минуты берутся на глаз с точностью до $30''$.

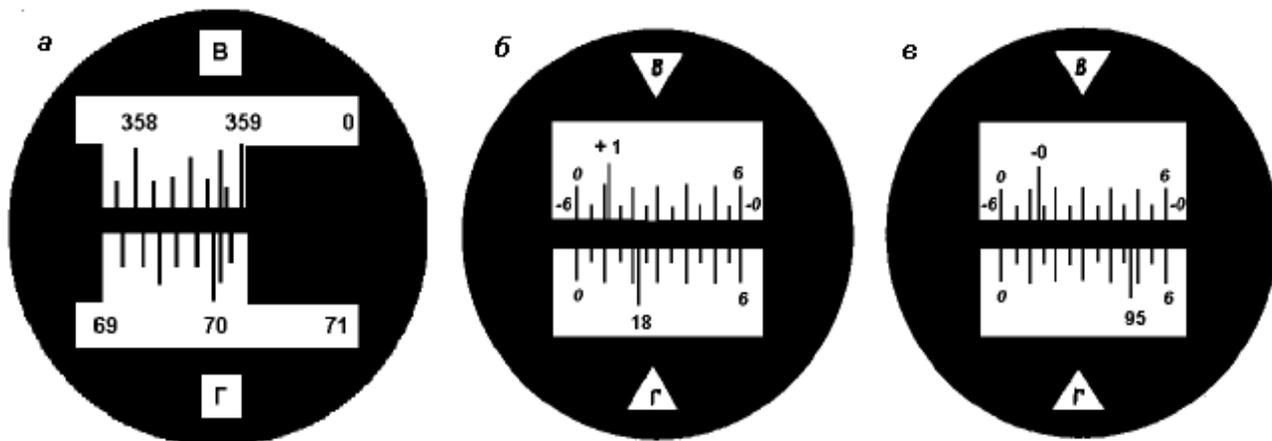


Рисунок 3.2 – Поле зрения отсчётных устройств: штрихового микроскопа с отсчётами по вертикальному кругу – $358^{\circ} 48'$, по горизонтальному – $70^{\circ} 05'$ (а); шкалового микроскопа с отсчётами: по вертикальному кругу – $1^{\circ} 11,5'$, по горизонтальному – $18^{\circ} 22'$ (б); по вертикальному кругу – $-0^{\circ} 46,5'$, по горизонтальному – $95^{\circ} 47'$ (в)

3.2.2 Типы теодолитов

По ГОСТ 10529-96 теодолиты различаются по точности, способу отсчитывания по лимбу, по конструкции, назначению и другим признакам.

По точности теодолиты делятся на:

- *высокоточные*, с помощью которых горизонтальный угол измеряется одним полным приёмом со средней квадратической погрешностью от $\pm 0,5''$ до $\pm 1''$, например теодолит Т1;
- *точные*, позволяющие измерять горизонтальный угол одним приёмом со средней квадратической погрешностью от $\pm 2''$ до $\pm 15''$, например теодолит Т2, Т5;
- *технические* – со средней квадратической погрешностью от $\pm 20''$ до $\pm 60''$, например теодолит Т15, Т30.

Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла указывается в шифре теодолита цифрами, например, Т2, Т5, Т30. В случае

применения зрительной трубы с прямым изображением в шифре теодолита добавляется буква П, например, 2Т30П и 4Т30П – теодолиты со средней квадратической погрешностью измерения горизонтального угла $\pm 30''$ и с трубой прямого изображения. Цифра 2 и 4 впереди шифра обозначает, что это теодолиты соответственно второго и четвертого поколений, то есть более совершенные, чем теодолит марки Т30.

В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений:

- с уровнем при вертикальном круге (традиционные, обозначение не применяется);
- К – с компенсатором углов наклона;
- А – с автоколлимационным окуляром (автоколлимационные);
- М – маркшейдерские;
- Э – электронные.

Допускается сочетание указанных исполнений в одном приборе.

3.2.3 Теодолит Т30

Теодолит Т30 (рис. 3.3) и его модификации (2Т30, 2Т30П, 4Т30П) относятся к разряду технических, с повторительной системой вертикальной оси. Система отсчитывания односторонняя. Технические характеристики теодолита Т30 приведены в таблице 3.2. Данные теодолиты применяются для прокладывания теодолитных и тахеометрических ходов, плановых и высотных съёмок.

Таблица 3.2 – Технические характеристики теодолита Т30

Параметр	Значение
Допускаемая средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом: – горизонтального угла – вертикального угла	30" 45"
Диапазон измерения углов: – горизонтальных – вертикальных	от 0° до 360° от -75° до +75°
Увеличения зрительной трубы	20(x)
Наименьшее расстояния визирования, м	0,5
Цена деления цилиндрического уровня	45"
Масса, кг	2,5

Теодолит Т30 состоит из следующих частей (рис. 3.3): горизонтального 2 и вертикального 19 стеклянных кругов с градусными делениями (под кожухом), по которым и измеряются углы; зрительной трубы, состоящей из окуляра 10 и объектива 17.

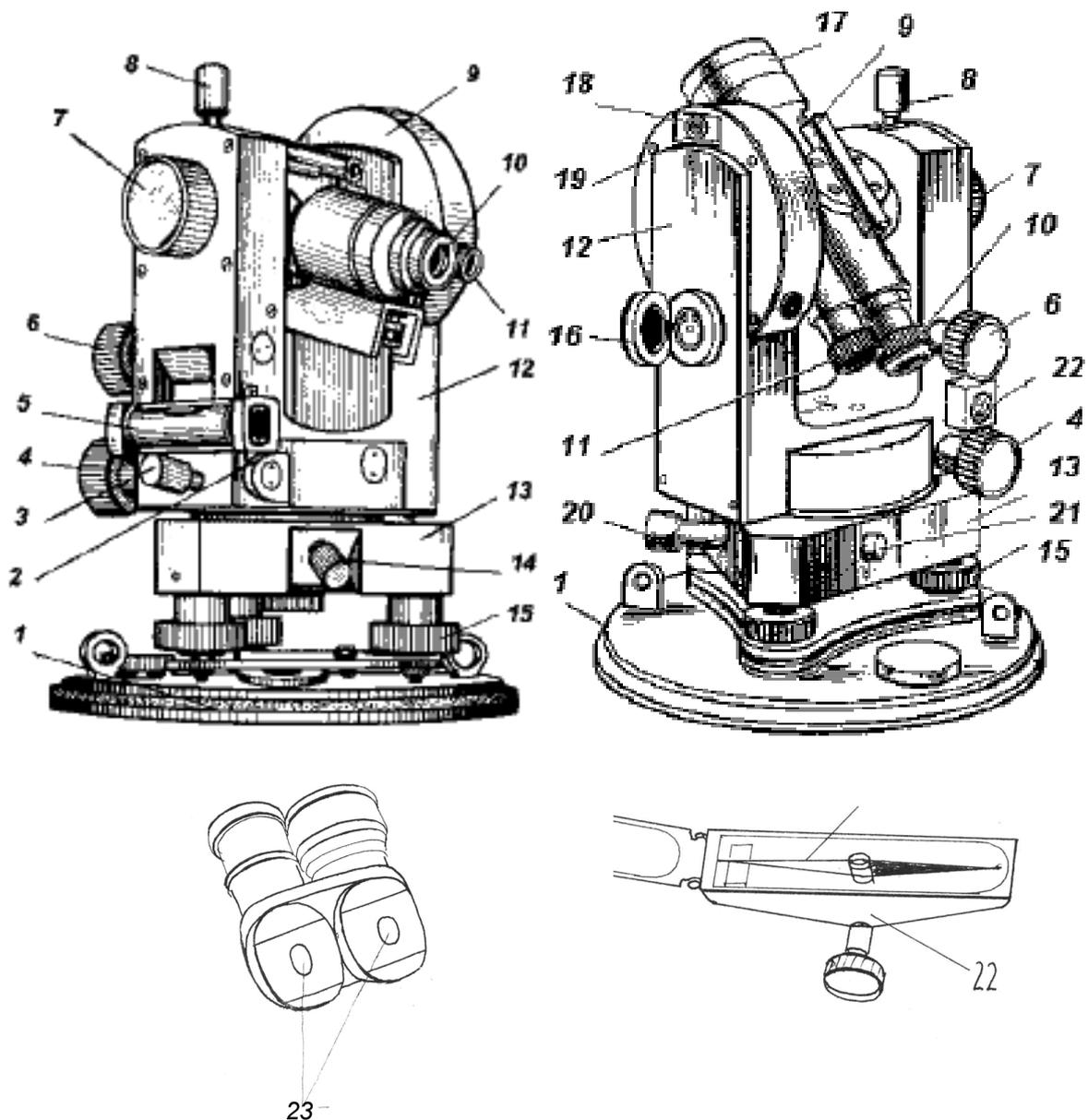


Рисунок 3.3 – Теодолит Т30:

- 1 – основание; 2 – горизонтальный круг; 3 – закрепительный винт алидады;
 4 – наводящий винт алидады; 5 – цилиндрический уровень;
 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – кремальера;
 8 – закрепительный винт зрительной трубы; 9 – визир;
 10 – окуляр зрительной трубы; 11 – окуляр отсчётного микроскопа;
 12 – колонка; 13 – подставка; 14 – закрепительный винт лимба;
 15 – подъёмный винт; 16 – зеркальце; 17 – объектив зрительной трубы;
 18 – посадочный паз для буссоли; 19 – вертикальный круг;
 20 – наводящий винт лимба; 22 – буссоль; 23 – окулярные насадки

В теодолите Т30 подставка 13 жёстко скреплена с основанием 1, служащим одновременно донцем футляра, что позволяет закрывать теодолит футляром, не снимая его со штатива. Для того чтобы теодолит плавно поворачивался

вместе с горизонтальным кругом (лимбом), необходимо вращать наводящий винт лимба 20 на подставке. При этом закрепительный винт лимба 14 должен быть зажат.

Ось вращения теодолита устанавливается в отвесное положение с помощью подъёмных винтов 15 и цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга 5.

Зрительная труба вращается вокруг горизонтальной оси, укрепленной на колонках 12 алидады горизонтального круга. Она может переводиться через зенит и окуляром, и объективом. Для предварительного наведения зрительной трубы на цель на трубе закреплён визир 9, в поле зрения которого виден светлый крест. Этот крест совмещается с предметом, который должен попасть в поле зрения зрительной трубы, но изображение предмета может быть размытым (иногда его изображение вообще не будет видно). Для получения чёткого изображения предмета необходимо с помощью кремальеры 7 перемещать в трубе специальную фокусирующую линзу до тех пор, пока его изображение не станет чётким. Зажимные винты зрительной трубы 8 и алидады горизонтального круга 3 закрепляются, и микрометренными винтами алидады горизонтального круга 4 и зрительной трубы 6 центр сетки нитей наводится на предмет. Отчётливость изображения сетки нитей получают вращением диоптрийного кольца окуляра трубы 10.

Рядом со зрительной трубой находится отсчётный микроскоп 11, в который передаются изображения отсчётов по вертикальному (В) и горизонтальному (Г) кругам. Для получения этих отсчётов нужно при помощи зеркала подсветки (16), находящегося на одной из колонок, запустить свет в оптическую систему теодолита.

В теодолите Т30 отсчётное приспособление выполнено в виде штрихового микроскопа, позволяющего брать отсчёты с точностью 1', а в его модификациях (2Т30П, 4Т30П) – шкалового микроскопа тридцатисекундной точности (см. рисунок 3.2, б, в).

3.2.4 Поверки и юстировки теодолита

Чтобы теодолит обеспечивал получение неискажённых результатов измерений, он должен удовлетворять соответствующим геометрическим и оптико-механическим условиям. Действия, связанные с проверкой этих условий, называют *поверками*. Если какое-либо условие не соблюдается, производят его исправление, т. е. *юстировку*.

Все теодолиты созданы по одной геометрической схеме, основанной на принципе отдельного измерения горизонтальных и вертикальных углов. Для верного измерения углов необходимо, чтобы у теодолита в рабочем положении

выполнялись следующие условия: 1) вертикальная ось прибора должна быть отвесна; 2) плоскость лимба должна быть горизонтальна; 3) визирная (коллимационная) плоскость должна быть вертикальна. А чтобы теодолит можно было установить в рабочее положение, у него должны выполняться определённые геометрические условия, касающиеся взаимного расположения осей теодолита. Перечислим, какие условия должны выполняться (рис. 3.4):

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ($UU \perp OO$).

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

3. Вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна вертикальной оси прибора ($YY // O''O''$).

4. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора ($GG \perp OO$).

5. Ось визира должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

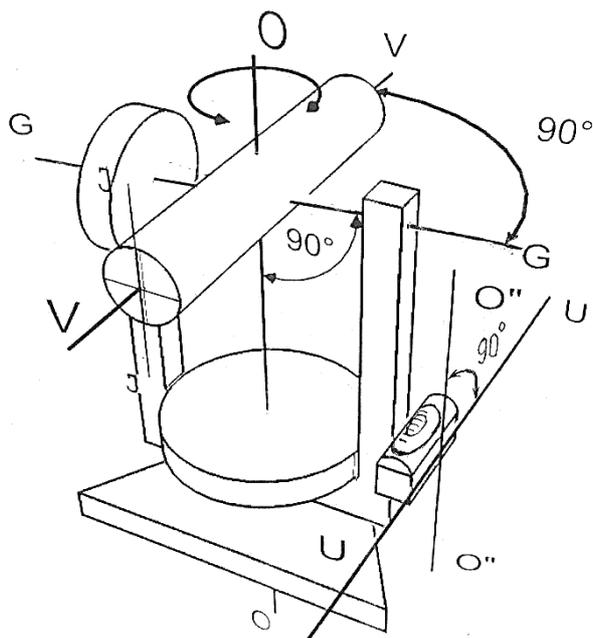


Рисунок 3.4 – Геометрические условия

Выполнение перечисленных геометрических условий необходимо для правильного измерения горизонтальных и вертикальных углов. Однако правильное расположение осей теодолита может быть нарушено в процессе работы или во время транспортировки прибора. В связи с этим возникает необходимость в выполнении проверок и юстировок теодолита.

На занятиях рекомендуется выполнить проверку цилиндрического уровня и проверку сетки нитей зрительной трубы.

Проверка цилиндрического уровня.

Ось цилиндрического уровня на горизонтальном круге должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита. Теодолит устанавливают на штатив. Алидаду поворачивают таким образом, чтобы ось поверяемого уровня была параллельна двум подъёмным винтам. Вращая эти винты в разные стороны, выводят пузырёк уровня на середину (в нуль-пункт). Затем алидаду поворачивают на 90° и третьим подъёмным винтом устанавливают пузырёк уровня на середину. Затем нужно повернуть алидаду на 180° и оценить смещение пузырька уровня от нуль-пункта. Если отклонение больше одного деления, необходимо выполнить юстировку.

Юстировка цилиндрического уровня.

Исправительными винтами уровня (рис. 3.5) переместить пузырёк уровня к нуль-пункту на половину отклонения. Исправительные винты вращать при помощи шпильки поочерёдно в нужном направлении. Другую половину отклонения устранить подъёмными винтами. Для проверки правильности юстировки проверку повторить.

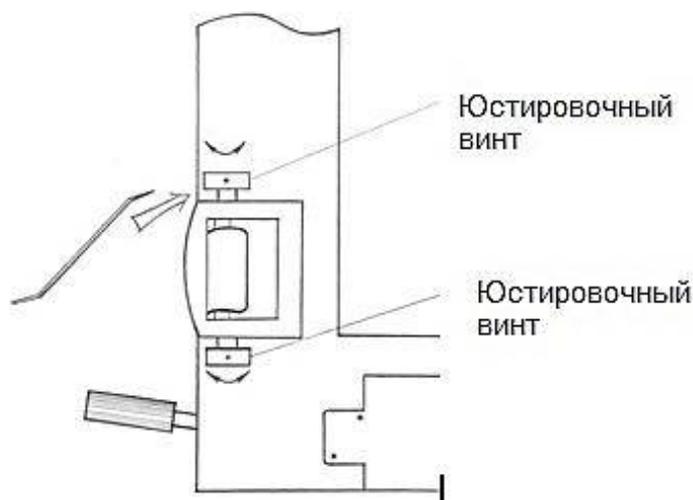


Рисунок 3.5

Проверка сетки нитей зрительной трубы.

Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита. Вертикальную ось теодолита привести в отвесное положение. Навести зрительную трубу на удалённую неподвижную точку на высоте теодолита. Наводящим винтом алидады крест сетки нитей навести на левый конец горизонтальной нити, а затем плавно переместить к правому концу. Если при этом крест сместился с горизонтальной нити вверх или вниз более чем на 3 ширины этой нити, выполнить юстировку и затем повторить проверку.

Юстировка наклона сетки нитей.

Нужно открутить колпачок на зрительной трубе со стороны окуляра, ослабить отвёрткой четыре крепёжных винта окуляра и повернуть его так, чтобы нить сетки расположилась горизонтально. После юстировки сетки нитей закрепить окуляр и навинтить колпачок.

3.2.5 Измерение горизонтальных углов

Для верного измерения горизонтального угла необходимо соблюдение следующих условий:

- центр горизонтального круга (лимба) должен находиться на отвесной линии, проходящей через вершину угла;
- плоскость лимба должна быть строго горизонтальной.

При выполнении этих условий наклон зрительной трубы теодолита в вертикальной плоскости во время визирования на точки местности не будет влиять на величину измеряемого горизонтального угла.

После выполнения проверок и юстировок теодолита приступают к измерению горизонтальных углов. Работы по измерению горизонтальных углов выполняют в следующем порядке: установка теодолита в рабочее положение (центрирование, приведение вертикальной оси в отвесное положение, установка трубы для визирования); измерение горизонтальных углов (направлений); обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

Установка прибора в рабочее положение.

При измерении углов *конечные точки сторон измеряемых углов закрепляют на местности* специальными знаками. Непосредственное визирование на знаки бывает затруднено в силу условий местности. Поэтому эти знаки обозначают визирными целями-вехами, шпильками и др. При работе в помещении в качестве визирных целей используют заранее подвешенные на стены марки.

Поверенный и юстированный теодолит *устанавливают на штативе* таким образом, чтобы острие отвеса находилось над колышком, а головка штатива занимала приблизительно горизонтальное положение на высоте груди наблюдателя. Ножки штатива при этом должны быть вдавлены в грунт настолько, чтобы обеспечивалось устойчивое положение прибора. При работе в помещении штатив устанавливают на полу в специальных деревянных подставках, ограничивающих расхождение ножек штатива (операция центрирования в этом случае не выполняется).

Центрирование инструмента над вершиной измеряемого угла в зависимости от точности выполняемой работы может быть выполнено при помощи нитяного отвеса или оптического центрира.

При центрировании при помощи нитяного отвеса выверенный теодолит прикрепляют станковым винтом к головке штатива. При помощи ножек штатива производят предварительное центрирование, наблюдая при этом, чтобы головка штатива была горизонтальна, а острие отвеса находилось в непосредственной близости от центра знака, закрепляющего вершину угла. В результате предварительного центрирования острие отвеса может отклоняться от центра знака на 1–2 см. Центрирование уточняют передвижением теодолита на головке штатива. Для этой цели предварительно открепляют становой винт и после уточнения центрирования вновь закрепляют.

При центрировании при помощи оптического центрира сначала производят предварительное центрирование при помощи нитяного отвеса в указанном выше порядке. Далее отводят нитяной отвес в сторону, открепляют становой винт и, слегка перемещая теодолит на головке штатива, вводят изображение точки в центр окружности сетки оптического центрира, затем вновь закрепляют теодолит на головке штатива при помощи станкового винта. Приведение основной оси теодолит в отвесное положение производят при помощи уровня на алидаде горизонтального круга, действуя подъёмными винтами. После приведения оси теодолита в отвесное положение может быть нарушено центрирование. Поэтому центрирование и приведение оси теодолита в отвесное положение выполняют несколькими последовательными приближениями.

Производят *поверку цилиндрического уровня и сетки нитей* (см. п. 3.2.4).

Установка трубы для наблюдений состоит из трёх действий: а) установки трубы по глазу, б) установки трубы по предмету и в) устранение параллакса сетки нитей.

Чтобы установить трубу по глазу, надо привести её на светлый фон и, вращая окулярную трубочку, добиться чёткой видимости сетки нитей.

Для установки трубы по предмету сначала визируют поверх неё, пользуясь коллиматорным визиром (или другим приспособлением для визирования, имеющимся на зрительной трубе). После того как наблюдаемый предмет попал в поле зрения трубы, зажимают закрепительные винты лимба и зрительной трубы. Вращением кольца кремальеры добиваются чёткого изображения наблюдаемого предмета. Действуя наводящими винтами алидады и зрительной трубы, совмещают центр сетки с изображением визирного знака.

После получения чёткой видимости наблюдаемой точки местности и совмещения её изображения с центром сетки нитей надо слегка переместить глаз у окуляра. Если изображение точки местности смещается относительно центра сетки нитей, то параллакс имеется. Устранение параллакса сетки нитей производится небольшим вращением кольца кремальеры.

Измерение горизонтальных углов способом приёмов.

Для измерения горизонтальных углов наиболее часто применяют способ приёмов.

Сущность данного способа заключается в двукратном измерении одного и того же угла при двух положениях вертикального круга («круг лево» и «круг право») и вычислении среднего значения измеряемого угла. Схема измерения горизонтального угла показана на рисунке 3.6.

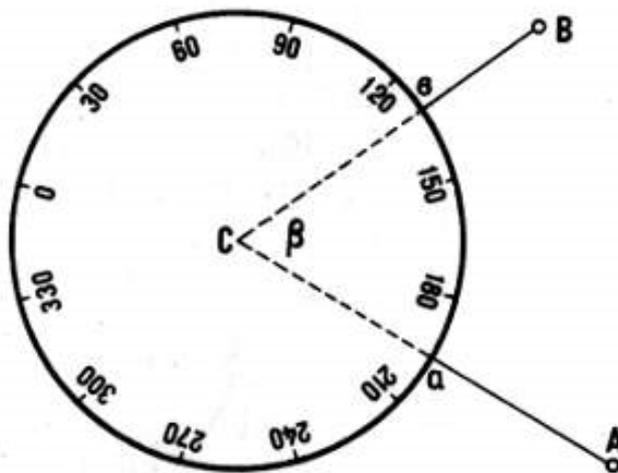


Рисунок 3.6 – Схема измерения горизонтального угла

Для измерения угла ВСА (рис. 3.6) теодолит устанавливают над вершиной угла C и, закрепив лимб, вращением алидады наводят трубу на первую точку A . Закрепив алидаду и зрительную трубу, производят отсчёт $a_{\text{л}}$ (в нашем примере таблица 3.3 при КП $a_{\text{л}} = 0^{\circ} 01'$) по горизонтальному кругу. Далее открепляют алидаду, визируют на вторую точку B и делают отсчёт $b_{\text{л}}$ (в нашем примере при КП $b_{\text{л}} = 124^{\circ} 37'$).

Пример отсчёта по шкале горизонтального круга (лимба) приводится на рисунке 3.7. Отсчёт берётся следующим образом. Количество градусов соответствует надписи штриха лимба, который проектируется на шкалу. А количество минут определяется как дуга от нулевого деления шкалы до градусного штриха лимба. При этом нужно помнить, что цена деления шкалы равна 5 минутам. На рисунке 3.7 отсчёт равен $124^{\circ} 37'$.

Величина измеряемого угла равна $\beta_{\text{л}} = b_{\text{л}} - a_{\text{л}}$ ($\beta_{\text{л}} = 124^{\circ} 37' - 0^{\circ} 01' = 124^{\circ} 36'$).

Такое измерение называют полу приёмом. Для контроля и ослабления влияния систематических погрешностей угол измеряют при втором положении вертикального круга. Для этого открепляют закрепительный винт зрительной

трубы, переводят её через зенит, открепляют закрепительный винт алидады, разворачивают её и вновь визируют на первую точку *A*, затем на вторую *B*. Делают отчёты (в нашем примере при КЛ $a_{Л} = 180^{\circ} 02'$, $b_{Л} = 304^{\circ} 37'$, $\beta_{Л} = 124^{\circ} 35'$). Два таких измерения составляют приём.

Из полученных результатов измерений в полу приёмах вычисляют среднее значение измеряемого угла:

$$\beta_{1cp} = (a_{П} + a_{Л} - 180^{\circ}) / 2 = (0^{\circ} 01' + 180^{\circ} 02' - 180^{\circ}) / 2 = 0^{\circ} 01'.5;$$

$$\beta_{2cp} = (b_{П} + b_{Л} - 180^{\circ}) / 2 = (124^{\circ} 37' + 304^{\circ} 37' - 180^{\circ}) / 2 = 124^{\circ} 37'$$

$$\beta_{cp} = \beta_{2cp} - \beta_{1cp} = 124^{\circ} 37' - 0^{\circ} 01'.5 = 124^{\circ} 35.5'$$

$$\beta_{cp} = (\beta_{Л} + \beta_{П}) / 2 = (124^{\circ} 36' + 124^{\circ} 35') / 2 = 124^{\circ} 35.5'$$

При правильных измерениях и вычислениях среднее значение между β_{1cp} и β_{2cp} должно быть равно разнице между ними. В нашем примере $\beta = 124^{\circ} 35.5'$.

При измерении горизонтальных углов записи производят в полевых журналах, одна из форм которого приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Наименование точек		Отсчёты по горизонтальному кругу		
Стояния	Визирования	П	Л	среднее
С	<i>A</i>	0° 01'	180° 02'	0° 01'.5
	<i>B</i>	124° 37'	304° 37'	124° 37'
Значение угла β		124° 36'	124° 35'	124° 35.5'

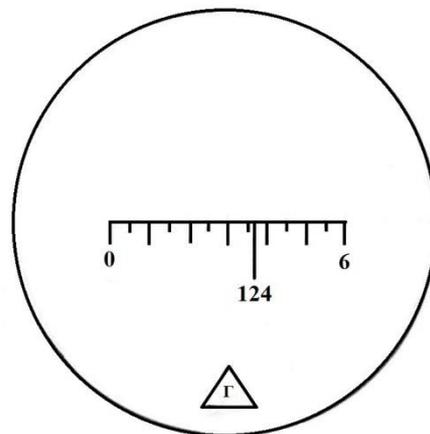


Рисунок 3.7

Бланк для выполнения работы с теодолитом представлен в Приложении 2.

3.2.6 Измерение вертикальных углов

Вертикальным называется угол между направлением на предмет и горизонтальным направлением визирной оси трубы теодолита. Вертикальные углы могут быть заключены в пределах от 90° до -90° . Для измерения вертикальных

углов служит вертикальный круг теодолита, который скреплён с осью вращения трубы и вращается вместе с ней. Разность отсчётов по вертикальному кругу, соответствующих двум указанным направлениям, даёт значение вертикальных углов.

Вертикальные углы измеряются для определения превышений между точками тригонометрическим нивелированием и для определения горизонтальных проложений наклонных линий местности. Измеряя вертикальные углы, можно также определить высоты объектов (зданий, водокачек, дымовых труб и т. д.).

Горизонтальное направление визирной оси определяется при помощи места нуля (МО) вертикального круга. *Место нуля* есть отсчёт по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению пузырька уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункте. *При вычислении углов наклона и места нуля надо к отсчёту, меньшему 90°, прибавить 360°.*

У разных теодолитов вертикальный круг имеет различное устройство и различную оцифровку. Поэтому формулы для определения вертикальных углов и места нуля вертикального круга у разных теодолитов различаются.

Например, у теодолита 2Т30 и 4Т30 оцифровка вертикального круга секторная, по 75° в одну и в другую сторону от нуля, причём в одну сторону деления подписываются со знаком «+», в другую – со знаком «-». На рисунке 3.8 показаны отсчёты по вертикальному кругу теодолита 4Т30 для положительного вертикального угла при круге право (КП) и круге лево (КЛ).

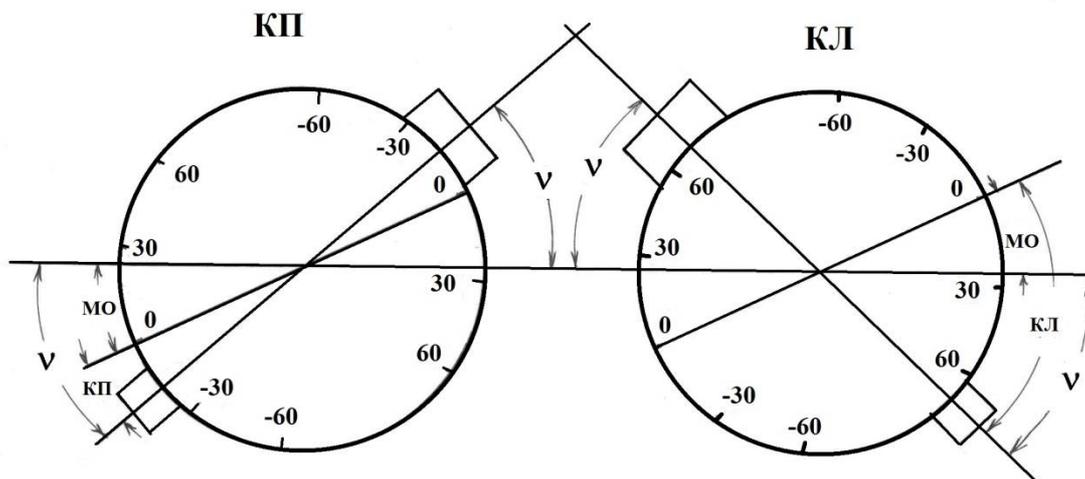


Рисунок 3.8 – Отсчёты по вертикальному кругу теодолита

Из рисунка очевидны формулы:

$$v = \text{МО} - \text{КП}; v = \text{КЛ} - \text{МО};$$

из этих формул можно вывести, что:

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}; v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2};$$

у теодолита ТЗ0 формула для определения вертикального угла и место нуля (МО) будут другие:

$$v = \text{МО} - \text{КП} - 180^\circ; v = \text{КЛ} - \text{МО};$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} + 180^\circ}{2}; v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} - 180^\circ}{2},$$

где КП – отсчёт по вертикальному кругу при круге право;
 КЛ – отсчёт по вертикальному кругу при круге лево;
 МО – место нуля.

Необходимо отметить, что отсчёты по вертикальному кругу у теодолита 4ТЗ0 берутся по шкале, подписанной буквой В, равной 1° вертикального круга и поделённой на 12 частей. Следовательно, цена деления шкалы равна 5'. Деля её на глаз на 10 частей, мы можем брать отсчёт с точностью 0,5' (30"). Слева направо шкала возрастает от 0' до 60' (подписано цифрой 6), справа налево шкала уменьшается от –0' до –60' (подписано – 6). Отсчёт по шкале берётся следующим образом: количество градусов считывается с подписанного градусного штриха вертикального круга, который проектируется на шкалу; количество минут определяется по шкале от её нуля до градусного штриха вертикального круга. Причём, если градусный штрих положителен, то количество минут считается слева направо от 0 шкалы до этого штриха, и прибавляется к градусам. Отсчёт будет положительным. Например, на рисунке 3.9(а) отсчёт равен +2°19'. Если градусный штрих вертикального круга отрицателен, то количество минут считается справа налево от –0 до градусного штриха и прибавляется к градусам; отсчёт будет отрицательным. Например, на рисунке 3.9(б) отсчёт равен –0°52'.

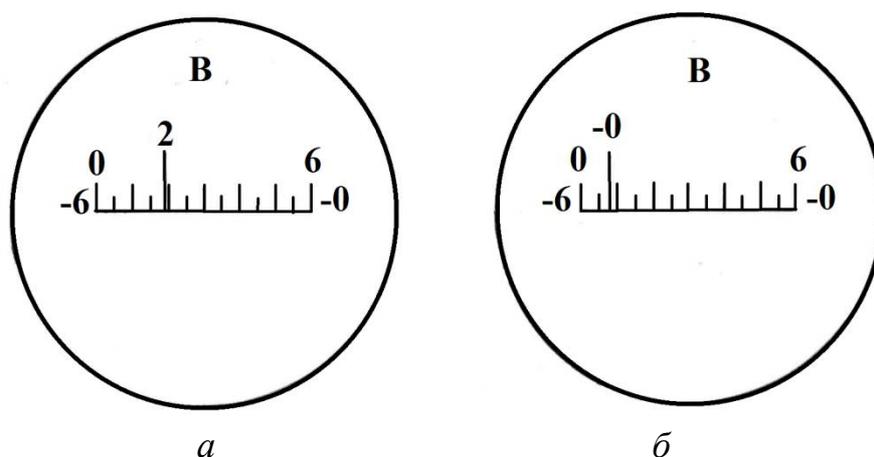


Рисунок 3.9

При измерении вертикальных углов теодолитом тщательно приводят ось теодолита в отвесное положение, затем зрительную трубу наводят на точку при

круге право (КП). Перед взятием отсчёта при необходимости нужно поправить уровень (пузырёк вывести на середину) подъёмными винтами. Затем берётся и записывается отсчёт КП по вертикальному кругу. Далее труба переводится через зенит и наводится на ту же точку при круге лево (КЛ). Подправив при необходимости уровень подъёмными винтами, берут и записывают отсчёт по вертикальному кругу КЛ. По формулам определяют вертикальный угол ν и место нуля МО.

Значение места нуля может иметь любое значение, но оно должно быть постоянным. Чтобы убедиться в постоянстве места нуля, необходимо перед работой определить место нуля из наблюдений нескольких точек местности. Постоянство места нуля является гарантией правильности измерения вертикальных углов. При измерении вертикальных углов записи производят в полевых журналах, одна из форм которого приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Наименование		Отсчёты по вертикальному кругу		Место нуля	Угол наклона
Станций	Точек наблюдения	КЛ	КП	МО	ν
К	1	3°46'	176°18'	0°02'	+3°44'
	2	4°33'	175°31'	0°02'	+4°31'

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} + 180^\circ}{2} = \frac{3^\circ 46' + 360^\circ + 176^\circ 18' + 180^\circ}{2} = \frac{720^\circ 04'}{2} - 360^\circ = 0^\circ 02';$$

$$\nu = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} - 180^\circ}{2} = \frac{3^\circ 46' + 360^\circ - 176^\circ 18' - 180^\circ}{2} = \frac{7^\circ 28'}{2} = 3^\circ 44'.$$

3.3 Измерение длин линий

3.3.1 Устройства для измерения длин линий

Определение расстояния между точками земной поверхности называется *линейными измерениями*.

Линейные измерения делятся на *непосредственные* и *косвенные*.

К *непосредственным измерениям* относят такие измерения, при которых мерный прибор укладывают непосредственно в створ измеряемой линии.

Створ – вертикальная плоскость, соединяющая начало и конец измеряемой линии.

Если невозможно измерить длину линии непосредственно, прибегают к *косвенным измерениям*. В этом случае определяемую длину находят как функцию других измеряемых величин.

Для линейных измерений используют механические и физико-оптические мерные приборы.

Механические рулетки:

– *стальные* (25–100 м) рулетки, имеющие метровые, дециметровые, сантиметровые и миллиметровые деления;

– *тесьяные рулетки* (10 м) – сантиметровые, дециметровые, миллиметровые. Используются для съёма контура местности;

– *стальные мерные ленты* (20 м) (рис. 3.10) имеющие метровые, полуметровые, дециметровые деления. В комплект входят шпильки, которые фиксируют концы ленты. Погрешность 1:2000. Используется для линейных измерений в съёмках;

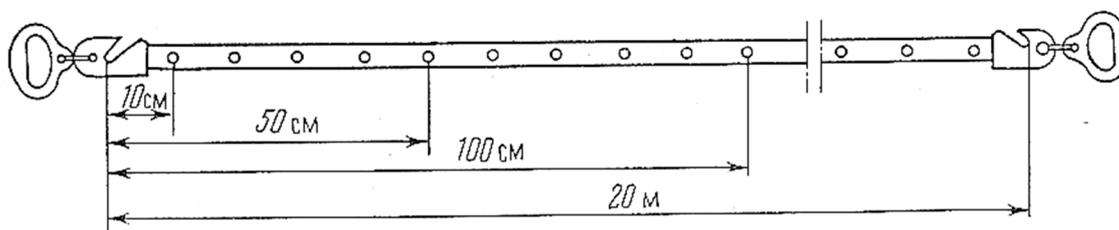


Рисунок 3.10 – Стальная мерная лента

– *инварные проволоки* (24 м) с десятисантиметровыми и миллиметровыми шкалами на концах. Измерение производят при помощи подвешенного базисного прибора. Применяется для высокоточных линейных измерений. Погрешность 1:1 000 000.

Достоинства: высокая точность измерений, простота устройства, не высокая стоимость, возможность откладывания проектных длин.

Недостаток: высокая трудоёмкость измерений.

Физико-оптические мерные приборы – это различные *лазерные, свето-, радио-, оптикодалномеры*.

Измерения этими приборами основаны на косвенном способе.

Их *достоинствами* является точность и быстрота измерений, возможность измерения больших расстояний.

Недостатки: невозможность откладывать проектные расстояния, высокая цена, сложность устройства.

3.3.2 Измерение длин линий механическим прибором (на примере мерной ленты)

Для измерения расстояния обычно не достаточно закрепить на местности начало и конец измеряемой линии, необходимо в створе линии установить

дополнительные вешки, этот процесс называется *провешиванием или вешением линии*. Вешение может производиться при помощи теодолита или на глаз.

Для провешивания линии AB на глаз, в точках A и B закрепляют вешки, наблюдатель становится возле точки A так, чтобы вешки в точках A и B совпали. Его помощник движется от точки A к точке B и устанавливает в точках $1, 2, \dots, n$ дополнительные вешки, руководясь указаниями наблюдателя.

При вешении теодолита в точке A устанавливают теодолит, в точку B – вешку. Вертикальную нить сетки совмещают с вешкой в точке B , закрепляют горизонтальный круг и трубу, вспомогательные вешки устанавливают по вертикальной нити сетки.

Если между точками A и B нет прямой видимости, вешение выполняется следующим образом: выбирают две вспомогательные точки, таким образом, чтобы они обе были видны и из точки A , и из точки B , и в них устанавливают вешки.

Методом последовательных приближений перемещают вешки из точки D_1 в C_1 , C_1 в D_2 , D_2 в C_2 и т. д. до тех пор, пока все вешки не будут на одной прямой (рис. 3.11).

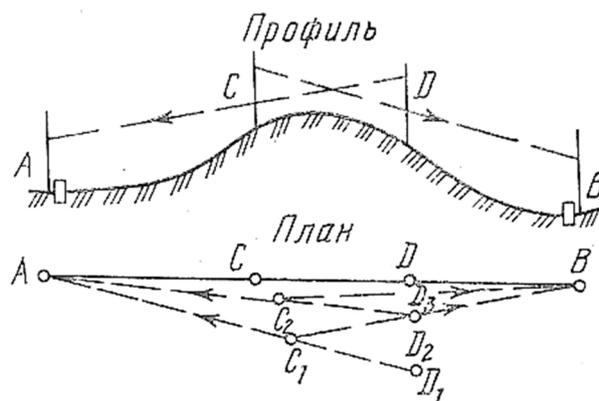


Рисунок 3.11 – Методом последовательных приближений

Порядок измерения линий:

После провешивания закрепляют точки перегиба местности, попадающие в створ линии (рис. 3.12). При помощи рулетки измеряют наклонные участки D_1, D_2, \dots и углы наклона местности ν_1, ν_2, \dots

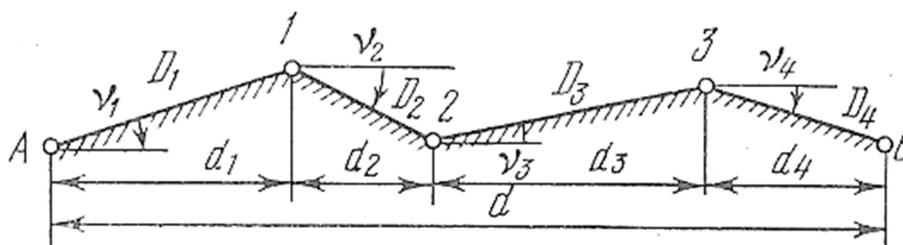


Рисунок 3.12

Вычисление горизонтальных проекций измеренных расстояний d_1, d_2 – горизонтальные проложения:

$$d_i = D_i \cos v_i.$$

Общая сумма горизонтального проложения АВ:

$$d = \Sigma d_i.$$

Каждое наклонное расстояние измеряют следующим образом: нулевой штрих ленты прикладывают к началу измеряемой линии, ленту укладывают в створе, встряхивают в горизонтальной и вертикальной плоскостях, натягивают и вставляют шпильку в вырез в конце ленты, снимают ленту со шпильки, одевают на шпильку нулевой вырез ленты и действия повторяют. В конце измеряют длину неполного пролёта. Измеренная наклонная длина вычисляется по формуле

$$D_1 = n \cdot l + r,$$

где r – длина неполного пролёта;

n – число полных проложений ленты.

Для контроля длину измеряют в обратном направлении D_2 , за окончательное значение длины принимают среднее из двух измерений, если разница между ними не превышает 1:2 000 от длины линии:

$$D = \frac{D_1 - D_2}{\frac{1}{2}(D_1 + D_2)} \leq \frac{1}{2000}.$$

3.3.3 Поправки, вводимые в длины линии, измеренные механическими приборами

1. За температуру вводят в тех случаях, когда температура измерений отличается от нормально (+20 °С). Номинальную длину мерного прибора определяют при нормальной температуре, его длина увеличивается или уменьшается в зависимости от внешней температуры:

$$\Delta D_t = \frac{D}{l} \alpha (t - t_0),$$

где D – измеренная длина;

l – длина мерного прибора;

α – коэффициент линейного расширения;

t – температура измерения;

t_0 – нормальная температура.

2. За наклон линии вводится в тех случаях, когда угол наклона местности превышает 2°. Иногда необходимо на наклонной поверхности отложить расстояние так, чтобы его горизонтальное проложение было равно заданной величине.

его, спроектируются на реку, т. е. в трубу можно будет видеть рейку, и изображение дальномерных нитей. Поскольку на рейке нанесены сантиметровые деления, можно будет определить расстояние между дальномерными нитями по рейке, т. е. взять отсчёт n .

Из чертежа видно, что расстояние между точками:

$$d = \sigma + f + E,$$

где σ и f постоянны для каждого прибора и из можно заменить на постоянное слагаемое:

$$d = c + E \quad (c = 0,1 \text{ м});$$

E – определяют из подобия треугольников:

$$\frac{E}{n} = -\frac{f}{P} \Rightarrow E = \frac{f - n}{P}.$$

Поскольку f и P постоянные величины, то их можно заменить коэффициентами дальномера:

$$E = kn \quad (k = 100);$$

$$D = kn + c.$$

Поскольку точность определения расстояния при помощи дальномера $\approx 1:300$ от длины линии, слагаемым c можно пренебречь:

$$D = kn.$$

3.4 Измерение превышений

Одной из важнейших характеристик местности является её рельеф. Отметку точки на местности можно определить по превышениям этой точки относительно другой, отметка которой известна. Для измерения превышений используется геодезический прибор – *нивелир* и *нивелирная рейка*.

3.4.1 Нивелир

В соответствии с ГОСТ 10528-90 нивелиры классифицируются по точности и по конструкции. По точности нивелиры делятся на три группы:

– *высокоточные* (нивелир Н-05), предназначенные для нивелирования I и II классов и позволяющие получать средние квадратические погрешности не более 0,5 мм на 1 км хода;

– *точные* (нивелир Н-3), предназначенные для нивелирования III и IV классов и позволяющие получать средние квадратические погрешности не более 3 мм на 1 км хода;

– *технические* (нивелир Н-10) предназначенные для инженерно-технических работ, строительства и позволяющие получать средние квадратические погрешности не более 10 мм на 1 км хода.

Цифра в шифре нивелира означает среднюю квадратическую погрешность, получаемую при нивелировании на 1 км двойного (прямого и обратного) хода.

По конструкции нивелиры всех типов выпускаются в двух исполнениях: с цилиндрическим уровнем и с компенсатором углов наклона. Если нивелир с компенсатором, в шифре прибора добавляется буква «К», например, Н-3К.

Часть моделей нивелиров выпускается с лимбом для измерения горизонтальных углов, в этом случае к шифру добавляется буква «Л», например, Н-3КЛ.

Выпускались нивелиры 2, 3 и 4 поколений. Цифра, стоящая перед обозначением марки прибора, указывает номер улучшенной модификации базовой модели, например 4Н-5Л. Нивелиры 2, 3, 4 поколений имеют зрительную трубу прямого изображения. При прямом изображении к шифру добавляется буква «П».

Все перечисленные выше нивелиры относятся к оптическим приборам. В настоящее время выпускаются и находят широкое применение лазерные и цифровые (электронные) нивелиры.

3.4.2 Устройство нивелира с цилиндрическим уровнем

Основными частями нивелиров с цилиндрическими уровнями являются зрительная труба, цилиндрический уровень и подставка с тремя подъёмными винтами (рис. 3.14, *а*).

Нижняя часть нивелира Н-3 состоит из подставки 2 с тремя подъёмными винтами (трегер) 15 и прижимной пластины 1.

Верхняя вращающаяся часть несёт на себе корпус 6 зрительной трубы, который имеет прилив с расположенным в нем цилиндрическим уровнем 7 и призмным устройством, передающим изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы.

Зрительная труба представляет собой телескопическую систему, состоящую из объектива 9, фокусирующей линзы (кремальера), сетки нитей и окуляра 4. Резкость изображения нивелирной рейки в поле зрения трубы достигается вращением винта 10 фокусирующей линзы.

Также на верхней вращающейся части нивелира расположены элевационный винт 3, закрепительный винт 11, наводящий винт 12, круглый уровень 13.

Для предварительной установки оси вращения нивелира в отвесное положение служит круглый уровень 13; вращением подъёмных винтов 15 пузырёк круглого уровня приводится в нуль-пункт.

Закрепительный винт 11 служит для неподвижного закрепления трубы, для более точного наведения зрительной трубы на рейку служит наводящий винт 12.

После установки оси вращения нивелира в отвесное положение элевационным винтом 3 приводится на середину пузырёк цилиндрического уровня. Призменное устройство передаёт изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы. Совмещение этих концов достигается, глядя в объектив зрительной трубы, вращением также элевационного винта (рис. 3.14, б).

Минимальный предел визирования зрительной трубы доведён до 2-х метров. Увеличение трубы нивелира Н-3 равно $30\times$, цена деления цилиндрического уровня $15''/2$ мм

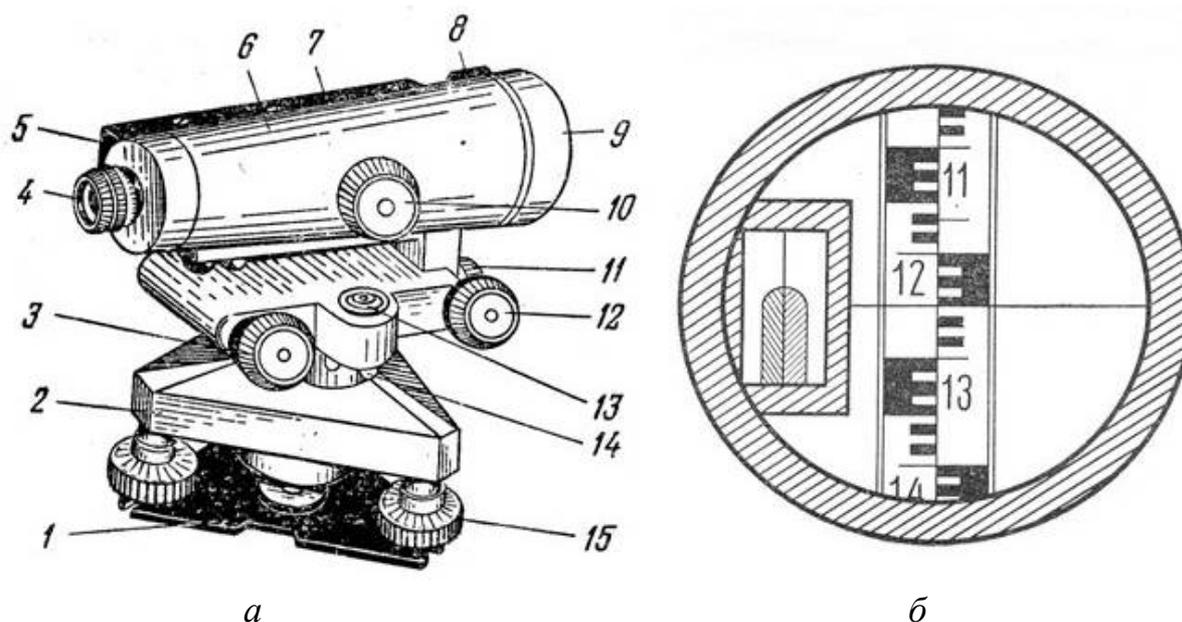


Рисунок 3.14 – Нивелир Н-3:

а – основные части нивелира Н-3:

1 – пружинящая пластина с втулкой; 2 – подставка;

3 – элевационный винт уровня; 4 – окуляр;

5 – торцевая часть коробки цилиндрического уровня; 6 – корпус трубы;

7 – коробка цилиндрического уровня, где расположены его исправительные винты; 8 – мушка; 9 – объектив; 10 – винт фокусировки трубы;

11 – закрепительный винт зрительной трубы; 12 – наводящий винт трубы;

13 – круглый уровень; 14 – исправительный винт круглого уровня;

15 – подъёмный винт;

б – поле зрения трубы нивелира обратного изображения (отсчёт 1 250 мм)

3.4.3 Устройство нивелирных реек

Нивелирные рейки изготавливаются из деревянного бруска двутаврового сечения толщиной 2–3 см, длиной 4 м, 3 м, 1,5 м, 1,2 м и короче, складные или цельные, односторонние или двусторонние (рис. 3.15).

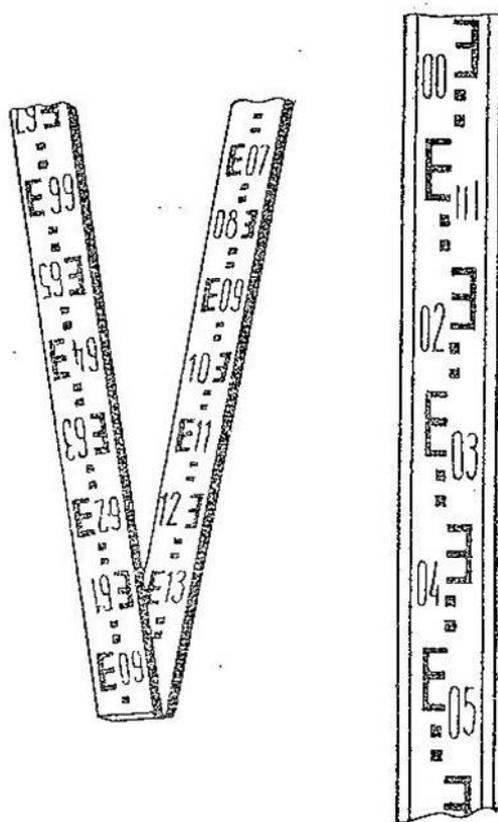


Рисунок 3.15 – Нивелирная рейка

Односторонние рейки применяются только в комплекте с высокоточными нивелирами.

Двухсторонняя рейка состоит из основной шкалы и дополнительной. Основная шкала двусторонней рейки (чёрная сторона) состоит из чередующихся черных и белых сантиметровых делений – шашек. Счёт делений основной шкалы ведут от нуля, совмещённого с основанием рейки, называемого «пяткой». Дополнительная шкала (красная сторона) состоит из чередующихся красных и белых шашек. Начальный отсчёт на дополнительной шкале выражается произвольным числом, например 4 687. Разность отсчётов по основной и дополнительной шкалам рейки должна быть равна этому числу, т. е. быть постоянной, что служит контролем правильности снятия отсчётов по рейке на станции. На шкале подписывается цифрами каждый дециметр. Отсчёты с рейки берутся в миллиметрах.

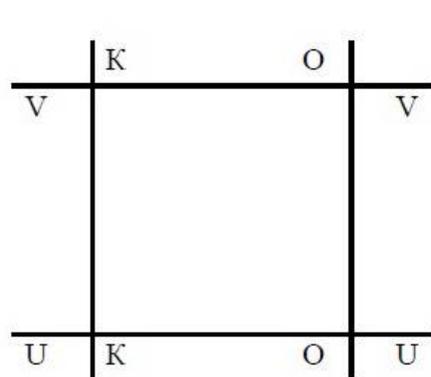
Во время работы рейки устанавливают на башмаки, костыли или деревянные колья.

Рейки могут изготавливаться с прямой или обратной оцифровкой шкал, что должно соответствовать прямому или обратному изображению зрительной трубы нивелира, в зависимости от этого в маркировке ставится буква «П» (прямая) или «О» (обратная). В обозначении складной рейки после указания их длины добавляется буква «С».

3.4.4 Поверки и юстировки нивелиров

До начала работы каждый нивелир подвергается внешнему осмотру, после чего выполняются его поверки и юстировка. При производстве поверок контролируют правильность взаимного расположения осей и частей нивелира. В случае, если обнаруживается несоответствие, его устраняют посредством юстировки.

Нивелир имеет следующие основные оси, между которыми должны соблюдаться определённые условия (рис. 3.16).



КК – ось круглого уровня;
ОО – ось вращения зрительной трубы;
VV – визирная ось зрительной трубы;
UU – ось цилиндрического уровня.

Рисунок 3.16 – Схема расположения основных осей нивелира

1. Поверка круглого уровня: *ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.*

Вращая подъёмные винты, приводят пузырёк круглого уровня в нуль-пункт. Затем верхнюю часть нивелира поворачивают на 180°. Если при этом пузырёк остаётся в центре, то поверка выполнена.

При смещении пузырька более чем на 1,5 деления выполняют юстировку: действуя исправительными винтами круглого уровня, смещают пузырёк в сторону нуль-пункта на половину отклонения. На вторую половину отклонения пузырёк смещается подъёмными винтами (рис. 3.17).

2. Поверка правильности установки сетки нитей: *вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси вращения нивелира.*

Один из способов поверки этого условия состоит в следующем. В защищённом от ветра месте на тонком шнуре подвешивают отвес. В 25–30 м от отвеса устанавливают нивелир и совмещают один из концов вертикальной нити сетки со шнуром отвеса. Если другой конец нити отходит от шнура отвеса не более чем на 0,5 мм, то условие выполнено.

Юстировка выполняется поворотом пластинки с сеткой нитей до совмещения её вертикальной нити со шнуром отвеса (рис. 3.18).

3. Поверка «главного условия нивелира»: *визирная ось зрительной трубы и оси цилиндрического уровня должны быть параллельны.*

Одним из методов проверки главного условия является проведение двойного нивелирования одной и той же линии в прямом и обратном направлении (рис. 3.19).

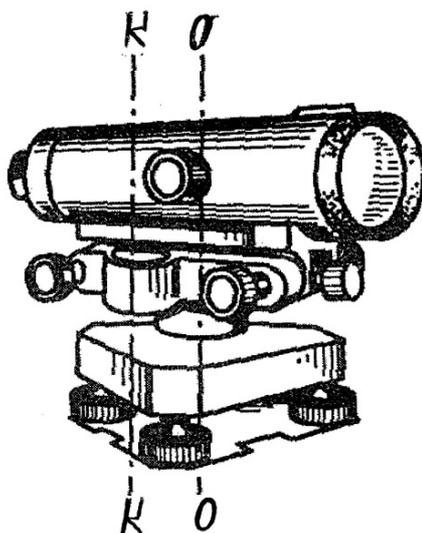


Рисунок 3.17 – Проверка круглого уровня

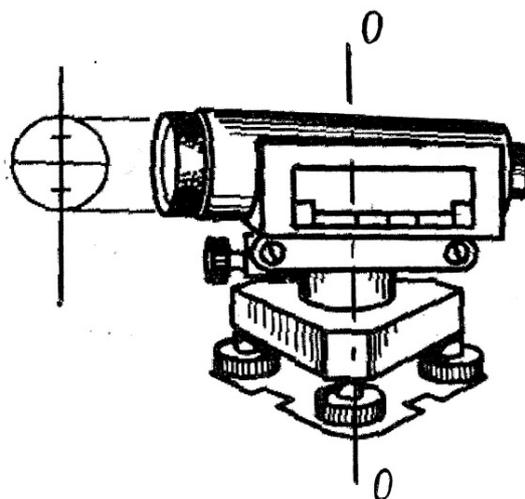


Рисунок 3.18 – Проверка правильности установки сетки нитей

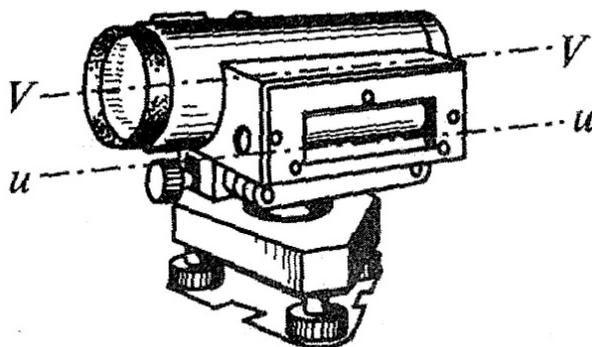


Рисунок 3.19 – Проверка «главного условия нивелира»

3.4.5 Подготовка нивелира для наблюдений

Подготовка нивелира для наблюдений состоит из двух действий:

1. Приведение оси прибора в отвесное положение.
2. Установка трубы для наблюдений.

Приведение оси прибора в отвесное положение производится при помощи круглого уровня (предварительная установка). Выверенный нивелир прикрепляют к головке штатива станковым винтом. Действуя ножками штатива, устанавливают его головку на глаз в горизонтальное положение. Затем при помощи подъёмных винтов приводят пузырёк круглого уровня в нуль-пункт. Выполняется первая поверка.

Установка трубы для наблюдений состоит из трёх действий:

1. *Установка трубы по глазу*

Для этого зрительную трубу наводят на светлый фон и, вращая окуляр, добиваются чёткого изображения сетки нитей

2. *Установка трубы по предмету*

Для этого сначала визируют трубу на рейку, пользуясь мушкой. После того как рейка попала в поле зрения трубы, зажимают закрепительный винт трубы. Вращением фокусирующего винта добиваются чёткого изображения, а для более точного наведения на рейку используется наводящий винт трубы.

3. *Устранение параллакса сетки нитей*

После получения чёткой видимости наблюдаемой точки надо слегка переместить глаз у окуляра. Если изображение смещается относительно центра сетки нитей, значит, имеется параллакс сетки. Устранение параллакса сетки нитей производится небольшим вращением ручки для фокусировки.

3.4.6 Работа на станции нивелирного хода

Работа на станции нивелирного хода при техническом нивелировании способом «из середины» состоит из следующих этапов (рис. 3.20):

1. Устанавливают нивелир посередине между точками (расстояния между прибором и рейками измеряются шагами).
2. Готовят нивелир для наблюдений.
3. Устанавливают рейки «нолём» чёрной стороны вниз на точках A и B .
4. Снимают отсчёты с задней и передней реек *по средней нити* сетки в следующем порядке:
 - отсчёт по чёрной стороне задней рейки $a_ч$;
 - отсчёт по чёрной стороне передней рейки $b_ч$;
 - отсчёт по красной стороне передней рейки $b_к$;
 - отсчёт по красной стороне задней рейки $a_к$;

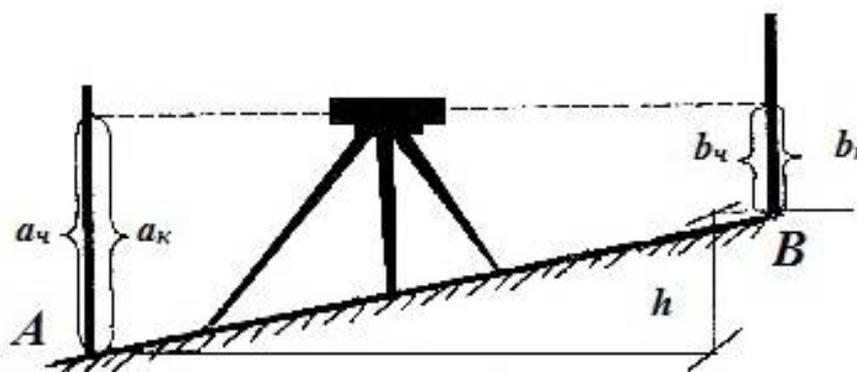


Рисунок 3.20 – Работа на станции

Перед взятием каждого отсчёта элевационным винтом совмещают изображения концов пузырька уровня в поле зрения трубы (рис. 3.21). Отсчёты берутся до миллиметров. Дециметры считывают по надписям на рейке, сантиметры определяют по числу делений рейки, а миллиметры оценивают на глаз.

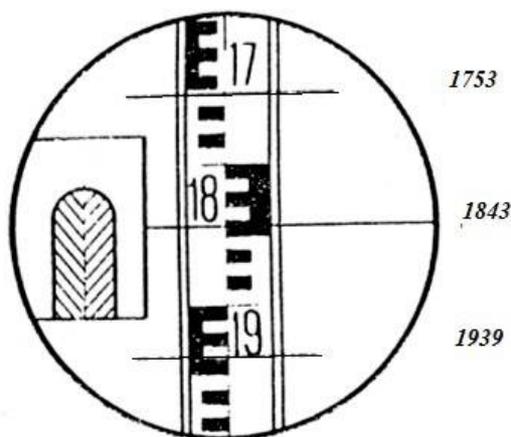


Рисунок 3.21 – Отсчёты по рейке нивелира обратного изображения

Важно помнить, что, глядя в зрительную трубу нивелира прямого изображения, отсчёты по рейке увеличиваются снизу вверх, а в зрительную трубу нивелира обратного изображения – сверху вниз.

Результаты нивелирования записывают в бланк журнала технического нивелирования (табл. 3.5).

Порядок обработки результатов нивелирования следующий:

– вычисляем превышения по чёрной и красной сторонам реек:

$$h_k = a_k - b_k; h_c = a_c - b_c.$$

Контроль правильности измерений на станции заключается в том, что превышения, полученные по красным и черным отсчётам, не должны отличаться более чем на 5 мм, т. е.:

$$|h_c - h_k| \leq 5 \text{ мм};$$

– вычисляем среднее превышение:

$$h = (h_k + h_u) / 2;$$

– вычисляем отметку точки В при заданной отметке точки А:

$$H_B = H_A + h.$$

Таблица 3.5 – Журнал технического нивелирования

№ станций	№ точек	Отсчёты по рейкам, мм			Превышения, мм		Поправки Δh , мм	Исправленные превышения $h_{испр}$, мм	Отметки горизонта инструмента ГИ, м	Отметки H , м
		задние, a	передние, b	промежуточные, c	$h \pm$	средние превышения, $h_{ср}$.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	А	$a_u = 6\ 266$	–	–	–	–	–	–	–	$H_A = 100,00$
		$a_{кр} = 1\ 582$	–	–	$h_u = -104$	$h = -103$	1	$h_{испр} = -102$	–	–
	–	$b_u = 6\ 370$	–	$h_k = -102$	–	–	–	–	–	$H_B = 99,898$
	–	$b_{кр} = 1\ 684$	–	–	–	–	–	–	–	–

При вычислениях превышение в мм необходимо перевести в метры.

Пример расчёта превышения и отметок приведён в таблице 3.5.

Бланк для выполнения работы с нивелиром представлен в Приложении 3.

4. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ

4.1 Общие сведения о топографических съёмках

Полевая работа, которая производится в целях получения карт, планов и профилей, называется *съёмкой*. Снять некоторые точки местности – это значит определить их положение на плане или карте.

В зависимости от целей съёмки делятся на виды по названиям: *топографическая, сельскохозяйственная, почвенная, городская, лесная, геологическая, геофизическая и др.*

Топографическая съёмка – комплекс полевых и камеральных работ, имеющих целью изобразить на бумаге условными знаками в заданном масштабе местные предметы и рельеф участка земной поверхности. Топографические съёмки разделяются на виды в зависимости от применяемых приборов. Для получения планов небольших участков местности и сравнительно невысокой точности применяют *эккерные* и *буссольные съёмки*; более точных планов участков, занимающих площади в несколько сотен и тысяч га, – *теодолитные* и *мензульные съёмки*. При необходимости изобразить на плане рельеф местности применяют *тахеометрическую съёмку* (от греч. *ταχῆς* – быстро). Основным видом съёмки для значительных территорий являются *аэрофототопографическая* и *космическая съёмки*. Для горной и всхолмленной местности применяют *фототеодолитную съёмку*, состоящую в том, что местность фотографируют фототеодолитами, после чего при помощи специальных приборов по фотоснимкам составляют план местности. Иногда возникает необходимость произвести съёмку местности быстро и хотя бы приближённо. В этом случае применяют *глазомерную съёмку*.

Все съёмочные работы являются *полевыми*; последующие геодезические работы – вычислительные и графические – выполняются в кабинетах и лабораториях и называются *камеральными*.

Токосъёма производится относительно пунктов съёмочного обоснования, созданного теодолитно-нивелирными ходами, и состоит из полевых и камеральных работ.

Полевые работы включают:

- рекогносцировку – предварительный осмотр местности;
- закрепление точек съёмочного обоснования и привязка их к местным предметам линейными промерами;
- измерение горизонтальных углов и длин сторон;
- съёмку элементов ситуации и рельефа местности.

К камеральным работам относят:

- вычисление координат и высот пунктов теодолитно-нивелирных ходов;
- нанесение на план этих пунктов;
- построение на плане элементов ситуации и характерных высотных точек с полевых журналов и абрисов;
- проведение горизонталей и вычерчивание плана в соответствии с условными топографическими знаками.

Чтобы съёмщик не ошибся в произведённых промерах и правильно сумел соединить на плане снятые точки, ведётся схематическая зарисовка местности с указанием измеренных величин. Такой сделанный от руки схематический план местности, на котором изображены контуры угодий, местные предметы, результаты измерений, приведены названия и другие сведения, необходимые для составления точного плана, называется *абрисом*.

Система (совокупность) опорных точек, обеспечивающих съёмку на некотором участке поверхности Земли, называют *съёмочным обоснованием*.

4.2 Геодезические сети

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).

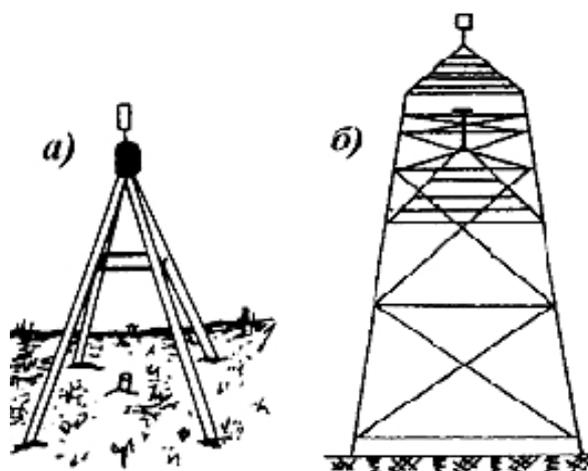


Рисунок 4.1 – Геодезические пункты:
а) пирамида; б) сигнал

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 топосъёмок 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).

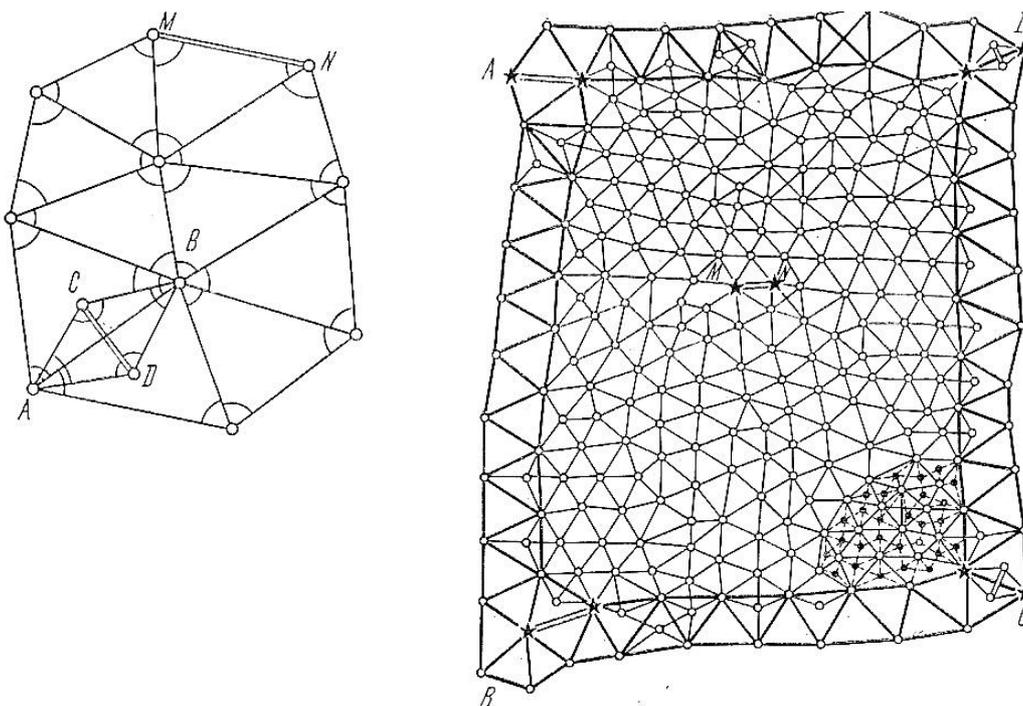


Рисунок 4.2 – Принцип построения ГГС

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).

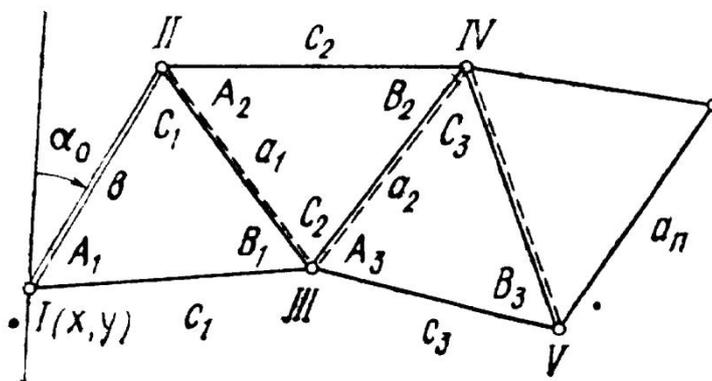


Рисунок 4.3 – Способ триангуляции и трилатерации

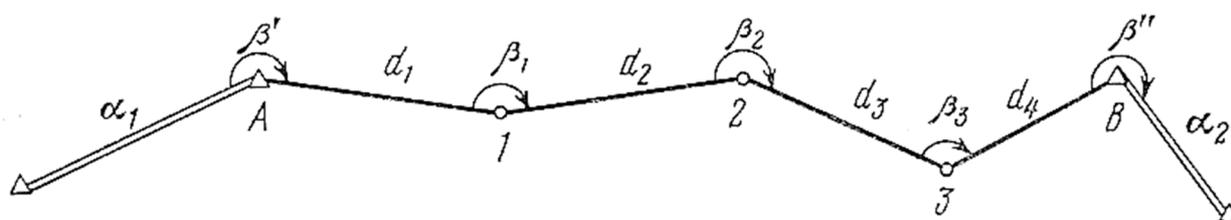


Рисунок 4.4 – Способ полигонометрии

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 Пулково 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 H) на территории страны. На всей территории страны вычисление высот производится в нормальной системе высот от нуля Кронштадтского футштока. Эта система называется Балтийской.

4.3 Основные геодезические задачи

При вычислительной обработке выполненных на местности измерений, а также при проектировании инженерных сооружений и расчётах для перенесения проектов в натуру возникает необходимость решения прямой и обратной геодезических задач.

Прямая геодезическая задача – заключается в вычислении координат точки B , если известны координаты точки A , расстояние между A и B и дирекционным углом (рис. 4.5).

$$\begin{array}{l|l} X_A & X_B = X_A + \Delta X_{AB}, \\ Y_A & Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB}, \\ d_{AB} & \Delta X_{AB} = \cos \alpha_{AB} \cdot d_{AB}, \\ \alpha_{AB} & \Delta Y_{AB} = \sin \alpha_{AB} \cdot d_{AB}. \\ \hline X_B - ? & \\ Y_B - ? & \end{array}$$

ΔX и ΔY могут быть положительными и отрицательными в зависимости от четверти, в которой расположена AB .

	ΔX	ΔY
СВ	+	+
ЮВ	-	+
ЮЗ	-	-
СЗ	+	-

Обратная геодезическая задача – заключается в вычислении расстояния между точками AB и дирекционного угла линии AB , если известны координаты точек A и B (рис. 4.5).

$$\begin{array}{l|l} X_A & \Delta X_{AB} = X_B - X_A, \\ Y_A & \Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A, \\ X_B & d = \sqrt{(\Delta X_{AB})^2 + (\Delta Y_{AB})^2}, \\ Y_B & \\ \hline d_{AB} - ? & r_{AB} = \arctg \frac{|\Delta Y_{AB}|}{|\Delta X_{AB}|}. \\ \alpha_{AB} - ? & \end{array}$$

По знакам ΔX и ΔY определяют четверть, в которой располагается линия, и выбирают формулу для вычисления дирекционного угла.

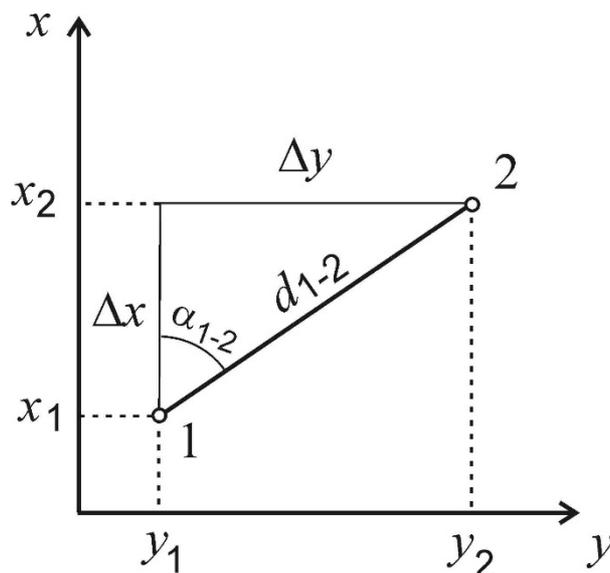


Рисунок 4.5

4.4 Теодолитная съёмка

4.4.1 Сущность теодолитной съёмки

Теодолитная съёмка – горизонтальная геодезическая съёмка местности, выполняемая для получения контурного плана местности (без высотной характеристики рельефа) с помощью теодолита.

Теодолитная съёмка складывается из следующих этапов:

- камеральная подготовка материалов;
- рекогносцировка местности и закрепление намеченных пунктов геодезическими знаками;
- полевые измерительные работы;
- камеральная обработка результатов измерений.

Камеральная подготовка

В период камеральной подготовки устанавливают наличие планов, составленных на снимаемую местность по ранее произведённым съёмкам; из имеющихся материалов отбирают планы и карты наиболее крупных масштабов и съёмок последних лет. Составляют схему расположения пунктов имеющегося съёмочного обоснования. Из каталогов выписывают координаты этих пунктов.

На подобранных планах или топографических картах составляют проект организации полевых работ.

Рекогносцировка местности

После камеральной подготовки исполнитель осматривает местность, устанавливает изменения в контурах, проверяет целесообразность исполнения намеченного проекта, уточняет его на месте, назначает места установки пунктов

съёмочной сети, закрепляет их геодезическими знаками и намечает пути привязки к пунктам геодезической сети более высокого порядка. Вслед за этим выполняют непосредственные полевые измерения, которые проводят в два этапа: *первый – построение съёмочной сети и второй – съёмка контуров.*

При теодолитной съёмке съёмочная сеть в основном состоит из *теодолитных ходов* – многоугольников, в которых измеряют длины сторон d_1, d_2, \dots поворотные углы β_1, β_2, \dots между сторонами.

Теодолитный ход может быть:

- *разомкнутый* – вытянутый ход, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования более высокого порядка (рис. 4.6);
- *замкнутый* – сомкнутый многоугольник, обычно привязанный к одному из пунктов геодезического обоснования (рис. 4.7);
- *висячий ход* примыкает к геодезическому обоснованию одним своим концом, второй конец остаётся свободным.

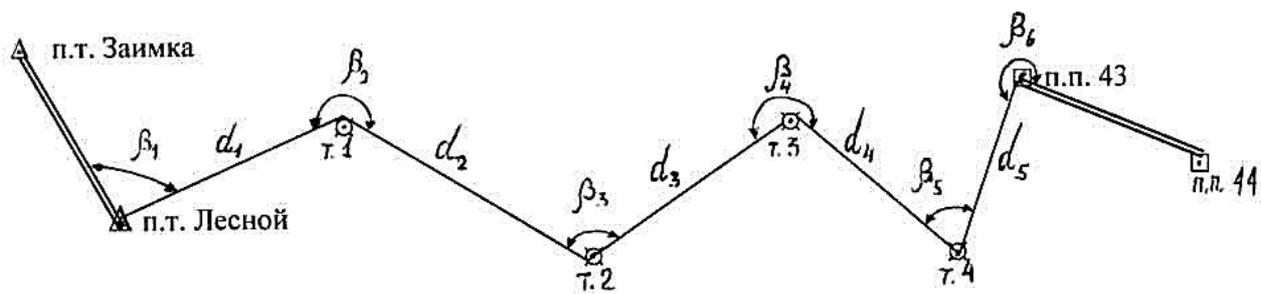


Рисунок 4.6 – Разомкнутый теодолитный ход

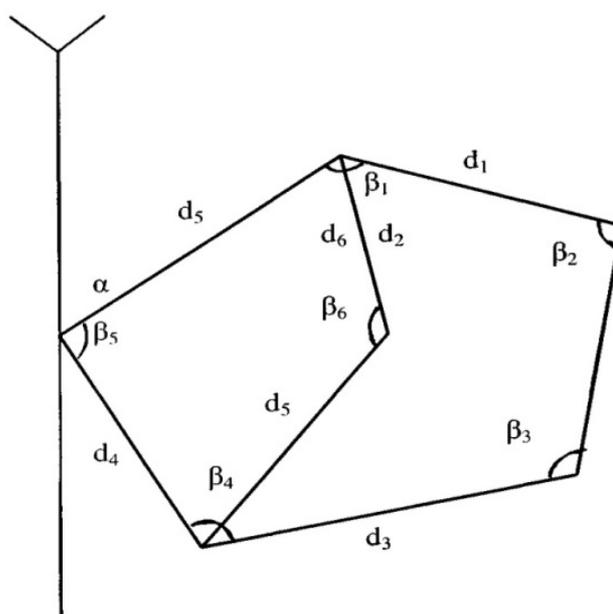


Рисунок 4.7 – Замкнутый теодолитный ход

Точку поворота теодолитного хода намечают так, чтобы над ней можно было установить теодолит для измерения угла; с неё хорошо бы просматривалась и была доступна для съёмки окружающая местность; были видны знаки, установленные на предыдущей и последующей точках хода; чтобы длины сторон хода не превышали 300–350 м и не были короче 50 м, а в среднем равнялись 250 м⁴ при съёмке контуров способом перпендикуляров стороны хода располагались от снимаемых границ не далее 50–70 м.

Обычно теодолитные ходы прокладывают вдоль грунтовых и шоссейных дорог, по просекам и другим удобным для измерений местам. При съёмке рек для лучшей видимости поймы и в целях сохранности знаков ход лучше располагать на возвышенных местах. При дорожных и речных изысканиях теодолитные ходы, как правило, будут разомкнутые и приближаться к прямолинейным, т. е. углы поворота между сторонами близки к 180°. При съёмке отдельных участков ходы обычно замкнутые, так как линии хода совмещают с границами самих участков или угодий. В случае большой вытянутости замкнутого хода в наиболее узком его месте делают перемычку – *диагональный ход*.

Пункты теодолитного хода закрепляют деревянными кольями толщиной около 6 см, столбами или железными трубами на бетоне. Часто при инженерных работах такие точки используют как реперы при нивелировании, поэтому основания столбов следует зарывать в землю ниже глубины промерзания грунта. Над поверхностью земли кол не должен выступать более чем на 5 см. Установленный знак окапывают канавкой.

Полевые измерительные работы

После закрепления точек теодолитного хода на местности приступают к *угловым и линейным измерениям*.

Особое внимание обращают на привязку прокладываемого хода к пунктам существующей геодезической сети съёмочного обоснования.

Из соответствующих каталогов геодезической сети выписывают дирекционные углы α_n – *начальный* и α_k – *конечный*, взятые по направлению хода для опорных сторон AB и CD . Оттуда же выписывают координаты исходных пунктов, к которым примыкает теодолитный ход.

При измерении поворотного угла между сторонами хода теодолит центрируют над вершиной угла. Точность центрирования должна быть тем выше, чем короче стороны, образующие угол. Например, при расстоянии более 150 м нужно центрировать с точностью до 1 см, а при меньших расстояниях – 0,5 см. После приведения теодолита в рабочее положение измеряют угол, обычно правый по ходу. Измеряют все углы хода, в том числе и примычные, одним полным приёмом – при двух положениях вертикального круга, с перестановкой

лимба между полуприёмами на некоторый малый угол ($1-2^\circ$). При измерении углов оптическим теодолитом расхождение между значениями угла, полученными в полу приёмах, не должно превышать $0,8'$. Теодолитные ходы бывают 1 и 2 разрядов.

Стороны в теодолитных ходах 1 разряда измеряют с относительными ошибками не ниже $1:2\ 000$, стороны ходов 2 разряда – не ниже $1:1\ 000$. Для этой цели используют мерные ленты и оптические дальномеры.

4.4.2 Способы съёмки ситуации

Съёмка ситуации – геодезические измерения на местности для последующего нанесения на план ситуации (контуров и предметов местности). Выбор способа съёмки зависит от характера и вида снимаемого объекта, рельефа местности и масштаба, в котором должен быть составлен план. Съёмку ситуации производят следующими способами: *перпендикуляров; полярным; угловых засечек; линейных засечек; створов.*

1. *Способ перпендикуляров (способ прямоугольных координат)* применяется обычно при съёмке вытянутых в длину контуров, расположенных вдоль и вблизи линий теодолитного хода, проложенных по границе снимаемого участка. С помощью экера опускают перпендикуляр на сторону теодолитного хода $A - B$ и рулеткой или землемерной лентой измеряют два расстояния: d_1 до основания перпендикуляра и l_1 – длину перпендикуляра (рис. 4.8).

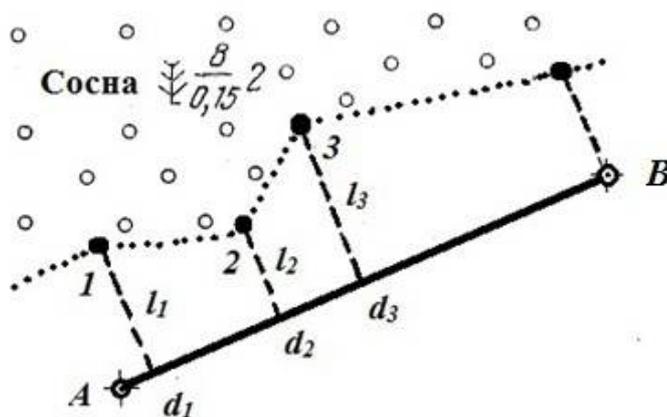


Рисунок 4.8 – Способ перпендикуляров

2. *Способ полярных координат* состоит в том, что одну из станций теодолитного хода (рис. 4.9) принимают за полюс, например станцию O , а положение точки 3 определяют расстоянием l_3 от полюса до данной точки и полярным углом β_3 между направлением на точку и линией $O - B$. Полярный угол измеряют теодолитом, а расстояние дальномером. Для упрощения получения углов, теодолит ориентируют по стороне хода (рис. 4.9).

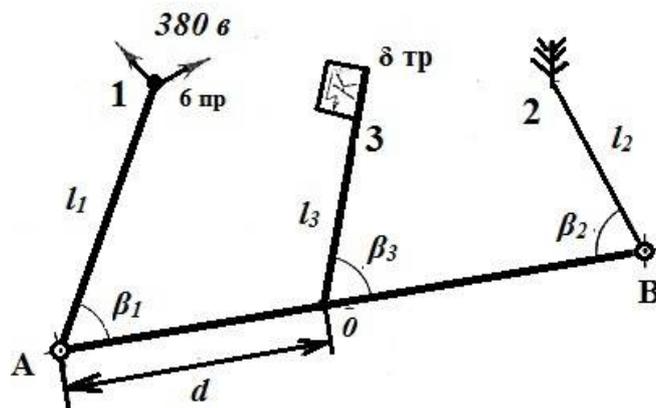


Рисунок 4.9 – Способ полярных координат

3. *Способ угловых засечек* – определяют положение точек местности относительно пунктов съёмочного обоснования путём измерения углов γ и δ (рис. 4.10). Угловую засечку применяют для съёмки удалённых или труднодоступных объектов.

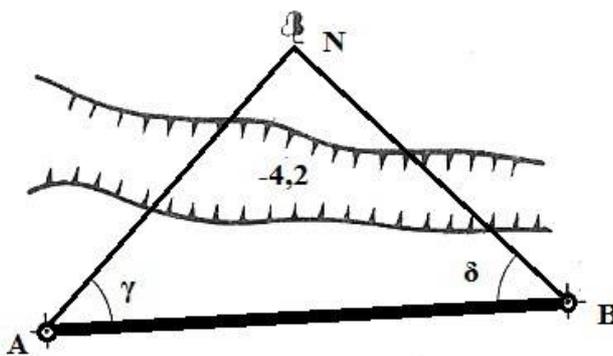


Рисунок 4.10 – Способ угловых засечек

4. *Способ линейных засечек* – определяют положение точек местности относительно пунктов съёмочного обоснования путём измерения расстояний l_1 и l_2 (рис. 4.11). Линейную засечку применяют для съёмки объектов, расположенных вблизи пунктов съёмочного обоснования.

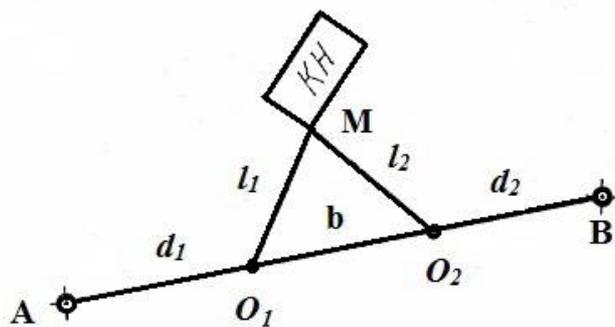


Рисунок 4.11 – Способ линейных засечек

5. *Способ створов* – применяется в тех случаях, когда смешанный контур пересекает сторону теодолитного хода или её продолжение. В способе створов определяют плановое положение точек лентой или рулеткой (рис. 4.12). Способ применяется при видимости крайних точек линии.

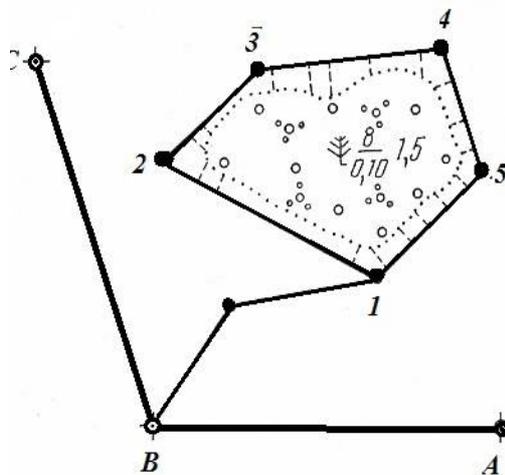


Рисунок 4.12 – Способ створов

По результатам съёмки составляют абрис.

4.4.3 Обработка результатов теодолитной съёмки

Обработку результатов измерений теодолитной съёмки рассмотрим на примере практической работы, которую выполняют студенты при изучении курса «Основы геодезии и топографии».

Исходные данные и материалы, выдаваемые студентам.

Задан разомкнутый теодолитный ход (рис. 4.13).

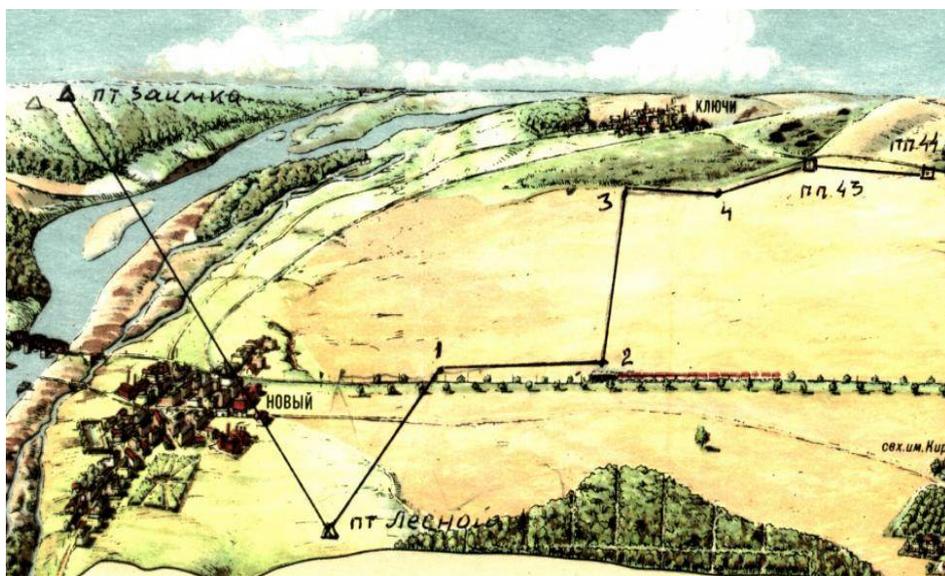


Рисунок 4.13 – Разомкнутый теодолитный ход

Вариант с исходными данными и результатами полевых измерений приведён в таблице 4.1. **Вариант студент получает у преподавателя.**

Таблица 4.1 – Исходные данные

№ точек хода	Измеренные углы β (градусы и минуты)	Измеренные длины линий d , (м)	Координаты	
			X , (м)	Y , (м)
п.т. Заимка	-	-	8 292,43	2 922,15
п.т. Лесной	130° 42,2'	-	4 922,46	5 383,77
т. 1	275° 20,8'	348,52	-	-
т. 2	127° 15,9'	277,15	-	-
т.3	239° 51,5'	374,92	-	-
т. 4	149° 57,5'	381,44 ($v = 2^\circ 43'$)	-	-
п.п. 43	264° 01,9'	293,22	3 696,40	5 892,75
п.п. 44	-	-	3 523,42	5 388,85

Бланк «Ведомость вычисления координат» (прил. 4) в который переписываются данные из таблицы 4.1.

Схема теодолитного хода представлена на рисунке 4.14.

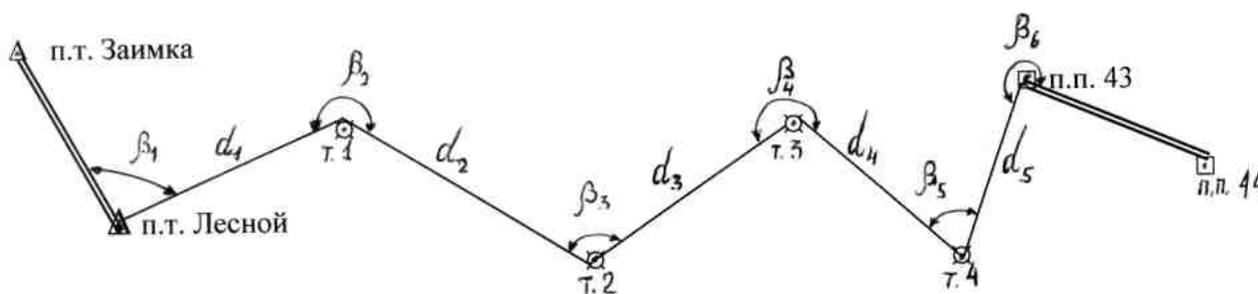


Рисунок 4.14 – Схема теодолитного хода

Зная координаты X , Y пунктов государственной геодезической сети (пункты триангуляции – Δ и полигонометрии – \square) на которые опирается теодолитный ход, решая обратную геодезическую задачу, вычисляют α – начальный и конечный дирекционный угол хода.

Решение обратных геодезических задач

Обратная геодезическая задача – определение длины d и дирекционного угла α направления отрезка прямой линии по данным координатам его началь-

ной и конечной точек.

Дирекционные углы сторон опорных пунктов *п.т. Заимка – п.т. Лесной* и *п.п. 43 – п.п. 44* определяются решением обратных задач по формулам:

$$\text{tgr} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}; r_{1-2} = \text{arctg} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

и далее

$$d_{1-2} = \frac{X_2 - X_1}{\cos \alpha_{1-2}} = \frac{Y_2 - Y_1}{\sin \alpha_{1-2}}.$$

Решение обратных задач выполняется с помощью калькулятора, в последовательном порядке, приведённом в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Решение обратных задач

№ действий	Обозначения	Действия	1. п.т. Заимка 2. п.т. Лесной	1. п.п. 43 2. п.п. 44
1	Y_2	Из задания	5 383,77	5 388,85
2	Y_1	Из задания	2 922,15	5 892,75
3	ΔY	$Y_2 - Y_1$	2 461,62	-503,90
10	$\sin \alpha$	С помощью калькулятора	0,589854	-0,945821
11	d_1	$\frac{ \Delta Y }{ \sin \alpha }$	4 173,30	532,76
4	X_2	Из задания	4 922,46	3 523,42
5	X_1	Из задания	8 292,43	3 696,40
6	ΔX	$X_2 - X_1$	-3369,97	-172,98
12	$\cos \alpha$	С помощью калькулятора	-0,807510	-0,324688
13	d_2	$\frac{ \Delta X }{ \cos \alpha }$	4 173,29	532,76
7	tgr	$\frac{ \Delta Y }{ \Delta X }$	0,73046	2,91305
8	r	С помощью калькулятора	36,14656 36 08,8	71,05356 71 03,2
9	α	По формулам перехода	143 51,2	251 03,1
14	Δd	$ d_1 - d_2 \leq 0,20$	0,01	0,00
15	$d_{\text{сред.}}$	$\frac{d_1 - d_2}{2}$	4173,30	532,76

Примечание: по знакам приращений координат определяется четверть, в которой расположено определяемое направление и, используя формулы пере-

хода (рис. 4.15), вычисляют дирекционные углы.

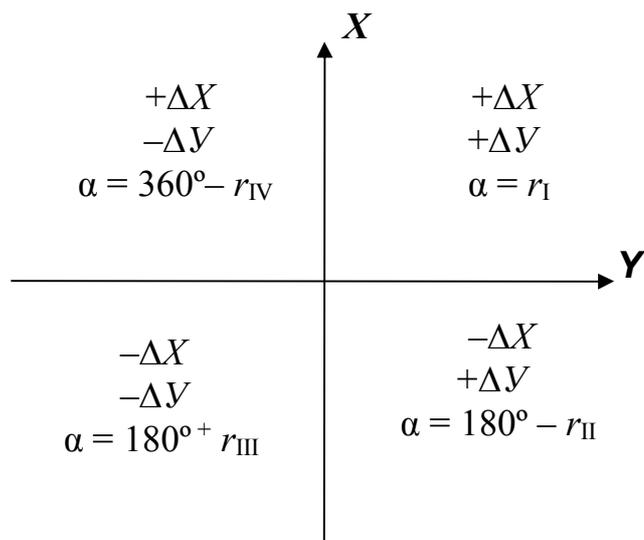


Рисунок 4.15 – Формулы перехода

Вычислительная обработка «Ведомости вычисления координат»

1. Подготовительный этап

На лицевой стороне бланка «Ведомости вычисления координат» рисуется схема теодолитного хода (рис. 4.14). На схеме показываются измеренные углы β (левые по ходу), начальный и конечный дирекционные углы $\alpha_{нач.}$, $\alpha_{кон.}$, длины линий d , координаты начальной и конечной точек хода $X_{нач.}$, $Y_{нач.}$, $X_{кон.}$, $Y_{кон.}$.

В «Ведомость вычисления координат» из *таблицы 4.2* переписываются следующие исходные данные:

- измеренные углы β (колонка 2);
- начальный и конечный дирекционные углы $\alpha_{нач.}$, $\alpha_{кон.}$ (из решения обратных геодезических задач $\alpha_{нач.}$ – задача п.т. Лесной и п.т. Заимка, $\alpha_{кон.}$ – задача п.п. 43 и п.п. 44) (колонка 5, прил. 4),

Длины линий (горизонтальные проложения) d (колонка 6, прил. 4).

Внимание: длина линии 3–4 ($d = 381,44$ м.) имеет угол наклона к горизонту $\nu = 2^\circ 43'$, следовательно, вычисляется горизонтальное проложение по формуле $d = d \cdot \cos \nu = 381,44 \cdot \cos 2^\circ 43' = 381,01$ м.

Координаты начальной и конечной точек хода $X_{нач.}$, $Y_{нач.}$, $X_{кон.}$, $Y_{кон.}$ (колонки 11, 12).

2. Вычислительный этап

Решением прямой геодезической задачи является уравнивание измеренных на местности углов и вычисленных приращений.

Общий алгоритм уравнивания заключается в сравнении суммы измеренных величин с её теоретическим значением. Разница этих величин называется фактической невязкой, она не должна превышать определённого значения, назы-

ваемого допустимой (теоретической) невязкой. Значения допустимых невязок определяются по формулам, вытекающим из теории погрешностей, иными словами, они задаются нормативными документами.

Если фактическая невязка не превышает допустимую, её распределяют на измеренные величины, а если превышает, то результаты полевых измерений бракуются и возвращаются для повторных измерений.

Рассмотрим, например алгоритма уравнивания углов β и приращений координат Δx , Δy .

Вычисляется сумма измеренных углов $\sum \beta_{изм.}$

В примере (приложение 5) $\sum \beta_{изм.} = 1187^{\circ} 9,8'$. При суммировании необходимо помнить, что в одном градусе $60'$.

$$+130^{\circ} 42,2'$$

$$275^{\circ} 20,8'$$

$$+127^{\circ} 15,9'$$

$$+239^{\circ} 51,5'$$

$$+149^{\circ} 57,5'$$

$$264^{\circ} 01,9'$$

$$1184^{\circ} 189,8' (189,8' = 3^{\circ} 09,8') = 1187^{\circ} 09,8'$$

Вычисление теоретической суммы углов $\sum \beta_{теор}$ по формуле:

$$\sum \beta_{теор.} = \alpha_{кон.} + 180^{\circ} \cdot n - \alpha_{нач.},$$

где n – количество точек хода.

В нашем примере: $\sum \beta_{теор.} = 251^{\circ} 03,1' + 180^{\circ} \cdot 6 - 143^{\circ} 51,2' = 1187^{\circ} 11,9'$.

Вычисление фактической угловой невязки f_{β} по формуле:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{изм.} - \sum \beta_{теор.}$$

В нашем примере: $f_{\beta} = 118^{\circ} 09,8' - 1187^{\circ} 11,9' = -2,1'$.

Фактическая угловая невязка может быть и с плюсом, и с минусом.

Вычисление допустимой угловой невязки $f_{\deltaоп.}$ по формуле:

$$f_{\deltaоп.} = 01' \cdot \sqrt{n},$$

где n – количество точек хода.

В нашем примере: $f_{\deltaоп.} = 01' \cdot \sqrt{6} = 2,4$.

Фактическая невязка по абсолютной величине (модулю) не должна превышать допустимую $|f_{\beta}| \leq f_{\deltaоп.}$. В противном случае необходимо проверить вычисления. Значения $\sum \beta_{изм.}$, $\sum \beta_{теор.}$, f_{β} , $f_{\deltaоп.}$ записываются в ведомость вычисления координат (см. прил. 5).

Вычисление поправок в измеренные углы по формулам:

Если $f_{\beta} \leq f_{\deltaоп.}$, т. е. невязка допустима, то вычисляют поправки δ_{β} в изме-

ренные углы путём деления невязки на число углов с округлением поправок до $0,1'$. Поправки имеют знак, противоположный знаку невязки, между собой могут различаться на $0,1'$, их записывают в графу поправки.

$$\delta_{\beta} = \frac{-f_{\beta}}{n}.$$

Контролируют правильность вычисления поправок. Их сумма должна точно равняться невязке с противоположным знаком, т. е. $\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta}$.

В нашем примере: $f_{\beta} = -02,1'$, $n = 6$.

Вычисление исправленных углов по формуле:

$$\beta_{\text{испр.}} = \beta_{\text{изм.}} + \delta_{\beta}.$$

В нашем примере: $130^{\circ} 42,2' + 0,3' = 130^{\circ} 42,5'$; $275^{\circ} 20,8' + 0,4' = 275^{\circ} 21,2'$ и т. д.

Контролируют правильность вычисления исправленных углов: сумма исправленных углов должна равняться теоретической сумме углов $\sum \beta_{\text{испр.}} = \sum \beta_{\text{теор.}}$

Вычисление дирекционных углов по формулам:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_{\text{испр.}} \pm 180^{\circ},$$

т. е. дирекционный угол линии последующей равен дирекционному углу линии предыдущей плюс левый угол, заключённый между этими сторонами плюс или минус 180° .

При вычислении, если $\alpha_n + \beta_{\text{испр.}} < 180^{\circ}$, то необходимо прибавить 180, если $\alpha_n + \beta_{\text{испр.}} > 180$ получилось больше 180° , то необходимо отнять 180° .

Контролем вычислений является получение дирекционного угла конечной стороны. Дирекционные углы записываются в графу «Дирекционные углы» (прил. 5).

В нашем примере:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= +143^{\circ} 51,2' \\ &\quad \underline{130^{\circ} 42,5'} \\ &\quad -274^{\circ} 33,7' \\ &\quad \underline{180^{\circ} 00,0'} \\ &\quad 94^{\circ} 33,7'; \\ \alpha_7 &= +167^{\circ} 00,8' \\ &\quad \underline{264^{\circ} 02,3'} \\ &\quad -331^{\circ} 03,1' \\ &\quad \underline{180^{\circ}} \\ &\quad 251^{\circ} 03,1' = \alpha_{\text{кон.}} \end{aligned}$$

Вычисление приращений координат Δx , Δy по формулам:

$$\Delta x = d \cdot \cos \alpha;$$

$$\Delta y = d \cdot \sin \alpha,$$

где d – длина линии; α – соответствующий дирекционный угол.

Вычисления выполняются с помощью калькулятора. Значения Δx , Δy записываются в графу «Приращения вычисленные» с округлением до сотых (приложение 5). Пример вычисления приращений координат приведён в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Задача	Последовательность нажатия клавиш	Показания индикатора	Примечание
Установить режим работы калькулятора DEG			
Значения минут переводятся в градусы	33,7' : 60' =	0,56167	
К полученному числу прибавляется значения градусов	+94 ° =	94,56167 °	Угол α , выраженный в градусах
Полученные градусы запоминаются	F ЗАП или X → M	94,56167 °	Число в регистре памяти
Вычисляется Δx	F Cos X 348,52	-0,07953 -27,71852	$\cos \alpha$ Δx
	F ИП или MR	94,56167 °	Значение α , вызывается из памяти
Вычисляется Δy	F Sin или Sin X 348,52	0,99683 +347,41599	$\sin \alpha$ Δy

Значения Δx , Δy записываются в соответствующую графу:

$$\Delta x = -27,72; \Delta y = +347,42.$$

Вычисление невязок приращений координат $f_{\Delta x}$, $f_{\Delta y}$ по формулам:

$$f_{\Delta x} = \Sigma \Delta X_{\text{выч.}} - \Sigma \Delta X_{\text{теор.}};$$

$$f_{\Delta y} = \Sigma \Delta Y_{\text{выч.}} - \Sigma \Delta Y_{\text{теор.}},$$

где $\Sigma \Delta X_{\text{выч.}}$, $\Sigma \Delta Y_{\text{выч.}}$ – сумма вычисленных приращений координат Δx , Δy .

Теоретическая сумма приращений координат вычисляется по формулам:

$$\Sigma \Delta X_{\text{теор.}} = X_{\text{кон.}} - X_{\text{нач.}};$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{теор.}} = Y_{\text{кон.}} - Y_{\text{нач.}},$$

где $X_{\text{кон.}}$, $X_{\text{нач.}}$, $Y_{\text{кон.}}$, $Y_{\text{нач.}}$ – координаты начальной и конечной точек хода – $X_{\text{нач.}} = X_{\text{П.Т.Л.}}$; $X_{\text{кон.}} = X_{\text{П.П.43.}}$; $Y_{\text{нач.}} = Y_{\text{П.Т.Л.}}$; $Y_{\text{кон.}} = Y_{\text{П.П.43.}}$

Значения сумм и невязок записывают в ведомость вычисления координат (приложение 5). В нашем примере:

$$\Sigma \Delta X_{\text{выч.}} = -1\,225,74; \Sigma \Delta Y_{\text{выч.}} = +508,70;$$

$$\Sigma \Delta X_{теор.} = 3\,696,40 - 4\,922,46 = -1\,226,06;$$

$$\Sigma \Delta Y_{теор.} = 5\,892,75 - 5\,383,77 = 508,98;$$

$$f_{\Delta x} = -1\,225,74 - (-1\,226,06) = +0,32;$$

$$f_{\Delta y} = 508,70 - 508,98 = -0,28.$$

Вычисление абсолютной и относительной невязок хода:

$$f_{абс.} = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2};$$

$$f_{отн} = \frac{f_{абс.}}{\Sigma d},$$

где Σd – сумма длин линий хода.

$f_{отн}$ вычисляется в виде простой дроби, в числителе которой стоит единица. Если $f_{отн} > 1/2\,000$, то необходимо проверить вычисления Δx и Δy . Значения $f_{абс.}$ и $f_{отн}$ записываются в ведомость вычисления координат.

В нашем примере:

$$f_{абс.} = \sqrt{0,32^2 + 0,28^2} = 0,43 \text{ м};$$

$$f_{отн} = 0,43/1674,22 = 1/3894 = 1/3900.$$

Чтобы получить $f_{отн}$ в виде простой дроби в числителе которой стоит единица, для этого $f_{абс.} / f_{абс.} = 0,43/0,43 = 1$, а в знаменателе $\Sigma d / f_{абс.} = 1674,22/0,43 = 3894$ и полученное число округляется до сотен метров.

В результате получим $f_{отн} = 1/3900$.

Вычисление поправок в приращения координат по формулам:

$$(\delta x)_i = (-f_{\Delta x} / \Sigma d) \cdot d_i;$$

$$(\delta y)_i = (-f_{\Delta y} / \Sigma d) \cdot d_i.$$

Поправки вводятся пропорционально длинам линий хода с обратным знаком невязок, вычисляются с точностью сотых и записываются в графу «поправки $(\delta x)_i$ и $(\delta y)_i$ » или над каждым вычисленным приращением Δx , Δy (прил. 5).

Контролем вычисления поправок является равенство:

$$\Sigma (\delta x)_i = -f_{\Delta x};$$

$$\Sigma (\delta y)_i = -f_{\Delta y}.$$

Внимание: если равенство не соблюдается, то проверьте правильность округления поправок до сотых или измените их на 0,01.

В нашем примере:

$$(\delta x)_1 = -0,32 / 1674,82 \cdot 348,52 = -0,07 \text{ м};$$

$$(\delta x)_2 = -0,32 / 1674,82 \cdot 277,15 = -0,05 \text{ м и т. д.};$$

$$(\delta y)_1 = -(-0,28) / 1674,82 \cdot 348,52 = +0,06 \text{ м};$$

$$(\delta y)_2 = -(-0,28) / 1674,82 \cdot 277,15 = +0,05 \text{ м и т. д.}$$

Вычисление исправленных значений Δx , Δy по формулам

$$\Delta x_{исп.i} = \Delta x_{выч.i} + \delta x_i;$$

$$\Delta y_{исп.i} = \Delta y_{выч.i} + \delta y_i.$$

Каждому значению $\Delta x_{выч.}$ и $\Delta y_{выч.}$ соответствует своя поправка. Контролем служит равенство:

$$\Sigma \Delta x_{исп.i} = \Sigma \Delta X_{теор.};$$

$$\Sigma \Delta y_{исп.} = \Sigma \Delta Y_{теор.}$$

В нашем примере:

$$\Delta x_{исп.1} = -27,72 + (-0,07) = -27,79;$$

$$\Delta x_{исп.2} = -273,01 + (-0,05) = -273,06 \text{ и т. д.};$$

$$\Delta y_{исп.1} = 397,42 + (0,06) = 347,48;$$

$$\Delta y_{исп.2} = -47,72 + (0,05) = 47,67 \text{ и т. д.}$$

Вычисление координат X и Y точек теодолитного хода по формулам:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta x_{исп.i} \quad n = 1,2,3,4,5,6$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta y_{исп.i} \quad i = 1,2,3,4,5$$

Координаты следующей точки равны координатам предыдущей точки плюс соответствующие приращения:

$$X_2 = X_1 + \Delta x_{исп.1};$$

$$X_3 = X_2 + \Delta x_{исп.2};$$

$$X_4 = X_3 + \Delta x_{исп.3} \quad \text{и т.д.};$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta y_{исп.1};$$

$$Y_3 = Y_2 + \Delta y_{исп.2} \quad \text{и т.д.}$$

Контролем вычисления координат являются равенства: $X_6 = X_{кон.}$; $Y_6 = Y_{кон.}$

В нашем примере:

$$X_2 = 4\,922,46 + (-27,79) = 4\,894,67;$$

$$X_3 = 4\,894,67 + (-273,06) = 4\,621,61;$$

$$X_6 = 3\,982,18 + (-285,78) = 3\,696,40 = X_{кон.};$$

$$Y_2 = 5\,383,77 + 347,48 = 5\,731,25;$$

$$Y_3 = 5\,731,25 + (-47,67) = 5\,683,58;$$

$$Y_6 = 5\,826,81 + 65,94 = 5\,892,75 = Y_{кон.}$$

На этом обработка ведомости вычисления координат закончена.

Бланк для выполнения работы «Обработка результатов теодолитной съёмки» представлен в Приложении 6.

4.4.4 Нивелирование

Нивелирование – вид геодезических работ, в результате которых определяют разности высот точек земной поверхности (превышения), а также высоты этих точек над принятой отсчётной поверхностью. Нивелирование используется

для изучения форм рельефа и определения разности высот отдельных точек при проектировании, строительстве и эксплуатации различных сооружений.

По методам нивелирование подразделяется на геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое, барометрическое, механическое.

Тригонометрическое нивелирование производится наклонным лучом теодолита.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находится на одном уровне.

Барометрическое нивелирование основано на изменении атмосферного давления с изменением высоты над уровнем моря.

Механическое нивелирование производится с помощью приборов, автоматически записывающих профиль местности.

Геометрическое нивелирование производится горизонтальным визирным лучом, который получают в основном при помощи нивелиров.

Самым распространённым методом является *геометрическое нивелирование*, которое заключается в непосредственном определении разности высот двух точек с помощью горизонтального визирного луча, получаемого прибором – *нивелиром*, и *нивелирных реек*.

Нивелирование делается с целью получения высотного обоснования топографических съёмки масштабов 1:500–1:5 000, а также при изысканиях, проектировании и строительстве различного рода инженерных сооружений. Нивелирные ходы, прокладываемые для определения высот пунктов съёмочного обоснования, должны опираться на пункты высшего класса. В исключительных вариантах разрешается прокладывать висящие ходы, опирающиеся на твёрдую точку; при этом ходы прокладываются в прямом и обратном направлениях. Наибольшая длина хода принимается в зависимости от рельефа местности, масштаба съёмки и высоты сечения рельефа

Существует два способа геометрического нивелирования для определения превышений: «из середины» и «вперёд».

Способ «из середины» (рис. 4.16, а)

Для определения превышения h нивелир устанавливают на одинаковых расстояниях между точками A и B и приводят визирную ось инструмента в горизонтальное положение. В точках A и B устанавливают отвесно рейки, зрительную трубу нивелира наводят последовательно на них и снимают с реек отсчёты a и b .

Превышение h равно:

$$h = a - b.$$

Превышение равно разности отсчётов по задней и передней рейкам.

При нивелировании в направлении от точки A к точке B рейка в точке A будет задней, рейка в точке B – передней.

Способ «вперёд» (рис. 4.16, б).

Для определения превышения h нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился на одной отвесной линии с точкой A . Приводят визирную ось инструмента в горизонтальное положение, измеряют высоту инструмента i . Рейку устанавливают отвесно в точке B . Зрительную трубу нивелира наводят на переднюю рейку и снимают отсчёт b .

Превышение h равно:

$$h = i - b.$$

Превышение равно разности высоты инструмента и отсчёта по рейке.

По известной высоте (отметке) H_A одной из нивелируемых точек можно вычислить отметку H_B второй точки через превышение h или через горизонт инструмента ГИ (рис. 4.17).

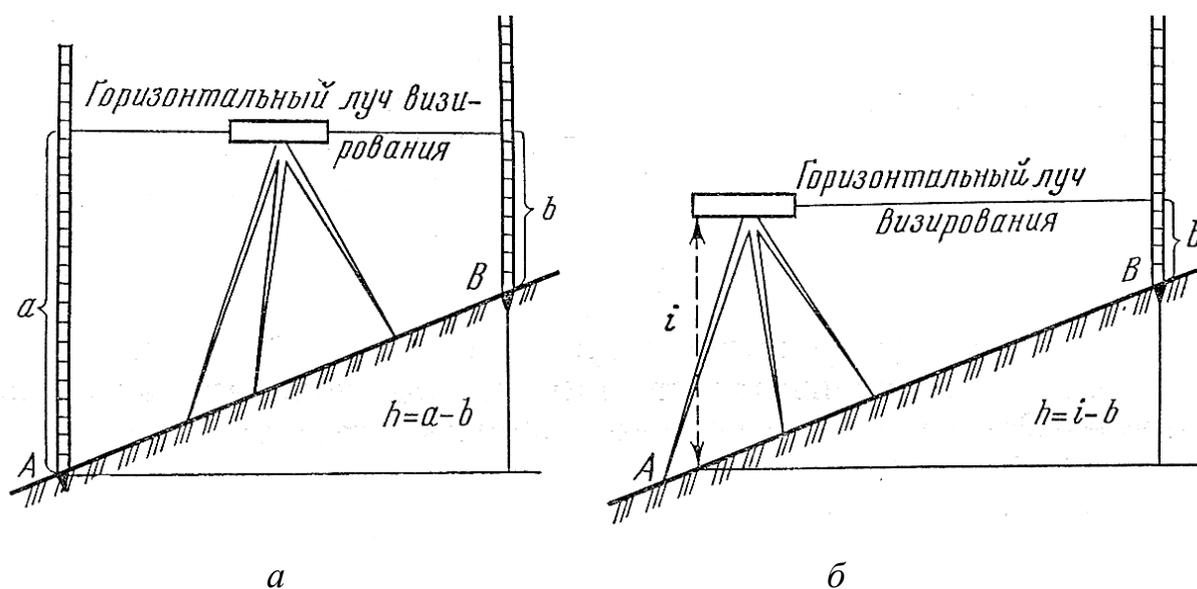


Рисунок 4.16 – Способы нивелирования:
 a – способ «из середины»; b – способ «вперёд»

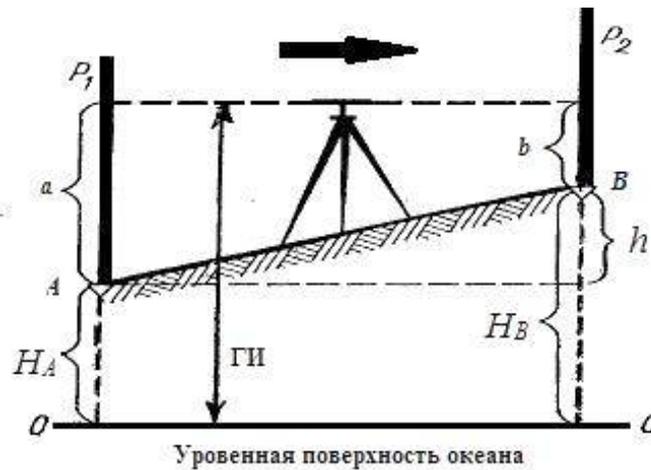


Рисунок 4.17 – Определение отметок

Определение отметок через превышение

Если известна отметка точки A и определено превышение точки B над точкой $A - h$, то отметка точки B равна:

$$H_B = H_A + h.$$

Отметка последующей точки равна отметке предыдущей точке плюс превышение.

Определение отметок через горизонт инструмента

Горизонтом инструмента (ГИ) называется отметка горизонтального визирного луча. Горизонт инструмента равен:

$$ГИ = H_A + a.$$

Тогда отметка точки B будет равна:

$$H_B = ГИ - b.$$

Отметка точки равна горизонту инструмента минус отсчёт по рейке, установленной на этой точке.

Нивелирование бывает *простое и сложное*.

Если превышение между точками можно определить с одной стоянки (станции) прибора, то нивелирование называется *простым*.

Если для этого необходимо несколько станций, то нивелирование называется *сложным*.

Число станций зависит от расстояния между точками и крутизны склона. Для определения превышения между точками A и B между ними закрепляют вспомогательные промежуточные точки (их также называют «переходные» или «иксовые» точки).

Последовательно определяют превышение h_1, h_2, \dots, h_n и общее (рис. 4.18).

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i.$$

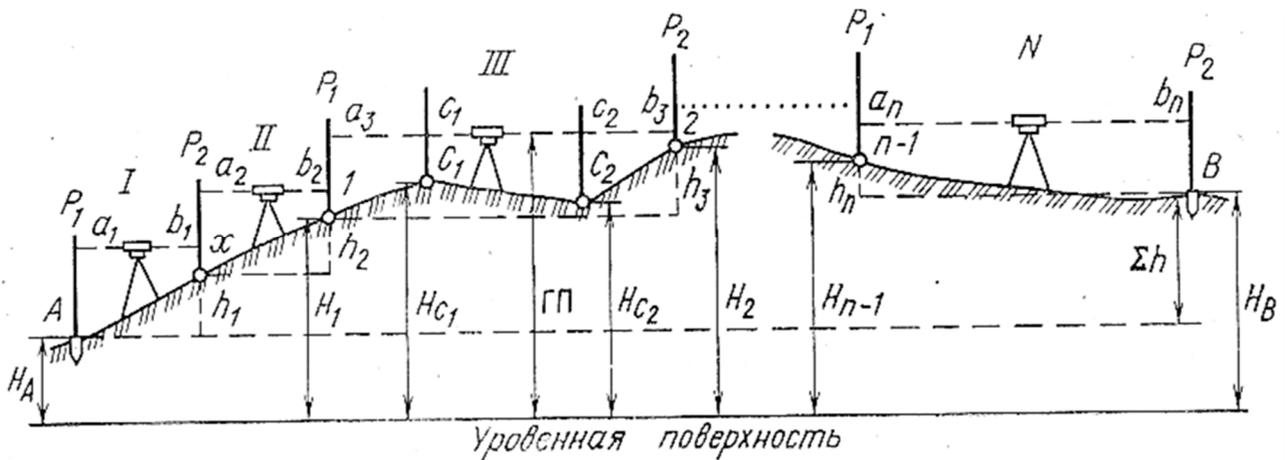


Рисунок 4.18 – Сложное нивелирование

4.4.5 Обработка результатов технического нивелирования

Обработку результатов измерений нивелирной съёмки рассмотрим на примере практической работы, которую выполняют студенты при изучении курса «Основы геодезии и топографии».

Исходные данные и материалы, выдаваемые студентам.

Вариант с исходными данными и результатами полевых измерений приведён в таблице 4.4. **Вариант студент получает у преподавателя.**

Таблица 4.4 – Исходные данные

Журнал технического нивелирования				
№ станции	№ пикета	Отсчёты по рейкам		
		a	b	c
1	ПТ.Л	0103	2891	–
	ПК-0	4883	7670	–
2	ПК-0	2732	0266	–
	ПК-1	7512	5046	–
3	ПК-1	0125	2872	–
	ПК-2	4905	7654	–
4+77,15	ПК-2	0223	2775	4181
	ПК-3	5003	7557	–
5	ПК-3	2679	0316	–
	ПК-4	7459	5100	–
6	ПК-4	2770	0228	–
	ПК-5	7550	5012	–
7	ПК-5	2864	0135	–
	ПК-6	7644	4915	–
8+52,07	ПК-6	2774	0223	1243
	ПК-7	7554	5005	–
9	ПК-7	2840	0156	0113
	ПК-8	7620	4940	1141
				0831
10	ПК-8	0263	2734	–
	ПК-9	5043	7516	–
11	ПК-9	0310	2686	–

	ПК–10	5090	7471	
12+33,15	ПК–10	2879	0119	0019
	ПК–11	7659	4896	
13	ПК–11	2720	0277	–
	ПП.43	7500	5061	

Бланк «Журнал технического нивелирования» (прил. 7), в который переписываются данные из таблицы 4.4.

Пример заполнения бланка приведён в Приложении 8.

Вычислительная обработка «Журнала технического нивелирования»

1. Подготовительный этап

В «Журнал технического нивелирования» (прил. 7) из своего варианта переписываются следующие исходные данные:

- отсчёты по рейке задние a (колонка 3);
- отсчёты по рейке передние b (колонка 4);
- отсчёты по рейке промежуточные c (колонка 5);
- высота начальной точки хода $пт. Л$ (колонка 10);
- высота конечной точки хода $пт. 43$ (колонка 10).

2. Вычислительный этап

Пример заполнения бланка приведён в Приложении 8.

Вычисление превышений.

В колонке 6 вычисляют превышения, определяемые по отсчётам чёрных и красных сторон реек, по формулам:

$$h_{ч} = a_{ч} - b_{ч};$$

$$h_{к} = a_{к} - b_{к};$$

где $a_{ч}, a_{к}$ – отсчёты с задней точки по чёрной и по красной стороне рейки, мм;
 $b_{ч}, b_{к}$ – отсчёты с передней точки по чёрной и по красной стороне рейки, мм;
 Это будут превышения между связующими точками ПТ.Л – ПК0; ПК0 – ПК1; ПК2 – ПК3 и т. д.

Если разность превышений в колонке 6 не превышает ± 5 мм, то вычисляют среднее превышение (колонка 7) на станции:

$$h_{ср} = \frac{h_{ч} + h_{к}}{2}.$$

В нашем примере на первой станции отсчёт на заднюю точку ПТ.Л по чёрной стороне рейки 0103, по красной 4 883, на переднюю точку ПК0 – чёрный отсчёт 2 891, красный – 7 670.

Превышение будет: $h_{ч} = 0103 - 2\ 891 = -2\ 788$ мм;

$$h_{к} = 4\ 883 - 7\ 670 = -2\ 787$$
 мм;

$$|h_{ч} - h_{к}| = 1\text{ мм} \leq 5\text{ мм},$$

поэтому выводим среднее превышение $h_{cp} = \frac{-2\,788 + (-2\,787)}{2} = -2\,787,5$.

Если значение получается дробное, то надо произвести округление до целых миллиметров в сторону чётного числа.

Например, $h_{cp} = -2\,787,5 = -2\,788$ мм.

А если $2\,786,5$ мм, то $2\,786$ мм.

После того, как вычислены все средние превышения, проверяют правильность их вычислений, т. е. делают постраничный контроль. Для чего вычисляют все суммы Σa ; Σb ; Σh ; Σh_{cp} . Все значения сумм записываются под итоговой чертой в соответствующие колонки.

Если значения сумм вычислены верно, то должны выполняться два равенства: $\Sigma a - \Sigma b = \Sigma h$;

$$(\Sigma a - \Sigma b)/2 = \Sigma h_{cp}.$$

В нашем примере:

$$\Sigma a = 108\,704 \text{ мм}; \Sigma b = 93\,521 \text{ мм}; \Sigma h = 15\,183 \text{ мм}; \Sigma h_{cp} = 7\,592 \text{ мм}$$

$$108\,704 - 93\,521 = 15\,183; (108\,704 - 93\,521)/2 = 7\,591,5.$$

Примечание: $(\Sigma a - \Sigma b)/2$ может отличаться от Σh_{cp} на величину $0,5 \cdot n$ (n – число средних превышений) из-за округлений. В нашем примере отличие не более 2 мм.

Если постраничный контроль выполняется, значит вычисления в журнале выполнены верно, если нет – вычисления необходимо проверить.

Определение высотной невязки и её распределение в нивелирном ходе

Контролем полевых измерений и вычислений является фактическая невязка:

$$f_h = \sum h_{cp} - \sum h_{теор.}$$

где $\sum h_{теор.} = H_{кон.} - H_{нач.}$; $H_{нач.}$ – отметка начального пункта *пт. Л* (дана в задании); $H_{кон.}$ – отметка конечного пункта *пт. 43* (дана в задании).

Примечание: отметки начальных и конечных пунктов даны в метрах, поэтому для вычисления невязки необходимо $\sum h_{теор.}$ выразить в мм.

В нашем примере:

$$H_{нач} = 228,460 \text{ м};$$

$$H_{кон.} = 236,045 \text{ м};$$

$$\sum h_{теор.} = 236,045 - 228,460 = 7,585 \text{ м} = 7\,585 \text{ мм}.$$

Невязка: $f_h = 7592 - 7585 = +7$ мм.

При техническом нивелировании предельная невязка не должна превышать допустимую невязку.

Допустимая невязка:

$$f_{h_{доп}} \pm 50\sqrt{L}, \text{ мм,}$$

где L – длина хода в км. Длина хода равна сумме длин линий, находящихся в отработанной ранее ведомости вычисления координат (пункт 4.4.3): $L = \sum d$ (прил. 5).

В нашем примере:

$$L = \sum d = 1674,82 \text{ м} = 1,674 \text{ км};$$

$$f_{h_{доп}} \pm 50\sqrt{1,674} = 65 \text{ мм.}$$

При условии выполнения неравенства $f_h \leq f_{h_{доп}}$, переходят к распределению невязки.

В нашем примере: $7 \text{ мм} \leq 65 \text{ мм}$, следовательно, можно распределить невязку.

Для распределения невязки вычисляем поправки:

$$\Delta h = -f_i / n,$$

где n – число станций хода.

Поправки округляют до целого числа и вводят поровну во все превышения со знаком обратным невязки (колонка 8). Контролем является равенство $\sum \Delta h = -f_h$. В нашем примере: $\Delta h = -7 / 13 = 0,5$, следовательно, распределяем 7 поправок по -1 и остальные по 0.

Вычисляем исправленные превышения (колонка 9): $h_{исп} = h_{сп_i} + \Delta h_i$.

В нашем примере:

$$h_{исп.1} = -2\,788 + (-1) = -2\,789 \text{ мм};$$

$$h_{исп.2} = 2\,466 + (-1) = 2\,465 \text{ мм и т. д.}$$

Контролем правильности вычислений значений $h_{исп}$ является равенство:

$$\sum h_{исп.} = \sum h_{теор.}$$

В нашем примере: $7\,585 \text{ мм} = 7\,585 \text{ мм}$.

Вычисление отметок связующих и промежуточных точек

После того, как исправлены все превышения, вычисляются отметки связующих точек (колонка 11) по формуле:

$$H_{n+1} = H_n + h_{исп.}$$

где H_{n+1} – отметка следующей (передней) точки на станции;

H_n – отметка предыдущей (задней) точки на станции;

$h_{исп.}$ – исправленное среднее превышение между этими точками.

Пример:

$$H_{ПК0} = H_{ПКит.л} + h_{исп.1};$$

$$H_{ПК1} = H_{ПК0} + h_{исп.2} \text{ и т. д.}$$

Контроль равенства вычислений является равенство $H_{нк11} + h_{исп.13} = H_{пн.43}$.

Примечание: т. к. отметки H_n вычисляются в метрах, то исправленные превышения $h_{исп.}$ необходимо представить в метрах.

В нашем примере:

$$H_{нк0} = 228,460 + (-2,789) = 225,671 \text{ м};$$

$$H_{нк1} = 225,671 + 2,465 = 228,136 \text{ м};$$

$$H_{пн43} = 233,604 + 2,441 = 236,045 \text{ м}.$$

Если контроль получился, начинают вычислять отметки оставшихся пикетов и плюсовых точек, которые были пронивелированы как промежуточные. Отметки промежуточных точек вычисляются через горизонт инструмента (ГИ).

ГИ – это высота (отметка) визирного луча. Он вычисляется по формулам:

$$ГИ = H_3 + a_ч;$$

$$ГИ = H_{II} + b_ч.$$

Горизонт инструмента вычисляют по двум формулам и выбирают средний (колонка 10).

В нашем примере: на станции 4:

$$ГИ = H_3 + a_ч = 225,387 + 0,223 = 225,610 \text{ м};$$

$$ГИ = H_{II} + b_ч = 222,833 + 2,775 = 225,608 \text{ м}.$$

Средний ГИ = 225,609 м.

Отметка промежуточных точек находится через *ГИ* и чёрные отсчёты на этих точках по формуле (колонка 12):

$$H_i = ГИ - c_i.$$

В нашем примере: на станции 4:

$$H_4 = 225,609 - 4,181 = 221,428 \text{ м}.$$

На следующей станции, где есть промежуточные точки, вычисляют новый *ГИ*, через этот *ГИ* вычисляют также отметки промежуточных точек.

3. Составление продольного профиля

Пользуясь обработанным журналом нивелирования (прил. 8), приступают к составлению продольного профиля трассы (прил. 9). Для построения нормального продольного профиля трассы задаётся горизонтальный масштаб 1:5000 и вертикальный 1:500.

Построение профиля начинается с того, что в 35 мм от нижнего края миллиметровки проводят черту, на которой размечают и нумеруют пикеты. Номера пикетов пишут под чертой. Проведя вторую линию на 1 см выше, получают графу «Расстояния». Положение плюсовых точек и пикетов показывают ординатами. Для плюсовых точек указывают ещё и расстояния между ними. Например, если на местности между двумя пикетами были плюсовые точки +77,15 и +52,07;

33,51, то между ними в графе «Расстояния» должны быть указаны расстояния 77,15 и 22,85; 52,07 и 47,93; 33,51 и 66,49, сумма которых равна 100.

Далее заполняется графа «Отметки земли». В ней против каждой ординаты выписываются из журнала нивелирования отметки точек. После этого приступают к построению линии земли.

Построение линии земли на продольном профиле производят по отметкам точек трассы «отметки земли». Для этого после вычерчивания сетки остро отточенным карандашом откладывают на соответствующих ординатах чёрные отметки точек в заданном вертикальном масштабе $1:500$. Полученные точки соединяют отрезками прямых. На этом заканчивается построение профиля поверхности земли по трассе. Пример построения приведён в Приложении 8.

Бланк для выполнения работы «Обработка результатов технического нивелирования» представлен в Приложении 10.

4.4.6 Тахеометрическая съёмка

Тахеометрическая съёмка является одним из методов топографической съёмки местности, в результате которой получают план с изображениями ситуации, контуров и рельефа местности. Тахеометрическая съёмка производится обычно на небольших участках для получения плана в крупном масштабе при различных инженерных изысканиях под строительство, планировку, благоустройство населённых мест, а также при съёмке узких полос местности для изысканий трасс дорог, каналов, трубопроводов, линий электропередачи и так далее.

Сущность совместного способа определения планового и высотного положения точек местности показана на рисунке 4.19.

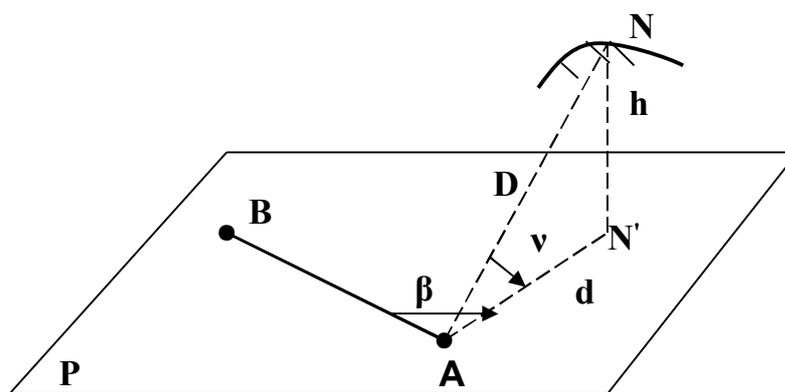


Рисунок 4.19 – Сущность тахеометрической съёмки

Здесь P – горизонтальная плоскость, проведённая на уровне оси вращения трубы тахеометра, установленного в точке A линии AB съёмочной геодезической сети. Точка N – съёмочный пикет, местоположение которого определяется.

Из рисунка 4.16 следует, что для получения планового положения точки N необходимо определить полярное расстояние d и полярный угол β . Для определения расстояния d измеряют нитяным дальномером длину наклонной линии D , а при помощи вертикального круга тахеометра – угол наклона ν , затем вычисляют значение d . Значение полярного угла β получают по горизонтальному кругу тахеометра. Превышение h находят методом тригонометрического нивелирования, сущность которого состоит в следующем:

Для определения превышения точки B над точкой A местности (рис. 4.20) тахеометр устанавливают в точке A , а в точке B – рейку. Затем измеряют рулеткой или рейкой высоту i оси вращения зрительной трубы над точкой A . Визирную ось трубы направляют на рейку и наводят на высоту i , отмеченную на ней или на верх рейки. При таком положении трубы делают отсчёты по вертикальному кругу и по нитяному дальномеру. Эти отсчёты используются для вычисления превышения h и горизонтального расстояния d .

Целью тахеометрической съёмки является получение топографического плана местности. Съёмка производится в крупных (1:50–1:5 000) масштабах на основе теодолитно-нивелирных, теодолитно-высотных или теодолитно-тахеометрических ходов, прокладываемых между пунктами государственной сети или сети сгущения.

Съёмка контуров и рельефа с пунктов съёмочного обоснования выполняется, как правило, полярным способом. При этом одно наведение (визирование) на рейку, установленную на точке местности, позволяет получить расстояние, направление и превышение, по которым определяются пространственные координаты этой точки.

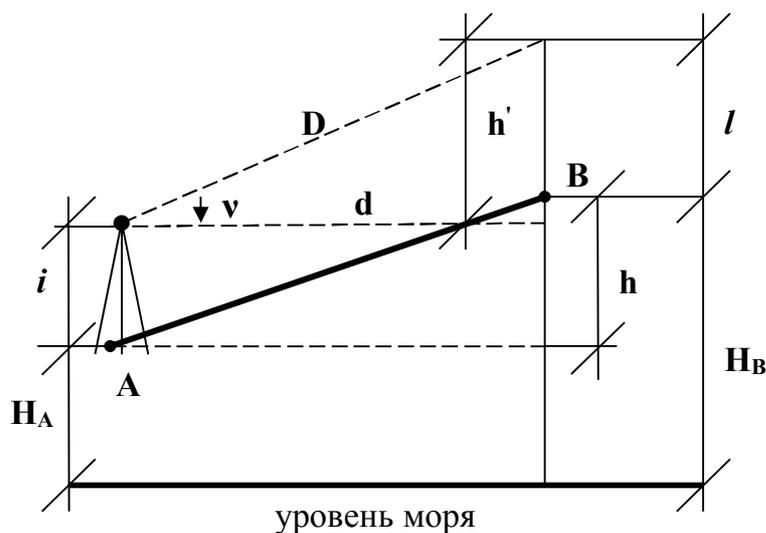


Рисунок 4.20– Тригонометрическое нивелирование

4.4.7 Вычислительная обработка результатов тахеометрической съёмки

Обработку результатов тахеометрической съёмки рассмотрим на примере практической работы, которую выполняют студенты при изучении курса «Основы геодезии и топографии».

1. Исходные данные и материалы, выдаваемые студентам

Каждый студент получает индивидуальное задание. Образец журнала с исходными данными и результатами полевых измерений для вычисления отметок точек тахеометрического хода приведён в Приложении 10.

2. Обработка журнала тахеометрической съёмки

Вычислительная обработка материалов тахеометрической съёмки предназначена для определения планового и высотного положения всех станций и речных точек.

Образец журнала тахеометрической съёмки с исходными данными и образец заполнения журнала даны соответственно в приложениях 11 и 12. Вычисления следует начинать со станции 1.

Обработку полевых данных, полученных при съёмке, в тахеометрическом журнале выполняют в следующей последовательности:

Вычисление места нуля (МО) вертикального круга по формуле:

$$MO = \frac{KP + KL - 180^\circ}{2},$$

где *КП* и *КЛ* – отсчёты по вертикальному кругу соответственно при круге право и круге лево. Место нуля *МО* высчитывается один раз на каждой станции, полученные значение *МО* записываются в графу «Место нуля».

В нашем примере:

на станции 4 место нуля $MO_1 = (176^\circ 36' + 3^\circ 26' - 180^\circ) / 2 = +0^\circ 01'$.

Вычисление угла наклона ν по формуле:

$$\nu = KL - MO,$$

$$\nu = KL - MO - 360^\circ.$$

360° следует вычитать в том случае, когда *КЛ* близок к 360° .

Вычисленные углы наклона записываются в графу «Угол наклона».

В нашем примере:

на станции 4 для речной точки 1 $\nu_1 = 359^\circ 24' - 0^\circ 01' - 360^\circ = -0^\circ 37'$;

для речной точки 2 $\nu_2 = 358^\circ 55' - 0^\circ 01' - 360^\circ = -1^\circ 06'$;

для речной точки 9 $\nu_9 = 1^\circ 38' - 0^\circ 01' = +1^\circ 37'$ и т. д.

Вычисление горизонтального проложения длин линий d по формуле:

$$d = D \cdot \cos^2 \nu,$$

где D – расстояние, определённое дальномером.

Горизонтальное проложение d следует округлить до десятых долей метра и занести в графу «Горизонтальное проложение».

В нашем примере:

на станции 4 для речной точки 1 – $d_1 = 101 \cdot \cos^2(-0^\circ 37') = 101,0$ м;

для речной точки 2 – $d_2 = 138,0 \cdot \cos^2(-1^\circ 06') = 137,9$ м и т. д.

Примечание: при вычислении тригонометрических функций минуты угла наклона ν надо выразить в долях градуса. Для этого установить в микрокалькуляторе режим работы DEG. Разделить число минут на 60, полученное значение прибавить к числу градусов и затем уже брать тригонометрическую функцию.

Пример: для речной точки 1 – $d_1 = 101,0 \cdot (\cos(0^\circ + 37'/60))^2 = 101,0$ м.

Вычисление превышения h' по формуле:

$$h' = d \cdot \operatorname{tg} \nu.$$

Превышение h' следует округлить до сотых долей метра и занести в графу «Превышение, взятое из таблиц».

В нашем примере:

на станции 4 для речной точки 1 – $h'_1 = 101,0 \cdot \operatorname{tg}(-0^\circ 37') = -1,09$ м

для речной точки 2 – $h'_2 = 137,9 \cdot \operatorname{tg}(-1^\circ 06') = -2,65$ м и т. д.

Внимание! Не следует забывать о переводе минут угла наклона ν в доли градуса, а также о том, что превышение при отрицательном угле наклона ν получается со знаком «минус».

Вычисление полного превышения h по формуле:

$$h = h' + i - l,$$

где i – высота инструмента на данной станции;

l – высота визирования (высота наведения).

Полное превышение h следует занести в графу «Превышение». Если при визировании на точку зрительная труба наводилась на высоту, равную высоте инструмента ($l = i$), то $h = h'$ и значения превышения h' переписывают в графу «Превышение» без изменения.

В нашем примере: на станции 4

для речной точки 1 – $l = 1,37$ м и $i = 1,37$ м, $h_1 = h'_1 = -1,09$ м;

для речной точки 2 – $l = 1,37$ м, $h_2 = h'_2 = -2,65$ м

для речной точки 3 – $l = 3,00$ м, $h_3 = -1,34 + 1,37 - 3,00 = -2,97$ м и т. д.

Вычисление отметок речных точек по формуле:

$$H_{p.m.i} = H_{CT} + h_i,$$

где $H_{p.m.}$ – отметка реечной точки;

$H_{СТ}$ – отметка станции;

h – превышение соответствующей реечной точки над станцией.

Внимание! Отметки станций берутся из журнала технического нивелирования (см. пункт 4.4.5). Из графы «Отметки промежуточных точек» на станции №12 нивелирного хода выписываем отметку промежуточной точки – в журнале тахеометрической съёмки это значение будет отметкой станции 4 – $H_{СТ.4}$. Из графы «Отметки пикетов» выписываем отметку п.п. 43 – $H_{п.п.43}$. При этом отметки округлить до сотых метра и записать в журнал тахеометрической съёмки.

Отметки реечных точек $H_{p.m.}$ следует занести в графу «Отметки реечной точки».

В нашем примере:

Отметка станции 4 $H_{СТ.4} = 233,703$ м;

отметка реечной точки 1: $H_{p.m.1} = H_{СТ.4} + h_1$; $H_{p.m.1} = 233,703 - 1,09 = 232,613$ м;

отметка реечной точки 2: $H_{p.m.2} = H_{СТ.4} + h_2$; $H_{p.m.2} = 233,703 - 2,65 = 231,053$ м;

отметка реечной точки 3: $H_{p.m.3} = H_{СТ.4} + h_3$; $H_{p.m.3} = 233,703 - 2,97 = 230,733$ м.

Отметка станции п.п.43 $H_{п.п.43} = 236,045$ м;

отметка реечной точки 11: $H_{p.m.11} = H_{п.п.43} + h_{11}$; $H_{p.m.11} = 236,045 - 4,17 = 231,875$ м;

отметка реечной точки 12: $H_{p.m.12} = H_{п.п.43} + h_{12}$; $H_{p.m.12} = 236,045 - 3,28 = 232,765$ м;

отметка реечной точки 13: $H_{p.m.13} = H_{п.п.43} + h_{13}$; $H_{p.m.13} = 236,045 - 5,87 = 230,175$ м и

т. д.

На этом обработка журнала тахеометрической съёмки закончена. Все расчёты приведены в Приложении 12.

Вариант для выполнения работы студент получает у преподавателя.

4.4.8 Построение топографического плана

Пользуясь обработанным журналом тахеометрической съёмки (прил. 12), приступают к составлению топографического плана по заданному абрису (прил. 13).

1. Построение координатной сетки

Выбираем масштаб для плана 1:2000, в 1 см – 20 м.

Построение топографического плана начинают с построения координатной сетки, которую в виде квадратов со сторонами по 10 см вычерчивают на листе чертёжной бумаги. Рекомендуемый размер листа чертёжной бумаги 35×45 см. Необходимое количество квадратов рассчитывают, исходя из полученных значений координат вершин теодолитного хода т. 4 и пп. 43 (см. «Ведомость вычисления координат теодолитного хода», прил. 5).

Пример: Самая северная (имеющая наибольшее значение x) и самая южная (имеющая наименьшее значение x).

В нашем примере точки имеют абсциссы:

$$x_{\text{сев.}} = x_4 = 3\,982,18 \text{ м} = 3\,982 \text{ м};$$

$$x_{\text{южн.}} = x_{\text{пт.43}} = 3\,696,40 = 3\,696 \text{ м};$$

$$\frac{x_{\text{сев.}} - x_{\text{южн.}}}{200} = \frac{3\,982 - 3\,696}{200} = \frac{286}{200} = 1,43 \approx 2.$$

Делим на 200, т. к. в 10 см квадрата сетки согласно масштабу 200 м.

Следовательно, необходимо построить два ряда вертикальных квадратов по оси x . Аналогично определяют число горизонтальных квадратов по оси y .

Сетку вычерчивают строго отточенным карандашом. Построение координатной сетки необходимо тщательно проконтролировать: циркулем-измерителем сравнивают между собой диагонали квадратов. Расхождения в их длинах допускаются не более 0,2 мм; если расхождения получаются больше, сетку строят заново.

Координатную сетку оцифровывают так, чтобы теодолитный ход размещался примерно в середине листа. Линии координатной сетки подписываются через 200 м значениями, кратными 200. Так, для нашего примера удобна оцифровка, показанная на рисунке 4.21.

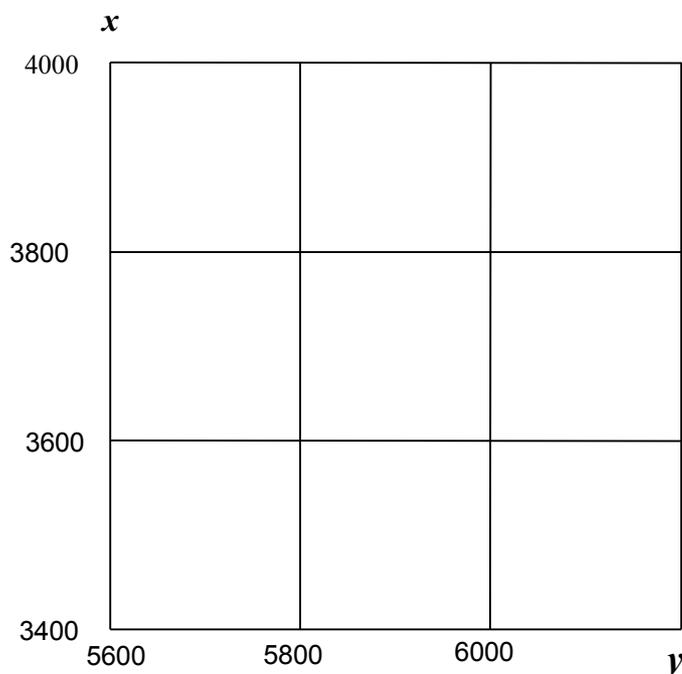


Рисунок 4.21 – Координатная сетка

2. Построение теодолитного хода по координатам его вершин

Вершины теодолитного хода наносятся по их вычисленным координатам (см. «Ведомость вычисления координат теодолитного хода», прил. 5). Из ведомости надо взять всего две точки теодолитного хода т.4 и пп.43.

Предположим требуется нанести точку с координатами $x_{т.4} = +3\,982,18$ м, $y_{т.4} = +5\,826,81$ м. Сначала выясняют, в каком из квадратов сетки должна лежать эта точка: по направлению x точка, должна находиться между линиями сетки с абсциссами $+3\,800$ и $+4\,000$, а по направлению y – между линиями сетки с ординатами $+5\,800$ и $+6\,000$ (см. рис. 4.21).

От линии с абсциссой $+3\,800$ по вертикальным сторонам квадрата откладывают вверх в масштабе плана (в $1\text{ см} = 20\text{ м}$) расстояние $3\,982,18\text{ м} - 3\,800\text{ м} = 182,18\text{ м}/20 = 9,1\text{ см}$ и проводят линию, параллельную линии с абсциссой $+3\,800$. Вдоль этой линии от вертикальной линии сетки с ординатой $+5\,800$ и откладывают вправо расстояние $5\,826,81\text{ м} - 5\,800\text{ м} = 26,81\text{ м}/20 = 1,3\text{ см}$.

Полученную точку (рис. 4.22) обозначают слабым наколом иглы циркуля-измерителя и сразу же обводят окружностью диаметром $1,5\text{ мм}$; внутрь этой окружности никакие линии проводить нельзя. Рядом записывают в виде дроби: в числителе – номер точки, а в знаменателе – отметку высоты (прил. 12 – колонка «Отметки реечных точек»).

Нанесение точек хода необходимо проконтролировать. Для контроля измеряют расстояние между нанесёнными вершинами: получившиеся на плане длины сторон хода должны отличаться от данных в ведомости вычисления координат не более, чем на $0,2\text{ мм}$ в масштабе составляемого плана.

Для нашего примера, расстояние между т.4 и п.п.43 составляет $293,22\text{ м}$ (прил. 5). В масштабе $293,22\text{ м}/20 = 14,7\text{ см}$.

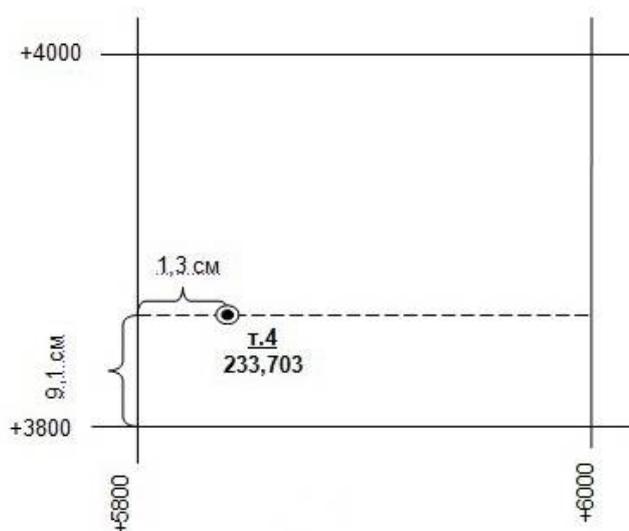


Рисунок 4.22 – Построение точки по координатам

3. Нанесение на план речных точек

Нанесение на план речных точек производят с помощью циркуля-измерителя, масштабной линейки и транспортира. Данные для нанесения берут из тахеометрического журнала (см. «Вычислительную обработку результатов тахеометрической съёмки», прил. 12).

При съёмке на станции т.4 лимб теодолита был ориентирован по направлению на предыдущую станцию п.п. 43 (отсчёт по горизонтальному кругу в направлении п.п. 43 равен $0^{\circ} 00'$). С помощью транспортира вправо (по направлению часовой стрелки) от направления т.4 – п.п. 43 откладывают горизонтальные углы (отсчёты на горизонтальном лимбе), измеренные при визировании на речные точки 1, 2, 3, 4... 10 (рис. 4.23, а). Получив на плане направления на эти речные точки, от станции т. 4 по ним откладывают в масштабе 1:2000 величины соответствующих горизонтальных расстояний приложение 12, колонка «Горизонтальные проложения» d .

В нашем примере: т.1 отсчёт по горизонтальному кругу = $69^{\circ} 34'$, горизонтальное проложение $d = 101$ м. В масштабе плана $d = 101 \text{ м} / 20 = 5,05$ см.

При съёмке со станции п.п 43 лимб теодолита был ориентирован по направлению на предыдущую станцию т.4 (отсчёт по горизонтальному кругу в направлении т.4 равен $0^{\circ} 00'$). При нанесении речных точек 11, 14, 15... 29 горизонтальные углы откладывают вправо (по направлению часовой стрелки) от направления п.п 43 – т.4 (рис. 4.23, б).

Нанесённую на план речную точку обозначают слабым наколом циркуля-измерителя и обводят окружностью диаметром 1,0 мм. Рядом карандашом подписывают в виде дроби номер точки и её отметку высоты (см. «Вычислительную обработку результатов тахеометрической съёмки», прил. 12).

4. Нанесение на план ситуации

Накладку ситуации производят в масштабе 1:2000 по абрису (см. прил. 13).

Вначале рекомендуется нанести линию уреза воды река Ухта, соединив плавной кривой т.т. 15, 16, 18, 19, 20, 21.

Затем изображают контур вырубki, соединив точки т.т. 25, 23 и отложив в масштабе квадрат 100 м.

Лесную дорогу наносит по точкам т.т. 4, 5, 11, 12, 14, 15.

Границу луга проводят, соединив точечным пунктиром речные точки 13, 14, 17, 22, 23.

На р.т. 12 изображают дом лесника, размером 5×10 м.

На р.т. 15 изображают водомерный пост.

Вырубку, луг с редким кустарником и лес показывают условными знаками (см. прил. 13).

На плане река обозначается зелёным цветом, все остальное – чёрным.

5. Изображение рельефа на плане

По отметкам станции и речных точек на плане проводят горизонтали с сечением рельефа через 1 м. Отыскание следов горизонталей следует проводить графической интерполяцией. Интерполяцию выполняют только между точками, которые на абрисе соединены между собой стрелками.

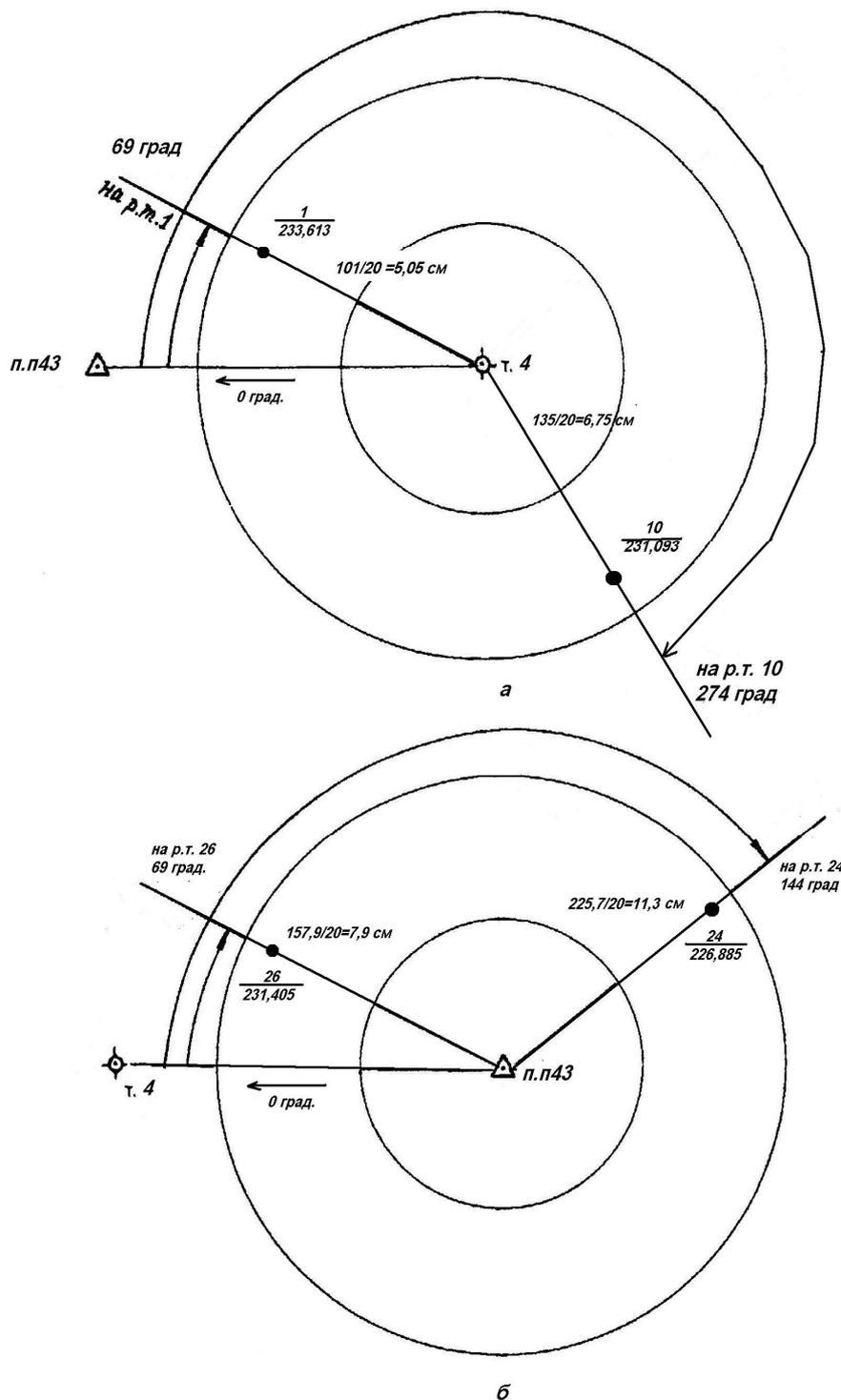


Рисунок 4.23

Соединение каких-либо двух точек в абрисе говорит о том, что местность между ними имеет один скат (без перегибов), направление по которому сверху вниз и указывает стрелка. Приступая к изображению рельефа, точки на плане, между которыми имеются стрелки в абрисе, соединяют тонкими вспомогательными линиями. Интерполяция по намеченным линиям может проводиться с помощью палетки, которая изготавливается студентами самостоятельно на кальке размером 12×12 см (рис. 4.24).

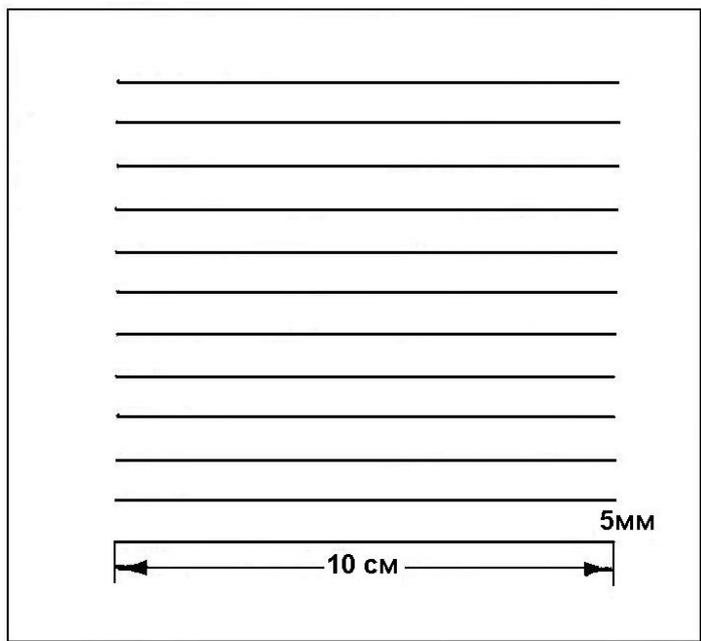


Рисунок 4.24 – Палетка

Горизонтالي проводят по линиям равномерного ската, отмеченного на абрисе стрелками.

В качестве *произвольного примера* рассмотрим интерполирование по линии р.т. 1 и р.т. 2 (рис. 4.25).

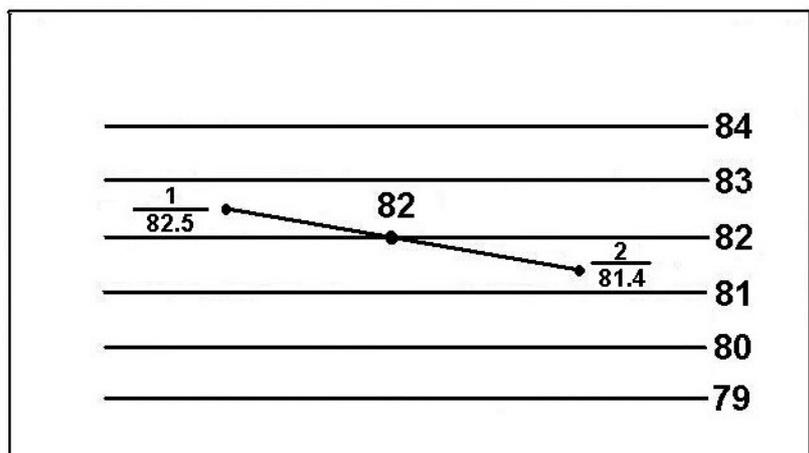


Рисунок 4.25 – Интерполирование по линии р.т. 1 и р.т. 2

Оцифровываем горизонтальные линии палетки согласно отметок заданных точек (пример: $H_{р.т.1} = 82,5$ м. $H_{р.т.2} = 81,4$ м). Накладываем палетку на интерполируемую линию р.т. 1 – р.т. 2 и разворачиваем её так, чтобы конечные точки линии заняли места на палетке, соответствующие их отметкам. Затем перекалывают иглой на план точки пересечения данной линии на палетке с линией на плане и подписывают их отметки. Заданное направление пересекает только одна точка будущей горизонтали с отметкой 82 м. Аналогично выполняют интерполяцию по всем остальным линиям, указанным на абрисе (обязательно выполнить интерполяцию и по линиям. Найденные интерполяцией следы одноименных горизонталей соединяют плавными кривыми и таким образом находят горизонтали. Через контуры лесной дороги горизонтали не проводят. Пример нахождения горизонталей по линиям р.т.1 – р.т.2 и р.т.1 – т. 1 представлен на рисунке 4.26.

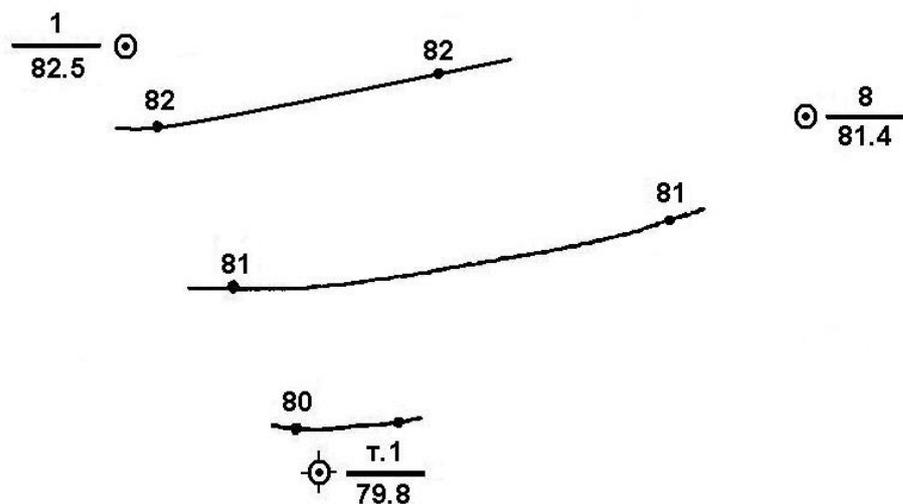


Рисунок 4.26

6. Оформление топографического плана

Все контуры и рельеф, изображаемые на плане, вычерчивают в соответствии с условными знаками (см. прил. 13). При этом необходимо тщательно выдерживать очертания и размеры, а также порядок размещения значков для масштаба 1:2000. Все построения и надписи выполняют тонкими линиями. Вспомогательные построения на плане не обводят.

Береговую линию ручья и маленькие окружности, обозначающие речные точки вычерчивают зелёной ручкой. Также зелёной ручкой вычерчиваются пересечения координатных линий.

При вычерчивании элементов рельефа горизонтали проводят коричневой ручкой. Обычная толщина горизонтали должна быть 0,1 мм, а горизонтали

с отметками, кратными 10, утолщают в 2,5 раза. Отметки горизонталей, кратные 5 м, подписывают в разрывах горизонталей; при этом верх цифр должен быть обращён в сторону повышения ската местности.

Все остальные линии, условные знаки и надписи выполняют чёрной ручкой. Номера реечных точек ручкой не обводят, оставляя их в карандаше.

С северной стороны участка подписывают значения y , а с восточной – x линий координатной сетки. Это делают возле пересечений координатных линий (вершин квадратов) сетки. В верхней части листа выполняют заглавную надпись, в нижней указывают масштаб плана и высоту сечения рельефа.

Практические работы: «Обработка результатов теодолитной съёмки», «Обработка результатов технического нивелирования», «Вычислительная обработка результатов тахеометрической съёмки» и построенный по результатам расчётов план оформляются в виде Расчётно-графической работы.

ГЛОССАРИЙ

Абрис – схематический чертёж участка местности с обозначением данных полевых измерений, необходимых для построения точного плана или профиля.

Азимут – угол между плоскостью меридиана точки наблюдения и вертикальной плоскостью, проходящей через эту точку и наблюдаемый объект.

Азимутальные проекции – картографические проекции, параллели нормальной сетки которых – концентрические окружности, а меридианы – их радиусы, расходящиеся из общего центра параллелей под углами, равными разности долгот.

Алидада – приспособление для измерения углов (вращающееся вокруг оси, проходящей через центр лимба) в астрономических, геодезических и физических угломерных инструментах.

Аэросъёмка – съёмка местности с летательных аппаратов с использованием съёмочных систем (приёмников информации), работающих в различных участках спектра электромагнитных волн.

Балтийская система высот – принятая в Российской Федерации система абсолютных высот, отсчёт которых ведётся от нуля футштока в Кронштадте.

Барометрическое нивелирование – метод приближенного определения разности высот между двумя точками по значениям атмосферного давления в этих точках.

Бергштрихи – чёрточки, перпендикулярные к горизонтали, указывающие направление ската.

Буссоль – инструмент для измерения магнитного азимута направлений на местности.

Вершина – верхняя точка горы или наиболее высокая часть горного массива или отрога.

Визир – приспособление, устройство для визуального наведения угломерного, дальномерного или наблюдательного прибора на определённую точку в пространстве.

Водораздел – линия на земной поверхности, проходящая вдоль хребта по гребню и соединяющая его наиболее возвышенные точки.

Водосбор – линия на земной поверхности, с которой поверхностные и подземные воды стекают в определённый водоём.

Высокоточная геодезическая сеть – сеть, обеспечивающая следующую по точности после фундаментальной сети реализацию координатной системы, опирающаяся на пункты ФАГС.

Высота точки (отметка) – расстояние, отсчитанное по направлению отвесной линии от данной точки до поверхности отсчёта.

Высотная сеть – сеть пунктов земной поверхности, высоты которых над уровнем моря определены из нивелирования.

Высшая геодезия – раздел геодезии, занимающийся определением фигуры, размеров и гравитационного поля Земли.

Гаусса – Крюгера проекция – равноугольная картографическая проекция, в которой составлены топографические карты России и некоторых других стран.

Гауссово сближение меридианов – угол между геодезическим меридианом данной точки и линией, параллельной осевому меридиану координатной зоны.

Географическая широта (φ) – угол, образованный плоскостью экватора и отвесной линией в данной точке земной поверхности.

Географическая долгота (λ) – угол, образованный плоскостью меридиана, принятого за начальный (нулевой), и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку.

Географические координаты – угловые величины: широта (φ) и долгота (λ), определяющие положение точки на земном шаре.

Геодезическая сеть (ГГС) – совокупность геодезических пунктов, положение которых определено в общей для них системе координат.

Геодезическая съёмочная сеть – сеть сгущения, создаваемая для производства топографических съёмок. Подразделяют на плановую и высотную.

Геодезические сети сгущения (сети местного значения) – создают при развитии геодезической сети более высокого порядка (класса). Служат для увеличения плотности государственной сети, исходя из потребностей поставленных инженерно-геодезических задач.

Геодезический прибор – прибор, используемый в геодезии.

Геодезический пункт – точка на земной поверхности, положение которой в известной системе плановых координат определено геодезическими методами (триангуляции, полигонометрии и др.) и закреплено на местности геодезическим знаком.

Геодезия – наука, рассматривающая методы и способы измерения земной поверхности, применение которых даёт возможность определять форму и размеры Земли, а также производить съёмку (измерения) отдельных её частей для изображения на картах, планах используемых для создания различных инженерных сооружений.

Геоид – фигура Земли, ограниченная уровнённой поверхностью, продолженной под континенты.

Геометрическое нивелирование – это нивелирование, которое производится горизонтальным визирным лучом, который получают в основном при помощи нивелиров.

Гидростатическое нивелирование – это нивелирование, которое основано на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находиться на одном уровне.

Гора (или холм) – возвышенность конусообразной формы.

Горизонталь – линия, соединяющая точки с равными высотами на карте.

Дальномер – устройство, предназначенное для определения расстояния от наблюдателя до объекта.

Дирекционный угол – это угол, отсчитанный от северного направления осевого меридиана по часовой стрелке до заданного направления.

Длина хода – расстояние между начальной и конечной точками хода, полученное как сумма длин всех сторон хода.

Заложение – расстояние между горизонталями в плане.

Инженерная геодезия – раздел геодезии, изучающий методы измерений и инструменты, используемые при инженерных изысканиях и строительстве инженерных сооружений.

Интерполяция – восстановление функции на заданном интервале по известным её значениям в конечном множестве точек, принадлежащих этому интервалу.

Истинный азимут линии – угол, отсчитанный от северного направления истинного меридиана по часовой стрелке до заданного направления.

Карта – подобное, уменьшенное и построенное по определённым математическим законам изображение значительного участка земной поверхности на горизонтальной плоскости с учётом кривизны Земли.

Картографическая сетка – пересечение параллелей и меридианов.

Котловина – углубление конусообразной формы.

Лощина – вытянутое и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление.

Масштаб – отношение длины линии на плане или карте к соответствующей ей горизонтальной проекции линии местности.

Меридиан – линия пересечения с поверхностью Земли плоскости, проходящей через ось вращения.

Механическое нивелирование – это нивелирование, которое производится с помощью приборов, автоматически записывающих профиль местности.

Нивелир – геодезический прибор, предназначенный для определения превышений.

Нивелирная сеть – система точек земной поверхности, высоты которых над уровнем моря определены нивелированием и закреплены на местности реперами.

Нивелирование – вид геодезических работ, в результате которых определяют разности высот точек земной поверхности (превышения), а также высоты этих точек над принятой отсчётной поверхностью.

Номенклатура – система обозначения отдельных листов многолистной карты.

Обратная геодезическая задача – заключается в вычислении расстояния между точками AB и дирекционного угла линии AB , если известны координаты точек A и B .

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

Отвесная линия – прямая, совпадающая с направлением действия силы тяжести в данной точке.

Палетка – прозрачная пластинка с нанесённой на неё сеткой линий (реже – точек), предназначенная для вычисления площадей на планах и картах, отсчёта координат и т. д.

Параллакс – видимое изменение положение предмета (тела) вследствие перемещения глаза наблюдателя.

Параллель – линия пересечения с поверхностью Земли плоскости, перпендикулярной к оси вращения.

План – уменьшенное и подобное изображение небольших по площади участков земной поверхности, полученное с помощью горизонтальной проекции и построенное без учёта кривизны Земли.

Планиметр – механическое или электронное устройство для измерения площадей объектов по планам и картам.

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

Поликонические проекции – картографические проекции, параллели которых – дуги эксцентрических окружностей, а меридианы – кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана.

Полярные координаты – система плоских координат, образованная направленным прямым лучом OX , называемым полярной осью.

Проекция – изображение какого-либо объекта на плоскости.

Прямая геодезическая задача – заключается в вычислении координат точки *B*, если известны координаты точки *A*, расстояние между *A* и *B* и дирекционным углом.

Прямоугольные координаты – система плоских координат, образованная двумя взаимно-перпендикулярными прямыми линиями, называемыми осями координат *x* и *y*.

Равновеликие проекции (эквивалентные) – картографические проекции, сохраняющие на всей карте единый масштаб площадей, благодаря чему площади фигур на карте пропорциональны площадям соответствующих фигур в натуре; используются при мелкомасштабных построениях.

Равноугольные проекции (конформные проекции) – картографические проекции, передающие на картах углы без искажений и сохраняющие в каждой точке постоянный масштаб по всем направлениям, хотя в разных местах карты масштаб различен. Используются для построения крупно- и средне-масштабных карт.

Разграфка карты – разделение многолистной карты на отдельные листы по определённой системе.

Рейка – деревянный брус высотой 3–4 м с делениями по 1–5 см, устанавливаемый вертикально в наблюдаемых точках при нивелировании и топографической съёмке.

Рекогносцировка – осмотр и обследование местности с целью выбора положения геодезических опорных пунктов для обоснования топографических съёмок и ходов.

Рельефом – совокупность разнообразных неровностей земной поверхности.

Румб – угол между меридианом и данным направлением, отсчитываемый от меридиана в обе стороны от 0° до 90°.

Сближение меридианов – угол, который образует касательная к изображению какого-либо меридиана с первой координатной осью (абсцисс) данной проекции, являющейся обычно изображением среднего (осевого) меридиана отображаемой территории.

Седловина – небольшое понижение между двумя соседними горами; как правило, седловина является началом двух лощин, понижающихся в противоположных направлениях.

Сечение рельефа – разность высот двух последовательных горизонталей на топографической карте или плане.

Створ – вертикальная плоскость, соединяющая начало и конец измеряемой линии.

Съёмочное обоснование – система (совокупность) опорных точек, обеспечивающих съёмку на некотором участке поверхности Земли.

Тахеометр – геодезический прибор для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов.

Тахеометрическая съёмка – вид топографической съёмки, при которой горизонтальные и вертикальные углы измеряются по кругам тахеометра, а расстояния до объектов – по его дальномеру.

Теодолит – геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Теодолитная съёмка – горизонтальная геодезическая съёмка местности, выполняемая для получения контурного плана местности (без высотной характеристики рельефа) с помощью теодолита.

Топографическая карта – представляет собой подробную карту местности, позволяющую определять как плановое, так высотное положение точек на земной поверхности.

Топографическая съёмка – комплекс полевых и камеральных работ, имеющих целью изобразить на бумаге условными знаками в заданном масштабе местные предметы и рельеф участка земной поверхности.

Топография – научно-техническая дисциплина, изучающая земную поверхность и размещённые на ней объекты в геометрическом отношении с целью изображения их на топографических картах, планах и профилях.

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

Тригонометрическое нивелирование – нивелирование, которое производится наклонным лучом теодолита.

Трилатерация – сеть треугольников, в которых измерены только длины сторон.

Угол наклона (крутизна ската) – вертикальный угол, отсчитываемый от горизонтальной плоскости вверх от 0° до $+90^\circ$, и вниз от 0° до -90° .

Уровенная поверхность – поверхность, в которой во всех её точках потенциал силы тяжести имеет одинаковое значение. Уровенная поверхность гравитационного поля Земли совпадает со средним уровнем воды Мирового океана.

Уровень – приспособление для проверки горизонтальности линий и поверхностей и измерения малых углов наклона. Основная часть – заполненная лёгкой жидкостью стеклянная ампула.

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

Фотограмметрия – определение форм, размеров и положения объектов по их фотографическим изображениям.

Хребет – вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении возвышенность.

Штатив – приспособление, чаще всего в виде складной треноги или трубки, для жёсткой фиксации приборов.

Экватор – линия сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через центр Земли, перпендикулярно оси её вращения. Делит земной шар на Северное и Южное полушария.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерная геодезия / Г. В. Багратуни [и др.]. – М. : Недра, 1986. – 350 с.
2. Дудникова, С. Б. Нивелир : метод. указания / С. Б. Дудникова, Ю. Н. Пильник. – Ухта : УГТУ, 2011. – 15 с.: ил.
3. Дудникова, С. Б. Вычислительная обработка результатов тахеометрической съёмки: метод. указания / С. Б. Дудникова, Н. С. Федотов. – Ухта : УГТУ, 2009. – 11 с.: ил.
4. Инженерная геодезия : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Е. Б. Ключин [и др.] ; под ред. Д. Ш. Михелева. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2010. – 496 с.
5. Картография с основами топографии: учеб. пособие для студ. географических фак. пед. ун-тов. – М. : Высш. шк., 2005. – 302 с.
6. Куштин, И. Ф. Инженерная геодезия: учебник / И. Ф. Куштин, В. И. Куштин. – Ростов н/Д. : ФЕНИКС, 2002. – 416 с.
7. Материалы сайта GEOMAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://geoman.ru>
8. Пильник, Ю. Н. Основные виды геодезических работ при проектировании, строительстве и эксплуатации нефтепромысловых объектов : метод. указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Инженерная геодезия» / Ю. Н. Пильник. – Ухта : УГТУ, 2012. – 49 с.: ил.
9. Пильник, Ю. Н. Теодолит : метод. указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Инженерная геодезия» / Ю. Н. Пильник, С. Б. Дудникова. – Ухта : УГТУ, 2011. – 19 с.: ил.
10. Практикум по топографии: топографические карты; геодезические инструменты / под ред. Г. Н. Григорьева. – Белгород : БелГУ, 2004. – 143 с.
11. Раинкин, В. Я. Решение задач на топографической карте : метод. указания / В. Я. Раинкин. – Ухта : УГТУ, 2001 – 29 с.: ил.
12. Сапожникова, Л. А. Построение топографического плана : метод. указания / Л. А. Сапожникова. – Ухта : УГТУ, 2004. – 14 с.: ил.
13. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Роскартография. – М. : Картгеоцентр, 2005. – 286 с.
14. Федотов, Н. С. Вычисление координат точек в теодолитном ходе : метод. указания / Н. С. Федотов, В. Ю. Дудников, С. Б. Дудникова. – Ухта : УГТУ, 2008. – 14 с.: ил.
15. Хейфец, Б. С. Практикум по инженерной геодезии / Б. С. Хейфец, Б. Б. Данилевич. – М. : Недра, 1979. – 334 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Лабораторная работа №
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ
 Номер карты №

Проверил:

Выполнил:
 студент группы

1. Топографические знаки:

Условный знак	Характеристика

2. Расстояние на местности (в метрах):

$AB =$
 $BC =$
 $CA =$

2. Географические координаты:

Точка	Широта, φ	Долгота, λ
<i>A</i>		
<i>B</i>		
<i>C</i>		

3. Прямоугольные координаты:

Точка	Δx	x	Δy	y
<i>A</i>				
<i>B</i>				
<i>C</i>				

4. График ориентирования при углах:

склонение магнитной стрелки $\delta =$
 сближение меридиан $\gamma =$

График:

5. Измерение дирекционного угла α и определение истинных $A_{и}$, магнитных $A_{м}$ азимутов линий и румбов:

Направление	α	r	$A_{и}$	$A_{м}$
<i>AB</i>				
<i>BC</i>				
<i>CA</i>				

6. Полярные координаты

Точка	α	D
<i>A</i>		
<i>B</i>		
<i>C</i>		

5. Номенклатура карты: _____

$\varphi =$ _____ $\lambda =$ _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	42	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	91	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144

А	Б
В	Г

а	б
в	г

1	2
3	4

6. Определение max и min уклонов линий:

AB $v_{max} =$

$v_{min} =$

BC $v_{max} =$

$v_{min} =$

CA $v_{max} =$

$v_{min} =$

7. Высоты точек:

$H_A =$

$H_B =$

$H_C =$

8. Профиль линии;

|

Журнал измерения горизонтального угла способом приёмов

Наименование точек		Отсчёты по горизонтальному кругу		
Стояния	Визирования	Л	П	Среднее
С	А	$a_L =$	$a_P =$	$\beta_{1cp} =$
	В	$b_L =$	$b_P =$	$\beta_{2cp} =$
Значение угла		$\beta_L =$	$\beta_P =$	$\beta =$

Значение угла: $\beta_L = b_L - a_L$

Значение угла: $\beta_P = b_P - a_P$

$$\beta_{1cp} = (a_P + a_L - 180^\circ) / 2$$

$$\beta_{2cp} = (b_P + b_L - 180^\circ) / 2$$

$$\beta = \beta_{2cp} - \beta_{1cp}$$

$$\beta = (\beta_L + \beta_P) / 2$$

Журнал технического нивелирования

№ станций	№ точек	Отсчёты по рейкам, мм			Превышения, мм		Поправки Δh , мм	Исправленные превышения $h_{испр}$, мм	Отметки горизонта инструмента $ГИ$, м	Отметки H , м
		Задние, a	Передние, b	Промежуточные, c	$h \pm$	Средние превышения, $h_{ср}$.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	А	$a_u =$								$H_A = 100,00$
		$a_{кр} =$			$h_u =$	$h =$		$h_u =$		
	В		$b_u =$		$h_k =$					$H_B =$
			$b_{кр} =$							

$$h_u = a_u - b_u, \text{ мм};$$

$$h_k = a_k - b_k, \text{ мм};$$

$$h_{ср} = \frac{h_u + h_k}{2}, \text{ мм};$$

$$h_{исп.} = h_{ср} + \delta h, \text{ мм};$$

$$H_B = H_A + h, \text{ м}.$$

Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода

№ вершин хода	Измерен- ные углы β		Поправки v	Исправленные углы $\beta_{испр.}$		Дирекцион- ные Углы α		Длины линий (горизонтальное проложение.)	Приращения координат, м								Координаты		№ вершин хода
	°	'		°	'	°	'		вычисленные				исправленные						
									+	Δx	+	Δy	+	Δx	+	Δy			
1	2		3	4		5		6	7	8		9		10		11	12	13	
П.т. Заимка	-	-	-	-	-	143	51,2	-	-	-	-	-	-	-	-	8 292,43	2 922,15	П.т. Заимка	
П.т. Лесной	130	42,2	-	-	-	-	-	348,52	-	-	-	-	-	-	-	4 922,46	5 383,77	П.т. Лесной	
1	275	20,8	-	-	-	-	-	277,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
2	127	15,9	-	-	-	-	-	374,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
3	239	51,5	-	-	-	-	-	381,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
4	149	57,5	-	-	-	-	-	293,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
П.П.43	264	01,9	-	-	-	251	03,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3 696,40	5 892,75	П.П.43	
П.П.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 523,42	5 388,85	П.П.44	

Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода

№ вершин хода	Измеренные углы β		Поправки υ	Исправленные углы β _{испр.}		Дирекционные углы α		Длины линий d, (м)	Приращения координат, (м)								Координаты, (м)		№ вершин хода
	°	′		°	′	°	′		вычисленные				исправленные				x	y	
									+	-	Δx	+	-	Δy	+	-			
1	2		3	4		5		6	7		8		9		10		11	12	13
П.т. Заимка	-	-		-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 292,43	2 922,15	П.т. Заимка
П.т. Лесной	130	42,2	+0,3	130	42,5	143	51,2	-	-0,07	+	+0,06	-	-	-	-	4 922,46	5 383,77	П.т. Лесной	
1	275	20,8	+0,4	275	21,2	94	33,7	348,52	-	27,72	+	347,42	-	27,79	+	347,48	4 894,67	5 731,25	1
2	127	15,9	+0,3	127	16,2	189	54,9	277,15	-	273,01	-	47,72	-	273,06	-	47,67	4 621,61	5 683,58	2
3	239	51,5	+0,3	239	51,8	137	11,1	374,92	-	275,02	+	254,81	-	275,09	+	254,87	4 346,52	5 938,45	3
4	149	57,5	+0,4	149	57,9	197	02,9	381,01	-	364,27	-	111,70	-	364,34	-	111,64	3 982,18	5 826,81	4
П.П.43	264	01,9	+0,4	264	02,3	167	00,8	293,22	-	285,72	+	65,89	-	285,78	+	65,94	3 696,40	5 892,75	П.П.43
П.П.44	-	-	-	-	-	251	03,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3 523,42	5 388,85	П.П.44	
Σβ _{изм.} =	1 187	9,8	+2,1	1 187	11,9	Σd =		1 674,82	-	-	-	-	-	-	-	-			
Σβ _{теор.} =	1 187	11,9						ΣΔx _{выч} = -1225,74		ΣΔy _{выч.} = +508,70									
f _β =	-2,1							ΣΔx _{теор} = -1226,06		ΣΔy _{теор} = +508,98									
f _{βотн.} =	±2,4							fΔx = 0,32		fΔy = -0,28									
								f _{абс.} = √0,32 ² + 0,28 ² = 0,43											
								f _{отн.} = $\frac{0,43}{1674,22} = \frac{1}{3900}$											

156

Журнал технического нивелирования

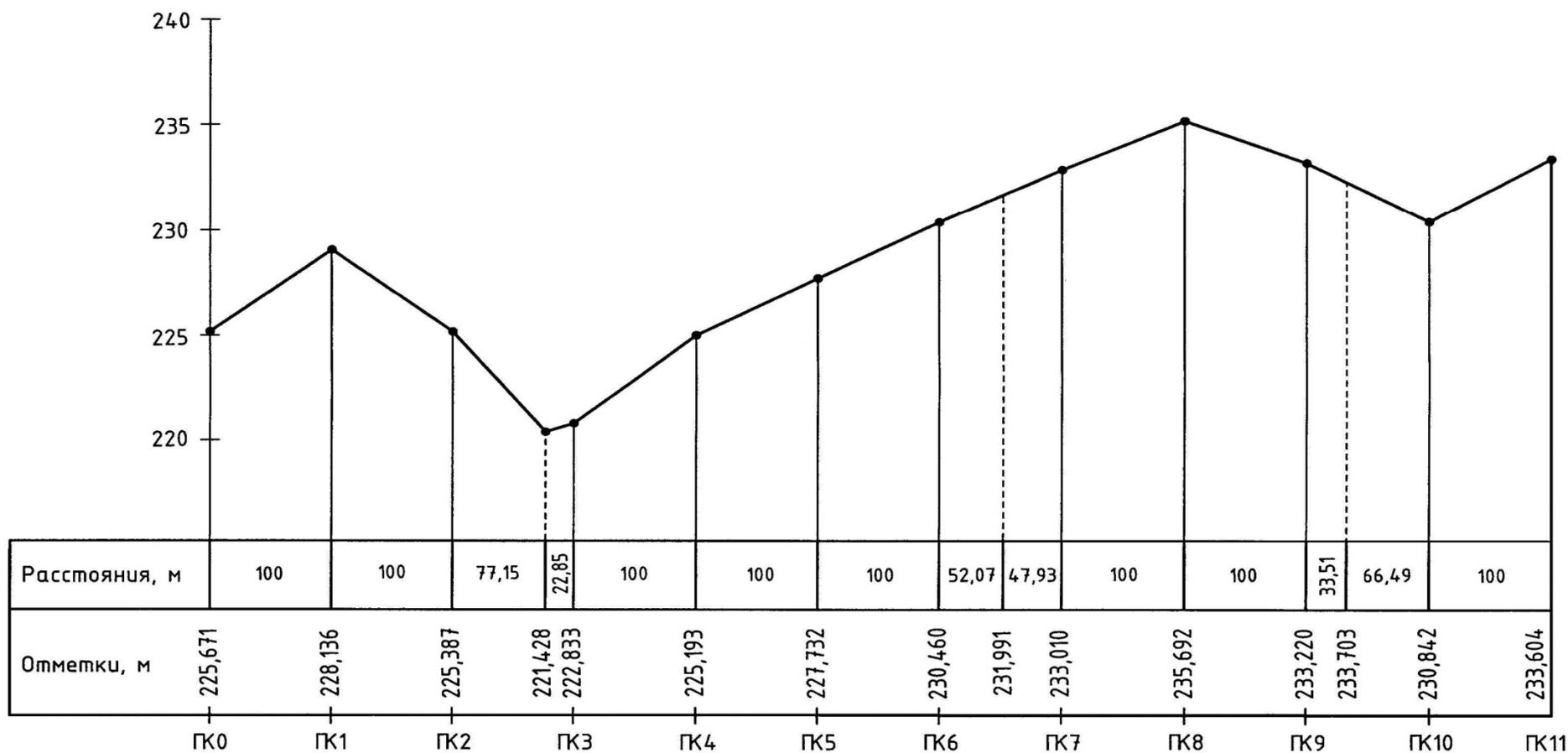
№ станций	№ пикетов и точек	Отчёты по рейкам, мм			Превышения, мм		Поправки, мм	Исправленные, мм	Отметки горизонта инструмента в м, ГИ	Отметки пикетов H, м	Отметки промежуточных точек, H, м
		Задние, a	Передние, b	Промежуточные, c	h ±	Средние превышен.	Δh ±	h ±			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПТ. Л ПК-0	0103 4883	2891 7670							пт. Л = 228,460	
2	ПК-0 ПК-1	2732 7512	0266 5046								
3	ПК-1 ПК-2	0125 4905	2872 7654								
4	ПК-2 ПК-3	0223 5003	2775 7557	4181							
5	ПК-3 ПК-4	2679 7459	0316 5100								
6	ПК-4 ПК-5	2770 7550	0228 5012								
7	ПК-5 ПК-6	2864 7644	0135 4915								
8	ПК-6 ПК-7	2774 7554	0223 5005	1243							
9	ПК-7 ПК-8	2840 7620	0156 4940	0113 1141 0831 0503							
10	ПК-8 ПК-9	0263 5043	2734 7516								
11	ПК-9 ПК-10	0310 5090	2686 7471								
12	ПК-10 ПК-11	2879 7659	0119 4896	0019							
13	ПК-11 ПП.43	2720 7500	0277 5061								п.п. 43 = 236,045
		Σ	Σ		Σ	Σ					

Журнал технического нивелирования

№ стан-ций	№ пикетов и точек	Отчёты по рейкам, мм			Превышения, мм		Поправки, мм	Исправленные, мм	Отметки горизонта инструмен-та в м, ГИ	Отметки пикетов H, м	Отметки про-межуточных точек, H, м
		Задние, a	Передние, b	Промежу-точные, c	h ±	Средние превышен.	Δh ±	h ±			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПТ. Л ПК-0	0103 4883	2891 7670		-2788 -2787	-2788	-1	-2789		пт. Л = 228,460	
2	ПК-0 ПК-1	2732 7512	0266 5046		2466 2466	2466	-1	2465		225,671	
3	ПК-1 ПК-2	0125 4905	2872 7654		-2747 -2749	-2748	-1	-2749		228,136	
4	ПК-2 ПК-3	0223 5003	2775 7557	4181	-2552 -2554	-2553	-1	-2554	225,610 225,608 225,609	225,387	221,428
5	ПК-3 ПК-4	2679 7459	0316 5100		2363 2359	2361	-1	2360		222,833	
6	ПК-4 ПК-5	2770 7550	0228 5012		2542 2538	2540	-1	2539		225,193	
7	ПК-5 ПК-6	2864 7644	0135 4915		2729 2729	2729	-1	2728		227,732	
8	ПК-6 ПК-7	2774 7554	0223 5005	1243	2551 2549	2550	0	2550	233,234 233,233 233,234	230,460	231,991
9	ПК-7 ПК-8	2840 7620	0156 4940	0113 1141 0831 0503	2684 2680	2682	0	2682	235,850 235,848 235,849	233,010	235,736 234,708 235,018 235,346
10	ПК-8 ПК-9	0263 5043	2734 7516		-2471 -2473	-2472	0	-2472		235,692	
11	ПК-9 ПК-10	0310 5090	2686 7471		-2376 -2381	-2378	0	-2378		233,220	
12	ПК-10 ПК-11	2879 7659	0119 4896	0019	2760 2763	2762	0	2762	233,721 233,723 233,722	230,842	233,703
13	ПК-11 ПП.43	2720 7500	0277 5061		2443 2439	2441	0	2441		233,604	
		Σ 108704	Σ 93521		Σ15 183	Σ7 592	ΣΔh = -f _n = -7	Σ7585		п.п. 43 = 236,045	

Продольный профиль по результатам нивелирования

091



Масштабы:
горизонт. 1:5000
вертикал. 1:500

Журнал технического нивелирования

№ станций	№ пикетов и точек	Отчёты по рейкам, мм			Превышения, мм		Поправки, мм	Исправленные, мм	Отметки горизонта инструмента в м, ГИ	Отметки пикетов H , м	Отметки промежуточных точек, H , м
		Задние, a	Передние, b	Промежуточные, c	$h \pm$	Средние превышен.	$\Delta h \pm$	$h \pm$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПТ. Л ПК-0									пт. Л =	
2	ПК-0 ПК-1										
3	ПК-1 ПК-2										
4	ПК-2 ПК-3										
5	ПК-3 ПК-4										
6	ПК-4 ПК-5										
7	ПК-5 ПК-6										
8	ПК-6 ПК-7										
9	ПК-7 ПК-8										
10	ПК-8 ПК-9										
11	ПК-9 ПК-10										
12	ПК-10 ПК-11										
13	ПК-11 ПП.43									п.п. 43 =	
		Σ	Σ		Σ	Σ	$\Sigma \Delta h = -f_h$	Σ			

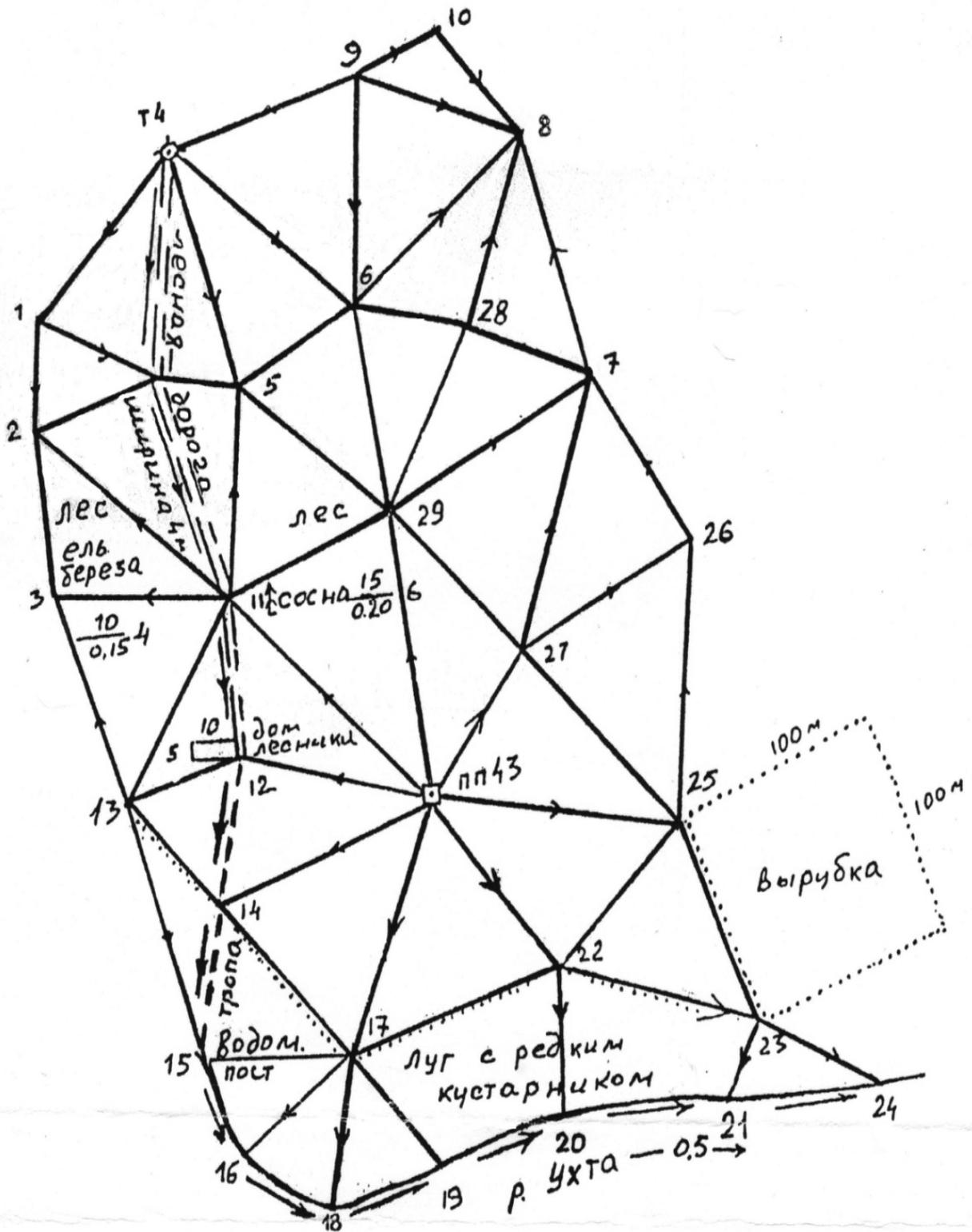
Журнал тахеометрической съёмки

№ станции. Высота инструмента. Отметка станции H	№ точки наблюдения	Высота визирования, l	Отсчёты								Место нуля, МО		Угол наклона, v		Расстояние, определённое дальнометром D , м	Горизонтальное проложение d , м	Превышение		Отметка реечной точки $H_{\text{реечн.}}$	Примечание	
			на рейке, мм			на горизонтальном лимбе		на вертикальном круге									°	'			°
			по нижней нити	по верхней нити	Разность отсчётов	°	'	КП		КЛ											
								°	'	°	'										
пп 43						175	42	4	22												
$i = 1.45$	т 4					0	00														
	11	1,45				339	48			358	08			126							
	12	1,45				313	24			357	55			89							
	13	3,00				294	40			358	16			140							
	14	1,45				274	45			358	14			105							
	15	1,45				252	43			357	07			149							
	16	3,00				238	31			357	51			164							
	17	1,45				219	21			357	38			94							
	18	1,45				222	01			357	19			169							
	19	1,45				203	34			356	47			147							
	20	1,45				181	15			356	32			141							
	21	1,45				157	29			357	19			188							
	22	1,45				163	22			357	22			90							
	23	1,45				138	03			357	52			190							
	24	3,00				144	09			358	06			226							
	25	3,00				106	07			359	18			141							
	26	1,45				69	23			358	21			158							
	27	1,45				65	16			357	41			82							
	28	1,45				29	41			358	39			198							
	29	1,45				16	58			358	15			119							
	т. 4					0	02														

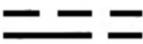
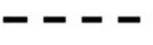
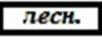
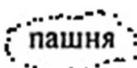
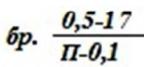
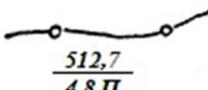
Журнал тахеометрической съёмки

№ станции. Высота инструмента. Отметка станции H	№ точки наблюдения	Высота визирования, l	Отсчёты								Место нуля, MO		Угол наклона, ν		Расстояние, определённое дальномером D , м	Горизонтальное положение d , м	Превышение		Отметка реечной точки $H_{рееч.}$	Примечание	
			на рейке, мм			на горизонтальном лимбе		на вертикальном круге									взятое из таблиц h'	h			
			по нижней нити	по верхней нити	разность отсчётов	°	'	КП		КЛ											
								°	'	°											'
пп 43								175	42	4	22	0	02							236,045	
$i = 1.45$	т 4					0	00														
	11	1,45				339	48			358	08			-1	54	126	125,7	-4,17	-4,17	231,875	
	12	1,45				313	24			357	55			-2	07	89	88,9	-3,28	-3,28	232,765	
	13	3,00				294	40			358	16			-1	46	140	139,9	-4,32	-5,87	230,175	
	14	1,45				274	45			358	14			-1	48	105	104,9	-3,30	-3,30	232,745	
	15	1,45				252	43			357	07			-2	55	149	148,6	-7,57	-7,57	228,475	
	16	3,00				238	31			357	51			-2	11	164	163,8	-6,24	-7,79	228,255	
	17	1,45				219	21			357	38			-2	24	94	93,8	-3,93	-3,93	232,115	
	18	1,45				222	01			357	19			-2	43	169	168,6	-8,00	-8,00	228,045	
	19	1,45				203	34			356	47			-3	15	147	146,5	-8,32	-8,32	227,725	
	20	1,45				181	15			356	32			-3	30	141	140,5	-8,59	-8,59	227,455	
	21	1,45				157	29			357	19			-2	43	188	187,6	-8,90	-8,90	227,145	
	22	1,45				163	22			357	22			-2	40	90	89,8	-4,18	-4,18	231,865	
	23	1,45				138	03			357	52			-2	10	190	189,7	-7,18	-7,18	228,865	
	24	3,00				144	09			358	06			-1	56	226	225,7	-7,62	-9,17	226,875	
	25	3,00				106	07			359	18			-0	44	141	141,0	-1,80	-3,35	232,695	
	26	1,45				69	23			358	21			-1	41	158	157,9	-4,64	-4,64	231,405	
	27	1,45				65	16			357	41			-2	21	82	81,9	-3,36	-3,36	232,685	
	28	1,45				29	41			358	39			-1	23	198	197,9	-4,78	-4,78	231,265	
	29	1,45				16	58			358	15			-1	47	119	118,9	-3,70	-3,70	232,345	
	т. 4					0	02														

Абрис тахеометрической съёмки



Условные знаки для масштаба 1:2000

<p> перенесение линий координатной сетки (зелен)</p> <p> точка теодолитного хода</p> <p> пункт полигонометрии</p> <p>• 518 точки тахеометрической съемки</p> <p> лесная дорога</p> <p> тропа</p> <p> граница</p> <p> дом лесника</p> <p> горизонтали утолщенные</p> <p> сплошные (коричневым)</p>	<p> ель береза</p> <p> лес</p> <p> вырубка</p> <p> орешник</p> <p> кустарник</p> <p> луг</p> <p> пашня</p> <p> водомерный пост</p> <p> бр. $\frac{0,5-1,7}{II-0,1}$ брод</p> <p> $\frac{512,7}{4,8 II}$ берег реки (зелен) урез воды</p>
--	---

Учебное издание

Бурмистрова Ольга Николаевна
Пильник Юлия Николаевна
Сушков Сергей Иванович
Ефимова Ирина Анатольевна

Основы геодезии и топографии

Учебное пособие

Редактор О. В. Мойсеня
Технический редактор К. В. Зелепукина

План 2015 г., позиция 029. Подписано в печать 31.03.2016 г.
Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 6,3. Уч.-изд. л. 5,7. Тираж 120 экз. Заказ № 304.

Ухтинский государственный технический университет.
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.
Типография УГТУ.
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, д. 13.