

Министерство сельского хозяйства РФ
Департамент научно-технологической политики и образования
ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет имени
А.А. Ежевского

Д.Р. Чернигова, Е.Л. Сосновская, Е.С. Тулунова

Геодезия (общий курс)

Учебное пособие для студентов очного, заочного и заочного с применением дистанционных образовательных технологий обучения, обучающихся по направлению подготовки
21.03.02 – Землеустройство и кадастры

Молодежный 2019

УДК 528(075.8)

Печатается по решению научно-методического совета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского Протокол №5 от 29.04.19 г.

Рецензенты: Глухов О.В. к.т.н, заместитель главного инженера АО «Кадастръемка»
Москвитин В.Г. главный специалист ООО «Аланс»

Чернигова, Д.Р. Геодезия (общий курс): Учебное пособие / Д.Р. Чернигова, Е.Л. Сосновская, Е.С. Тулунова – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2019. – 204 с.

В работе рассмотрены общие понятия о геодезических измерениях и их математической и графической обработке, изучены методы простейших измерений на местности для приобретения навыков проектирования геодезических работ, рекогносцировки местности, а также способы организации работ по созданию съемочного обоснования и выполнению наземной топографической съемки участка местности. В учебное пособие входят лабораторные работы, которые содержат задания, схемы выполнения, варианты исходных данных и список литературы, необходимой для теоретической и практической подготовки.

Учебное пособие предназначено для студентов очного, заочного и заочного с применением дистанционных образовательных технологий обучения, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 – Землеустройство и кадастры, а также студентов инженерных направлений подготовки, интересующихся вопросами геодезии.

© Чернигова Д.Р., Е.Л. Сосновская Е.Л., Тулунова Е.С. 2019
© Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	7
1.1. Предмет и задачи геодезии.....	7
1.2. Связь геодезии с другими науками	8
1.3. Роль геодезии в научных исследованиях, народнохозяйственном строительстве и обороне страны.....	9
1.4. Понятие о фигуре Земли	11
1.5. Изображение земной поверхности на сфере и на плоскости.....	14
1.6. Картографическая проекция Гаусса.....	16
1.7. Ориентирование линий.....	17
1.7.1. Ориентирование по географическому меридиану точки	17
1.7.2. Ориентирование по осевому меридиану зоны.....	18
1.7.3. Ориентирование по магнитному меридиану точки.....	20
1.7.4. Румбы линий.....	21
1.7.5. Системы координат, применяемые при съемке местности и использовании карт	22
1.7.6. Астрономические координаты	23
1.7.7. Геодезические координаты	24
1.7.8. Прямоугольные координаты.....	26
1.7.9. Полярные координаты	26
1.7.10. Определение геодезических координат точек по карте	28
1.8. Определение прямоугольных координат точек по карте.....	32
1.9. Полярная засечка.....	35
1.10. Прямая геодезическая задача на плоскости	36
1.11. Обратная геодезическая задача на плоскости	37
1.12. Методы определения планового положения точек местности	38
1.13. Геодезические сети.....	40
2. КАРТА, ПЛАН, ПРОФИЛЬ	44
1.14. Масштабы топографических карт	49
1.15. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов различных масштабов	52
1.16. Координатная сетка	58
1.17. Условные знаки топографических карт.....	59
1.18. Изображение рельефа на картах и планах.....	60
1.19. Измерение расстояний по топографическим картам	66
1.20. Измерение площадей по топографическим картам	68
3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ	74
3.1. Устройство теодолита.....	74
3.1.1. Поверки теодолита	81
3.2. Устройство нивелира	84
3.2.1. Поверки нивелира Н-3	87
3.2. Электронные тахеометры	89

3.3. Назначение и устройство буссоли	92
4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	93
4.1. Измерение горизонтальных углов.....	93
4.1.1. Способы измерения горизонтальных углов.....	95
4.2. Измерение вертикальных углов	97
4.3. Измерение расстояний на местности	100
4.3.1. Приборы для линейных измерений.....	101
5. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА.....	107
5.1. Проложение теодолитного хода	107
5.2. Съёмка местности	111
5.3. Камеральная обработка результатов измерений теодолитного хода	113
5.4. Вычисление координат пунктов теодолитного хода	114
5.5. Составление плана участка местности по материалам теодолитной съёмки 117	
6. ВЫСОТНЫЕ СЪЕМКИ	119
6.1. Геометрическое нивелирование	120
6.2. Тригонометрическое нивелирование	123
7. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА.....	125
8. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	128
Приложение 1	201
Список рекомендуемой литературы	202

ВВЕДЕНИЕ

Для успешного решения многих землеустроительных задач, наряду со знаниями по землеустроительному проектированию, планированию использования территории, кадастровому учету и контролю, экономике и рациональной организации использования земель, нужны и геодезические знания. Проведение землеустройства, восстановление границ землепользований, отвод участков под различные цели, строительство дорог, создание проектов, мелиорация земель, охрана земель и т.п. требуют от специалиста умения пользоваться картами, планами, выполнять геодезические расчёты, осуществлять перенос в натуру проектов и производить съёмку местности.

Результаты геодезических измерений широко используются в различных областях народного хозяйства. Все работы, связанные с изучением территории, находящихся на ней объектов, а также многих явлений, которые происходят на изучаемой территории, так или иначе предполагают проведение геодезических измерений и их обработку.

При изучении дисциплины геодезия вы познакомитесь с методами, технологией и техническими средствами, применяемыми при съёмках на местности, научитесь самостоятельно выполнять горизонтальную съёмку земельных участков и использовать планы и топографические карты в землеустроительной деятельности.

Учебное пособие "Геодезия (общий курс)" разработано в соответствии с рабочей программой дисциплины "Геодезия" и предназначено для студентов очного, заочного и заочного с применением дистанционных образовательных технологий обучения, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 – Землеустройство и кадастры.

Пособие состоит из восьми глав, приложения и списка рекомендуемой литературы. В первой главе даются общие понятия дисциплины геодезия, во второй главе – понятие топографической карты, плана и профиля, в третьей главе – устройство геодезических приборов, в четвертой главе – геодезические

измерения, в пятой главе – осуществление теодолитной съемки местности, в шестой главе особенности высотной съемки, в седьмой главе – тахеометрическая съемка местности, в восьмой главе – порядок выполнения лабораторных работ.

Целью изучения геодезии является получение не только теоретических знаний, но и практических навыков в решении геодезических задач при проведении землеустроительных и кадастровых работ. Поэтому программой по дисциплине, кроме теоретического изучения, предусмотрены лабораторные работы и полевая практика. На этих занятиях студенты должны выработать умение и навыки в измерениях на местности, в обработке результатов измерений, в составлении геодезических схем и в решении специальных задач.

Основные задачи пособия научить студентов:

- читать топографические карты (планы), выполнять по ним измерения и вычерчивать их фрагменты;
- применять геодезические приборы и инструменты;
- вести вычислительную и графическую обработку полевых измерений;
- проектировать и переносить в натуру участки заданной площади;

В лабораторных работах предоставлены те задания, которые связаны с применением геодезических приборов и использованием топографических карт.

При написании учебного пособия авторы ориентировались на классические учебники под редакцией Дубинок Н.К., Куштин И.Ф., Маслов А.В., Неумывакин Ю. К., Поклада Г. Г. Рисунки, поясняющие текст, были отсканированы из учебников, приведенных в перечне литературы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Предмет и задачи геодезии

Геодезия – одна из древнейших наук. слово «геодезия» образованно из двух слов – «земля» и «разделяю», а сама наука возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков, строительству оросительных каналов, осушению земель.

Геодезия – наука об измерениях, производимых для определения формы и размеров Земли, изображения ее поверхности на картах и планах, создания координатных систем, решения многообразных экономико-хозяйственных, экологических, научных и других проблем.

Современная геодезия – многогранная наука, решающие сложные научные и практические задачи. Научными задачами геодезии являются:

- определение формы и размеров Земли;
- установление систем координат;
- проведение геодинамических исследований (определение горизонтальных и вертикальных деформаций земной коры, движений земных полюсов, перемещений береговых линий морей и океанов и др.).

Научно-технические задачи геодезии в обобщенном виде заключаются в следующем:

- определение положения точек в выбранной системе координат;
- составление карт и планов местности разного назначения;
- обеспечение топографо-геодезическими данными нужд обороны страны;
- выполнение геодезических измерений для целей проектирования и строительства, землепользования, кадастра, исследования природных ресурсов и др.

По истечению многих лет геодезия развивалась и сформировалась в ряде научных дисциплин: высшая геодезия, топография, фотограмметрия, картография, спутниковая геодезия, морская геодезия, инженерная геодезия.

1.2. Связь геодезии с другими науками

Геодезия в процессе своего развития связана с рядом разных дополняющих ее дисциплин.

Так например, астрономия обеспечивает геодезию необходимыми исходными данными при изучении Земли как одного из небесных тел, влияющих на движение других небесных тел.

Для решения научных и прикладных задач геодезии используются различные методы и законы математики и физики. Получение значений искомых величин с наибольшей достоверностью производится на основе математической обработки результатов измерений.

На основе законов механики решается задача изучения фигуры Земли и ее гравитационного поля. Помимо этого, сведения из разделов физики как - оптика, электроника и радиотехника, способствуют разработке геодезических приборов и правильной их эксплуатации.

Геодезия связана с географией, геологией, геофизикой, геоморфологией, и другими науками. География изучает окружающие человеческое общество природные условия, размещения производства и условия его развития. Знание географии обеспечивает правильную трактовку элементов ландшафта, который включает в себя: рельеф, естественный покров земной поверхности (растительность, почвы, моря, озера, реки и т. д.) и результаты деятельности человека (населенные пункты, дороги, средства связи, предприятия и т. д.). Геология изучает строение, минеральный состав и развитие Земли. Геоморфология наука о происхождении и развитии рельефа земной поверхности необходима геодезии для правильного изображения форм рельефа на планах и картах.

Без знания размеров и формы Земли невозможно создание топографических карт и решение многих практических задач на земной поверхности. Геодезические измерения обеспечивают соблюдение геометрических форм и элементов проекта сооружения в отношении как его расположения на местности, так и внешней и внутренней конфигурации. Даже после окончания строительства производятся специальные геодезические измерения, имеющие целью проверку устойчивости-сооружения и выявление возможных деформаций во времени под действием различных сил и причин.

Применение фотоснимков в геодезии требует знания фотографии. В настоящее время в связи с широким использованием цифрового и электронного картографирования, геоинформационных и глобальных навигационных систем, дистанционного зондирования Земли аэрокосмическими средствами всё большее значение для геодезии приобретают достижения информатики, автоматизации и электроники.

1.3. Роль геодезии в научных исследованиях, народнохозяйственном строительстве и обороне страны

Геодезия имеет огромное научное и практическое значение в самых различных сферах народного хозяйства. Исследование околоземного и космического пространства требует детального изучения внешнего гравитационного поля Земли и распределения масс в ее теле, поэтому роль геодезии в решении задач космических исследований чрезвычайно велика. Геодезические измерения широко используются в современных научных исследованиях по изучению внутреннего строения Земли и процессов, происходящих на ее поверхности и в недрах. с их помощью фиксируются величины вертикальных и горизонтальных тектонических движений земной коры, изменения береговых линий морей и океанов, колебания уровней последних и т. п.

Для обеспечения непрерывного роста производительных сил страны важно изучение ее территории в топографическом отношении, что осуществ-

ляют с помощью карт и планов, создаваемых по результатам геодезических работ. Карты являются основой для отображения результатов научных исследований и практической деятельности в области геологии, географии, геофизики и других наук. Карты различного назначения и содержания являются средством познания природы и жизни на Земле, источником разнообразных сведений о мире.

Геодезия играет важную роль в решении многих задач хозяйства страны: при изысканиях, проектировании и строительстве самых различных сооружений, при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, при планировке, озеленении и благоустройстве населенных пунктов, земле- и лесоустройстве, осушении и орошении земель, при наблюдениях за деформациями сооружений и т.д.

Большое значение имеют результаты топографо-геодезических работ в сельском хозяйстве. Планы, карты профиля и цифровые модели местности используются для отвода земельных участков, уточнения и изменения границ землепользований, внутрихозяйственной организации территорий сельскохозяйственных предприятий, проведения почвенных, геоботанических и других обследований и изысканий, проектирования и вынесения в натуру проектов сельскохозяйственных объектов и решения других задач.

Важнейшая роль отведена геодезии в составлении и ведении государственного земельного кадастра, данные которого служат для рационального использования земель и их охраны, регулирования земельных отношений, планирования сельскохозяйственного производства, обоснования размеров платы за землю, оценки хозяйственной деятельности, а также осуществления других мероприятий, связанных с использованием земель.

Исключительное значение имеет геодезия для обороны страны. строительство оборонительных сооружений, стрельба по невидимым целям, использование военной ракетной техники, планирование военных операций и многие другие стороны военного дела требуют геодезических данных, карт и планов.

1.4. Понятие о фигуре Земли

Фигура Земли как планеты издавна интересовала ученых; для геодезистов же установление ее фигуры и размеров является одной из основных задач.

На вопрос: "Какую форму имеет Земля?" большинство людей отвечает: "Земля имеет форму шара!". Действительно, если не считать гор и океанических впадин, то Землю в первом приближении можно считать шаром. Она вращается вокруг оси и согласно законам физики должна быть сплюснута у полюсов. Во втором приближении Землю принимают за эллипсоид вращения; в некоторых исследованиях ее считают трехосным эллипсоидом.

На поверхности Земли встречаются равнины, котловины, возвышенности и горы разной высоты; если же принять во внимание рельеф дна озер, морей и океанов, то можно сказать, что форма физической поверхности Земли очень сложная. Для ее изучения можно применить широко известный способ моделирования, с которым школьники знакомятся на уроках информатики.

При разработке модели какого-либо объекта или явления учитывают только его главные характеристики, имеющие значение для успешного решения данной конкретной задачи; все другие характеристики, как несущественные для данной задачи, во внимание не принимаются.

В модели шарообразной Земли поверхность Земли имеет сферическую форму; здесь важен лишь радиус сферы, а все остальное - морские впадины, горы, равнины, - несущественно. В этой модели используется геометрия сферы, теория которой сравнительно проста и очень хорошо разработана.

Модель эллипсоида вращения имеет две характеристики: размеры большой и малой полуосей. В этой модели используется геометрия эллипсоида вращения, которая намного сложнее геометрии сферы, хотя разработана также достаточно подробно.

Если участок поверхности Земли небольшой, то иногда оказывается возможным применить для этого участка модель плоской поверхности; в этой модели применяется геометрия плоскости, которая по сложности (а точнее, по

простоте) несравнима с геометрией сферы, а тем более с геометрией эллипсоида.

В одном из учебников по высшей геодезии написано: "Понятие фигуры Земли неоднозначно и имеет различную трактовку в зависимости от использования получаемых данных". При решении геодезических задач можно иногда считать поверхность участка Земли либо частью плоскости, либо частью сферы, либо частью поверхности эллипсоида вращения и т.д.

Какое направление вполне однозначно и очень просто можно определить в любой точке Земли без специальных приборов? Конечно же, направление силы тяжести; стоит подвесить на нить груз, и натянутая нить зафиксирует это направление. Именно это направление является в геодезии основным, так как оно существует объективно и легко и просто обнаруживается. Направления силы тяжести в разных точках Земли непараллельны, они радиальны, то-есть почти совпадают с направлениями радиусов Земли.

Поверхность, всюду перпендикулярная направлениям силы тяжести, называется уровенной поверхностью. Уровенные поверхности можно проводить на разных высотах; все они являются замкнутыми и почти параллельны одна другой.

Уровенная поверхность, совпадающая с невозмущенной поверхностью мирового океана и мысленно продолженная под материка, называется основной уровенной поверхностью или поверхностью геоида.

Если бы Земля была идеальным шаром и состояла из концентрических слоев различной плотности, имеющих постоянную плотность внутри каждого слоя, то все уровенные поверхности имели бы строго сферическую форму, а направления силы тяжести совпадали бы с радиусами сфер. В реальной Земле направления силы тяжести зависят от распределения масс различной плотности внутри Земли, поэтому поверхность геоида имеет сложную форму, не поддающуюся точному математическому описанию, и не может быть определена только из наземных измерений.

В настоящее время при изучении физической поверхности Земли роль вспомогательной поверхности выполняет поверхность квазигеоида, которая может быть точно определена относительно поверхности эллипсоида по результатам астрономических, геодезических и гравиметрических измерений. На территории морей и океанов поверхность квазигеоида совпадает с поверхностью геоида, а на суше она отклоняется от него в пределах двух метров (рисунок 1.4.1.).

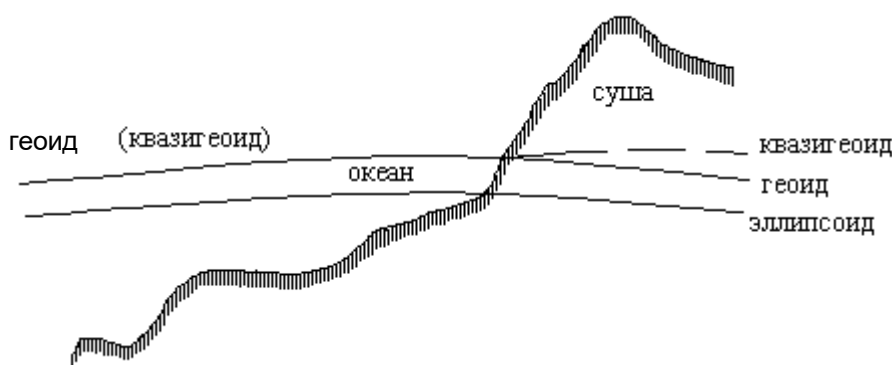


Рисунок 1.4.1. – Поверхности геоида и эллипсоида

За действительную поверхность Земли принимают на суше ее физическую поверхность, на территории морей и океанов - их невозмущенную поверхность.

Что значит изучить действительную поверхность Земли? Это значит определить положение любой ее точки в принятой системе координат. В геодезии системы координат задают на поверхности эллипсоида вращения, потому что из простых математических поверхностей она ближе всего подходит к поверхности Земли; поверхность этого эллипсоида называется еще поверхностью относимости. Эллипсоид вращения принятых размеров, определенным образом ориентированный в теле Земли, на поверхность которого относятся геодезические сети при их вычислении, называется референц-эллипсоидом.

Для территории нашей страны принят эллипсоид Красовского:

большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, полярное сжатие:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3} \quad (1.4.1.)$$

Применяемые в разных странах референц-эллипсоиды могут иметь неодинаковые размеры; существует и общеземной эллипсоид, размеры которого утверждают Международные геодезические организации. Так, в системе WGS-84 (World Geodetic System) размеры большой полуоси $a = 6\,378\,137.0$ м, малая полуось $b = 6\,356\,752,3142$ м, полярное сжатие:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.2566} = 0.003352810665 \quad (1.4.2.)$$

Малая полуось при необходимости вычисляется через a и α .

Для многих задач геодезии поверхностью относимости может служить сфера, которая в математическом отношении еще проще, чем поверхность эллипсоида вращения, а для некоторых задач небольшой участок сферы или эллипсоида можно считать плоским.

1.5. Изображение земной поверхности на сфере и на плоскости

Физическая поверхность Земли представляет собой совокупность различных пространственных форм (горы, впадины, хребты и т. п.). Для определения положения характерных точек земной поверхности на плоскости в геодезии принят метод проекций. Метод проекций заключается в том, что изучаемые точки (A, B, C, D) местности с помощью вертикальных (отвесных) линий проектируют на уровенную поверхность Земли P (рисунок 1.5.1, а), в результате чего получают горизонтальные проекции этих точек (a, b, c, d).

Положение точек a, b, c, d на уровенной поверхности Земли может быть определено в системе координат, оси которой расположены на поверхности P. Положение точек земной поверхности A, B, c, D определится соответствующими координатами на поверхности P и длинами отвесных линий aA, bB, cc, dD.

Расстояние по отвесной линии от уральной поверхности до точки физической поверхности Земли называют высотой.

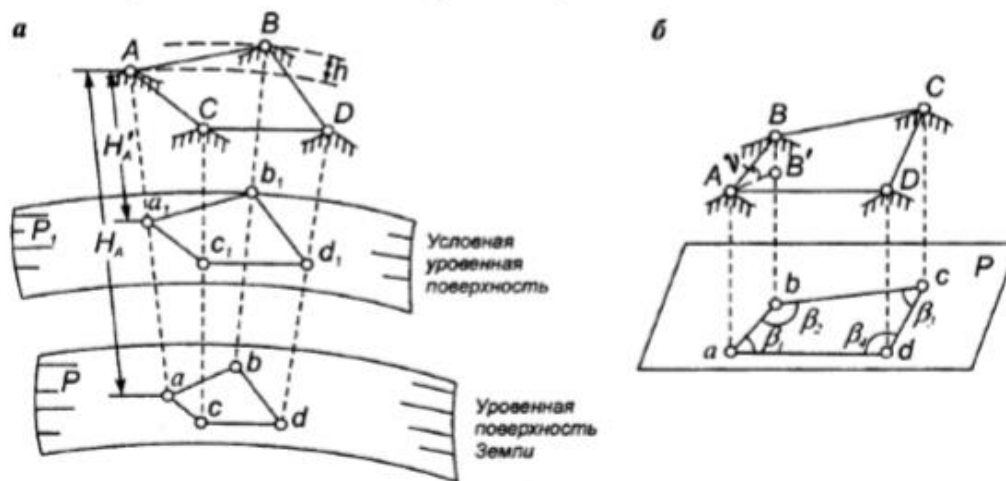


Рисунок 1.5.1. – Проекции точек земной поверхности:

а – на урную поверхность; б – на горизонтальную плоскость

Высоты бывают абсолютные, если их отсчет ведется от уральной поверхности Земли P , и условные (относительные), если их отсчет ведется от произвольной уральной поверхности P_1 параллельной поверхности P . Обычно за начало отсчета абсолютных высот принимают уровень океана или открытого моря в спокойном состоянии так за начало отсчета абсолютных высот принят нуль Кронштадтского футштока (футшток – в данном случае медная доска с горизонтальной чертой, замурованная в гранитный устой моста Обводного канала), соответствующий среднему уровню Балтийского моря по данным многолетних наблюдений. Поэтому система высот получила название Балтийской системы высот.

Численное значение высоты называют отметкой точки (абсолютной или условной). Например, $H_A = 528,752 \text{ м}$ – абсолютная отметка точки A ; $H'_A = 28,752 \text{ м}$ – условная отметка той же точки. Разность высот двух точек (абсолютных или условных) называют превышением h .

$$h = H_B - H_A = H'_B - H'_A. \quad (1.5.1)$$

Для перехода от условных высот к абсолютным и наоборот необходимо знать расстояние от основной уральной поверхности до условной.

1.6. Картографическая проекция Гаусса

В проекции Гаусса вся поверхность Земли условно разделена на 60 зон меридианами, проведенными через 6° ; форма зоны - сферический двугольник (рисунок 1.6.1); счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток. средний меридиан зоны называется осевым; долгота осевого меридиана L_0 любой зоны в восточном полушарии подсчитывается по формуле:

$$L_0 = 6^\circ * n - 3^\circ \quad (1.6.1)$$

а в западном - по формуле:

$$L_0 = 360^\circ - (6^\circ * n - 3^\circ), \quad (1.6.2)$$

где n - номер зоны.

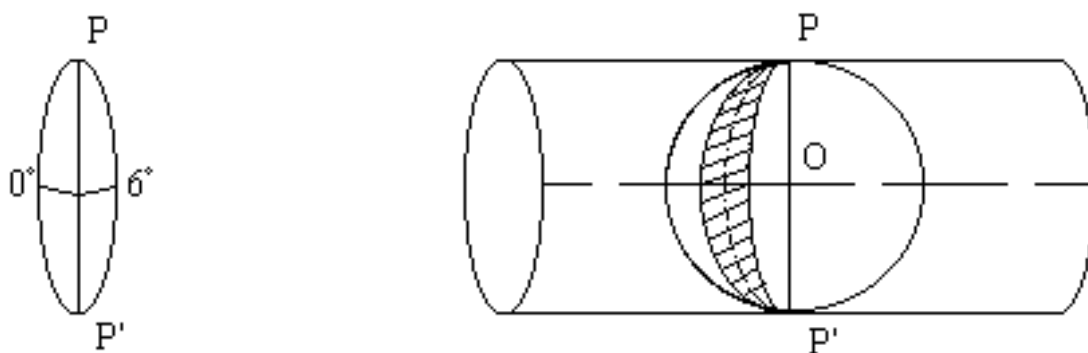


Рисунок 1.6.1. – схематическое изображение проекции Гаусса

Представим себе, что земной эллипсоид вписан в эллиптический цилиндр. Ось цилиндра расположена в плоскости экватора и проходит через центр эллипсоида. Цилиндр касается эллипсоида по осевому меридиану данной зоны. Вся поверхность зоны проектируется на поверхность цилиндра нормальными к эллипсоиду так, что изображение малого участка на цилиндре подобно соответствующему участку на эллипсоиде. Такая проекция называется равноугольной; в ней углы не искажаются.

Поверхность цилиндра разрезается и разворачивается на плоскости; при этом осевой меридиан и экватор изображаются в виде двух взаимно перпендикулярных прямых линий. В точку их пересечения помещают начало

прямоугольных координат зоны. За ось OX принимают изображение осевого меридиана зоны (положительное направление оси OX - на север), за ось OY принимают изображение экватора (положительное направление оси OY - на восток). При координате Y впереди пишут номер зоны; для исключения ее отрицательных значений условились, что в начале координат значение координаты Y равно 500 км.

1.7. Ориентирование линий

1.7.1. Ориентирование по географическому меридиану точки

Ориентировать линию - значит определить ее направление относительно другого направления, принятого за начальное. Направление определяется величиной ориентирного угла, то есть, угла между начальным направлением и направлением линии.

В геодезии за начальное направление принимают:

- географический меридиан точки,
- осевой меридиан зоны,
- магнитный меридиан точки.

Истинным (географическим) азимутом ($A_{и}$) называют угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана точки до направления ориентируемой линии (рисунок 1.7.1.1.). Пределы изменения географического азимута от 0° до 360° .

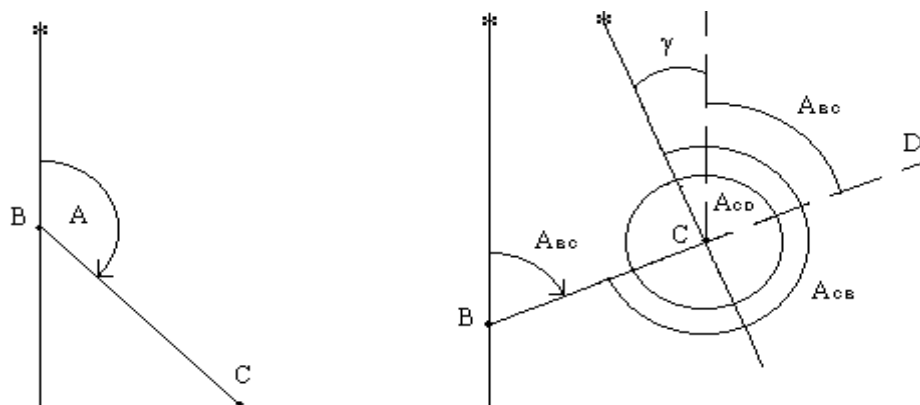


Рисунок 1.7.1.1. – Истинный (географический) азимут ($A_{и}$)

Азимут прямой линии в разных ее точках имеет разные значения, так как меридианы на поверхности сферы непараллельны между собой. Проведем линию BC и меридианы в точках B и C . Азимут этой линии в точке C отличается от азимута линии в точке B на величину сближения меридианов точек B и C :

$$A_{CD} = A_{BC} + \gamma \quad (1.7.1.1)$$

В геодезии различают прямое и обратное направление линии. Например, в точке C линии BD прямое направление - направление CD , обратное направление - направление CB . Прямой и обратный азимут линии в одной точке различаются ровно на 180° , однако, для разных точек линии это равенство не выполняется. Пусть BC - прямое направление линии в ее начале (в точке B), ABC - азимут прямого направления; CB - обратное направление линии в ее конце (в точке C), ACB - азимут обратного направления, тогда

$$A_{BC} = A_{CB} + 180^\circ + \gamma \quad (1.7.1.2)$$

то есть, обратный азимут линии равен прямому азимуту плюс-минус 180° , плюс сближение меридианов точек начала и конца линии.

Различают восточное (положительное) и западное (отрицательное) сближение меридианов. Если конечная точка линии находится к востоку от начальной, то сближение меридианов будет восточным и положительным; если конечная точка линии лежит к западу от начальной, то сближение меридианов будет западным и отрицательным.

1.7.2. Ориентирование по осевому меридиану зоны

Дирекционным углом линии называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны до направления линии; он обозначается буквой α (рисунок 1.7.2.1). Пределы изменения дирекционного угла от 0° до 360° .

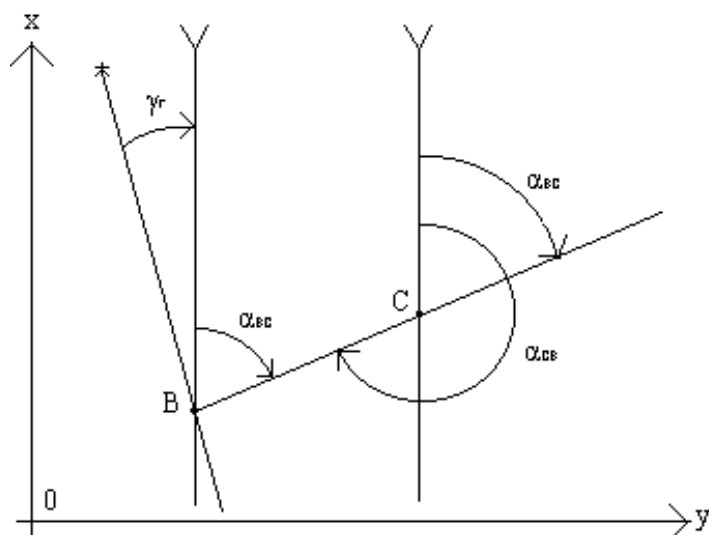


Рисунок 1.7.2.1 – Изменения дирекционного угла

Поскольку направление осевого меридиана для зоны одно, то дирекционный угол прямой линии одинаков в разных ее точках, а обратный дирекционный угол прямой линии отличается от прямого ровно на 180° :

$$\lambda_{CB} = \lambda_{BC} + 180^\circ \quad (1.7.2.1)$$

Связь географического азимута и дирекционного угла одной и той же прямой линии выражается формулой:

$$A = \alpha + \gamma_r \quad (1.7.2.2)$$

где γ_r - гауссово сближение меридианов в точке начала линии.

Передача дирекционного угла на последующую сторону через угол поворота.

Пусть имеются две линии BC и CD ; угол поворота между ними в точке C равен β_l (левый угол поворота) или β_{np} (правый угол поворота) - рисунок 1.7.2.2. Проведем через точки B и C направления, параллельные осевому меридиану зоны и покажем на рисунке дирекционные углы α_{BC} и α_{CD} . В задаче известны α_{BC} и β_l (или β_{np}); требуется найти α_{CD} .

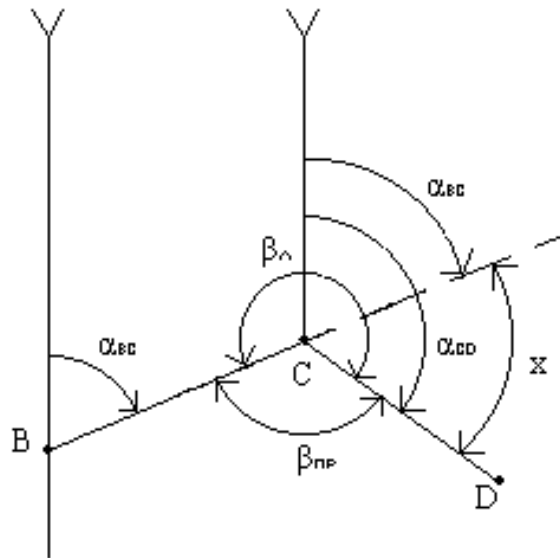


Рисунок 1.7.2.2 – Передача дирекционного угла на последующую сторону через угол поворота

Продолжим линию BC и покажем на ее продолжении угол α_{BC} . Из рис. 1.7.2.2 видно, что $\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + x$. Но $x = \beta_l - 180^\circ$ или $x = 180^\circ - \beta_{npr}$, тогда:

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + \beta_l - 180^\circ, \quad (1.7.2.3)$$

или

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + 180^\circ - \beta_{npr}. \quad (1.7.2.4)$$

Если при вычислении по двум последним формулам дирекционный угол получается отрицательным, к нему прибавляют 360° ; если он получается больше 360° , то из него вычитают 360° .

1.7.3. Ориентирование по магнитному меридиану точки

Магнитным азимутом называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана точки до направления линии; он обозначается буквой A_M (рисунок 1.7.3.1). Пределы изменения магнитного азимута от 0° до 360° .

Проведем через одну и ту же точку B географический меридиан N и магнитный меридиан N_M ; угол между ними называется склонением магнитной

стрелки и обозначается буквой δ . Если северный конец магнитной стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, то склонение считается восточным и положительным; если к западу, - то западным и отрицательным.

Направление BC характеризуется двумя ориентирными углами: географическим азимутом и магнитным азимутом; из рисунка 1.7.3.1 видно, что

$$A = A_M + \delta \quad (1.7.3.1)$$

Учитывая формулу связи географического азимута и дирекционного угла линии (1.7.3.1), можно написать:

$$A = A_M + \delta = \alpha + \gamma_T \quad (1.7.3.2)$$

и

$$\alpha = A_M + \delta - \gamma_T = A_M + \Pi, \quad (1.7.3.3)$$

где Π - поправка за склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.

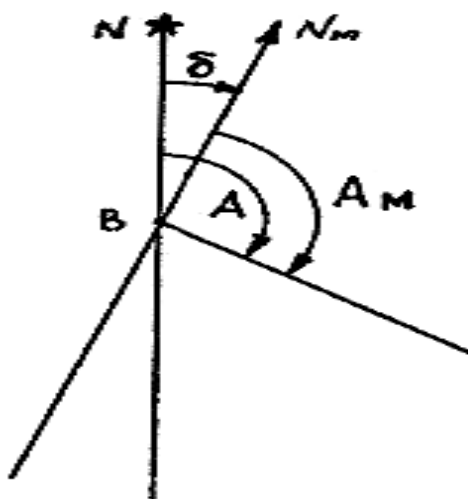


Рисунок 1.7.3.1 – Отсчет магнитного азимута

1.7.4. Румбы линий

Кроме географического и магнитного азимутов и дирекционного угла к ориентирным углам относятся также румбы. Румб - это острый угол от ближайшего направления меридиана до направления линии; он обозначается буквой r . Пределы изменения румба от 0° до 90° . Название румба зависит от

названия меридиана: географический, магнитный и дирекционный (или осевой).

Для однозначного определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти:

1 четверть - сВ (северо-восток),

2 четверть - ЮВ (юго-восток),

3 четверть - ЮЗ (юго-запад),

4 четверть - сЗ (северо-запад),

например, $r = 30^\circ$ ЮВ.

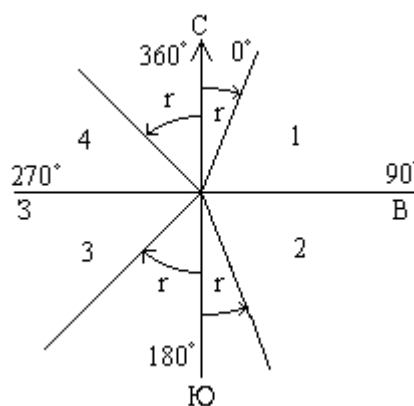


Рисунок 1.7.4.1 – Связь румба с соответствующим азимутом

связь румба с соответствующим азимутом выявляется из рисунка 1.7.4.1.

1 четверть $r = a; a = r;$

2 четверть $r = 180^\circ - a; a = 180^\circ - r;$

3 четверть $r = a - 180^\circ; a = 180^\circ + r;$

4 четверть $r = 360^\circ - a; a = 360^\circ - r.$

1.7.5. Системы координат, применяемые при съемке местности и использовании карт

Координаты - это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве относительно принятой системы координат. система координат устанавливает начальные (исходные) точки, поверхности

или линии отсчета необходимых величин - начало отсчета координат, единицы их исчисления.

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

1.7.6. Астрономические координаты

Положение точки на поверхности сферы определяется двумя сферическими координатами - широтой и долготой (рисунок 1.7.6.1: точка O - центр сферы, точка P - северный полюс, точка P' - южный полюс). Проведем линию экватора QQ , полученную от пересечения плоскости экватора и поверхности сферы.

Плоскость меридиана точки A , лежащей на поверхности сферы, проходит через отвесную линию точки A и ось вращения Земли PP' . Меридиан точки A - это линия пересечения плоскости меридиана точки A с поверхностью сферы.

Широта точки A - это угол, образованный отвесной линией точки A и плоскостью экватора; этот угол лежит в плоскости меридиана точки.

Широта отсчитывается в обе стороны от экватора (к северу - северная широта, к югу - южная) и изменяется от 0° до 90° .

Долгота точки A - это двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана точки A . Начальный меридиан проходит через центр главного зала Гринвичской обсерватории, расположенной вблизи Лондона. Долготы изменяются от 0° до 180° , к западу от Гринвича - западные и к востоку - восточные. Все точки одного меридиана имеют одинаковую долготу.

Проведем через точку A плоскость, параллельную плоскости экватора; линия пересечения этой плоскости с поверхностью сферы называется параллелью точки; все точки параллели имеют одинаковую широту.

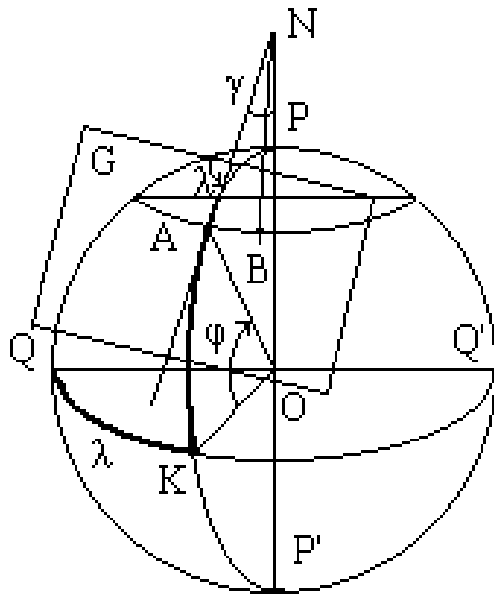


Рисунок 1.7.6.1 – Астрономическая система координат

Проведем плоскость G , касательную к поверхности сферы в точке A ; эта плоскость называется плоскостью горизонта точки A . Линия пересечения плоскости горизонта и плоскости меридиана точки называется полуденной линией; направление полуденной линии - с юга на север. Если провести полуденные линии двух точек, лежащих на одной параллели, то они пересекутся в точке на продолжении оси вращения Земли PP' и образуют угол γ , который называется сближением меридианов этих точек.

Широту и долготу точек местности определяют из астрономических наблюдений, потому они и называются астрономическими координатами.

1.7.7. Геодезические координаты

На поверхности эллипсоида вращения положение точки определяется геодезическими координатами - геодезической широтой B и геодезической долготой L (рисунок 1.7.7.1).

Геодезическая широта точки - это угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в этой точке и плоскостью экватора. Геодезическая

долгота точки - это двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана точки.

Плоскость геодезического меридиана проходит через точку A и малую полуось эллипсоида; в этой плоскости лежит нормаль к поверхности эллипсоида в точке A . Геодезическая параллель получается от пересечения поверхности эллипсоида плоскостью, проходящей через точку A и параллельной плоскости экватора.

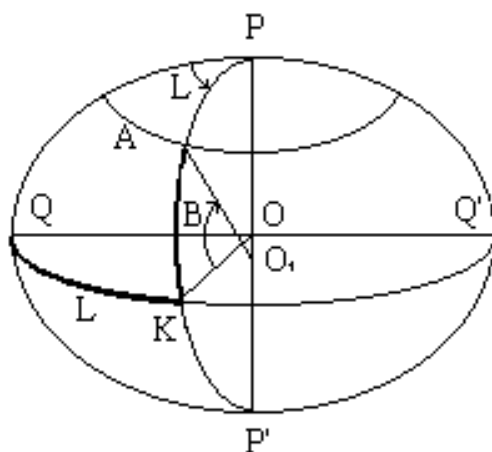


Рисунок 1.7.7.1 – Геодезическая система координат

Различие геодезических и астрономических координат точки A зависит от угла между отвесной линией данной точки и нормалью к поверхности эллипсоида в этой же точке. Этот угол называется отклонением отвесной линии; он обычно не превышает $5''$. В некоторых районах Земли, называемых аномальными, отклонение отвесной линии достигает нескольких десятков дуговых секунд. При геодезических работах невысокой точности астрономические и геодезические координаты не различают; их общее название - географические координаты - используется довольно часто.

Две координаты - широта и долгота - определяют положение точки на поверхности относимости (сферы или эллипсоида). Для определения положения точки в трехмерном пространстве нужно задать ее третью координату, которой в геодезии является высота. В нашей стране счет высот ведется от

уровенной поверхности, соответствующей среднему уровню Балтийского моря; эта система высот называется Балтийской.

1.7.8. Прямоугольные координаты

систему плоских прямоугольных координат образуют две взаимноперпендикулярные прямые линии, называемые осями координат; точка их пересечения называется началом или нулем системы координат. Ось абсцисс - OX , ось ординат - OY .

существуют две системы прямоугольных координат: левая и правая. В геодезии чаще применяется левая система (рисунок 1.7.8.1). Положение точки в прямоугольной системе однозначно определяется двумя координатами X и Y ; координата X выражает расстояние точки от оси OY , координата Y - расстояние от оси OX .

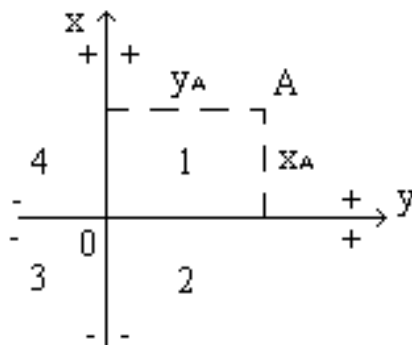


Рисунок 1.7.8.1 – Прямоугольная система координат

Значения координат бывают положительные (со знаком " + ") и отрицательные (со знаком " - ") в зависимости от того, в какой четверти (квадранте) находится искомая точка.

1.7.9. Полярные координаты

Систему полярных координат образует направленный прямой луч OX . Начало координат - точка O - называется полюсом системы, линия OX -

полярной осью. Положение любой точки в полярной системе определяется двумя координатами: радиусом-вектором r (синоним полярное расстояние S) - расстоянием от полюса до точки, - и полярным углом β при точке O , образованным осью OX и радиусом вектором точки и отсчитываемым от оси OX по ходу часовой стрелки (рисунок 1.7.9.1).

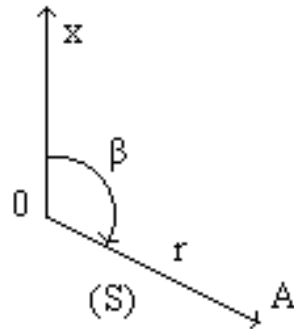


Рисунок 1.7.9.1 – Полярная система координат

Переход от прямоугольных координат к полярным и обратно для случая, когда начала обеих систем находятся в одной точке и оси OX у них совпадают (рисунок 1.7.9.2), выполняется по формулам :

$$X = S * \cos\beta, \quad (1.8.4.1)$$

$$Y = S * \sin\beta, \quad (1.8.4.2)$$

$$\operatorname{tg}\beta = Y/X, \quad (1.8.4.3)$$

$$S = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (1.8.4.4)$$

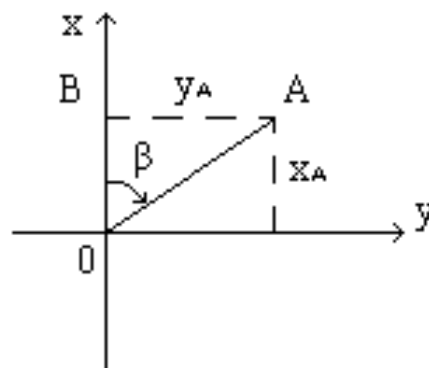


Рисунок 1.7.9.2 - Переход от прямоугольных координат к полярным

Эти формулы получаются из решения $\triangle OBA$ по известным соотношениям между сторонами и углами прямоугольного треугольника.

Системы прямоугольных и полярных координат применяются в геодезии для определения положения точек на плоскости.

1.7.10. Определение геодезических координат точек по карте

Топографические карты печатаются отдельными листами, размеры которых установлены для каждого масштаба. Боковыми рамками листов служат меридианы, а верхней и нижней рамками – параллели. (рисунок 1.7.10.1). следовательно, географические координаты можно определить по боковым рамкам топографической карты. На всех картах верхняя рамка всегда обращена на север. Географическую широту и долготу подписывают в углах каждого листа карты. На картах Западного полушария в северо-западном углу рамки каждого листа правее значения долготы меридиана помещают надпись: «К западу от Гринвича». На картах масштабов 1:25 000 – 1:200 000 стороны рамок разделены на отрезки, равные 1'. Эти отрезки отненены через один и разделены точками (кроме карты масштаба 1:200 000) на части по 10" (десять секунд). На каждом листе карты масштабов 1:50 000 и 1:100 000 показывают, кроме того, пересечение среднего меридиана и средней параллели с оцифровкой в градусах и минутах, а по внутренней рамке – выходы минутных делений штрихами длиной 2 – 3 мм. Это позволяет при необходимости прочерчивать параллели и меридианы на карте, склеенной из нескольких листов.

При составлении карт масштабов 1:500 000 и 1:1 000 000 на них наносят картографическую сетку параллелей и меридианов. Параллели проводят соответственно через 20' и 40' (минут), а меридианы – через 30' и 1°. Географические координаты точки определяют от ближайшей параллели и от ближайшего меридиана, широта и долгота которых известны.

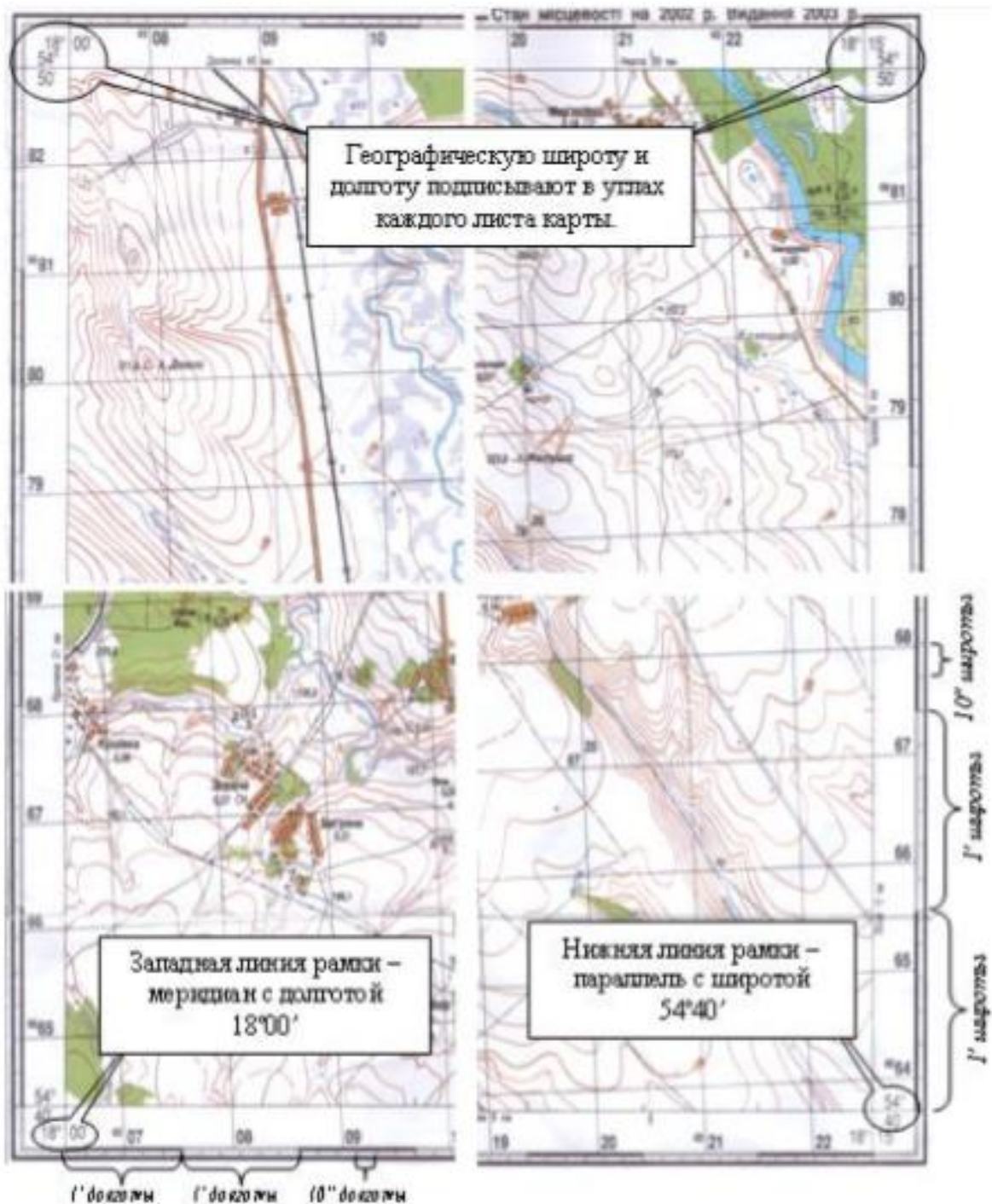


Рисунок 1.7.10.1 – Боковые рамки карты

Например, для карты масштаба 1:50 000 «ЗАГОРЯНИ» ближайшими параллелями будут параллели с широтами $54^{\circ}40'$ и $54^{\circ}50'$, а ближайшими меридианами будут меридиан с долготами $18^{\circ}00'$ и $18^{\circ}15'$ (рисунок 1.7.10.2).

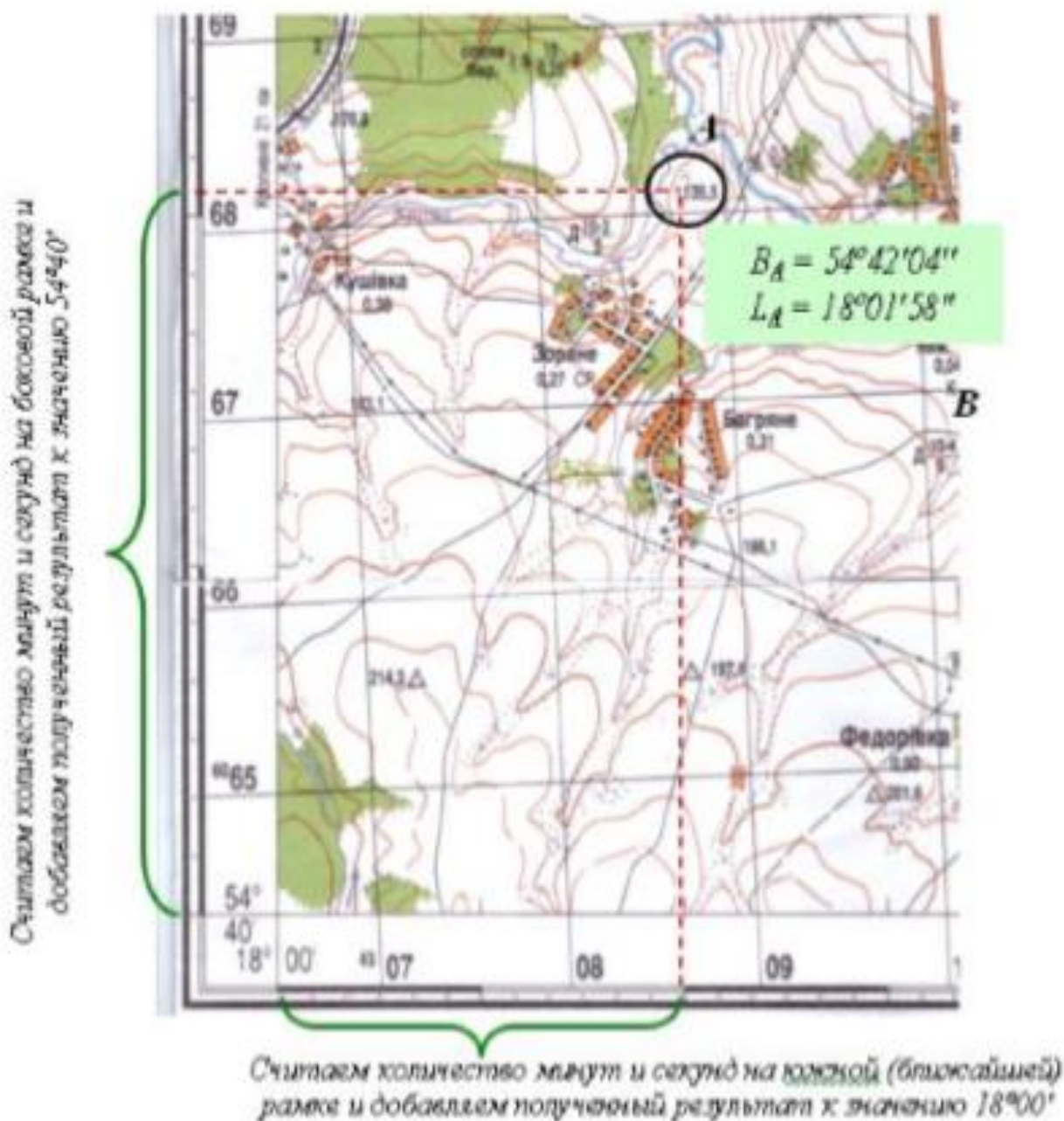


Рисунок 1.7.10.2 – Определение географических координат

Для определения широты заданной точки необходимо: одну ножку циркуля-измерителя установить на заданную точку, другую ножку по кратчайшему расстоянию установить на ближайшую параллель (для нашей карты $54^{\circ}40'$); не меняя раствор циркуля-измерителя установить его на боковую рамку с минутными и секундными делениями, одна ножка должна быть на южной параллели (для нашей карты $54^{\circ}40'$), а другая – между 10-секундными точками на рамке; посчитать количество минут и секунд от южной параллели до второй ножки

циркуля-измерителя; добавить полученный результат к южной широте (для нашей карты $54^{\circ}40'$).

Для определения долготы заданной точки необходимо: одну ножку циркуля-измерителя установить на заданную точку, другую ножку по кратчайшему расстоянию установить на ближайший меридиан (для нашей карты $18^{\circ}00'$); не меняя раствор циркуля-измерителя установить его на ближайшую горизонтальную рамку с минутными и секундными делениями (для нашей карты нижнюю рамку), одна ножка должна быть на ближайшем меридиане (для нашей карты $18^{\circ}00'$), а другая – между 10-секундными точками на горизонтальной рамке; посчитать количество минут и секунд от западного (левого) меридиана до второй ножки циркуля-измерителя; добавить полученный результат к долготе западного меридиана (для нашей карты $18^{\circ}00'$).

Обратите внимание на то, что данный способ определения долготы заданной точки для карт масштаба 1:50 000 и мельче имеет погрешность за счет схождения меридианов, ограничивающих топографическую карту с востока и запада. северная сторона рамки будет короче, чем южная. следовательно, расхождения между измерениями долготы на северной и южной рамке могут отличаться на несколько секунд.

Чтобы добиться высокой точности в результатах измерений необходимо определить долготу и по южной и по северной стороне рамки, а затем произвести интерполяцию. Для повышения точности определения географических координат можно использовать графический метод. Для этого необходимо соединить прямыми линиями ближайшие к точке одноименные десятисекундные деления по широте к югу от точки и по долготы к западу от нее. Затем определить размеры отрезков по широте и долготы от прочерченных линий до положения точки и суммировать их соответственно с широтой и долготой прочерченных линий. Точность определения географических координат по картам масштабов 1:25 000 – 1:200 000 составляет $2''$ и $10''$ соответственно.

1.8. Определение прямоугольных координат точек по карте

На топографических картах масштаба 1 : 500 000 и крупнее кроме геодезической сетки наносится прямоугольная координатная сетка. Приняв осевой (средний) меридиан в каждой зоне за ось X (абсцисс), а экватор - за ось Y (ординат), а их пересечение за начало координат, получим систему плоских прямоугольных координат Гаусса для данной зоны. В топографии и геодезии ориентирование производится по северу со счетом углов по ходу часовой стрелки. Поэтому для сохранения знаков тригонометрических функций положение осей координат в зоне Гаусса повернуто на 90° относительно осей, принятых в декартовой системе прямоугольных координат. За положительное направление осей приняты: для оси X - направление на север, для оси Y - на восток. Положение точки A в координатной зоне определяется ее расстоянием x_A и y_A от осей координат. На нашей территории все абсциссы (расстояния от экватора) положительны. Что касается ординат, то они в каждой зоне могли бы быть как положительными, так и отрицательными. Для удобства работы с картами условились значение ординаты Y осевого меридиана каждой зоны принимать равным 500 км, т. е. начало координат как бы вынесли к западу за пределы зоны.

Поскольку в каждой зоне числовые значения ординат повторяются, то для того, чтобы по координатам точки можно было определить, к какой зоне она относится, к значению ординаты Y слева приписывается номер зоны. Например, координаты точки $x = 6\ 346\ 650$ м, $y = 4\ 522\ 800$ м означают, что точка расположена к северу от экватора на расстоянии 6 346 650 м и к востоку от осевого меридиана 4-й зоны на расстоянии 22 800 м ($522\ 800\ \text{м} - 500\ 000\ \text{м} = 22\ 800\ \text{м}$).

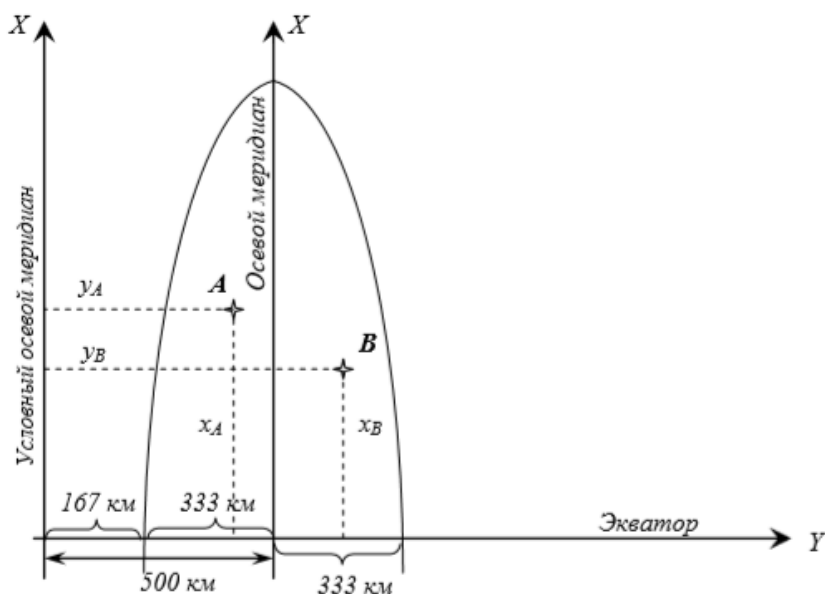


Рисунок 1.8.1 – система плоских прямоугольных координат Гаусса

Другой пример. Координаты $x = 5\,862\,300$ м, $y = 15\,323\,500$ м. Это означает, что точка расположена в $5\,862\,300$ м к северу от экватора и в $176\,500$ м к западу от осевого меридиана 15-й зоны ($500\,000$ м $- 323\,500$ м = $176\,500$ м). Для того, чтобы значительно упростить определение прямоугольных координат, на плоскости (на карте) параллельно координатным осям (осевому меридиану и экватору) проводят прямые линии через целое число километров, поэтому прямоугольную координатную сетку часто называют километровой, а ее линии - километровыми.

Все линии километровой сетки на картах подписывают цифрами, причем линии, ближайšie к углам рамки листа карты, подписывают полным числом километров, остальные сокращенно – только последними двумя цифрами, подразумевая остальные цифры.

Таким образом, подпись $^{60}81$ сверху горизонтальной километровой линии означает, что она проходит в 6081 км к северу от экватора, а подпись $^{43}22$ возле расположенной справа вертикальной километровой линии означает, что эта линия находится в 4-й зоне и проходит в 178 км западнее осевого меридиана зоны (500 км $- 322$ км = 178 км).

С помощью километровой сетки можно быстро находить координаты объектов, наносить точки по координатам, указывать местоположение объектов на карте. Прямоугольные координаты точки, через которую на карте проходят линии километровой сетки получают сразу, прочитав оцифровку координатных линий на рамках карты.

Координаты точек, лежащих внутри клеток сетки, определяют по координатам ближайших к точке линий сетки и приращению координат точек относительно этих линий. Приращения координат Δx и Δy измеряют с помощью циркуля-измерителя и линейного масштаба карты, суммируют с координатами километровых линий (рисунок 1.8.2.).

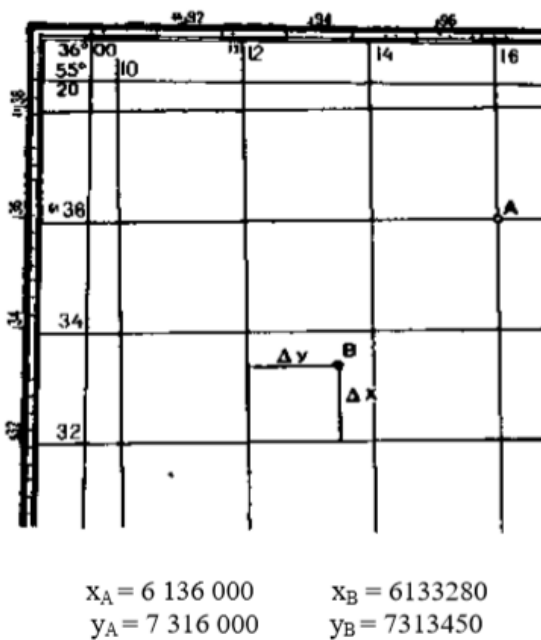


Рисунок 1.8.2 – Положение и оцифровка линий прямоугольной координатной сетки на листе карты масштаба 1 : 100 000 и определение прямоугольных координат точек

Приращения координат могут быть измерены с помощью координатомера — небольшого угольника с двумя перпендикулярными сторонами. По внутренним ребрам линеек нанесены шкалы, длины которых равны длине стороны координатных клеток карты данного масштаба. Горизонтальная шкала совмещается с нижней линией квадрата (в котором находится точка), а вер-

тикальная шкала должна проходить через данную точку. По шкалам определяют расстояния от точки до километровых линий (рисунок 1.8.3).

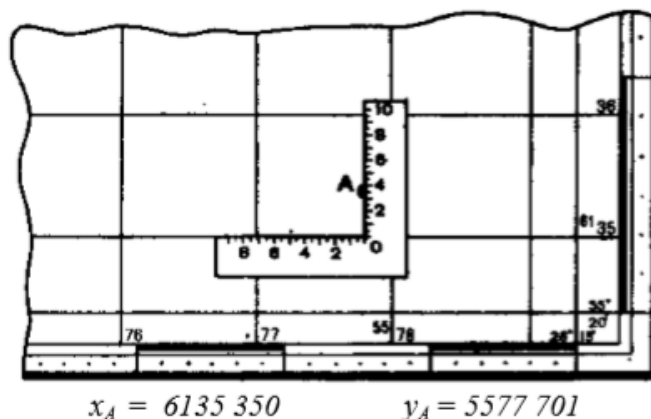


Рисунок 1.8.3 – Измерение прямоугольных координат точек с помощью координатомера

1.9. Полярная засечка

В полярной засечке исходными данными являются координаты пункта A и дирекционный угол направления AB (или координаты пункта B), измеряемыми элементами являются горизонтальный угол β (средняя квадратическая ошибка измерения угла m_β) и расстояние S (относительная ошибка его измерения $m_S / S = 1 / T$), неизвестные элементы - координаты X, Y точки P (рисунок 1.11.1).

Исходные данные: X_A, Y_A, α_{AB}

Измеряемые элементы: β, S

Неизвестные элементы: X, Y

Графическое решение. От направления AB отложить транспортиром угол β и провести прямую линию AP , затем вокруг пункта A провести дугу окружности радиусом S в масштабе чертежа (плана или карты); точка пересечения прямой линии и дуги является искомой точкой P .

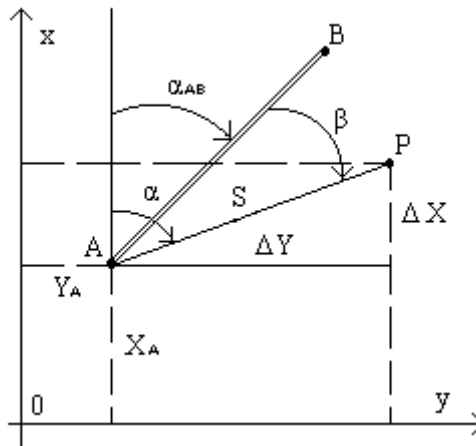


Рисунок 1.9.1 Графическое решение полярной засечки

Аналитическое решение. Дирекционный угол α линии AP равен:

$$\alpha = \alpha_{AB} + \beta . \quad (1.9.1)$$

Разности координат $(X - X_A)$ и $(Y - Y_A)$ принято называть приращениями и обозначать ΔX и ΔY .

Таким образом, полярная засечка однозначно решается по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_{AB} + \beta ; \\ \Delta X &= S * \cos \alpha ; \quad \Delta Y = S * \sin \alpha ; \\ X &= X_A + \Delta X ; \quad Y = Y_A + \Delta Y . \end{aligned} \quad (1.9.2)$$

1.10. Прямая геодезическая задача на плоскости

В геодезии есть две стандартные задачи: прямая геодезическая задача на плоскости и обратная геодезическая задача на плоскости.

Прямая геодезическая задача - это вычисление координат X_2, Y_2 второго пункта, если известны координаты X_1, Y_1 первого пункта, дирекционный угол α и длина S линии, соединяющей эти пункты. Прямая геодезическая задача является частью полярной засечки, и формулы для ее решения берутся из набора формул (1.10.1):

$$X_2 = X_1 + S * \cos \alpha ; \quad Y_2 = Y_1 + S * \sin \alpha . \quad (1.10.1)$$

1.11. Обратная геодезическая задача на плоскости

Обратная геодезическая задача - это вычисление дирекционного угла α и длины S линии, соединяющей два пункта с известными координатами X_1, Y_1 и X_2, Y_2 (рисунок 1.11.1).

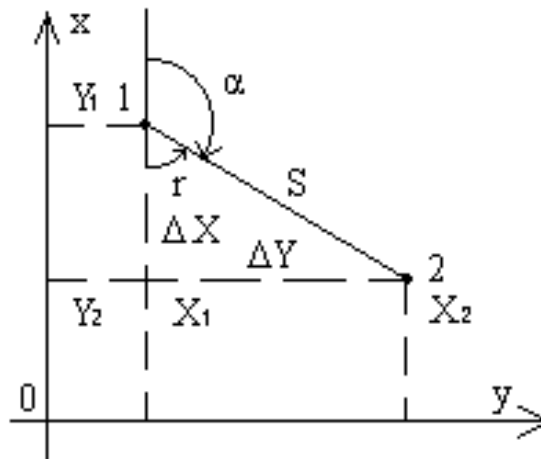


Рисунок 1.11.1 – Графическое решение обратной геодезической задачи

Построим на отрезке 1-2 как на гипотенузе прямоугольный треугольник с катетами, параллельными осям координат. В этом треугольнике гипотенуза равна S , катеты равны приращениям координат точек 1 и 2 ($\Delta X = X_2 - X_1$, $\Delta Y = Y_2 - Y_1$), а один из острых углов равен румбу r линии 1-2.

Если $\Delta X \neq 00$ и $\Delta Y \neq 00$, то решаем треугольник по известным формулам:

$$S = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}; \quad (1.11.1)$$

$$\operatorname{tgr} = \frac{|\Delta Y|}{|\Delta X|} \quad \text{и} \quad r = \operatorname{arctg} \frac{|\Delta Y|}{|\Delta X|}. \quad (1.11.2)$$

Для данного рисунка направление линии 1-2 находится во второй четверти, поэтому находим:

$$\alpha = 180^\circ - r. \quad (1.11.3)$$

Общий порядок нахождения дирекционного угла линии 1-2 включает две операции:

- определение номера четверти по знакам приращений координат ΔX и ΔY ,
- вычисление α по формулам связи румба и дирекционного угла в соответствии с номером четверти.

Контролем правильности вычислений является выполнение равенства:

$$\frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = S. \quad (1.11.4)$$

1.12. Методы определения планового положения точек местности

Координаты пунктов съемочного обоснования определяют построением геодезических сетей методами полигонометрии, триангуляции и трилатерации.

Ход полигонометрии (рисунок 1.12.1) опирается на исходные стороны AB и CD геодезической сети.

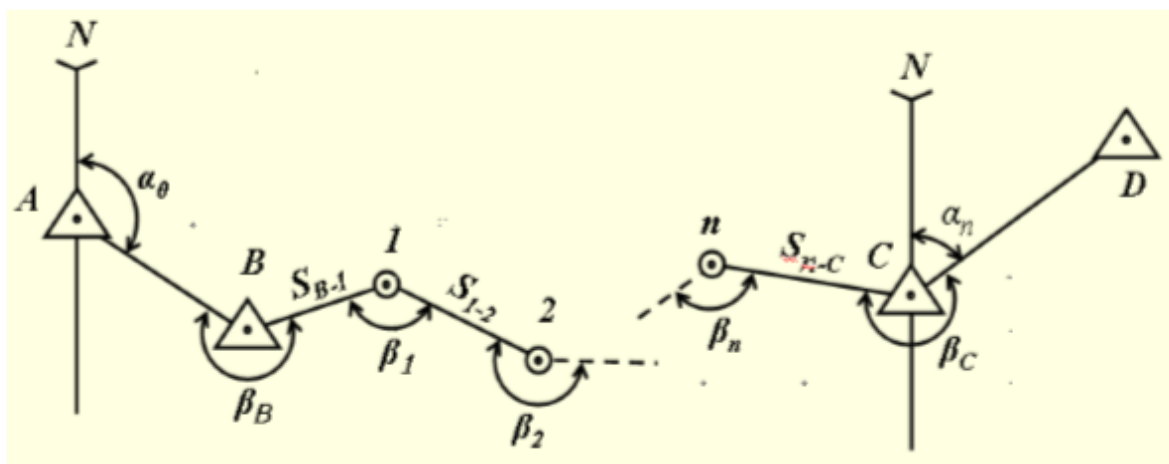


Рисунок 1.12.1 – схема полигонометрии: A, B, C, D – исходные геодезические пункты; $1, 2, \dots, n$ – точки полигонометрического (теодолитного, буссольного) хода; AN, cN – прямые, параллельные осявому меридиану зоны; α_0, α_n – начальный и конечный исходные дирекционные углы; $\beta_B, \beta_1, \dots, \beta_C$ – правые горизонтальные углы; $S_{B-1}, S_{1-2}, S_{2-3}, \dots, S_{n-C}$ – горизонтальные проложения сторон хода

В ходе известны дирекционные углы α_0 и α_n , а также координаты начальной и конечной точек хода x_B, y_B и x_C, y_C . На местности измеряют углы $\beta_B, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \beta_C$ и расстояния $S_{B-1}, S_{1-2}, S_{2-3}, \dots, S_{n-C}$. Из вычислений получают дирекционные углы всех сторон хода, а затем приращения координат и координаты точек $1, 2, 3, n$.

На учебных съемках применяют простейшие виды полигонометрии – теодолитные и буссольные ходы.

Триангуляцию применяют для создания сети съемочного обоснования на открытых участках. Ее пункты размещают в виде цепочек и систем треугольников (рисунок 1.12.2, а), в которых измеряют все углы. Образованная треугольниками сеть обычно опирается на одну или две исходные стороны AB и CD . Если создают сеть в местной системе координат (рисунок 1.12.2, б), то в ней измеряют не только углы, но также длину b и азимут A_0 базисной стороны I–II.

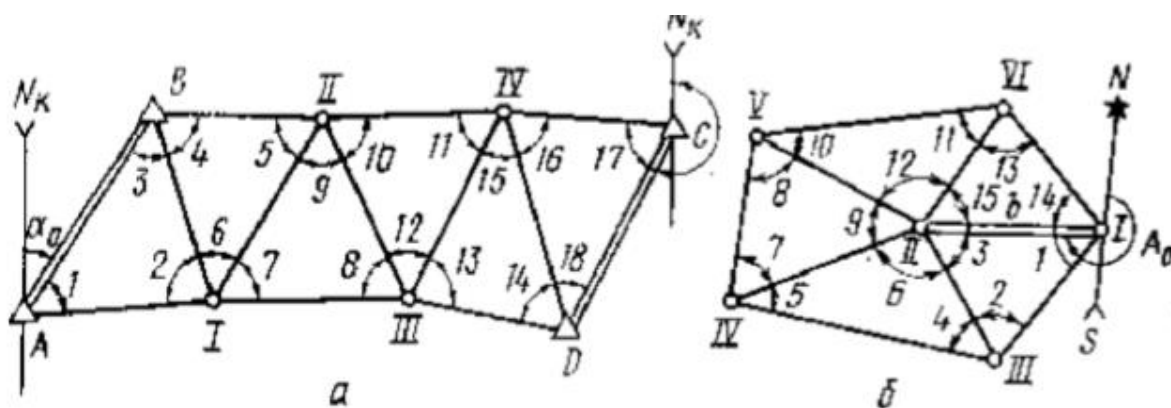


Рисунок 1.12.2 – Примеры триангуляционных построений:

а – цепочка треугольников: AMK , CNK – прямые, параллельные осевому меридиану зоны; A , B , C , D – исходные геодезические пункты; I-IV – определяемые пункты, 1-18 – измеренные углы;

б – центральная система: I–VI определяемые пункты; NS – истинный меридиан точки I; b – базис; A_0 – азимут стороны I–II; 1–15 – измеренные углы

Сначала решают последовательно треугольники, начиная с того, который опирается на исходную (базисную) сторону, и находят длину всех сторон сети. Затем по начальному дирекционному углу (азимуту) и измеренным углам вычисляют дирекционные углы всех сторон. Наконец, решая прямые геодезические задачи, последовательно находят координаты пунктов I, II, III и др.

Трилатерация – метод определения положения координат пунктов путём построения на местности системы смежных треугольников, в которых измеряются длины их сторон. В отличие от триангуляции, длины сторон треугольников измеряют радиодальномерами с высокой точностью (1:400 000). Углы

получают из вычислений, а затем рассчитывают координаты вершин треугольников.

1.13. Геодезические сети

Положение пунктов съемочного обоснования при геодезических съемках определяют от имеющихся на местности пунктов государственной геодезической сети (ГГС) или развитой на ее основе геодезической сети сгущения. Это обеспечивает необходимую точность и контроль измерений при создании съемочной сети, а также возможность использования лесных картографических материалов при общегосударственном картографировании.

Государственная геодезическая сеть. Представляет собой совокупность закрепленных на местности геодезических пунктов, определенных в общегосударственной системе координат. При помощи ГГС распространяют координаты на всю территорию страны, создавая основу для ведения всех видов съемок местности. ГГС подразделяют на плановую и высотную (нивелирную). Первую используют для определения положения точек местности в плане, вторую по высоте. Пункты плановой сети расположены на возвышенностях, вдоль железных и шоссейных дорог, по берегам рек, в населенных местах. В обжитых районах один пункт приходится на каждые 20 – 60 км², в малообжитых – на 50 – 200 км². Геодезический пункт состоит из двух частей: наружного знака и подземного центра.

В качестве наружных знаков используют деревянные или металлические пирамиды и сигналы (рисунок 1.13.1). Они вверху заканчиваются визирным цилиндром, ось которого должна находиться на одной отвесной линии с центром чугунной марки подземного центра.

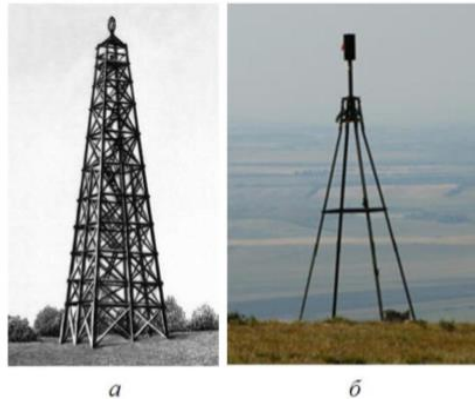


Рисунок 1.13.1 – Наружные знаки геодезических пунктов: а - сигнал; б – пирамида

Подземный центр (рисунок 1.13.2) является носителем координат геодезического пункта. Он состоит из железобетонного пилона, устанавливаемого в нижней части на бетонный якорь. Якорь должен быть заложен ниже глубины промерзания грунта. В верхней части пилона укрепляют чугунную марку, к метке на которой относятся координаты пункта. Подземный центр сверху закапывается землей.

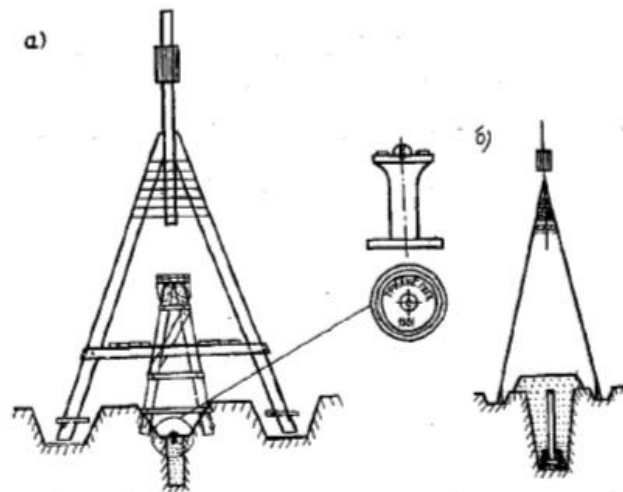


Рисунок 1.13.2 – схема пункта ГГс: а) простой сигнал и железобетонный монолит; б) пирамида и трубчатый центр с железобетонным якорем.

Пункты нивелирной сети.

Репер (фр. *repère* знак, исходная точка) в геодезии – знак, закрепляющий точку земной поверхности, высота которой относительно исходной уровенной поверхности определена путём нивелирования (рисунок 1.13.3).



Рисунок 1.13.3 – стенные и грунтовые реперы

Высоты реперов вычисляются относительно нуля Кронштадтского футштока (в Балтийской системе высот). Реперы подразделяются на фундаментальные и грунтовые. Фундаментальные реперы, представляющие собой железобетонные пилоны, закладывают в грунт через 50 – 80 км на всех нивелирных линиях 1-го класса, а также на наиболее ответственных линиях 2-го класса и близи важнейших морских водомерных установок. Рядовые реперы, закладываемые через 5 – 7 км на нивелирных линиях всех классов, подразделяются на грунтовые, устанавливаемые в земле; стенные, закладываемые в стены капитальных сооружений; скальные, закладываемые в скальный грунт.

Фундаментальные и грунтовые реперы, размещённые на территории страны, образуют государственную нивелирную сеть. Реперы государственной нивелирной сети служат исходными (опорными) пунктами для определения высот промежуточных точек земной поверхности при топографических съёмках и разного рода изыскательских работах, а также используются в научных целях при изучении разности уровней морей.

Марка – пункт нивелирной сети, служащий для закрепления точки, высота которой над уровнем моря определена путём нивелирования. Марка представляет собой литой металлический диск диаметром от 8 до 10 сантиметров, вмонтированный в стену постоянного (обычно каменного) здания или моста (рисунок 1.15.4). В центре диска расположено отверстие диаметром около 2 мм, которое и определяет положение марки. На марке отливается её номер, а также название организации, проводшей нивелирные работы. В отли-

чие от репера марка может быть деформационной. Марка, закрепленная на части конструкции сооружения (фундамент, колонна, стена), с целью измерения осадки, крена или сдвига фундамента.



Рисунок 1.13.4 – стенная марка

Геодезическая сеть сгущения (ГСС). Развивается в районах с недостаточной плотностью пунктов ГГС. Ее создают организации, выполняющие съемку местности. Пункты сетей сгущения в отличие от пунктов ГГС обычно обозначают простейшими наружными знаками – пирамидами и вехами. сведения о координатах точек геодезических сетей, а также другие данные, характеризующие каждый пункт и сеть в целом, помещают в специальных книгах, называемых каталогами координат. Исполнители съемочных работ получают выписки из них на районы съемок.

2. КАРТА, ПЛАН, ПРОФИЛЬ

Карта – это построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение поверхности Земли, другого небесного тела или внеземного пространства, показывающее расположенные на ней объекты или явления в определенной системе условных знаков.

Географическая карта – изображение земной поверхности, содержащее координатную сетку с условными знаками на плоскости в уменьшенном виде, отображающее размещение, состояние и связи различных природных и общественных явлений, их изменения во времени, развитие и перемещение. Географические карты подразделяются на следующие категории:

По территориальному охвату:

- карты мира;
- карты материков;
- карты стран и регионов

По масштабу:

- крупномасштабные (начиная с 1:200000 и крупнее);
- среднемасштабные (от 1:200000 и до 1:1000000 включительно);
- мелкомасштабные (мельче 1:1000000).

Отличные по масштабу карты имеют разную точность и детальность изображения, степень генерализации и разное назначение.

По назначению:

- научно-справочные – предназначены для выполнения научных исследований и получения максимально полной информации;
- культурно-образовательные – предназначены для популяризации знаний, идей;
- учебные – используются в качестве наглядных пособий для изучения географии, истории, геологии, лесного и садово-паркового хозяйства, других дисциплин;

– технические – отображают объекты и условия, необходимые для решения каких-либо технических заданий;

– туристические – могут содержать: населённые пункты, ориентиры, достопримечательности, маршруты передвижения, места отдыха, ночёвок и других услуг, в зависимости от предназначения по видам туризма;

– навигационные (дорожные) и др.

По содержанию:

– Общегеографические(физические) карты – изображают все географические явления, в том числе рельеф, гидрографию, растительно-почвенный покров, населённые пункты, хозяйственные объекты, коммуникации, границы и т. д.

– Тематические карты – показывают расположение, взаимосвязи и динамику природных явлений, населения, экономики, социальную сферу. Их можно разделить на две группы: карты природных явлений и карты общественных явлений.

– Карты природных явлений охватывают все компоненты природной среды и их комбинации. В эту группу входят карты геологические, геофизические, карты рельефа земной поверхности и дна Мирового океана, метеорологические и климатические, океанографические, ботанические, гидрологические, почвенные, карты полезных ископаемых, карты физико-географических ландшафтов и физико-географического районирования, и т. д.

– Общественно-политические карты включают карты населения, экономические, политические, исторические, социально-географические, причём каждая из подкатегорий в свою очередь может содержать собственную структуру разделения. Так, экономические карты включают также карты промышленности (как общие, так и отраслевые), сельского хозяйства, рыбной промышленности, транспорта и связи.

– Топографическая карта – подробная крупномасштабная общегеографическая карта, отражающая размещение и свойства основных природных и социально-экономических объектов, дающая возможность определить их плановое и высотное положение.

Топографические карты создаются, главным образом, на основе: обработки аэрофотоснимков территории; путем непосредственных измерений и съемок объектов местности; картографическими методами с уже имеющимися планами и картами крупных масштабов.



Рисунок 2.1 – Аэрофотоснимок и топографическая карта местности

Как и любая другая географическая карта, топографическая карта является уменьшенным, обобщенным и образно-знаковым изображением местности. Ее создают по определенным математическим законам. Эти законы сводят к минимуму искажения, неизбежно возникающие при переносе поверхности земного эллипсоида на плоскость, и, вместе с тем, обеспечивают максимальную ее точность.

Изучение и составление карт требуют аналитического подхода, разделение карт на составляющие ее элементы, умение понимать смысл, значение и функции каждого элемента и видеть связь между ними.

Элементы карты - это его составные части, которые включают:

- картографическое изображение;
- математическую основу;
- легенду;

- вспомогательное оснащение;
- дополнительные данные.

Главным элементом любой географической карты является картографическое изображение – совокупность сведений о природных или социально-экономических объектах и явлениях, их размещение, свойства, связи, развитие и т.д.

На топографических картах изображают водные объекты, рельеф, растительный покров, почвы, населенные пункты, пути сообщения и средства связи, некоторые объекты промышленности, сельского хозяйства, культуры и т.д.

Математическая основа устанавливает правила построения на плоскости сферической поверхности Земли. От нее зависят геометрические составляющие объектов: длина, ширина, площадь, форма, расстояние между объектами, направления, и т.д.

Именно математическая основа обеспечивает однозначность и непрерывность изображения, а главное – его размерность. Математические элементы карты определяют математическую связь между изображаемой поверхностью и картой. Математические элементы включают: а) масштаб карты; б) картографическую сетку; в) рамку карты; г) опорные пункты.

Масштаб карты может иметь три вида: числовой, графический (линейный) и пояснительную подпись (именованный масштаб). От масштаба карты зависит степень подробностей, с которой можно нанести картографическое изображение.

Картографическая сетка представляет собой изображение градусной сетки Земли на карте. Вид сетки зависит от того, в какой проекции составлена карта. На топографических картах масштабов 1:1 000 000 и 1:500 000 меридианы имеют вид прямых линий, сходящихся в определенной точке, а параллели – дуги эксцентрических окружностей. На топографические карты более крупного масштаба наносят только две параллели и два меридиана (рамка), ограничивающие картографическое изображение. Вместо картографической сетки на крупномасштабные топографические карты наносят координатную

(километровую) сетку, которая имеет математическую связь с градусной сеткой Земли.

Рамкой карты называют одну или несколько линий, ограничивающих карту. К опорным пунктам относятся: астрономические пункты, тригонометрические пункты или пункты триангуляции, пункты полигонометрии и марки нивелирования. Опорные пункты служат геодезической основой для съемки и составления топографических карт.

Топографический план (от лат. *planum* плоскость) – изображение местности на плоскости, в крупном масштабе, без учета кривизны земной поверхности. Топографический план обладает всеми свойствами топографической карты и является ее частным случаем.

По содержанию различают основные и специализированные топографические планы. Первые представляют собой общегеографические планы универсального назначения, рассчитанные на комплексное удовлетворение главных требований многих отраслей народного хозяйства. Их содержание весьма подробное – предусмотрено использование свыше 400 условных обозначений и около 700 сокращений пояснительных подписей и качественных характеристик.

специализированные планы создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли народного хозяйства. При изготовлении топографических планов допускается: нанесение дополнительной информации по сравнению с предусмотренной для основных топографических планов; понижение или повышение требований к точности изображения всех или части контуров или рельефа местности; отказ от какой-то части содержания, предусмотренного для основных топографических планов; применение нестандартных сечений рельефа. Технические требования к специализированным топографическим планам излагаются в ведомственных инструкциях. Если на плане изображена только ситуация (без рельефа), его называют контурным.

Профиль местности представляет собой вертикальный разрез рельефа местности по нанесенной на карту траектории. Простейшие профили строятся

по прямой траектории и представляют собой вертикальную проекцию поверхности, как бы разрезанную вдоль этой линии ножом. На самом деле профиль можно строить вдоль линии, имеющей произвольную форму.

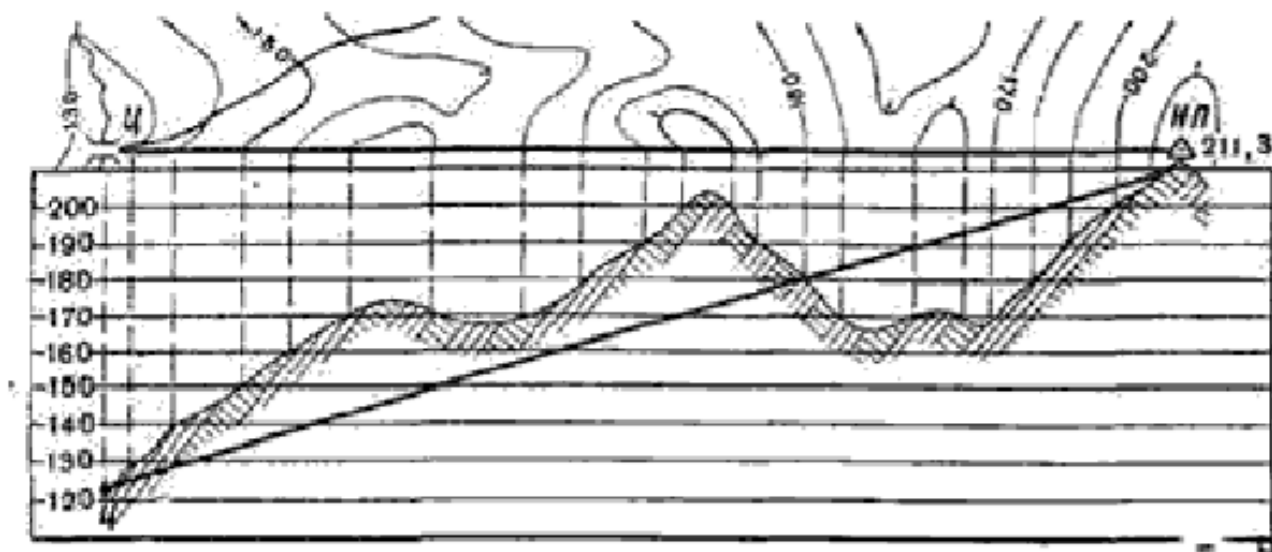


Рисунок 2.2 – Профиль местности

2.1. Масштабы топографических карт

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

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

$$S = s * M \quad (2.1.1)$$

В нашей стране приняты следующие масштабы топографических карт: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Этот

ряд масштабов называется стандартным. Раньше этот ряд включал масштабы 1:300 000, 1:5000 и 1:2000.

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

- проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок a постоянной длины, называемый основанием масштаба (при длине основания $a=2$ см линейный масштаб называется нормальным); для масштаба 1:10 000 a соответствует 200 м,
- у конца первого отрезка ставится нуль,
- влево от нуля подписывают одно основание масштаба и делят его на 20 частей,
- вправо от нуля подписывают несколько оснований,
- параллельно основной прямой проводят еще одну прямую и между ними прочерчивают короткие штрихи (рисунок 2.1.1).

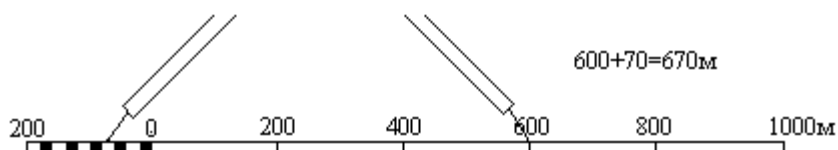


Рисунок 2.1.1 Линейный масштаб

Линейный масштаб помещается внизу листа карты.

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

$$S = N_1 + N_2 \quad (2.1.2)$$

сложение отсчетов выполняют в уме.

Поперечный масштаб. Проведем прямую линию CD и отложим на ней несколько раз основание масштаба - отрезок a длиной 2 см (рисунок 2.2). В полученных точках восстановим перпендикуляры к линии CD ; на крайних перпендикулярах отложим m раз вверх от линии CD отрезок постоянной длины и

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

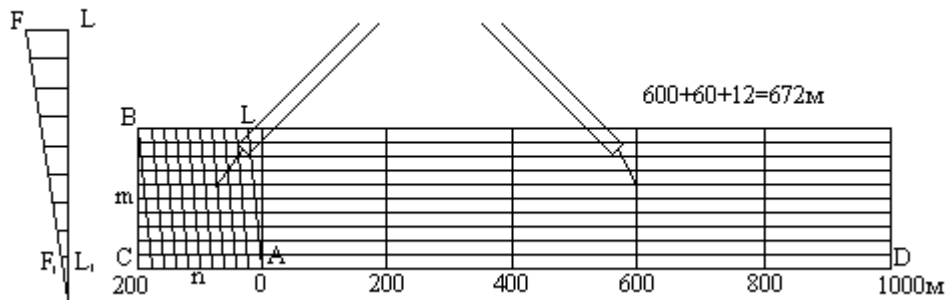


Рисунок 2.1.2 – Поперечный масштаб

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

Наименьшее деление поперечного масштаба равно отрезку F_1L_1 ; на такую длину отличаются два соседних параллельно расположенных отрезка при движении вверх по трансверсали и по вертикальной линии.

Порядок пользования поперечным масштабом:

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

Переходный масштаб. Иногда в практике приходится пользоваться картой или аэроснимком, масштаб которых не является стандартным, напри-

мер, 1:17500, то-есть, 2 см на карте соответствуют 350 м на местности; наименьшее деление нормального поперечного сотенного масштаба будет при этом 3,5 м. Оцифровка такого масштаба неудобна для практических работ, поэтому поступают следующим образом. Основание поперечного масштаба берут не 2 см, а рассчитывают так, чтобы оно соответствовало круглому числу метров, например, 400 м. Длина основания в этом случае будет $a = 400 \text{ м} / 175 \text{ м} = 2,28 \text{ см}$.

Если теперь построить поперечный масштаб с длиной основания $a = 2,28 \text{ см}$, то одно деление левого основания будет соответствовать 40 м, а цена наименьшего деления будет равна 4 м. Поперечный масштаб с дробным основанием называется переходным.

Точность масштаба. Карта или план - это графические документы. Принято считать, что точность графических построений оценивается величиной 0,1 мм. Длина горизонтального проложения линии местности, соответствующего на карте отрезку 0,1 мм, называется точностью масштаба. Практический смысл этого понятия заключается в том, что детали местности, имеющие размеры меньше точности масштаба, на карте в масштабе изобразить невозможно, и приходится применять так называемые внемасштабные условные знаки.

Кроме понятия "точность масштаба" существует понятие "точность плана". Точность плана показывает, с какой ошибкой нанесены на план или карту точечные объекты или четкие контуры. Точность плана оценивается в большинстве случаев величиной 0,5 мм; в нее входят ошибки всех процессов создания плана или карты, в том числе и ошибки графических построений.

2.2. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов различных масштабов

Понятие номенклатуры в топографии абсолютно отличается от её других значений в нашей повседневной жизни. Это и совокупность или перечень названий, терминов, употребляемых в какой-либо отрасли науки, техники,

искусства и т.п., это и круг должностных лиц, назначенных вышестоящей инстанцией. смысловое понятие номенклатуры в топографии исходит из того, что принимаемые положения должны обеспечивать однозначное обозначение листов топографических либо каких других карт различных масштабов.

Номенклатура – это система обозначения листов карт разных масштабов.

Разграфка – система деления поверхности Земли меридианами и параллелями. Каждый лист ограничен рамкой.

В основу деления карт на листы принята международная разграфка карт масштаба 1:1 000 000 (рисунок 2.2.1).

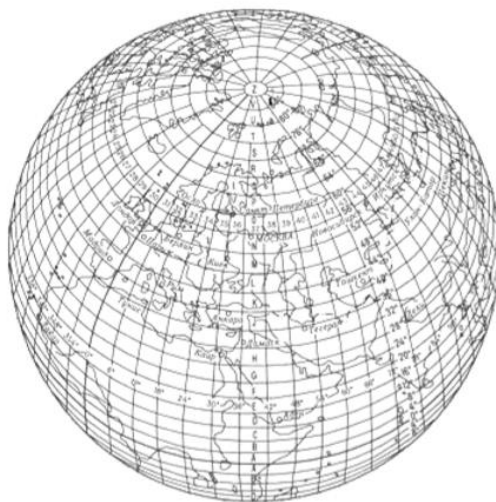


Рисунок 2.2.1 – Разграфка и номенклатура топографических карт масштаба 1:1000000

Разбивка на ряды (пояса) параллелями производится от экватора через каждые 4° широты. Ряды обозначают буквами латинского алфавита: А, В, С, D, Е, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W. Колонны в своих границах совпадают с 6° зонами проекции Гаусса, но нумерация их ведется от меридиана $\pm 180^{\circ}$ на восток. Таким образом, номер колонны отличается от номера зоны на 30 единиц в ту или другую стороны. Колонны обозначаются (по номерам) арабскими цифрами.

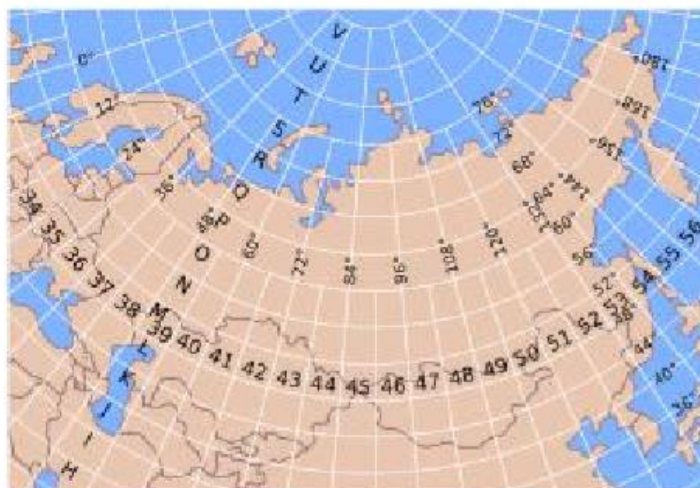


Рисунок 2.2.2 – Разграфка и номенклатура топографических карт масштаба 1:1000000

Предположим, что номер колонны в международной разграфке обозначен цифрой 47. Тогда номер соответствующей зоны Гаусса будет $47 - 30 = 17$. Если номер колонны меньше 30, то для определения номера зоны следует к номеру колонны прибавить 30. Номенклатура листа топографической карты масштаба 1:1 000 000 составлена из латинской буквы ряда и арабской цифры номера колонны. Например, S-47. Для карт южного полушария после номенклатуры в скобках указывают (Ю.П.).

Разграфка листов карты масштаба 1:500 000 производится путем деления средним меридианом и средней параллелью листа карты масштаба 1:1 000 000 на четыре части, которые обозначаются прописными буквами русского (украинского) алфавита. Номенклатура листов карты масштаба 1:500 000 складывается из номенклатуры листа карты масштаба 1:1 000 000, частью которого он является, и соответствующей буквы.

Разграфка листов карт масштабов 1:200 000 и 1:100 000 производится путем деления каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 меридианами и параллелями соответственно на 36 и 144 части (рисунок 2.2.3). Листы карт масштаба 1:200 000 нумеруются римскими цифрами, а масштаба 1:100 000 – арабскими цифрами по рядам с запада на восток. Номенклатура листов карт указанных масштабов состоит из номенклатуры соответствующего мил-

лионного листа и собственного номера, который у листов карт масштабов 1:200 000 и 1:100 000 указывается справа от номенклатуры миллионного листа.

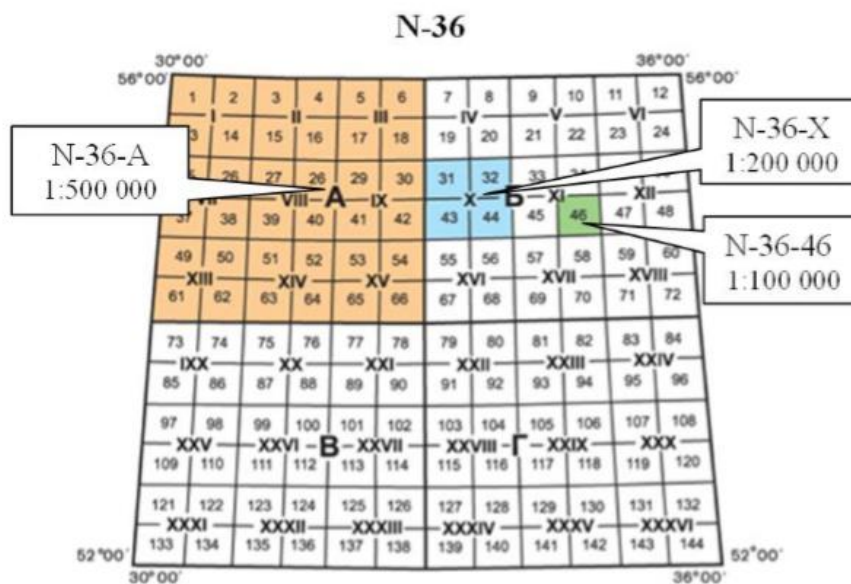


Рисунок 2.2.3 – Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000 в листе карты масштаба 1:1 000 000

Листы карты масштаба 1:50 000 получают путем деления листов карты масштаба 1:100 000 на четыре части (рисунок 2.2.4), обозначаемые прописными буквами русского алфавита. Размеры листа по широте составляют 10', по долготе – 15'.

Номенклатура этих листов образуется путем присоединения к номенклатуре листа масштаба 1:100 000 соответствующей буквы, например N-37-4-А. (рисунок 2.2.4).

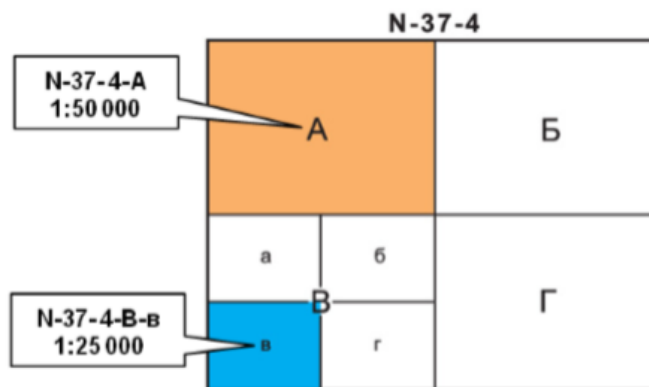


Рисунок 2.2.4 – Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:50 000, 1:25 000 в листе карты масштаба 1:100 000

Листы карты масштаба 1:25 000 получают делением листов карты масштаба 1:50 000 на четыре части (рисунок 2.2.4), каждая из которых обозначается строчными буквами русского алфавита. Размеры этих листов по широте составляют 5', по долготе – 7'30", а номенклатура дополняется соответствующей буквой: N-37-4-B-в.

Лист карты масштаба 1:25 000 делится на четыре листа карты масштаба 1:10 000, каждый из которых имеет размеры по широте 2'30", по долготе 3'45". Они обозначаются арабскими цифрами, которые указываются после номенклатуры листа карты масштаба 1:25 000, частью которого они являются, например N-37134-B-в-2.

Разграфка листов карты масштаба 1:5 000 (рисунок 2.2.5) производится путем деления листов карты масштаба 1:100 000 на 256 частей (16 рядов по широте и долготе). Листы нумеруют арабскими цифрами по рядам с запада на восток. Размер каждого листа по широте 1'15", по долготе 1'53,5".

Номенклатура этих листов образуется путем присоединения к номенклатуре листа карты масштаба 1:100 000 соответствующего номера в скобках, например: N-37-134-(16).

Листы карты масштаба 1:2 000 получают путем деления листов карты масштаба 1:5 000 на девять частей и обозначают строчными буквами русского алфавита, например N-37-134-(16-ж). Размер каждого листа по широте 25", по долготе 37,5".

1:5 000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47
49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79
81	83	85	87	89	91	93	95	97	99	101	103	105	107	109	111
113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143
145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175
177	179	181	183	185	187	189	191	193	195	197	199	201	203	205	207
209	211	213	215	217	219	221	223	225	227	229	231	233	235	237	239
241	243	245	247	249	251	253	255	257	259	261	263	265	267	269	271

Рисунок 2.2.5 - Разграфка листов карты масштаба 1:5 000

Топографические съемки в крупных масштабах на участках площадью менее 20 км² выполняются в частных системах прямоугольных координат, не связанных с географической системой. Разграфка листов планов в этих случаях производится не меридианами и параллелями, а линиями координатной сетки. Листы имеют форму квадратов с размерами 40 × 40 см для планов масштаба 1:5 000 и 50 × 50 см для планов масштабов 1:2 000 – 1:500. За основу разграфки принимается лист плана масштаба 1:5 000, обозначаемый арабскими цифрами. Листу плана масштаба 1:5 000 соответствуют 4 листа в масштабе 1:2 000, обозначаемых прописными буквами русского алфавита (рисунок 2.2.6),.

Лист плана в масштабе 1:2 000 делится на 4 листа планов масштаба 1:1000, обозначаемых римскими цифрами, или 16 листов планов масштаба 1:500, обозначаемых арабскими цифрами.

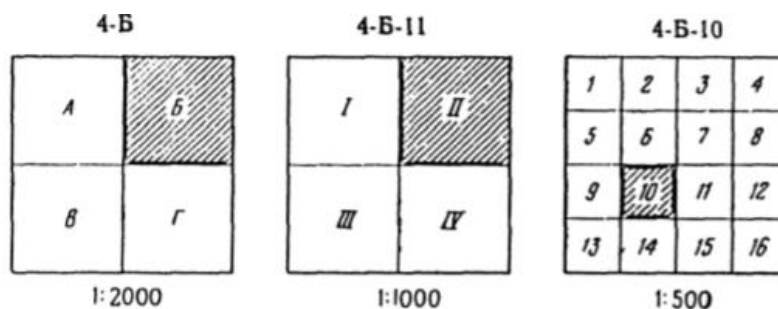


Рисунок 2.2.6 – Разграфка и номенклатура листов карт масштабов 1:2 000, 1:1 000, 1:500

На рисунке 2.2.7 представлена общая схема разграфки и номенклатур топографических карт. Возможны также другие системы обозначения планов крупного масштаба при выполнении съемок различных объектов. В этих случаях за рамками листов планов указываются принятые схемы их разграфки и нумерации.

В связи с тем, что при движении к северному или южному полюсу проектируемые на плоскость части земной поверхности по долготе уменьшаются, то листы топографических карт становятся узкими и для практического пользования неудобными. Листы топографических карт для широт 60° – 76° издаются сдвоенными по долготе, а для широт 76° – 88° – счетверенными по долготе. Для районов Арктики и Антарктики, расположенных на широтах от 88° до 90°, крупномасштабные карты издаются в азимутальной проекции.

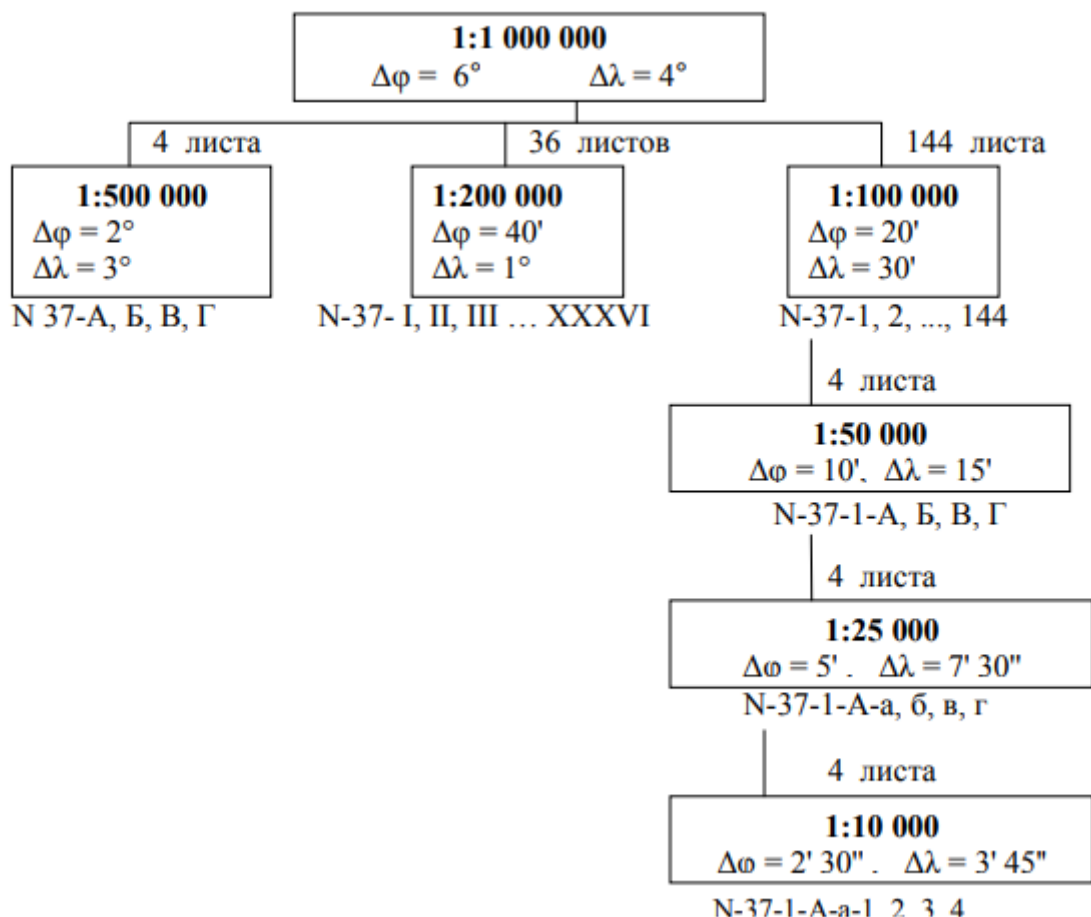


Рисунок 2.2.7 – Общая схема разграфки и номенклатур топографических карт

2.3. Координатная сетка

Одним из элементов географической карты является сетка координатных линий. существуют два вида координатной сетки: картографическая, образуемая линиями меридианов и параллелей, и сетка прямоугольных координат, образуемая линиями, параллельными осям координат OX и OY .

На топографических картах меридианы и параллели являются границами листа карты; в углах карты подписываются их долгота и широта. Внутри листа вычерчивается сетка прямоугольных координат в виде квадратов, называемая иногда километровой сеткой, так как на картах масштаба 1:10 000 и мельче линии сетки проводятся через целое число километров.

Вертикальные линии сетки параллельны осевому меридиану зоны (оси OX) и имеют уравнение $Y = Const$; значение координаты Y подписывается у

каждой линии. Горизонтальные линии сетки параллельны оси OY и имеют уравнение $X = Const$; значение координаты X подписывается у каждой линии.

Для удобства пользования листами карт, на которых изображены граничные участки зоны, на них показывается сетка прямоугольных координат соседней зоны. Ширина граничной полосы с сеткой соседней зоны составляет 2° по долготе с обеих сторон зоны. Выходы линий координатной сетки соседней зоны наносятся на внешнюю сторону рамки листа карты.

2.4. Условные знаки топографических карт

Объекты местности, ситуация и некоторые формы рельефа изображаются на топографических картах условными знаками. Различают четыре типа условных знаков: контурные или площадные, линейные, внемасштабные и пояснительные подписи.

Контурные условные знаки служат для изображения объектов, занимающих определенную площадь и выражающихся в масштабе карты. Контур вычерчивают точечным пунктиром или тонкой сплошной линией и заполняют условными значками леса, луга, сада, огорода, болота и т.д.

Линейные условные знаки служат для изображения линейных объектов: дорог, ЛЭП, линий связи, различных трубопроводов и т.д. Масштаб по линии равен масштабу карты, а в поперечнике - на несколько порядков крупнее.

Внемасштабные условные знаки служат для показа объектов, не выражающихся в масштабе карты: геодезических пунктов, километровых столбов, теле- и радиовышек, фабрик, заводов, различного рода опор, и т.д. Местоположение объекта соответствует характерной точке условного знака, которая может располагаться в центре, условного знака, в середине его основания и т.д..

Пояснительные подписи служат для дополнительной характеристики объектов: у брода через реку подписывают глубину и характер грунта, у моста -

его длину, ширину и грузоподъемность, у дороги - ширину проезжей части и характер покрытия и т.д.

В традиционной картографии принято деление всех объектов местности на 8 больших классов (сегментов):

- 1) математическая основа,
- 2) рельеф,
- 3) гидрография,
- 4) населенные пункты,
- 5) предприятия,
- 6) дорожная сеть,
- 7) растительность и грунты,
- 8) границы и подписи.

Таблицы условных знаков для карт разных масштабов составляются в соответствии с этим делением объектов; они утверждаются государственными органами и издаются в форме обязательных для исполнения документов.

2.5. Изображение рельефа на картах и планах

Основные формы рельефа. Несмотря на большое разнообразие неровностей земной поверхности, можно выделить основные формы рельефа: гора, котловина, хребет, лощина, 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.

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.

способы изображения рельефа. способ изображения рельефа должен обеспечивать хорошее пространственное представление о рельефе местности, надежное определение направлений и крутизны скатов и отметок отдельных точек, решение различных инженерных задач.

За время существования геодезии было разработано несколько способов изображения рельефа на топографических картах. Перечислим некоторые из них.

Перспективный способ.

способ отмывки. Этот способ применяется на мелкомасштабных картах. Поверхность Земли показывается коричневым цветом: чем больше отметки,

тем гуще цвет. Глубины моря показывают голубым или зеленым цветом: чем больше глубина, тем гуще цвет.

способ отметок. При этом способе на карте подписывают отметки отдельных точек местности.

способ горизонталей. В настоящее время на топографических картах применяют способ горизонталей в сочетании со способом отметок, причем на одном квадратном дециметре карты подписывают, как правило, не менее пяти отметок точек. сущность способа горизонталей можно понять из рисунке 2.5.1.

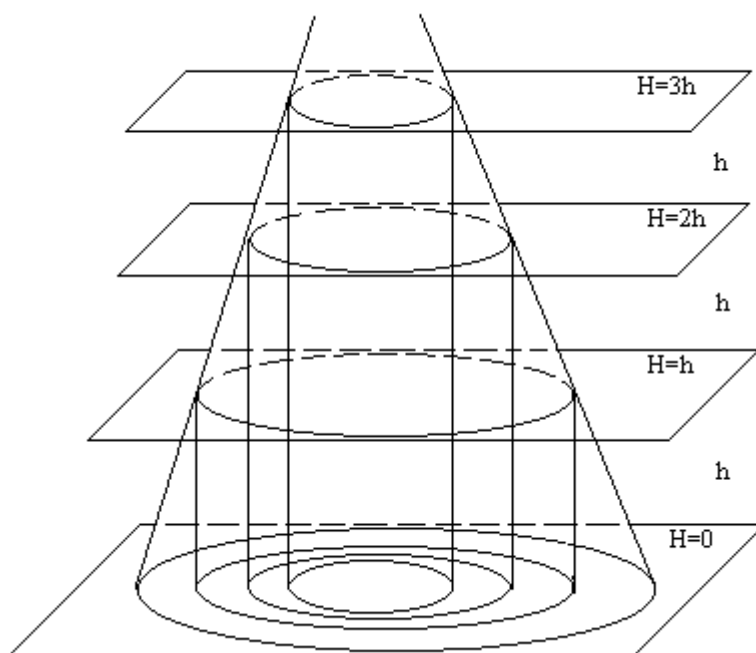


Рисунок 2.5.1 – способ горизонталей

Мысленно рассечем участок местности горизонтальной плоскостью на высоте H . Линия пересечения этой плоскости с поверхностью Земли называется горизонталью. Горизонталь на местности - это замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одинаковые отметки. Уменьшенное изображение на карте горизонтальной проекции горизонтали местности также называют горизонталью.

Для того, чтобы изобразить горизонталями рельеф участка местности, нужно рассечь его не одной, а несколькими горизонтальными плоскостями, расположенными на одинаковом расстоянии по высоте одна от другой. Это

расстояние называется высотой сечения рельефа и обозначается буквой h . На местности горизонтали не пересекаются, так как они лежат в разных параллельных плоскостях; на карте они тоже как правило не пересекаются.

Все основные формы рельефа имеют свой рисунок горизонталей; при этом и гора и котловина изображаются системами замкнутых горизонталей (рисунок 2.5.2). Чтобы различить эти формы рельефа, а также для некоторых других целей на карте принято показывать направление скатов вниз; для этого применяются бергштрихи - короткие штрихи, перпендикулярные горизонталям и направленные по скату вниз.

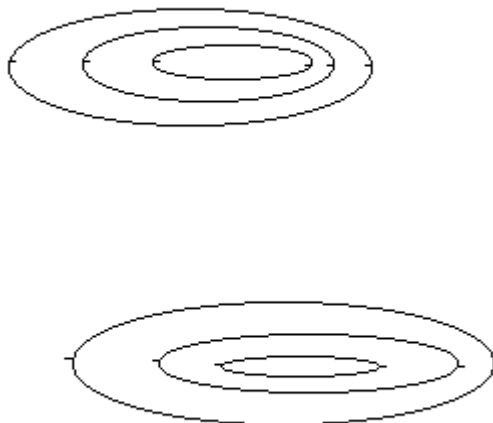


Рисунок 2.5.2 – система замкнутых горизонталей

Основные горизонтали имеют отметки, кратные высоте сечения рельефа h , начиная от нуля счета высот. Для выражения характерных особенностей рельефа рекомендуется проводить полугоризонталю и четвертьгоризонталю; они проводятся штриховыми линиями через половину и четверть сечения рельефа на отдельных участках карты (где расстояние между основными горизонталями слишком большое).

Каждая пятая основная горизонталь при $h = 1, 2, 5, 10$ м и каждая четвертая при $h = 0.5$ и 2.5 м утолщаются. Отметки некоторых горизонталей на карте подписывают, ориентируя основания цифр вниз по склону.

Крутизна и направление скатов. На рисунке 2.5.1 видно, что расстояние a между горизонталями на горизонтальной проекции участка зависит от крутиз-

ны ската. При одинаковой высоте сечения рельефа расстояние между горизонталями тем меньше, чем круче скат. Крутизна ската характеризуется углом наклона ν :

$$\operatorname{tg}(\nu) = h/a \quad (2.5.1)$$

Тангенс угла наклона называется уклоном и обозначается буквой i ; уклон обычно выражают в процентах или промилле (промилле - это тысячная часть целого).

Рассечем скат горы горизонтальными плоскостями при высоте сечения h (рисунок 2.5.3); на участке BC скат имеет угол наклона ν_1 , на участке CD - угол наклона ν_2 . Расстояние a_1 - это горизонтальное проложение линии ската BC ; оно называется заложением.

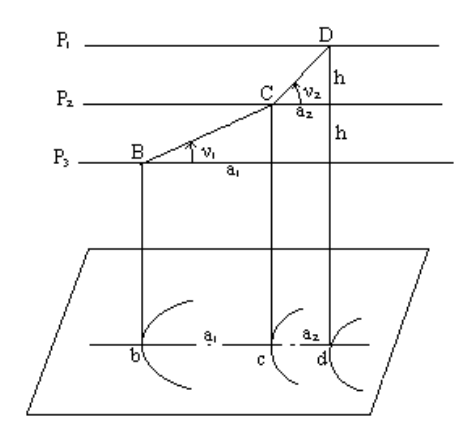


Рисунок 2.5.3 – Скат горы

Заложение, перпендикулярное к горизонталям, называется заложением ската, то-есть, заложение ската - это горизонтальная проекция линии наибольшей крутизны ската в данной точке; оно принимается за направление ската. Измерив на карте отрезок a и зная высоту сечения рельефа h , по формуле (2.5.1) можно вычислить тангенс угла наклона, а затем и сам угол наклона ν .

График заложений. Для быстрого определения угла наклона по карте пользуются специальным графиком, который называется графиком заложений.

Он строится следующим образом (рисунок 2.5.4):

– вычисляют заложение ската по заданной высоте сечения рельефа для разных углов наклона 0.5° , 1° , 2° и т.д.,

- проводят прямую линию и откладывают на ней равные отрезки длины, которые подписывают в градусах угла наклона,
- перпендикулярно этой линии откладывают в масштабе карты заложения ската, вычисленные для каждого значения угла наклона,
- соединяют полученные точки плавной кривой.

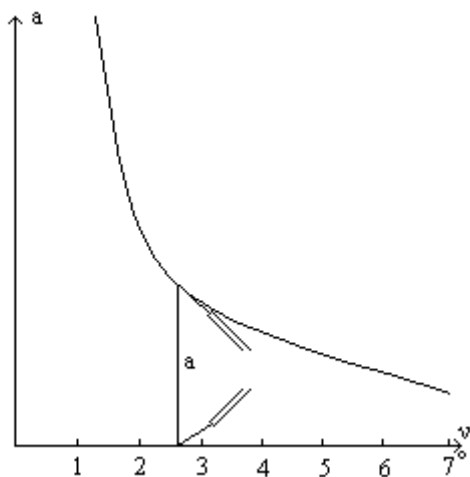


Рисунок 2.5.4 – График заложения

Если теперь требуется определить угол наклона для конкретного заложения ската a , раствором циркуля, равным a , находят соответствующее место на графике и считывают угол наклона.

Аналогично можно построить график заложения для уклонов i .

График заложения помещается внизу листа карты справа.

Расчет высоты сечения рельефа. При проектировании работ по созданию карты или плана высоту сечения рельефа h выбирают в зависимости от масштаба карты, характера рельефа и назначения карты или плана. При этом условились изображать горизонталями скаты до 45° ; скаты большей крутизны изображают специальным условным знаком обрыва. с другой стороны, расстояние между горизонталями на карте нельзя уменьшать до бесконечности, иначе они сольются. считается, что наименьшее расстояние между горизонталями может быть $0,2$ мм.

Проведение горизонталей по отметкам точек. Чтобы провести на карте (или плане) горизонтали, необходимо иметь точки с известными отметками,

которые назовем пикетами. Пусть даны пикеты 1, 2, 3, 4 (рисунок 2.5.5), и предполагается, что вдоль линий 1-2, 1-3, 1-4, 2-3 и 3-4 местность имеет равномерный уклон. Требуется провести горизонтали внутри участка, ограниченного линиями 1-2, 2-3, 3-4, 4-1; высота сечения рельефа $h=1$ м.

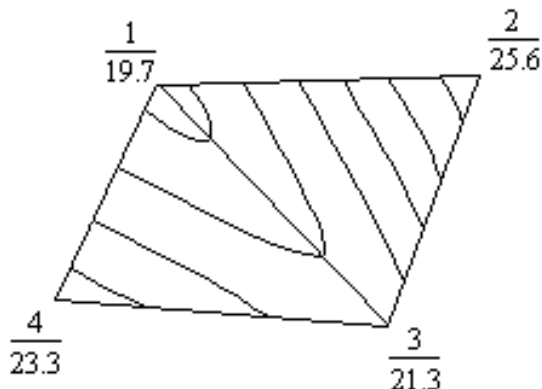


Рисунок 2.5.5 – Проведение горизонталей по отметкам точек

Процесс нахождения на линии, соединяющей два пикета, точек, через которые пройдут горизонтали, называется интерполированием горизонталей. Известны три способа интерполирования: аналитический, графический и на глаз.

2.6. Измерение расстояний по топографическим картам

Для измерения расстояний по карте используют миллиметровую или масштабную линейку, циркуль-измеритель, а для измерения кривых линий – курвиметр.

Миллиметровой линейкой измерить расстояние между заданными точками на карте с точностью 0,1 см. Полученное число сантиметров умножить на величину именованного масштаба. Для равнинной местности результат будет соответствовать расстоянию на местности в метрах или километрах.

Пример. На карте масштаба 1 : 50 000 (в 1 см – 500 м) расстояние между двумя точками равно 3,4 см. Определить расстояние между этими точками.

Решение. Именованный масштаб: в 1 см 500 м. Расстояние на местности между точками будет $3,4 \times 500 = 1700$ м. При углах наклона земной поверхности более 10° необходимо ввести соответствующую поправку.

При измерении расстояния циркулем-измерителем по прямой линии иглы циркуля устанавливают на конечные точки, затем, не изменяя раствора циркуля, по линейному или поперечному масштабу отсчитывают расстояние. В том случае, когда раствор циркуля превышает длину линейного или поперечного масштаба, целое число километров определяется по квадратам координатной сетки, а остаток – обычным порядком по масштабу.

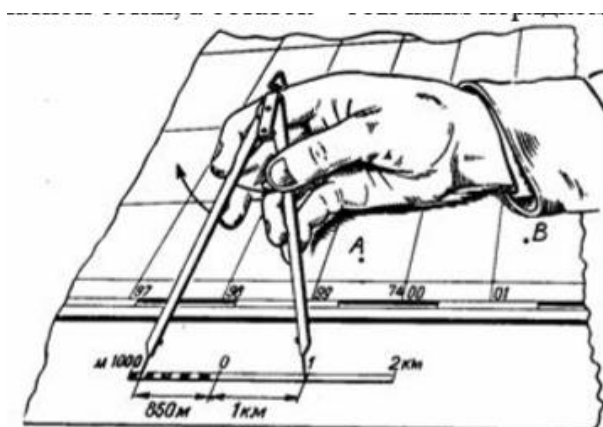


Рисунок 2.6.1 – Измерение расстояний циркулем-измерителем по линейному масштабу.

Для получения длины ломаной линии последовательно измеряют длину каждого ее звена, а затем суммируют их величины. Такие линии измеряют также наращиванием раствора циркуля.

Измерение расстояний курвиметром. Кривые отрезки измеряют механическим (рисунок 2.6.2) или электронным курвиметром.



Рисунок 2.6.2 – Курвиметр механический

сначала, вращая колесико рукой, устанавливают стрелку на нулевое деление, затем прокатывают колесико по измеряемой линии. Отсчет на циферблате против конца стрелки (в сантиметрах) умножают на величину масштаба карты и получают расстояние на местности.

Для повышения точности и надежности результатов рекомендуется все измерения проводить дважды – в прямом и обратном направлениях. В случае незначительных различий измеренных данных за конечный результат принимается среднее арифметическое значение измеренных величин.

2.7. Измерение площадей по топографическим картам

Определение площадей участков по топографическим картам основано на геометрической зависимости между площадью фигуры и ее линейными элементами. Масштаб площадей равен квадрату линейного масштаба.

Если стороны прямоугольника на карте уменьшены в n раз, то площадь этой фигуры уменьшится в n^2 раз. Для карты масштаба 1:10 000 (в 1 см 100 м) масштаб площадей будет равен $(1 : 10\ 000)^2$ или в 1 см² будет 100 м × 100 м = 10 000 м² или 1 га, а на карте масштаба 1:1 000 000 в 1 см² – 100 км².

Для измерения площадей по картам применяют графические, аналитические и инструментальные способы. Применение того или иного способа измерений обусловлено формой измеряемого участка, заданной точностью результатов измерений, требуемой быстротой получения данных и наличием необходимых приборов.

Измерение площади графическим способом

При измерении площади участка с прямолинейными границами участок делят на простые геометрические фигуры, измеряют площадь каждой из них геометрическим способом и, суммируя площади отдельных участков, вычисленных с учетом масштаба карты, получают общую площадь объекта.

Объект с криволинейным контуром разбивают на геометрические фигуры, предварительно спрямив границы с таким расчетом, чтобы сумма отсечен-

ных участков и сумма избытков взаимно компенсировали друг друга (рисунок 2.7.1). Результаты измерений будут, в некоторой степени, приближенными.

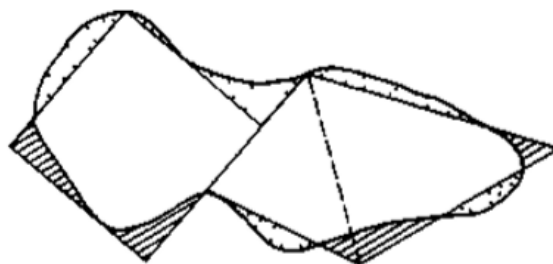


Рисунок 2.7.1 – спрямление криволинейных границ участка и разбивка его площади на простые геометрические фигуры

Измерение площадей участков, имеющих сложную неправильную конфигурацию, чаще производят с помощью палеток и планиметров, что дает наиболее точные результаты. сеточная палетка представляет собой прозрачную пластину с сеткой квадратов (рисунок 2.7.2).

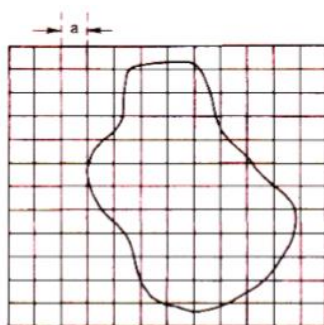


Рисунок 2.7.2 – Квадратная сеточная палетка

Палетку накладывают на измеряемый контур и по ней подсчитывают количество клеток и их частей, оказавшихся внутри контура. Доли неполных квадратов оцениваются на глаз, поэтому для повышения точности измерений применяются палетки с мелкими квадратами (со стороной 2 – 5 мм). Перед работой на данной карте определяют площадь одной ячейки. Площадь участка рассчитывается по формуле:

$$P = a2n \quad (2.7.1)$$

где: a – сторона квадрата, выраженная в масштабе карты; n – число квадратов, попавших в пределы контура измеряемого участка Для повышения точности площадь определяют несколько раз с произвольной перестановкой использу-

емой палетки в любое положение, в том числе и с поворотом относительно ее первоначального положения. За окончательное значение площади принимают среднее арифметическое из результатов измерений. Помимо сеточных палеток, применяют точечные и параллельные палетки, представляющие собой прозрачные пластины с награвированными точками или линиями. Точки ставятся в одном из углов ячеек сеточной палетки с известной ценой деления, затем линии сетки удаляют (рисунок 2.7.3).

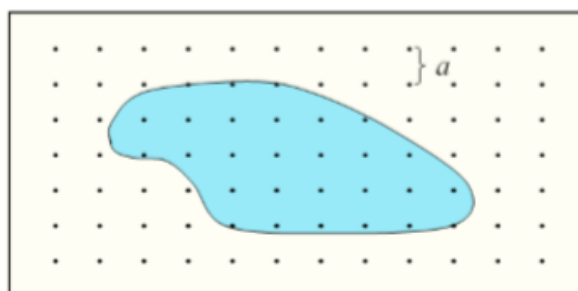


Рисунок 2.7.3 – Точечная палетка

Вес каждой точки равен цене деления палетки. Площадь измеряемого участка определяют путем подсчета количества точек, оказавшихся внутри контура, и умножают это количество на вес точки.

На параллельной палетке награвированы равноотстоящие параллельные прямые (рисунок 2.7.4). Измеряемый участок, при наложении на него палетки, окажется разделенным на ряд трапеций с одинаковой высотой h . Отрезки параллельных линий внутри контура (посередине между линиями) являются средними линиями трапеций. Для определения площади участка с помощью этой палетки необходимо сумму всех измеренных средних линий умножить на расстояние между параллельными линиями палетки h (с учетом масштаба).

$$P = h \sum l \quad (2.7.2)$$

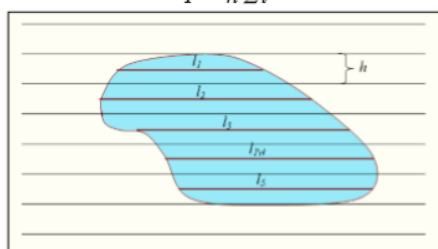


Рисунок 2.7.4 – Палетка, состоящая из системы параллельных линий

Измерение площадей механическим способом

Измерение площадей значительных участков производится по картам с помощью планиметра. Планиметр служит для определения площадей механическим способом. Широкое распространение имеет полярный планиметр. Он состоит из двух рычагов – полюсного и обводного.

Внешний вид полярного планиметра изображен на рисунке 2.7.5; на нем цифрами обозначены: 1 - основная каретка, 3 - полюсный рычаг, 4 - полюс, 6 - стеклянная пластинка с обводной точкой, 7 - обводной рычаг, 8 - шарнирное соединение, 9 - счетчик полных оборотов, 10 - счетное колесо, 11 - верньер.

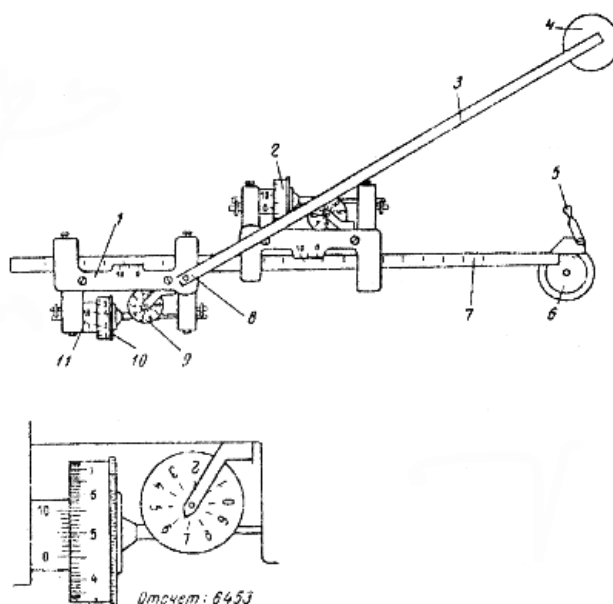


Рисунок 2.7.5 – Механический планиметр

Определение площади контура планиметром сводится к следующим действиям. Закрепив полюс и установив иглу обводного рычага в начальной точке контура, берут отсчет. Затем обводной шпиль осторожно ведут по контуру до начальной точки и берут второй отсчет. Разность отсчетов даст площадь контура в делениях планиметра. Зная абсолютную цену деления планиметра, определяют площадь контура.

Вычисление площади многоугольника по координатам его вершин (аналитический способ)

Данный способ позволяет определить площадь участка любой конфигурации, т.е. с любым числом вершин, координаты которых (x,y) известны. При

этом нумерация вершин должна производиться по ходу часовой стрелки. Как видно из рисунка 2.7.5, площадь S многоугольника 1-2-3-4 можно рассматривать как разность площадей S' фигуры 1у-1-2-3-3у и S'' фигуры 1у-1-4-3-3у $S = S' - S''$.

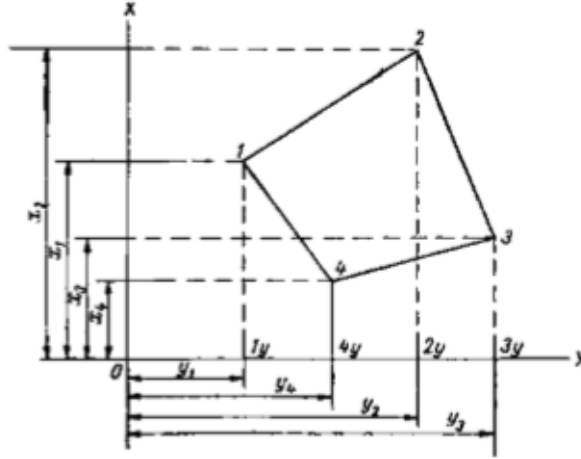


Рисунок 2.7.5 – Вычисление площади многоугольника по координатам

В свою очередь каждая из площадей S' и S'' представляет собой сумму площадей трапеций, параллельными сторонами которых являются абсциссы соответствующих вершин многоугольника, а высотами – разности ординат этих же вершин, т. е.

$$S' = \text{пл. } 1y-1-2-2y + \text{пл. } 2y-2-3-3y, \quad (2.7.3)$$

$$S'' = \text{пл } 1y-1-4-4y + \text{пл. } 4y-4-3-3y \quad (2.7.4)$$

или:

$$2S' = (x_1 + x_2) (y_2 - y_1) + (x_2 + x_3) (y_3 - y_2) \quad (2.7.5)$$

$$2S'' = (x_1 + x_4) (y_4 - y_1) + (x_4 + x_3) (y_3 - y_4). \quad (2.7.6)$$

Таким образом,

$$2S = (x_1 + x_2) (y_2 - y_1) + (x_2 + x_3) (y_3 - y_2) - (x_1 + x_4) (y_4 - y_1) - (x_4 + x_3) (y_3 - y_4). \quad (2.7.7)$$

Раскрыв скобки, получаем

$$2S = x_1 y_2 - x_1 y_4 + x_2 y_3 - x_2 y_1 + x_3 y_4 - x_3 y_2 + x_4 y_1 - x_4 y_3 \quad (2.7.8)$$

Отсюда

$$2S = x_1 (y_2 - y_4) + x_2 (y_3 - y_1) + x_3 (y_4 - y_2) + x_4 (y_1 - y_3) \quad (2.7.9)$$

$$2S = y_1 (x_4 - x_2) + y_2 (x_1 - x_3) + y_3 (x_2 - x_4) + y_4 (x_3 - x_1) \quad (2.7.10)$$

Представим выражения (2.7.9) и (2.7.10) в общем виде, обозначив через i порядковый номер ($i = 1, 2, \dots, n$) вершины многоугольника:

$$2S = \sum x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

$$2S = \sum y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$$

следовательно, удвоенная площадь многоугольника равна либо сумме произведений каждой абсциссы на разность ординат последующей и предыдущей вершин многоугольника, либо сумме произведений каждой ординаты на разность абсцисс предыдущей и последующей вершин многоугольника. Значения координат и их разности обычно округляются до десятых долей метра, а произведения – до целых квадратных метров.

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

3.1. Устройство теодолита

Теодолит – измерительный прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов при геодезических работах (рисунок 3.1.1). Теодолит может быть использован для измерения расстояний нитяным дальномером и для определения магнитных азимутов с помощью буссоли.

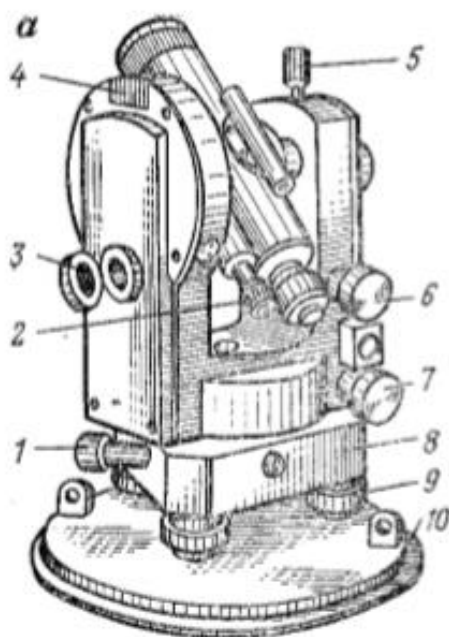


Рисунок 3.1.1 – Теодолит Т30

1 – наводящий винт горизонтального круга; 2 – окуляр микроскопа; 3 – крышка иллюминатора; 4 – посадочный паз для буссоли; 5 – закрепительный винт трубы; 6 – наводящий винт трубы; 7 – наводящий винт алидады; 8 – подставка; 9 – подъемный винт; 10 – основание

Принципиальная схема устройства теодолита показана на рисунке 3.1.2. В отверстие подставки 2, опирающейся на три подъёмных винта 1, входит ось вращения лимба 3, в которую в свою очередь входит ось алидады 4. Лимб это стеклянный круг, по скошенному краю которого нанесены деления с оцифровкой от 0 до 360° по часовой стрелке. Алидада 4 – дословно – линейка. У горизонтальных кругов алидадная часть, расположена и вращается над лимбом 3. На ней закреплена оптическая труба 8. На алидаде также расположен индекс или шкала отсчетного приспособления и поэтому она позволяет опреде-

лять на лимбе направление трубы, наведенной на визирную цель (предмет наведения). Ось вращения алидады ii соосна с осью лимба, при работе ее устанавливают вертикально, она является осью вращения прибора, относительно нее определяют положение всех частей теодолита.

Алидада несет стойки 6, на которые опирается ось tt вращения зрительной трубы с вертикальным кругом 7. Установка оси вращения алидады в отвесное положение выполняется тремя подъёмными винтами 1 подставки по цилиндрическому уровню 5.

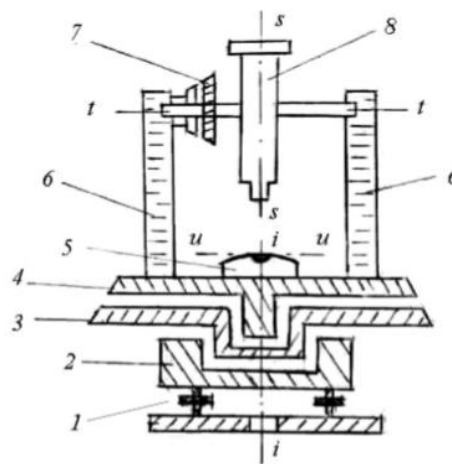


Рисунок 3.1.2 – схема устройства теодолита:

1 – подъемные винты; 2 – подставка; 3 – лимб; 4 – алидада; 5 – цилиндрический уровень; 6 – стойки; 7 – вертикальный круг; 8 – зрительная труба; tt - ось вращения трубы; ss - визирная ось трубы; uu - ось уровня алидады

Вращающиеся части теодолита снабжены закрепительными винтами для их установки в неподвижное положение и наводящими винтами для плавного их вращения.

Зрительная труба служит для обеспечения точности наведения на визирные цели. Трубы бывают с прямым и обратным изображением.

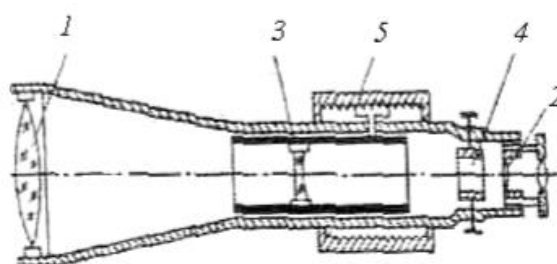


Рисунок 3.1.3 – Зрительная труба

Оптическая система трубы (рисунок 3.1.3) – состоит из объектива 1, окуляра 2 и фокусирующей линзы 3, которую с помощью специального устройства кремальеры 5, перемещают вдоль геометрической оси трубы. Между фокусирующей линзой и окуляром помещена сетка нитей 4 – деталь, несущая стеклянную пластину с нанесёнными на нее вертикальными и горизонтальными штрихами. При измерении углов перекрестие штрихов – центр сетки нитей, наводят на изображение визирной цели. сетка нитей имеет четыре исправительных винта, позволяющих перемещать ее в горизонтальном и вертикальном направлениях. Линия, проходящая через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей, называется визирной осью.

Увеличением трубы называется отношение угла, под которым изображение предмета видно в трубе, к углу, под которым предмет виден невооружённым глазом. Практически увеличение трубы равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Трубы геодезических приборов имеют увеличение от $15\times$ до $50\times$ и более.

Поле зрения трубы называют пространство, видимое в трубу при её неподвижном положении. Обычно оно бывает от 1 до 2° .

Визированием называют наведение трубы на цель. Для визирования трубу фокусируют «по глазу» и «по предмету». При этом, глядя в трубу, вращением диоптрийного кольца окуляра добиваются чёткого изображения сетки нитей, а перемещением фокусирующей линзы 3 чёткого изображения наблюдаемого предмета.

Отсчётные устройства служат для взятия отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Они снабжены отсчетными микроскопами. Различают микроскопы штриховые, шкаловые и микроскопы с оптическими микрометрами. В штриховом микроскопе отсчет с точностью $1'$ берут по положению нулевого штриха алидады (рисунок 3.1.4, а), интерполируя минуты на глаз.

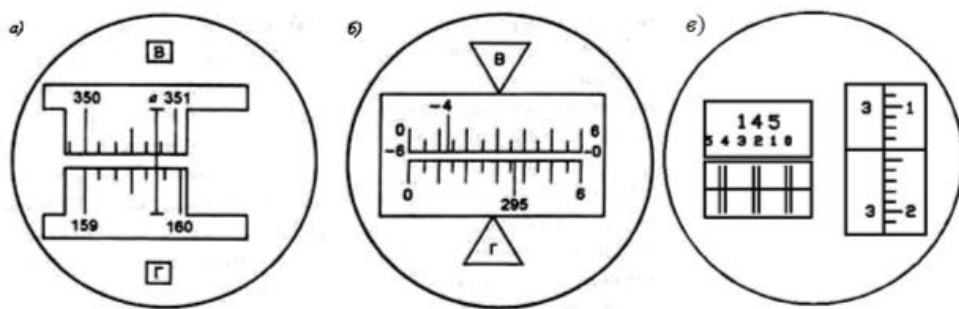


Рисунок 3.1.4 – Поле зрения отсчётных микроскопов:

а - штрихового (отсчёт по горизонтальному кругу $159^{\circ}46'$, по вертикальному $350^{\circ}48'$);
 б - шкалового (отсчёт по горизонтальному кругу $295^{\circ}36'$, по вертикальному - $4^{\circ}47'$); в - оптического микроскопа (отсчёт $145^{\circ}23'14''$).

Шкаловый микроскоп имеет две шкалы, совмещённые с лимбами вертикального и горизонтального кругов (рисунок 3.1.4, б). Отсчёты берут по градусным штрихам лимбов. Шкала вертикального круга теодолита 2Т30 имеет два ряда подписей. Если перед градусным делением отсутствует знак, отсчёт делают так же, как и по горизонтальному кругу. Если перед цифрой градусов стоит минус, то минуты считывают по шкале от -0 до -6 (справа налево). Точные теодолиты снабжены микроскопами с оптическим микрометром (рисунок 3.1.4, в). Градусы отсчитывают по основной шкале после совмещения верхнего и нижнего изображений штрихов горизонтального (или вертикального) круга, а минуты и секунды читают по шкале микрометра.

Эксцентриситет алидады. Несовпадение оси вращения алидады CA (рисунок 3.1.5) с центром лимба CL называется эксцентриситетом алидады и является причиной систематических погрешностей при измерении углов.

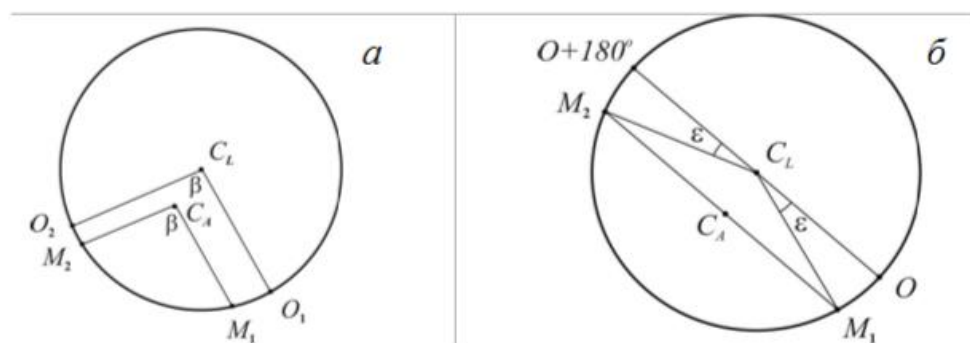


Рисунок 3.1.5 - Эксцентриситет алидады: а – влияние на результат измерения угла; б – исключение влияния эксцентриситета; CL – центр лимба; CA – ось вращения алидады.

Так, при повороте алидады на угол β (рисунок 3.1.5, а) вместо верной разности отсчетов по лимбу $O_2 - O_1$ из-за эксцентриситета алидады будет получена разность $M_2 - M_1$.

При отсутствии эксцентриситета поворот алидады на 180° (рисунок 3.1.5, б) вызывает изменение отсчета на 180° . А при наличии эксцентриситета отсчеты до и после поворота различаются не ровно на 180° , так как содержат одинаковые погрешности эксцентриситета ε , но с разным знаком. Так на рисунке 3.1.5, б отсчет M_1 больше верного отсчета O на угол ε , а отсчет M_2 меньше верного отсчета на угол ε .

Для исключения погрешности эксцентриситета горизонтальные углы измеряют при двух положениях вертикального круга – круг слева и круг справа. При этом отсчётное устройство обеспечивает взятие отсчетов на противоположащих частях лимба. среднее из результатов, полученных при круге слева и круге справа, свободно от ошибки эксцентриситета.

Высокоточные теодолиты имеют двухсторонние отсчетные устройства, обеспечивающие одновременное взятие отсчетов по противоположным частям лимба.

Уровни служат для приведения осей и плоскостей приборов в горизонтальное или вертикальное положение. По конструкции они бывают цилиндрические и круглые.

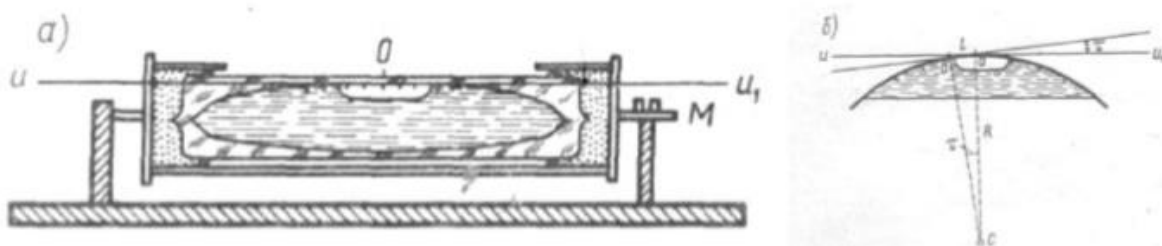


Рисунок 3.1.6 - Цилиндрический уровень: а – общий вид; б – цена деления уровня

Цилиндрический уровень (рисунок 3.1.6) состоит из стеклянной ампулы, верхняя внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге окружности определённого радиуса. При изготовлении уровня её заполняют горячим эфиром или спиртом и запаивают. При охлаждении в ампуле образуется

небольшое пространство, заполненное парами жидкости и называемое пузырьком уровня. Ампула помещается в металлическую оправу, снабжённую исправительными винтами для регулировки положения уровня. На внешней поверхности ампулы нанесена шкала со штрихами через 2 мм. Точка в середине шкалы называется нульпунктом уровня. Касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте называется осью уровня. Пузырёк уровня занимает в ампуле наивысшее положение, поэтому, когда его концы расположены симметрично относительно нуль-пункта, ось уровня горизонтальна.

Разновидности теодолитов.

В зависимости от точности теодолиты подразделяют на:

- высокоточные ($cKO < 1''$);
- точные ($1'' < cKO < 10''$);
- технические ($cKO > 10''$);

Различаются теодолиты и по конструкции.

Так, для измерения вертикальных углов точные теодолиты снабжены уровнем при вертикальном круге. У технических теодолитов такого уровня нет, его роль выполняет уровень при алидаде горизонтального круга. Есть теодолиты, в которых уровень при вертикальном круге заменен автоматическим компенсатором углов наклона (теодолиты Т5К, Т15К).

Теодолиты бывают с трубами прямого и обратного изображения.

В первом случае в шифр теодолита добавляют букву П (Т5КП, Т15КП, Т15МКП).

Маркшейдерские теодолиты (Т30М, Т15М), предназначенные для подземных работ, где возможно наличие взрывоопасного газа метана, изготавливают в специальном исполнении.

Оптические теодолиты серии ЗТ.

Точные теодолиты с одноосевым компенсатором при вертикальном круге. Наличие компенсатора при вертикальном круге позволяет выполнять угловые измерения точно и быстро. Теодолиты могут быть использованы для измерения расстояний нитяным дальномером и для определения магнитных

азимутов с помощью ориентир-буссоли. На теодолиты этой серии можно установить светодальномеры. Для выполнения центрирования теодолита применяется оптический отвес.

Теодолиты серии 4Т – технические теодолиты без компенсатора со съемным трегером. Данный тип теодолитов имеет шкаловый микроскоп для снятия отсчетов по лимбу и цилиндрический уровень при зрительной трубе, который позволяет выполнять геометрическое нивелирование. с помощью нитяного дальномера зрительной трубы можно определять расстояния по нивелирной рейке.



Рисунок 3.1.7 – Оптические теодолиты серии 3Т (слева) и 4Т (справа)

Электронные теодолиты обеспечивают автоматическое считывание отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Угломерная часть электронного теодолита представляет собой растровый датчик накопительного типа. сигнал, прочитанный фотоприемником, поступает в электронную часть датчика угла, обрабатывается и выводится в градусной мере на дисплей и в память прибора. Наличие двухосевого компенсатора обеспечивает автоматический ввод поправок за наклон в отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.



Рисунок 3.1.8 – Электронные теодолиты серии DT (слева) и ET (справа)

3.1.1 Поверки теодолита

Поверки теодолита выполняют для контроля соблюдения в приборе верного взаиморасположения его осей. Основными поверками являются следующие.

Поверка уровня. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады. Перед выполнением поверки выполняют горизонтирование теодолита. Затем устанавливают уровень по направлению двух подъёмных винтов и с их помощью приводят пузырёк в нуль-пункт. Поворачивают алидаду на 180° . Если пузырёк уровня остался в нуль-пункте, то требуемое условие выполнено – ось уровня перпендикулярна к оси вращения алидады. Если пузырёк уровня ушел из нульпункта, исправительными винтами уровня изменяют его наклон, перемещая пузырёк в сторону нуль-пункта на половину отклонения.

Поверку повторяют, добиваясь, чтобы смещение пузырька было меньше одного деления.

Поверка сетки нитей. Вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к оси вращения зрительной трубы.

Наводят вертикальный штрих сетки нитей на точку и наводящим винтом трубы изменяют ее наклон. Если изображение точки не скользит по штриху,

сетку нитей надо повернуть. Для этого поворачивают корпус окуляра, ослабив четыре винта его крепления к зрительной трубе (рисунок 3.1.1.1).

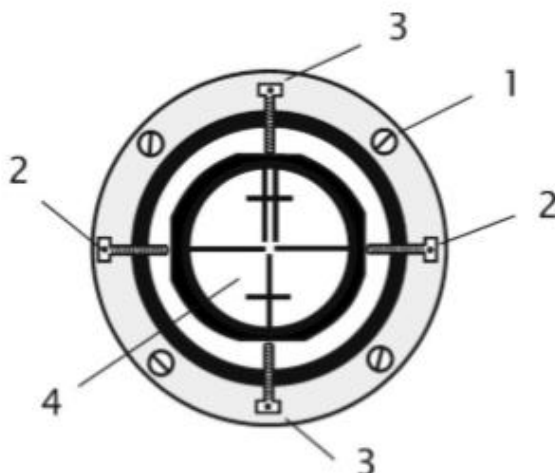


Рисунок 3.1.1.1 – Крепление сетки нитей:

1- крепёжный винт окуляра; 2, 3 - горизонтальные и вертикальные исправительные винты сетки нитей; 4 – сетка нитей.

Проверка визирной оси. Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. Если визирная ось перпендикулярна к оси вращения трубы, то отсчёты по горизонтальному кругу при разных положениях вертикального круга (КЛ и КП) и наведении на одну и ту же точку будут различаться ровно на 180° . Если разность отчетов отличается от 180° , то ось вращения трубы не перпендикулярна к визирной оси (рисунок 3.1.1.2). При этом соответствующие отсчёты КЛ и КП отличаются от правильных значений на одинаковую величину c , получившую название коллимационной ошибки. При выполнении проверки визируют на удалённую точку при двух положениях круга и берут отсчёты КЛ и КП. Вычисляют коллимационную погрешность

$$c = (\text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ) / 2, \quad (3.1.1.1)$$

которая не должна превышать двойной точности теодолита.

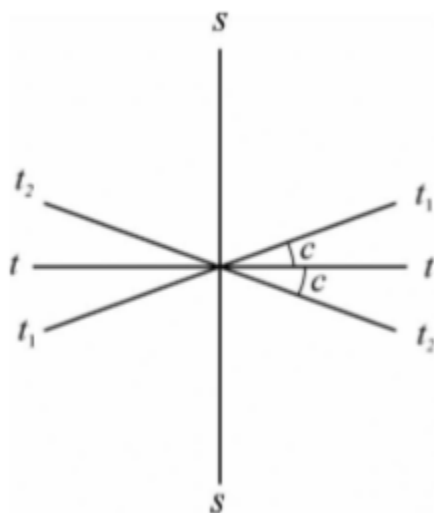


Рисунок 3.1.1.2 – Проверка визирной оси:

ss - визирная ось; tt - верное положение оси вращения трубы; t_1t_1, t_2t_2 - положение оси вращения трубы при круге право и круге лево

Если коллимационная погрешность велика, то наводящим винтом алидады устанавливают на горизонтальном круге верный отсчёт, равный (КЛ - c) или (КП + c). При этом центр сетки нитей сместится с изображения точки. Отвинчивают колпачок, закрывающий винты сетки нитей, ослабляют один из вертикальных исправительных винтов, и, действуя горизонтальными исправительными винтами, совмещают центр сетки нитей с изображением точки. Закрепив ослабленные винты, проверку повторяют.

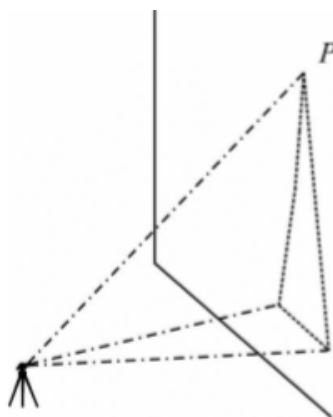


Рисунок 3.1.1.3 – Проверка оси вращения зрительной трубы

Проверка оси вращения трубы.

Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады. Установив теодолит вблизи стены здания, визируют на высоко

расположенную под углом наклона 25° 30° точку Р (рисунок 3.1.1.3). Наклоняют трубу до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию центра сетки нитей. Переводят трубу через зенит, вновь визируют на точку Р и отмечают её проекцию. Если изображения обеих проекций точки не выходят за пределы биссектора сетки нитей, требование считают выполненным. В противном случае необходимо исправить положение оси вращения трубы. Исправление выполняют в мастерской, изменяя наклон оси.

3.2. Устройство нивелира

Нивелир (от фр. *niveau* – уровень, нивелир) – геодезический инструмент для определения разности высот между несколькими точками земной поверхности относительно условного уровня, т.е. определение превышения. На рисунке 3.2.1 представлен оптический нивелир в сборке на штативе, а также различные виды реек.



Рисунок 3.2.1 – Оптический нивелир и нивелирные рейки.

По точности нивелиры делятся на высокоточные, точные и технические, дающие на 1 км хода ошибки, не превышающие, соответственно, 0,5 – 1,0 мм, 48 мм и 15 мм. Цифры в шифре нивелира указывают среднюю квадратическую погрешность измерения превышения в миллиметрах на 1 км двойного нивелирного хода. Например, для нивелира Н-3 средняя квадратическая погрешность составляет 3 мм на 1 км хода.

В зависимости от способа получения горизонтального луча визирования каждый из трех типов нивелиров изготавливается в двух вариантах:

- с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе;
- с компенсатором, позволяющим автоматически приводить ось визирования зрительной трубы нивелира в горизонтальное положение.

В настоящее время выпускаются нивелиры улучшенной конструкции 2-го и 3-го поколений, например 2Н-10КЛ, 3Н-3ЛП. Первая цифра обозначает поколение. При наличии компенсатора в шифр прибора добавляется буква К. Если нивелир изготовлен с лимбом для измерения горизонтальных углов, то еще добавляется буква Л. Если нивелир имеет зрительную трубу прямого изображения, то в шифр добавляется буква П.

Условное обозначение нивелирной рейки состоит из буквенного обозначения РН, цифрового обозначения группы нивелиров, для которой она предназначена (для высокоточных нивелиров – цифра 05, точных – 3, технических – 10) и номинальной длины рейки. В обозначении складных реек и (или) реек с прямым изображением оцифровки шкал после указания номинальной длины добавляют соответственно букву С и (или) П. Пример условного обозначения нивелирной рейки к техническим нивелирам, номинальной длиной 4000 мм, складной, с прямым изображением оцифровки шкалы: РН–10 – 4000 СП.

Устройство нивелира (с цилиндрическим уровнем).

Нивелир Н-3 относится к приборам с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе (рисунок 3.2.2).

Для установки нивелира в рабочее положение его закрепляют на штативе и, действуя тремя подъемными винтами, приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы. При этом ось вращения нивелира занимает отвесное положение. Наведение зрительной трубы на рейку осуществляют вначале вручную с помощью визира, а затем зажимают закрепительный винт зрительной трубы и наводящим винтом выполняют точное визирование на рейку. Резкость изображения сетки нитей достигается вращением окулярного кольца, а резкость

изображения рейки – вращением винта кремальеры. сетка нитей имеет вертикальный штрих и три горизонтальных, верхний и нижний являются нитяным дальномером.

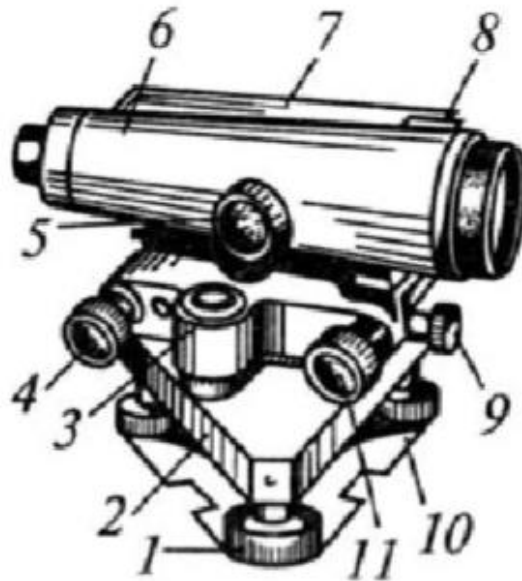


Рисунок 3.2.2 – Нивелир Н-3

1 – подъемный винт; 2 – подставка; 3 – круглый уровень; 4 – элевационный винт; 5 – кремальера; 6 – зрительная труба; 7 – цилиндрический уровень; 8 – визир; 9 – закрепительный винт; 10 – пластина; 11 – наводящий винт

Перед каждым отсчетом по рейке визирную ось нивелира приводят в горизонтальное положение, добиваясь совмещения изображения концов пузырька цилиндрического уровня в поле зрения зрительной трубы путем вращения элевационного винта.

Отсчет по рейке состоит из четырех цифр и выражает расстояние от измеряемой точки до визирной оси нивелира в миллиметрах. Выполняют отсчет по среднему горизонтальному штриху сетки нитей. Отсчет по рейке берут от меньшего к большему числу. Обратите внимание на то, что изображение в зрительной трубе обратное, следовательно, отсчеты возрастают сверху вниз.

Первые две цифры отсчета, обозначающие дециметры, подписаны на рейке (рисунок 3.2.3, а), они видны в зрительной трубе вблизи среднего горизонтального штриха. На рисунке 3.2.3, б это цифра 0б. следует отметить,

что в каждом дециметре первые пять шашек с сантиметровыми делениями объединены в символ Е (прямой или перевернутый).

Третья цифра считается по числу сантиметровых шашек от начала дециметрового деления (от верхней части знака символа Е вниз) до среднего горизонтального штриха сетки нитей (на рисунке 3.2.3 сантиметровых шашек – 5).

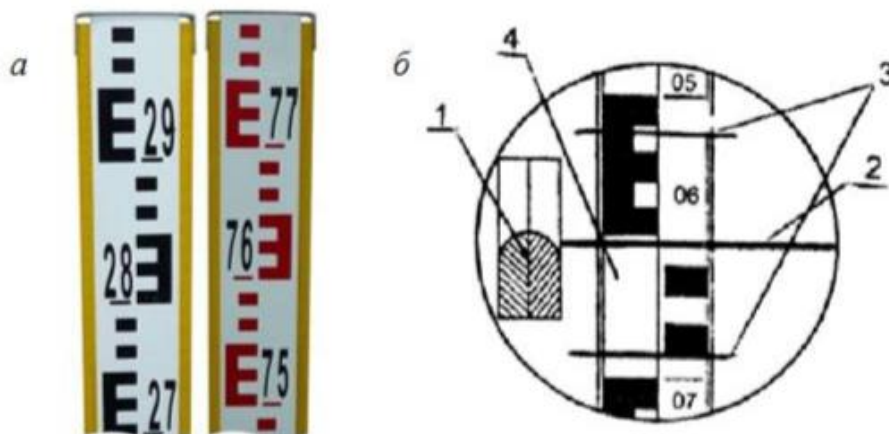


Рисунок 3.2.3 – Нивелирная рейка (а) и поле зрения зрительной трубы нивелира Н-3 (б):

1 – изображение концов пузырька цилиндрического уровня; 2 – средний горизонтальный штрих сетки нитей; 3 – штрихи нитяного дальномера; 4 – изображение рейки

Четвертая цифра, обозначающая миллиметры, по рейке оценивается на глаз (на рисунке 3.2.3, б это приблизительно 2 мм). Тогда полный отсчет по рейке составит 0652. Расстояние по рейке определяется с помощью штрихов нитяного дальномера: $S = (0690 \text{ мм} - 0612 \text{ мм}) \times 100 = 7800 \text{ мм} = 7,8 \text{ м}$.

3.2.1. Поверки нивелира Н-3

Прежде чем начать работу с нивелиром, необходимо выполнить его проверки. Под проверками нивелира понимают действия, контролирующие соблюдение условий, которым должен удовлетворять прибор для геометрического нивелирования. При невыполнении условий проверок производят

необходимые исправления (юстировки). Нивелир Н-3 должен удовлетворять следующим геометрическим условиям:

Поверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. После установки штатива и закрепления на нем нивелира тремя подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если пузырек уровня останется в центре ампулы, то условие выполнено, если нет, то нужно исправительными винтами круглого уровня переместить пузырек к центру на половину дуги отклонения. Поверку повторяют до полного выполнения условия.

Поверка 2. средний горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен оси вращения нивелира. Ось вращения нивелира устанавливают в отвесное положение. Наводят зрительную трубу на неподвижную рейку, установленную в 20–30 м от нивелира. Условие будет выполнено, если при плавном вращении трубы горизонтальный штрих не будет сходить с точки наведения (то есть отсчет по рейке будет оставаться неизменным).

Если условие не выполняется, то отвинчивают и снимают окулярную часть зрительной трубы и поворачивают диафрагму с сеткой нитей, предварительно ослабив крепящие ее винты.

Поверка 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы. Это главное условие нивелира проверяется двойным нивелированием конечных точек линии длиной 50–70 м (рисунок 3.2.1.1).

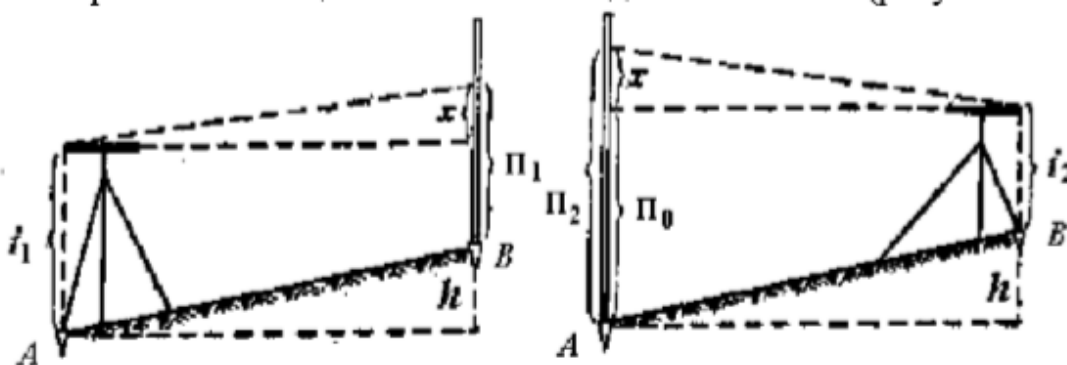


Рисунок 3.2.1.1 – Поверка главного условия нивелира Н-3

На конечных точках забивают колышки. Нивелир устанавливают на начальной точке линии, а рейку – на конечной. с помощью элевационного винта нивелира приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт и снимают отсчет по рейке P_1 . Измеряют высоту нивелира i_1 с точностью до 1 мм. Например: $P_1 = 1426$ мм, $i_1 = 1371$ мм. Затем меняют нивелир и рейку местами и, приведя элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, снимают отсчет по рейке P_2 , измеряют высоту нивелира i_2 . Например: $P_2 = 1260$ мм, $i_2 = 1337$ мм.

Если ось цилиндрического уровня непараллельна визирной оси трубы, то отсчеты по рейке будут ошибочны на величину

$$x = [(P_1 + P_2) - (i_1 + i_2)] / 2 \quad (3.2.1.1)$$

Величина x должна быть не более ± 4 мм. Если x превышает указанную величину, тогда, не снимая нивелира со второй станции, элевационным винтом устанавливают средний горизонтальный штрих сетки нитей на отсчет по рейке равный $P_2 - x$. При этом произойдет смещение изображений половинок пузырька уровня в поле зрения трубы. сняв крышку коробки цилиндрического уровня, вертикальными исправительными винтами выполняют точное совмещение концов половинок пузырька уровня в поле зрения трубы. Затем поверку повторяют до соблюдения условия.

Для вышеуказанных отсчетов

$$x = [(1426 + 1260) - (1371 + 1337)] / 2 = -11 \text{ мм} > 4 \text{ мм.}$$

Поэтому необходимо выполнить юстировку уровня. Для этого устанавливают элевационным винтом по рейке отсчет

$$P_2 - x = 1260 - (-11) = 1271 \text{ мм}$$

и исправительными винтами совмещают концы пузырька уровня.

3.3. Электронные тахеометры

Электронный тахеометр объединяет теодолит, светодальномер и счетное устройство, позволяет выполнять угловые и линейные измерения и осуществлять совместную обработку результатов этих измерений.

Тахеометры, в которых все устройства (угломерные, дальномерные, зрительная труба, клавиатура, процессор) объединены в один механизм, называются интегрированными тахеометрами.

Тахеометры, которые состоят из отдельно сконструированного теодолита (электронного или оптического) и светодальномера, называют модульными тахеометрами.

В электронных тахеометрах расстояния измеряются по разности фаз испускаемого и отраженного луча (фазовый метод), иногда (в некоторых современных моделях) по времени прохождения луча лазера до отражателя и обратно (импульсный метод). Точность измерения зависит от технических возможностей модели тахеометра, а также от многих внешних параметров: температуры воздуха, давления, влажности и т. п. Диапазон измерения расстояний зависит также от режима работы тахеометра (отражательный или безотражательный). Дальность измерений в безотражательном режиме напрямую зависит от отражающих свойств поверхности, на которую производится измерение. Дальность измерений на светлую гладкую поверхность (штукатурка, кафельная плитка и пр.) в несколько раз превышает максимально возможное расстояние, измеренное на темную поверхность. Максимальная дальность линейных измерений: для режима с отражателем (призмой) – до пяти километров (при нескольких призмах еще дальше); для безотражательного режима – до одного километра. Модели тахеометров, которые имеют безотражательный режим могут измерять расстояния практически до любой поверхности, однако следует с осторожностью относиться к результатам измерений, проводимым сквозь ветки, листья, потому как сигнал может отразиться от промежуточного предмета.

существуют модели тахеометров, обладающих дальномером, совмещенным с системой фокусировки зрительной трубы. Преимущество таких приборов заключается в том, что измерение расстояний производится именно на тот объект, по которому в данный момент выставлена зрительная труба прибора.

Для выполнения съёмки электронный тахеометр устанавливают на станции и настраивают его в соответствии с условиями измерений. На пикетах ставят специальные вешки с отражателями, при наведении на которые автоматически определяются расстояние, горизонтальные и вертикальные углы. Если тахеометр имеет безотражательный режим, то можно производить измерения на речные точки, в которых нет возможности установить вешку с отражателем. счетное устройство тахеометра во время измерений автоматически вычисляет горизонтальное проложение, приращения координат и превышение h . Все данные, полученные в ходе измерений, сохраняются в специальном запоминающем устройстве (накопителе информации). Они могут быть переданы с помощью интерфейсного кабеля на компьютер, где с использованием специальной программы выполняется окончательная обработка результатов измерений для построения цифровой модели местности или топографического плана. совместное использование электронного тахеометра с компьютером позволяет полностью автоматизировать процесс построения модели местности.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили электронные тахеометры зарубежных фирм Sokkia (рисунок 3.3.1), Topcon, Nikon, Pentax, Leica, Trimble. Они имеют встроенное программное обеспечение для производства практически всего спектра геодезических работ: развитие геодезических сетей; съёмка и вынос в натуру; решение задач координатной геометрии (прямая и обратная геодезическая задача, расчет площадей, вычисление засечек). Угловая точность у таких приборов может быть от 1" до 5" в зависимости от класса точности.



Рисунок 3.3.1 – Электронный тахеометр Sokkia SET 530RK3

К новейшим электронным тахеометрам относятся роботизированные тахеометры, оснащенные сервоприводом. Эти приборы могут самостоятельно наводиться на специальный активный отражатель и производить измерения. В дополнение прибор с сервоприводом может оснащаться специальной системой управления по радио, при этом съемку может производить только один человек, находясь непосредственно на измеряемой точке. Подобная схема съемки увеличивает производительность проведения съемочных работ примерно на 80%. Роботизированные системы могут быть использованы для слежения за деформациями объектов, съемки движущихся объектов и т. д.

3.4. Назначение и устройство буссоли

Буссоль предназначена для ориентирования на местности по магнитному меридиану; она устроена примерно так же, как компас (рисунок 3.4.1). На острие, расположенном в центре градуированного кольца, вращается магнитная стрелка с передвижным хомутиком для ее уравнивания. Кольцо буссоли разделено на 360 частей, цена одного деления 1° . Деления азимутальных буссолей возрастают от 0° до 360° либо по ходу, либо против хода часовой стрелки; деления румбической буссоли возрастают от 0° до 90° в обе стороны от нулевого диаметра.

Если деления азимутальной буссоли возрастают по ходу часовой стрелки, то совмещают северный конец стрелки с нулевым делением и по направлению линии отсчитывают магнитный азимут. Если деления возрастают против хода часовой стрелки, то нулевое деление располагают по направлению линии и против северного конца стрелки отсчитывают магнитный азимут.

4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

4.1. Измерение горизонтальных углов

Плоский угол образуется двумя лучами, исходящими из одной точки, называемой вершиной угла. Угол обычно измеряют в градусной мере (градусы, минуты, секунды), реже - в радианной; за рубежом широко применяется градусная мера измерения углов.

В геодезии имеют дело с углами, лежащими в горизонтальной или вертикальной плоскостях, причем горизонтальный угол обычно обозначают буквой β .

Угол на чертеже или карте измеряют транспортиром (рисунок 4.1.1);

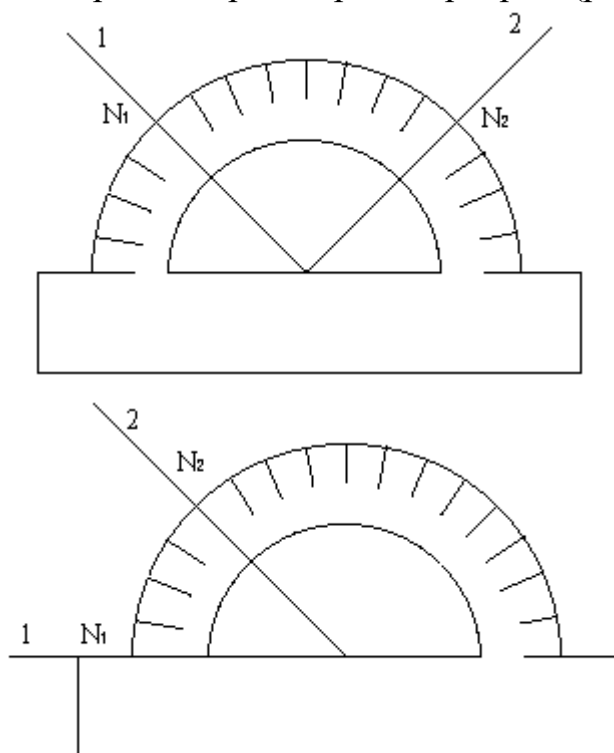


Рисунок 4.1.1 – Измерение угла транспортиром

N_1 и N_2 - отсчеты по шкале транспортира в точках пересечения ее сторонами угла

$$\beta = N_2 - N_1. \quad (4.1.1)$$

если $N_1=0$, то $\beta = N_2$.

На местности угол фиксируется тремя точками: одна из них - точка A - является вершиной угла, две другие - B и C - фиксируют направления первой и второй сторон угла соответственно (рисунок 4.1.2).

$$\beta = c' - b' \quad (4.1.2)$$

Отсчет b' получается в точке пересечения шкалы угломерного круга плоскостью Q , отсчет c' - в точке пересечения шкалы плоскостью T .

Таким образом, прибор для измерения горизонтальных углов на местности должен иметь угломерный круг, приспособление для наведения на точки местности и устройство для отсчитывания по шкале угломерного круга; такой прибор называется теодолитом.

4.1.1. Способы измерения горизонтальных углов

Перед измерением угла необходимо привести теодолит в рабочее положение, то-есть, выполнить три операции: центрирование, горизонтирование и установку зрительной трубы.

Центрирование теодолита - это установка оси вращения алидады над вершиной измеряемого угла; операция выполняется с помощью отвеса, подвешиваемого на крючок станového винта, или с помощью оптического центрира.

Горизонтирование теодолита - это установка оси вращения алидады в вертикальное положение; операция выполняется с помощью подъемных винтов и уровня при алидаде горизонтального круга.

Установка трубы - это установка трубы по глазу и по предмету; операция выполняется с помощью подвижного окулярного кольца (установка по глазу - фокусирование сетки нитей) и винта фокусировки трубы на предмет.

Измерения угла выполняется строго по методике, соответствующей способу измерения; известно несколько способов измерения горизонтальных углов: это способ отдельного угла (способ приемов), способ круговых приемов, способ во всех комбинациях и др.

способ отдельного угла. Измерение отдельного угла складывается из следующих действий:

– наведение трубы на точку, фиксирующую направление первой стороны угла (рисунок 4.1.1.1), при круге лево (КЛ), взятие отсчета L_I ;

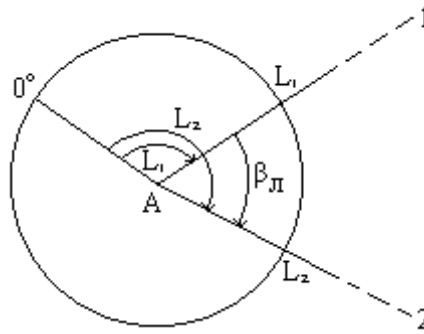


Рисунок 4.1.1.1 – Измерение отдельного угла

- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление второй стороны угла; взятие отсчета L_2 ,
- вычисление угла при КЛ:

$$\beta_{л} = L_2 - L_1 \quad (4.1.1.1)$$

перестановка лимба на $1^\circ - 2^\circ$ для теодолитов с односторонним отсчитыванием и на 90° - для теодолитов с двухсторонним отсчитыванием,

- переводение трубы через зенит и наведение ее на точку, фиксирующую направление первой стороны угла, при круге право (КП); взятие отсчета R_1 ,
- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление второй стороны угла; взятие отсчета R_2 ,
- вычисление угла при КП:

$$\beta_{п} = R_2 - R_1 \quad (4.1.1.2)$$

при выполнении условия $|\beta_{л} - \beta_{п}| < 1.5 * t$, где t - точность теодолита, вычисление среднего значения угла:

$$\beta_{ср} = 0.5 * (\beta_{л} + \beta_{п}). \quad (4.1.1.3)$$

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

Запись отсчетов по лимбу и вычисление угла производятся в журналах установленной формы.

способ круговых приемов. Если с одного пункта наблюдается более двух направлений, то часто применяют способ круговых приемов. Для измерения

углов этим способом необходимо выполнить следующие операции (рисунок 4.1.1.2):

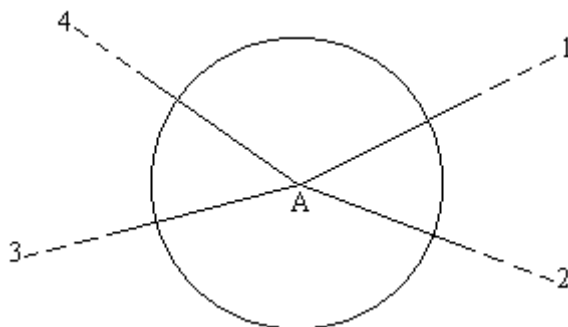


Рисунок 4.1.1.2 – Измерение угла способом круговых приемов

- при КЛ установить на лимбе отсчет, близкий к нулю, и навести трубу на первый пункт; взять отсчет по лимбу.
- вращая алидаду по ходу часовой стрелки, навести трубу последовательно на второй, третий и т.д. пункты и затем снова на первый пункт; каждый раз взять отсчеты по лимбу.
- перевести трубу через зенит и при КП навести ее на первый пункт; взять отсчет по лимбу.
- вращая алидаду против хода часовой стрелки, навести трубу последовательно на (n-1), ..., третий, второй пункты и снова на первый пункт; каждый раз взять отсчеты по лимбу.

Затем для каждого направления вычисляют средние из отсчетов при КЛ и КП и после этого - значения углов относительно первого (начального) направления.

способ круговых приемов позволяет ослабить влияние ошибок, действующих пропорционально времени, так как средние отсчеты для всех направлений относятся к одному физическому моменту времени.

4.2. Измерение вертикальных углов

Вертикальный угол - это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости. К вертикальным углам относятся угол наклона и зенитное

расстояние. Угол между горизонтальной плоскостью и направлением линии местности называется углом наклона и обозначается буквой v . Углы наклона бывают положительные и отрицательные.

Угол между вертикальным направлением и направлением линии местности называется зенитным расстоянием и обозначается буквой Z . Зенитные расстояния всегда положительные (рисунок 4.2.1).

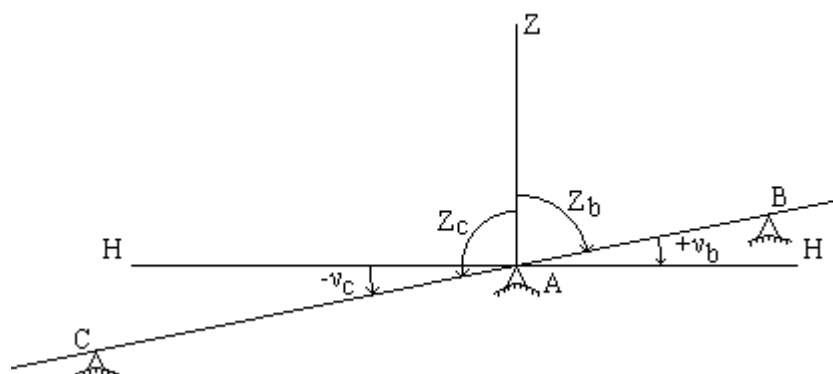


Рисунок 4.2.1 – соотношение зенитного расстояния и угла наклона

Угол наклона и зенитное расстояние одного направления связаны соотношением:

$$Z + v = 90^\circ, \quad (4.2.1)$$

или

$$v = 90^\circ - Z, \quad (4.2.2)$$

или

$$Z = 90^\circ - v. \quad (4.2.3)$$

Вертикальный круг теодолита. Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов, то-есть, углов наклона или зенитных расстояний.

Вертикальный круг большинства теодолитов устроен следующим образом: лимб вертикального круга жестко соединен с трубой (насажен на один из концов оси трубы), центр лимба совмещен с геометрической осью вращения трубы, а его плоскость перпендикулярна этой оси. Деления на лимбе наносят по разному: либо от 0° до 360° , либо от 0° до 180° в обе стороны со знаками "плюс" и "минус" или без знаков и т.д. Для отсчета по лимбу имеется алидада. Основ-

ные части алидады: отсчетное приспособление, цилиндрический уровень (или компенсатор) и микрометрический винт.

Пузырек уровня в момент отсчета приводится в нуль-пункт, то есть, ось уровня служит указателем горизонтального направления. Отсчетным индексом является нулевой штрих отсчетного приспособления. Ось уровня и линия отсчетного индекса (линия, соединяющая отсчетный индекс с центром лимба) должны быть параллельны; при выполнении этого условия линия отсчетного индекса будет горизонтальна в момент взятия отсчета по вертикальному кругу.

Взаимное положение лимба и зрительной трубы должно удовлетворять условию: визирная линия трубы и нулевой диаметр лимба должны быть параллельны.

Оба условия вместе составляют так называемое главное условие вертикального круга теодолита; оно читается так: визирная линия трубы должна занимать горизонтальное положение, когда отсчет по лимбу равен нулю и пузырек уровня находится в нульпункте. На практике оба эти условия могут не выполняться и имеет место случай, изображенный на рисунке 4.2.2.

Во-первых, при насаживании лимба на ось трубы между нулевым диаметром лимба и визирной линией трубы остается малый угол x . Во-вторых, линия отсчетного индекса может быть непараллельна оси уровня и между ними существует малый угол y . Таким образом, хотя отсчет по лимбу равен нулю, визирная линия трубы занимает наклонное положение, и угол наклона ее равен:

$$v = x + y.$$

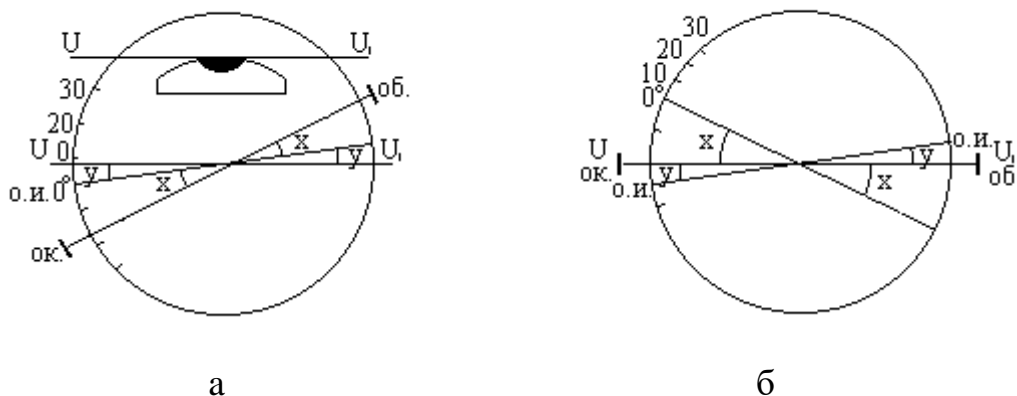


Рисунок 4.2.2 – Угол наклона вертикального круга

Если установить визирную линию горизонтально (рисунок 4.2.2, б), то отсчет по лимбу станет равным:

$$N = 360^\circ - (x + y) \quad (4.2.4)$$

Этот отсчет называется местом нуля вертикального круга и обозначается **М0**.

Таким образом, место нуля вертикального круга теодолита - это отсчет по лимбу вертикального круга при горизонтальном положении визирной линии трубы и оси уровня вертикального круга.

Для измерения углов наклона удобно иметь М0 близким к нулю, поэтому нужно регулярно выполнять поверку места нуля, которая предусматривает следующие действия:

- наведение трубы на точку при КЛ, приведение пузырька уровня в нульпункт и взятие отсчета по вертикальному кругу,
- перевод трубы через зенит, наведение трубы на точку при КП, приведение пузырька уровня в нульпункт и взятие отсчета по вертикальному кругу,
- вычисление по соответствующим формулам места нуля М0 и угла наклона ν .

Если М0 получается большим, то при основном положении круга нужно навести трубу на точку и микрометрическим винтом алидады установить отсчет, равный углу наклона; при этом пузырек уровня отклонится от нульпункта. Исправительными винтами уровня привести пузырек в нульпункт.

4.3. Измерение расстояний на местности

Приборы, используемые для линейных измерений, условно делят на три группы: механические, оптические и физико-оптические. Механические приборы используются для непосредственного измерения расстояний. К ним относятся землемерные ленты, рулетки, тросы, длинномеры, инварные проволоки и др. Из оптических дальномеров наибольшее распространение

получили нитяной дальномер и дальномеры с переменной базой и переменным параллактическим углом. К физико-оптическим приборам относят электромагнитные дальномеры и светодальномеры. На учебных съемках для непосредственного измерения расстояний используют землемерные ленты и рулетки, для дистанционного – дальномеры.

Длина линии, непосредственное измерение которой невозможно, может быть получена вычислением при наличии необходимых для этого данных.

4.3.1. Приборы для линейных измерений

Для измерения коротких расстояний применяют рулетки тесьмовые и стальные. Тесьмовая рулетка может иметь длину 3; 10 и 20 м. На ее ленте нанесены деления через 1 см, а подписаны каждые 10 см и целые метры.

Рулетки измерительные металлические выпускают нескольких типов: РС – самосвертывающаяся; РЖ – желобчатая; РЗ – в закрытом корпусе; РК – на крестовине; РВ – на вилке; РЛ – с грузом. У рулеток типа А начало шкалы сдвинуто от торца ленты, а у рулеток типа В начало шкалы совпадает с торцом ленты. По точности тип А – 1 и 2 класса, остальные – практически все класса 3.

Землемерные ленты изготавливают длиной 20 м, 24 м и 50 м. Обозначают землемерные ленты буквами ЛЗ (лента землемерная) и ЛЗШ (лента землемерная штриховая). Изготавливают их из стальной полосы, которая наматывается на барабан. На обоих концах ленты имеются рукоятки, предназначенные для выравнивания полосы на поверхности земли и обеспечения необходимого натяжения при измерениях силой 10 кг. Лента землемерная разделена на метры и дециметры. Метры обозначены ромбическими пластинами с порядковыми номерами метров. Необходимо помнить, что на разных сторонах полотна ленты надписи возрастают в противоположных направлениях. Лента хранится в свернутом положении на специальном кольце. сворачивая или снимая ленту с кольца, необходимо избегать образования петель. В комплект ленты входят 11 или 6 шпилек (рисунок 4.3.1.1).

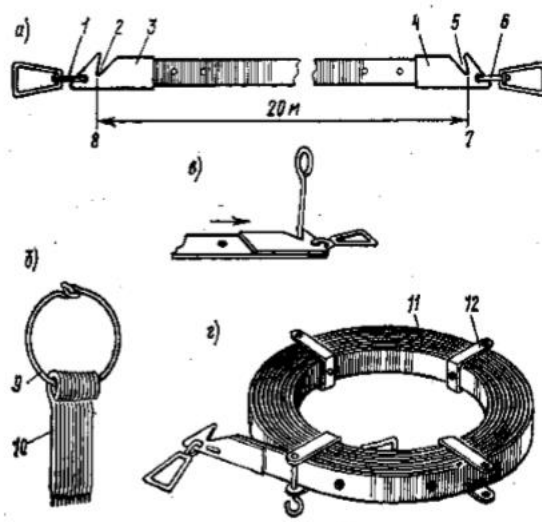


Рисунок 4.3.1.1 – Землемерная лента

Ленту перед измерениями компарируют, т. е. сравнивают ее с эталонной (нормальной) мерой. Выполняют сравнение на полевом компараторе. Полевой компаратор – это линия на ровной местности длиной 100 – 200 м. Концы компаратора закрепляют для долговременной сохранности вкопанными вровень с землей бетонными пилонами (пирамидками), в верхние срезы которых вмурованы металлические марки с крестообразной насечкой. Длину компаратора (расстояние между марками) определяют при помощи контрольной ленты, длина которой известна с высокой точностью.

Длинномер относят к подвесным мерным приборам. В длинномере стальную проволоку натягивают между двумя фиксированными на местности точками. По проволоке в процессе измерения прокатывают устройство, основными элементами которого являются мерный диск и счетный механизм, позволяющий установить количество оборотов диска на прокатываемом отрезке проволоки (рисунок 4.3.1.2).

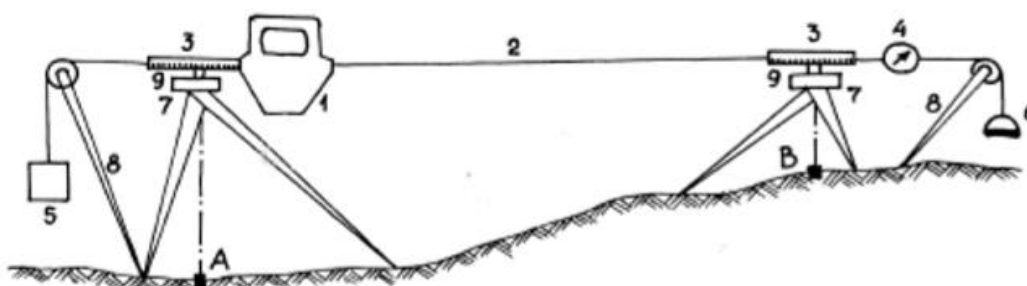


Рисунок 4.3.1.2 – схема измерения расстояния длинномером. 1 – длинномер; 2 – проволока; 3 – шкалы; 4 – динамометр; 5 – груз; 6 – стремя; 7 – штативы; 8 – раздвижные стойки-упоры; 9 – оптический центрир

Инварная проволока (сплав железа с никелем, обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения), как и длинномер, представляет собой подвесной мерный прибор. В процессе измерения, ее основная часть – 24-метровая проволока, последовательно натягивается между соседними штативами, равномерно расставленными вдоль линии. Измерение длин линий инварными проволоками отличается высокой точностью, но требует больших затрат труда и времени.

Оптическим дальномером называют прибор, в котором для определения расстояний используются оптические элементы. Из оптических дальномеров наибольшее распространение получили нитяной дальномер и дальномеры с переменной базой и переменным параллактическим углом.

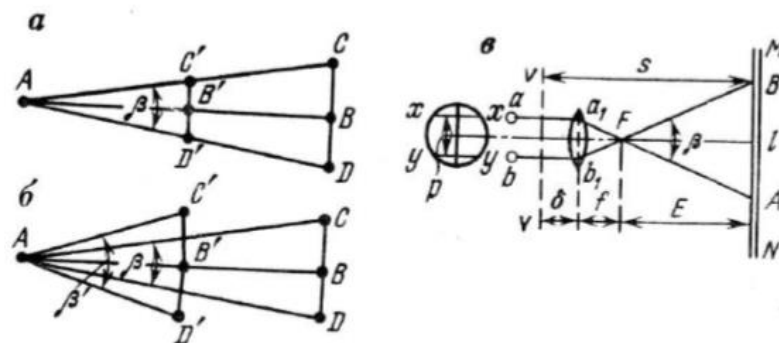


Рисунок 4.3.1.3 – схемы измерения расстояний оптическими дальномерами а – с постоянным параллактическим углом; б – с переменным параллактическим углом; в – с использованием нитяного дальномера VV – вертикальная ось вращения прибора; δ – расстояние от оси вращения прибора до центра объектива; p – расстояние между дальномерными нитями; E – расстояние от переднего фокуса до рейки; S – общее расстояние от оси вращения прибора до рейки.

Нитяной дальномер имеется практически во всех геодезических приборах (теодолитах, нивелирах). сетка нитей зрительной трубы содержит две дальномерные нити, проекция которых через зрительную трубу в пространство предмета образует параллактический угол.

$$\beta_n = \arctg \frac{a}{2f} \quad (4.3.1.1)$$

где a – расстояние между дальномерными нитями на сетке нитей; f – фокусное расстояние объектива зрительной трубы.

При определении расстояний нитяным дальномером используют рейки MN (рисунок 4.3.1.3, в). с сантиметровыми делениями, по которым берут отсчет l (число видимых в зрительную трубу сантиметров между проекциями дальномерных нитей). Дальномерное расстояние рассчитывают по формуле

$$D = Kl + c, \quad (4.3.1.2)$$

где $K = 100$ – коэффициент дальномера; $c = (\delta + f)$ – постоянная нитяного дальномера (для большинства приборов c близка к нулю).

Коэффициент дальномера зависит от величины параллактического угла и фокусного расстояния. В связи с тем, что при фокусировании на различные расстояния значение фокусного расстояния у зрительных труб с внутренней фокусировкой несколько изменяется, то и коэффициент K может оказаться не равным 100. Кроме того, и значение c может отличаться от нуля. Для повышения точности измерения расстояний выполняют поверку значения K с целью установления зависимости $F = K(D)$.

Электромагнитные дальномеры – это устройства для измерения расстояний по времени распространения электромагнитных волн между конечными точками линии. При этом предполагается, что скорость распространения электромагнитных колебаний в момент измерений известна и постоянна.

светодальномер. Достоинство светодальномеров заключается в возможности сведения светового потока с помощью сравнительно простых и небольших по размерам оптических систем (антенн) в узконаправленный луч с высокой плотностью энергии (использование лазерных источников излучения). Для светодальномеров характерна практическая прямолинейность светового луча. При использовании лазерных источников излучения практическая дальность действия в чистой атмосфере составляет 40-60 км.

4.4. Измерение превышений с помощью нивелира

Для определения высот точек на земельных участках применяют техническое нивелирование. Для производства технического нивелирования используют точные и технические нивелиры (модели Н-3, Н-10 и их модификации), а также нивелирные рейки шашечного типа. Техническое нивелирование выполняют в основном методом из середины с неравенством плеч не более 10 м. Расстояние от нивелира до реек не должно превышать 100 м, а при хорошей видимости – 150 м.

Рейки в общем случае ставятся только на закрепленных точках (реперах, колышках, костылях, башмаках и т. д.), между которыми определяется превышение. Рейки на землю устанавливаются лишь при съемке рельефа.



Рисунок 4.4.1 – Нивелирный башмак и нивелирный костыль

Работу на станции выполняют в следующей последовательности:

- на связующие точки *A* и *B* устанавливают нивелирные рейки, а посередине между ними ставят нивелир и приводят его в рабочее положение с помощью подъемных винтов, устанавливая пузырек круглого уровня в нуль-пункт;
- наводят зрительную трубу нивелира на заднюю рейку (точка *A*) и берут отсчет по черной стороне (Зчерн);

– наводят зрительную трубу нивелира на переднюю рейку (точка B) и выполняют отсчеты сначала по черной стороне (Пчерн), а затем – по красной стороне (Пкр);

– наводят вновь зрительную трубу нивелира на заднюю рейку и снимают отсчет по красной стороне (Зкр);

– если между связующими точками A и B имеются промежуточные точки (c и D), то на них устанавливают последовательно заднюю рейку и берут отсчеты только по черной стороне (c черн и d черн).

Перед каждым отсчетом по рейке необходимо визирную ось зрительной трубы нивелира приводить в горизонтальное положение с помощью пузырька цилиндрического уровня или компенсатора;

– для контроля измерений вычисляют разности нулей передней и задней реек (Пкр – Пчерн) и (Зкр – Зчерн). Расхождение разностей нулей реек по абсолютной величине не должно превышать 5 мм;

– на каждой станции дважды вычисляют превышения по черным и красным сторонам реек: $h_{\text{черн}} = З_{\text{черн}} - П_{\text{черн}}$; $h_{\text{кр}} = З_{\text{кр}} - П_{\text{кр}}$. Расхождение между этими превышениями не должно быть более ± 5 мм;

– высоту передней точки (B) вычисляют через среднее превышение $h_{\text{ср}} = (h_{\text{черн.}} + h_{\text{кр}}) / 2$. по формуле $H_B = H_A + h_{\text{ср}}$;

– высоты промежуточных точек (c и D) вычисляют по формулам

$$H_{\Gamma} = H_A + З_{\text{черн}}, H_c = H_{\Gamma} - c, H_D = H_{\Gamma} - d. \quad (4.4.1)$$

Точность технического нивелирования на станции характеризуется предельной погрешностью ± 10 мм или ± 50 мм на 1 км нивелирного хода.

5. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

Теодолитная геодезическая съемка применяется для восстановления границ участков, участков со смежными землепользователями и т.д.; для определения границ, форм и размеров земельных участков; прокладки и строительства автомобильных и железных дорог и т. д.

Теодолитная съемка является горизонтальным видом съемки, при которой снимается ситуация местности без рельефа. В результате теодолитной съемки получают контурный план участка или узкой полосы местности с изображением на нем подробностей в условных топографических знаках. Геодезические работы, выполняемые на местности, называются полевыми, а обработка результатов в помещении – камеральными работами.

В соответствии с принципом перехода от общего к частному, теодолитная съемка выполняется в два этапа. На первом этапе, на участке местности создается съемочная сеть, состоящая из нескольких опорных точек, взаимное расположение которых определяют, возможно, точнее, а на втором этапе с этих точек опорной сети производится непосредственная съемка ситуации местности.

5.1. Проложение теодолитного хода

Распространенным способом создания опорной съемочной сети является проложение на местности теодолитных ходов. Теодолитный ход представляет собой систему линий, образующих либо сомкнутый, либо разомкнутый многоугольник (полигон). Углы такого многоугольника измеряют теодолитом, а длины сторон – лентой или оптическим дальномером. Непосредственной целью проложения теодолитного хода является определение планового положения системы опорных точек, необходимых для производства подробной съемки местности.

Перед теодолитной съемкой проводят подготовительные работы: изучают район по картографическим, аэрофотосъемочным и лесоустроительным материалам, составляют технический проект, выполняют рекогносцировку, прорубают просеки и визиры с расстановкой лесоустроительных и других знаков.

Проект проложения ходов составляют на топографической карте наиболее крупного масштаба, а при ее отсутствии – на фотосхеме или глазомерном чертеже местности. На них намечают положение вершин и линий ходов и геодезические пункты, к которым ходы будут привязаны. На лесоустроительных работах рекогносцировку ходов обычно совмещают с прорубкой новых или расчисткой старых границ, квартальных и визирных линий и установкой столбов; в других случаях съемки ее выполняют самостоятельно.

Маршрут обхода (объезда) участка выбирают так, чтобы можно было ознакомиться со всеми намеченными в проекте трассами ходов, установить сохранность и состояние геодезических пунктов, изучить в деталях характер и особенности расположения объектов, подлежащих съемке. Трассы ходов внутри лесного массива уточняют после прорубки квартальных и визирных линий. При необходимости их дополнительно расчищают для открытия видимости и обеспечения удобства измерения расстояний. Положение вершин ходов уточняют в процессе установки знаков, которыми их закрепляют. Вершины хода должны быть удобными для установки теодолита и съемки окружающей местности, чтобы с них были видны соседние точки.

Результаты рекогносцировки фиксируют на карте (схеме) и в записной книжке, где показывают уточненное положение вершин ходов с их номерами; примерную величину и способы измерения углов; приближенную длину сторон ходов с пометкой участков, расположенных на склонах крутизной более $1,5^\circ$; стороны, подлежащие измерению косвенным способом, и базисы разбиваемые для измерения этих сторон; способы съёмки ситуации.

Измерение горизонтальных углов. На узловых станциях и исходных пунктах углы измеряют способом круговых приемов, на остальных – способом приемов. Под станцией (как и при любой съемке) понимается точка местности, над которой прибор установлен в рабочее положение. Перед измерением горизонтального угла прибор центрируют и нивелируют с установленной для этого точностью. Вехи ставят вертикально, в створе сторон угла, т. е. точно сзади или впереди центра знака. Обычно измерения выполняют одним приемом. Перекрестие сетки нитей наводят по возможности на низ вехи. В первом полуприеме определяют магнитные азимуты сторон. Записи отсчетов и вычислений ведут в журнале установленной формы.

На каждой станции контролируют правильность измерений:

а) вычисляют разность магнитных азимутов сторон угла и сравнивают ее с полученной величиной угла;

б) сравнивают величины угла, полученные из полуприемов и приемов; при расхождениях более установленных допусков проверяют правильность вычислений и, если ошибок нет, угол перемеряют, но предварительно проверяют, устойчив ли штатив, точно ли отнивелирован теодолит, зажат ли винт, соединяющий измерительную часть прибора с подставкой, одинаковым ли способом выполнялось наведение трубы на объект.

Работу на станции заканчивают съемкой ситуации способом полярных координат. После окончания измерения всех углов в полигоне подсчитывают угловую невязку, которая не должна превышать $\pm 1' n$, где n – число углов в ходе.

Измерение сторон хода выполняют в прямом и обратном направлениях землемерными лентами, стальными рулетками и другими приборами, обеспечивающими требуемую точность измерений. Относительная погрешность расстояния, измеренного в прямом ($S_{пр}$) и обратном ($S_{обр}$) направлениях, вычисляется по формуле

$$\frac{1}{N} = \frac{2(S_{np} - S_{обр})}{S_{np} - S_{обр}}, \quad (5.1.1)$$

Если невозможно измерить стороны теодолитного хода, например при переходе через реку, широкий овраг и т. п., длину этой стороны рассматривают как неприступное расстояние. Результаты угловых и линейных измерений заносят в журнал установленной формы. По результатам полевых измерений определяют координаты точек теодолитного хода решением прямой геодезической задачи по каждой линии хода.

Необходимые для этого углы ориентирования получают путем вычислений на основании геометрической зависимости между ними и углами, образуемыми сторонами теодолитного хода.

Привязка теодолитного хода к исходным геодезическим пунктам. Для ориентирования хода и определения координат его вершин в системе государственной геодезической сети дополнительно измеряют некоторые углы и расстояния (рисунок 5.1.1). При включении геодезического пункта В (рисунок 5.1.1, а) в теодолитный ход на нем, кроме внутреннего угла β полигона, измеряют примычный угол β_0 , составленный направлением на другой геодезический пункт А и начальной стороной хода В-1. Для привязки хода 1, 2, ..., п к удаленному от него пункту В (рисунок 5.1.1, б) прокладывают привязочный ход В-1; на исходном пункте В в нем измеряют примычный угол β_0 , на вершинах I, II, ..., 1 - углы $\beta_I, \beta_{II}, \dots, \beta'_1$, а также длину сторон В-1, I-II, II-1.

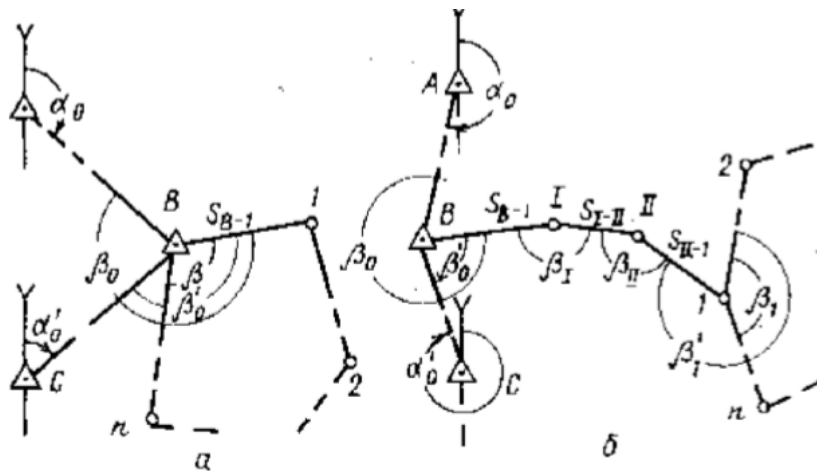


Рисунок 5.1.1 – Привязка теодолитных ходов к геодезическим пунктам (пример): а – включением пункта B в ход 1, 2, ..., n , B ; б – проложением привязочного хода $B...I$; A , c – ориентирные пункты.

Для контроля на исходном пункте B обычно измеряют не один, а два примычных угла; полученный угол ABc не должен расходиться с его точным значением, вычисленным по дирекционным углам α_0 и α'_0 более чем на 1'. свободный теодолитный ход чаще всего ориентируют по магнитной стрелке буссоли.

5.2. Съёмка местности

Основой для выполнения теодолитной съёмки участка местности обычно является сомкнутый теодолитный полигон, прокладываемый вблизи границ участка. Внутри сомкнутого полигона прокладывают один или несколько диагональных ходов для контроля измерений сомкнутого полигона и съёмки подробностей местности. В последнем случае диагональный ход называется съёмочным. Из элементов рельефа обычно снимают овраги, промоины, обрывы, ямы, насыпи, курганы. Их высоту (глубину) указывают относительно окружающей местности.

Работу на точке (стороне хода) начинают с детального изучения примыкающего к ней участка. Его мысленно разделяют на составные элементы. Выявляют расположение искусственных сооружений (каналов, дорог, плотин и др.), их назначение, взаимосвязь с естественными элементами местности. Затем намечают последовательность измерений на данной станции и соседних с ней. Такой порядок работы позволяет избежать пропусков при съёмке главных объектов и излишних затрат времени и труда на съёмку второстепенных, не показываемых на плане.

В процессе изучения участка составляют его абрис, который ведут в пикетажном журнале, а при наличии аэрофотоснимков – фотоабрис. На каждой странице журнала (аэрофотоснимке) указывают номер квартала и положение в

нем линий и точек, с которых ведут съемку. Обычно на странице журнала помещают чертеж участка, снятого с одной станции или линии. Однако при несложной ситуации, снимаемой способом обхода контура, на странице помещают все точки (линии) хода и снятые с них объекты. Такой чертеж приближенно ориентируют по сторонам горизонта, располагая север вверху страницы.

составление абриса (фотоабриса) завершается определением на местности и показом на чертеже точек, положение которых находят при измерениях. Их число должно быть достаточным, чтобы без искажений изобразить границу объекта, но не слишком большим, не нужным для повышения точности и замедляющим полевые и камеральные работы. Наметив план, приступают к выполнению измерений. Результаты указывают около соответствующих точек и линий абриса или в отдельной таблице.

съемку с ходовых линий выполняют способами перпендикуляров, линейных засечек и створов. съемкой с ходовой линии стремятся охватить по возможности широкую полосу примыкающей местности. Чтобы определить положение объектов, находящихся в стороне от ходовой линии, кроме способа перпендикуляров, применяют промеры по створам и визирным линиям, а также обмеры контуров и строений.

Съемку с точек съемочного обоснования выполняют полярным способом и угловыми засечками. Углы измеряют по ориентированному лимбу одним полуприемом, снимая отсчеты с горизонтального круга. Расстояние до снимаемых точек определяют нитяным дальномером.

В холмистых и горных районах для приведения к горизонту линий с углом наклона 4° и более измеряют вертикальные углы одним полуприемом при наведении средней горизонтальной нити на отсчет по рейке, равный высоте теодолита.

Участки местности внутри лесного массива, которые невозможно снять с точек и линий основного теодолитного хода, снимают рассмотренными выше способами со съемочных ходов, опирающихся на теодолитные ходы. съемочные ходы прокладывают по дорогам, квартальным и визирным линиям, вблизи

контуров полей, лугов, вырубков и других элементов внутренней ситуации. Измерения в таких ходах допустимо вести с пониженной точностью по сравнению с теодолитными ходами. На съемочных ходах, используемых в качестве ходовых линий при межевании, расставляют пикетные колья.

Для контроля съемки ситуации часть наиболее важных объектов местности снимают разными способами, например способом перпендикуляров и полярным способом.

После съемки местности, выполняют камеральные вычислительные и графические работы, конечным итогом которых является изготовление оригинала контурного плана местности.

5.3. Камеральная обработка результатов измерений теодолитного хода

сомкнутый теодолитный ход.

Как известно из геометрии, теоретическая сумма $\Sigma \beta_{теор}$ внутренних углов многоугольника равна

$$\Sigma \beta_{теор} = 180^\circ(n - 2), \quad (5.3.1)$$

где n – число сторон многоугольника.

Вследствие неизбежных ошибок измерений сумма $\Sigma \beta_{изм}$ измеренных углов многоугольника, как правило, отличается от теоретической суммы на величину угловой невязки f_β

$$f_\beta = \Sigma \beta_{изм} - \Sigma \beta_{теор} \quad (5.3.2)$$

Если угловая невязка f_β не превосходит предельной ошибки $f_{пред}$ в сумме углов, то невязку f_β распределяют с обратным знаком между всеми измеренными углами.

При этом в углы с короткими сторонами вводят несколько большие поправки, так как эти углы измеряются менее точно, чем углы с длинными сторонами. сумма угловых поправок должна равняться угловой невязке с обратным знаком.

Распределение угловой невязки называется увязкой углов. После увязки углов вычисляют дирекционные углы сторон полигона. Если измерялись правые по ходу углы:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^\circ - \beta_{пр} \text{ (правые углы)} \quad (5.3.3)$$

При измерении левых по ходу углов:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180^\circ + \beta_{лев} \text{ (левые углы)} \quad (5.3.4)$$

где α_i - дирекционный угол определяемой стороны;

α_{i-1} - дирекционный угол предыдущей стороны;

$\beta_{пр(лев)}$ - правый (левый) исправленный угол между этими сторонами.

Если при вычислениях значение дирекционного угла окажется большим 360° , то его надо уменьшить на 360° . Контролем вычисления дирекционных углов сторон сомкнутого полигона является вторичное получение дирекционного угла исходной стороны.

Разомкнутый ход.

Теоретическая сумма $\Sigma \beta_{теор}$ углов поворота разомкнутого хода вычисляется по формуле

$$\Sigma \beta_{теор} = \alpha_0 - \alpha_k + 180^\circ(n + 1) \quad (5.3.5)$$

Полученную невязку угловых измерений f_β хода сравнивают с предельной допустимой $f_{пр}$. При этом, если $f_\beta > f_{пр}$, то угловые измерения повторяют заново. Если $f_\beta \leq f_{пр}$, то производят уравнивание угловых измерений. После увязки углов теодолитного хода вычисляют дирекционные углы сторон хода. В результате вычислений должно быть вторично получено заданное значение дирекционного угла α_k конечной стороны хода.

По вычисленным дирекционным углам и горизонтальным проложениям сторон теодолитного хода можно составить план. Более точным является нанесение теодолитного хода на план по координатам поворотных пунктов.

5.4. Вычисление координат пунктов теодолитного хода

Вычисление прямоугольных координат пунктов теодолитного хода основано на решении прямой геодезической задачи. По прямоугольным коор-

динатам пункта теодолитного хода с известными координатами, например x_A , y_A , дирекционному углу линии AB и горизонтальному проложению d_{AB} вычисляют координаты определяемого пункта теодолитного хода, например x_B , y_B .

$$x_B = x_A + d \cos \alpha \quad (5.4.1)$$

$$y_B = y_A + d \sin \alpha \quad (5.4.2)$$

При вычислении приращений координат с помощью инженерного калькулятора или электронных таблиц можно воспользоваться следующими контрольными формулами:

$$\Delta x = \Delta y \operatorname{ctg} \alpha \quad (5.4.3)$$

$$\Delta y = \Delta x \operatorname{tg} \alpha \quad (5.4.4)$$

Последовательно вычислив приращения координат по всему ходу, суммируют их по каждой оси и полученные суммы $\Sigma \Delta x_{\text{выч}}$ и $\Sigma \Delta y_{\text{выч}}$ сравнивают с теоретическими суммами приращений $\Sigma \Delta x_{\text{теор}}$ и $\Sigma \Delta y_{\text{теор}}$ получая невязки f_x и f_y в суммах приращений координат:

$$f_x = \Sigma \Delta x_{\text{выч}} - \Sigma \Delta x_{\text{теор}} \quad (5.4.5)$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_{\text{выч}} - \Sigma \Delta y_{\text{теор}} \quad (5.4.6)$$

Ввиду того, что приращения координат являются проекциями сторон хода на оси координат, то сумма этих проекций на каждую ось в сомкнутом полигоне равна нулю, т. е.

$$\Sigma \Delta x_{\text{теор}} = 0 \quad (5.4.7)$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{теор}} = 0 \quad (5.4.9)$$

следовательно, в сомкнутом полигоне

$$f_x = \Sigma \Delta x_{\text{выч}} \quad (5.4.10)$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_{\text{выч}} \quad (5.4.11)$$

Значения теоретических сумм $\Sigma \Delta x_{\text{теор}}$ и $\Sigma \Delta y_{\text{теор}}$ приращений координат в разомкнутом ходе между пунктами с известными координатами найдем следующим образом.

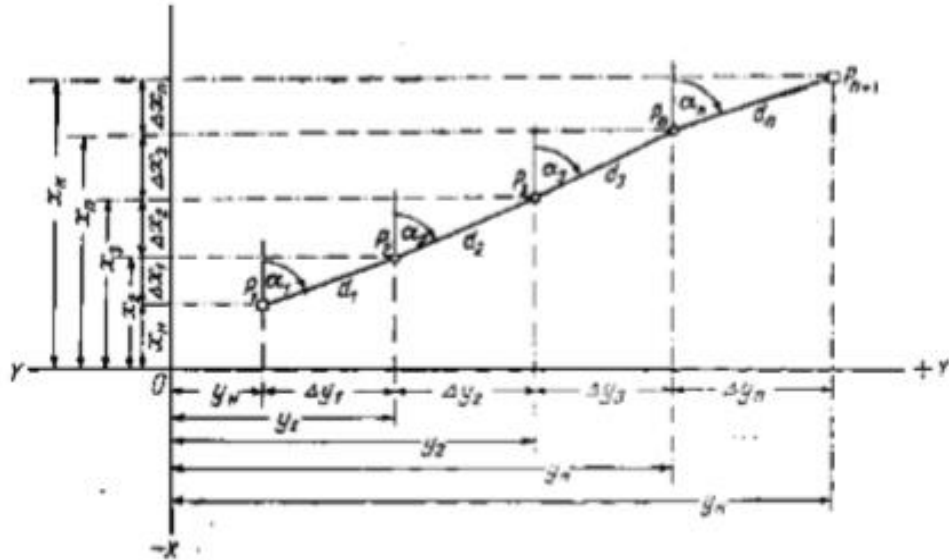


Рисунок 5.4.1 – Вычисление координат пунктов разомкнутого хода

Пусть дан ход $P_1P_2... P_{n+1}$ с вычисленными дирекционными углами $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ и горизонтальными проложениями d_1, d_2, \dots, d_n сторон (рисунок 5.4.1). Известны координаты x_n, y_n и x_k, y_k пунктов P_1 и P_{n+1} . Такие пункты называются твердыми. Вычислим по формулам последовательно координаты пунктов хода:

$$x_2 = x_n + \Delta x_1, \quad (5.4.12)$$

$$x_3 = x_n + \Delta x_1 + \Delta x_2, \quad (5.4.13)$$

$$x_k = x_n + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n, \quad (5.4.14)$$

откуда

$$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n = x_k - x_n, \quad (5.4.15)$$

или, приняв, что $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ безошибочны,

$$\Sigma \Delta x_{теор} = x_k - x_n \quad (5.4.16)$$

Подобным же образом получаем

$$\Sigma \Delta y_{теор} = y_k - y_n \quad (5.4.17)$$

следовательно, теоретическая сумма приращений координат в разомкнутом ходе равна разности соответствующих координат конечного и начального твердых пунктов. Подстановка этих значений $\Sigma \Delta x_{теор}$ и $\Sigma \Delta y_{теор}$ в известную формулу дает:

$$f_x = \Sigma \Delta x_{\text{выч}} - (x_k - x_n) \quad (5.4.18)$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_{\text{выч}} - (y_k - y_n) \quad (5.4.19)$$

Невязки в суммах приращений координат отражают влияние ошибок измерений при проложении хода, приводящее к тому, что сомкнутый полигон не замыкается, а конец разомкнутого хода не совпадает с конечным твердым пунктом.

При допустимости относительной невязки производят распределение невязок f_x и f_y в суммах приращений координат – увязывают приращения координат. Невязки распределяют с обратным знаком между всеми приращениями координат пропорционально длинам сторон хода. сумма поправок должна равняться соответствующей невязке с обратным знаком. По координатам начального пункта и исправленным приращениям координат последовательно вычисляют координаты всех пунктов хода.

В результате вычислений должны быть вторично получены координаты начального пункта в сомкнутом полигоне либо координаты твердого конечного пункта в разомкнутом ходе. Все вычисления, связанные с обработкой результатов измерений, выполненных при проложении теодолитного хода, производятся в специальной ведомости.

5.5. Составление плана участка местности по материалам теодолитной съемки

Результаты теодолитной съемки наносят на заблаговременно изготовленные планшеты с прямоугольной сеткой. Если такой планшет отсутствует, то на листе плотной бумаги с помощью координатографа, линейки Ф.В. Дробышева или другим методом строят прямоугольную сетку квадратов со сторонами 100 мм. Наиболее доступным способом построения сетки является проведение через поле листа двух диагоналей, от пересечения которых откладывают одинаковые отрезки. соединив концы отрезков, получают прямоугольник, на сторонах которого откладывают стороны квадратов, при этом квадраты должны

располагаться так, чтобы после их оцифровки изображение теодолитного хода и снимаемого участка было примерно в середине листа бумаги. По координатам наносят точки теодолитного хода, а затем (по данным абриса составляют план, используя условные знаки для планов данного масштаба.

Правильность накладки двух соседних точек проверяют по горизонтальному расстоянию между ними. Расхождение между расстояниями, измеренными на плане и на местности должно быть не больше 0,3 мм в масштабе плана.

Контурные и объекты наносят на план способами, соответствующими способам их съемки; используют геодезический транспортир с графиком поперечного масштаба, выверенный треугольник, циркуль-измеритель, а также карандаши средней твердости. Составленный в карандаше план проверяют в поле, где оценивают полноту и точность съемки. Пропущенные контуры доснимают.

Расхождения между расстояниями, взятыми с плана и полученными при контрольных промерах, не должны превышать 0,7 мм в масштабе плана. Далее проверенный в поле план вычерчивают тушью и оформляют по правилам, предусмотренным инструкциями по проведению землеустройства и топографическим съемкам.

6. ВЫСОТНЫЕ СЪЕМКИ

Высотные съёмки - это съёмки, при которых определяется высотные отметки точек земной поверхности. Высотная отметка точки является ее третьей координатой - помимо двух плановых, определяемых в системе географических или прямоугольных координат. На картах, как известно, даются абсолютные высоты точек, т.е. высоты относительно поверхности геоида (уровенной поверхности). Практически же высоты точек определяются относительно пунктов государственной геодезической сети, высоты которых определены в единой абсолютной системе высот.

Определение высоты точки сводится к измерению превышения между точкой с известной высотой и точкой, высоту которой требуется определить. Искомая абсолютная высота точки определяется как алгебраическая сумма высоты известной точки и найденного превышения.

Основным видом нивелирования является геометрическое, которое производится при помощи геодезических приборов – нивелиров. Геометрическое нивелирование по технологии и точности работ разделяется на I, II, III и IV классы и техническое нивелирование. Нивелирование I, II, III и IV классов составляет государственную нивелирную сеть, которая является высотной основой топографических съемок всех масштабов и геодезических измерений, проводимых для удовлетворения потребностей хозяйственной деятельности и обороны страны.

Нивелирная сеть I и II классов является главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории Украины. Она также предназначается для научных целей, связанных с изучением колебаний земной коры.

Нивелирные сети III и IV классов и технического нивелирования служат высотной основой топографических съемок и предназначаются для решения различных инженерных задач (планировка, застройка и благоустройство

населенных пунктов; проектирование и строительство дорог, оросительных и осушительных систем; водоснабжение, канализация и т. п.).

6.1. Геометрическое нивелирование

Рельеф местности - это совокупность неровностей поверхности земли; он является одной из важнейших характеристик местности. Знать рельеф - значит знать отметки всех точек местности. Отметка точки - это численное значение ее высоты над уровенной поверхностью, принятой за начало счета высот. Отметку любой точки местности можно определить по топографической карте, однако, точность такого определения будет невысокой.

Отметку точки на местности определяют по превышению этой точки относительно другой точки, отметка которой известна. Процесс измерения превышения одной точки относительно другой называется нивелированием. Начальной точкой счета высот в нашей стране является нуль Кронштадтского футштока (горизонтальная черта на медной пластине, прикрепленной к устою одного из мостов Кронштадта). От этого нуля идут ходы нивелирования, пункты которых имеют отметки в Балтийской системе высот. Затем от этих пунктов с известными отметками прокладывают новые нивелирные ходы и так далее, пока не получится довольно густая сеть, каждая точка которой имеет известную отметку. Эта сеть называется государственной сетью нивелирования; она покрывает всю территорию страны.

Отметки всех пунктов нивелирных сетей собраны в списки - "Каталоги высот". Эти списки непрерывно пополняются, издаются новые каталоги по новым нивелирным ходам. Для нахождения отметки любой точки местности в Балтийской системе высот нужно измерить ее превышение относительно какого-либо пункта, отметка которого известна и есть в каталоге. Иногда отметки точек определяют в условной системе высот, если поблизости нет пунктов государственной нивелирной сети. Вследствие того, что измерение

превышений выполняют различными приборами и разными способами, различают:

- геометрическое нивелирование (нивелирование горизонтальным лучом),
- тригонометрическое нивелирование (нивелирование наклонным лучом),
- барометрическое нивелирование,
- гидростатическое нивелирование и некоторые другие.

Геометрическое нивелирование или нивелирование горизонтальным лучом выполняют специальным геодезическим прибором - нивелиром; отличительная особенность нивелира состоит в том, что визирная линия трубы во время работы приводится в горизонтальное положение.

Различают два вида геометрического нивелирования: нивелирование из середины и нивелирование вперед.

При нивелировании из середины нивелир устанавливают посередине между точками *A* и *B*, а на точках *A* и *B* ставят рейки с делениями (рисунок 6.1.1). При движении от точки *A* к точке *B* рейка в точке *A* называется задней, рейка в точке *B* - передней. сначала наводят трубу на заднюю рейку и берут отсчет *a*, затем наводят трубу на переднюю рейку и берут отсчет *b*. Превышение точки *B* относительно точки *A* получают по формуле:

$$h = a - b \quad (6.1.1)$$

Если $a > b$, превышение положительное, если $a < b$ - отрицательное. Отметка точки *B* вычисляется по формуле:

$$H_b = H_a + h. \quad (6.1.2)$$

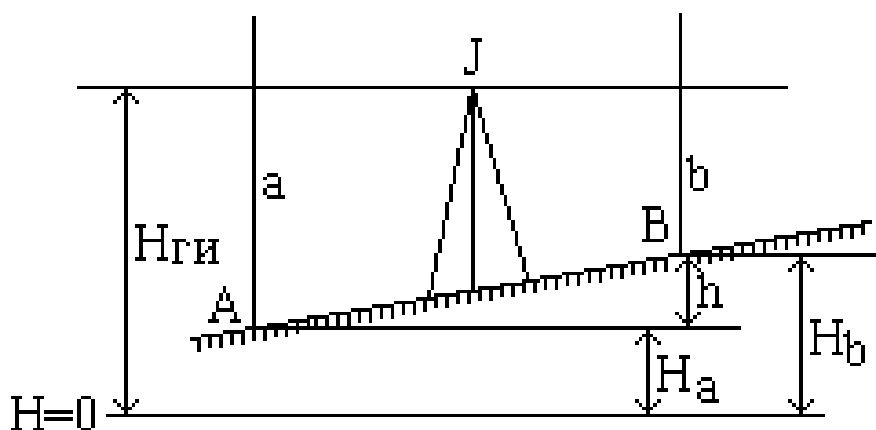


Рисунок 6.1.1 – Нивелирование из середины

Высота визирного луча над уровнем моря называется горизонтом прибора и обозначается H_F :

$$H_z = H_A + a = H_B + b \quad (6.1.3)$$

При нивелировании вперед нивелир устанавливают над точкой A так, чтобы окуляр трубы был на одной отвесной линии с точкой. На точку B ставят рейку. Измеряют высоту нивелира i над точкой A и берут отсчет b по рейке (рисунок 6.1.2).

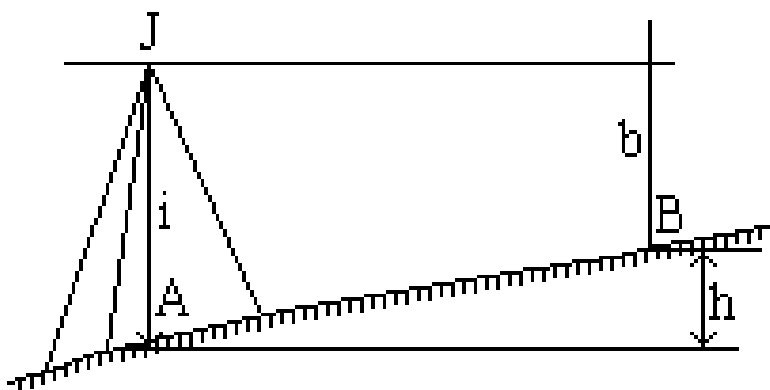


Рисунок 6.1.2 – Нивелирование вперед

Превышение h подсчитывают по формуле:

$$h = i - b \quad (6.1.4)$$

Отметку точки B можно вычислить через превышение по формуле (6.1.5) или через горизонт прибора:

$$H_B = H_z - b \quad (6.1.5)$$

Если точки A и B находятся на большом расстоянии одна от другой и превышение между ними нельзя измерить с одной установки нивелира, то на линии AB намечают промежуточные точки 1, 2, 3 и т.д. и измеряют превышение по частям (рисунок 6.1.3).

На первом участке $A-1$ берут отсчеты по задней рейке - a_1 и по передней - b_1 . Затем переносят нивелир в середину второго участка, а рейку с точки A переносят в точку 2; берут отсчеты по рейкам: по задней - a_2 и по передней - b_2 . Эти действия повторяют до конца линии AB . Точки, позволяющие связать горизонты прибора на соседних установках нивелира, называются связующи-

ми; на этих точках отсчеты берут два раза - сначала по передней рейке, а затем по задней.

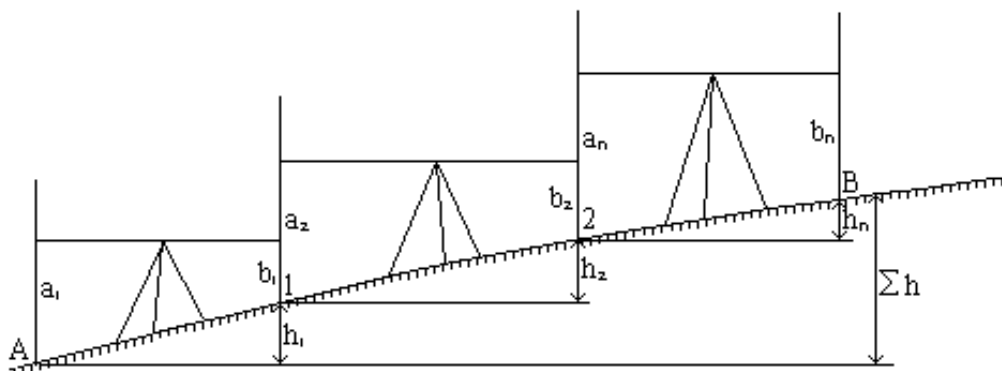


Рисунок 6.1.3 – Измерение превышений по частям

Превышение между точками *A* и *B* будет равно:

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (6.1.6)$$

Отметка точки *B* получится по формуле:

$$H_B = H_A + \sum h \quad (6.1.7)$$

При последовательном нивелировании получается нивелирный ход.

6.2. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическим нивелированием называют процесс измерения разностей высот точек местности (превышений) и определения их высот с помощью наклонного луча визирования угломерного геодезического прибора (теодолита). На рисунке 6.2.1 представлена схема тригонометрического нивелирования с целью определения превышений *h* между точками *A* и *B* местности.

Для определения превышения *h* в точке *A* устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение и измеряют высоту оси вращения зрительной трубы над точкой, называемую высотой прибора *i*. Если направить визирную ось трубы на некоторую точку *M* рейки, установленной в точке *B*, измерить

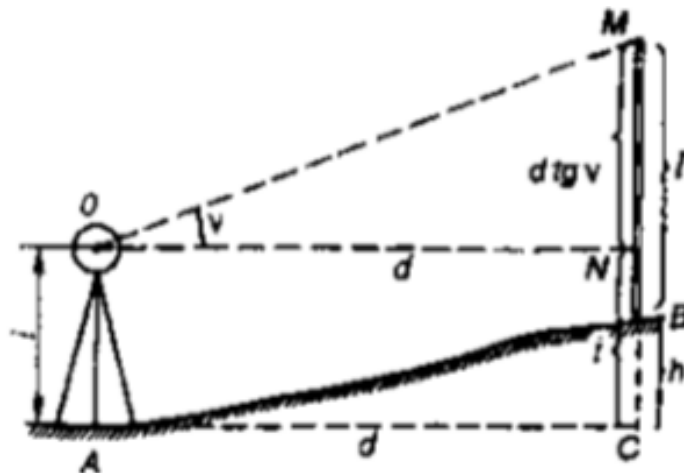
угол наклона v визирной оси к горизонту ON и горизонтальную проекцию расстояния d , то получим:

$$MN = d \operatorname{tg} v, \quad (6.2.1)$$

$$h + l = d \operatorname{tg} v + i, \quad (6.2.2)$$

искомое превышение получим

$$h = d \operatorname{tg} v + i - l. \quad (6.2.3)$$



Рисунке 6.2.1 – схема тригонометрического нивелирования

Формула позволяет определить превышение A по измеренному вертикальному углу v , если известна горизонтальная проекция расстояния d между нивелируемыми точками A и B .

Горизонтальную проекцию расстояния d через наклонное (дальномерное) расстояние S можно выразить как:

$$d = S \cos v. \quad (6.2.4)$$

С учетом последнего равенства искомое превышение рассчитывают

$$h = 1/2 S \sin 2v + i - l. \quad (6.2.5)$$

Часто при съемке рельефа трубу теодолита наводят на точку вехи или рейки, расположенную над поверхностью Земли на высоте, равной высоте инструмента. В этом случае вычисления значительно упрощаются

$$h = d \operatorname{tg} v \quad (6.2.6)$$

или

$$h = S \sin v \quad (6.2.7)$$

7. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Тахеометрическая съемка – комбинированная съемка, в процессе которой одновременно определяют плановое и высотное положение точек, что позволяет сразу получать топографический план местности. Тахеометрия в буквальном переводе означает быстрое измерение.

Положение точек определяют относительно пунктов съёмочного обоснования: плановое – полярным способом, высотное – тригонометрическим нивелированием. Длины полярных расстояний и густота пикетных (реечных) точек (максимальное расстояние между ними) регламентированы в инструкции по топографогеодезическим работам.

При производстве тахеометрической съемки используют геодезический прибор тахеометр, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий и превышений. Теодолит, имеющий вертикальный круг, устройство для измерения расстояний и буссоль для ориентирования лимба, относятся к теодолитам-тахеометрам.

Теодолитами-тахеометрами является большинство теодолитов технической точности, например Т30. Наиболее удобными для выполнения тахеометрической съемки являются тахеометры с номограммным определением превышений и горизонтальных проложений линий. В настоящее время широко используются электронные тахеометры

Тахеометрическая съемка выполняется с пунктов съёмочного обоснования, их называют станциями. Чаще всего в качестве съёмочного обоснования используют теодолитно-высотные ходы. Характерные точки ситуации и рельефа называют реечными точками или пикетами. Реечные точки на местности не закрепляют.

Для определения планового положения точек съёмочной сети измеряют горизонтальные углы и длины сторон. Высоты точек определяют тригонометрическим нивелированием. Углы наклона измеряют при двух положениях вер-

тикального круга в прямом и обратном направлениях. Расхождение в превышениях не допускается более 4 см на каждые 100 метров расстояния.

Работу на станции при тахеометрической съемке выполняют следующим образом.

Устанавливают теодолит в рабочее положение над точкой хода (центрируют и горизонтируют прибор), измеряют высоту прибора i , отмечают её на рейке и записывают в журнал.

При круге право «КП» наводят зрительную трубу на соседнюю (заднюю или переднюю) точку хода, в которой установлена рейка, и берут отсчет по вертикальному кругу. Далее переводят трубу через зенит и ориентируют лимб по стороне хода, т. е. по горизонтальному кругу устанавливают отсчет 0° , закрепляют алидаду и, вращая лимб, направляют зрительную трубу на рейку. Затем берут отсчет по вертикальному кругу при круге лево «КЛ» и вычисляют место нуля (МО) вертикального круга. Отсчеты и значение МО записывают в журнал.

После указанных действий приступают к съемке характерных точек ситуации и рельефа на станции.

На реечные точки устанавливают рейку. При круге лево «КЛ» и ориентированном лимбе, вращая алидаду, последовательно наводят зрительную трубу на реечные точки, делают отсчеты по дальномерным нитям, горизонтальному и вертикальному кругам и записывают их в журнале. Средний штрих сетки нитей зрительной трубы наводят на высоту прибора, отмеченную на рейке. Если высота прибора на рейке не видна из-за помех, то наводят средний штрих на определенное место на рейке (например: 2, 2,5 м или 3 м). Высоту визирования записывают в журнал.

После окончания съемки на станции зрительную трубу снова наводят на точку хода, по которой ориентировали теодолит, и берут отсчет по горизонтальному кругу. Расхождение между 0° и взятым отсчетом допускается не более $\pm 5'$.

Реечные точки должны равномерно покрывать территорию съемки. Расстояния от станции до реечных точек и расстояния между реечными

точками не должны превышать допусков, указанных в инструкции по тахеометрической съемке.

На каждой станции одновременно с заполнением журнала составляется абрис – схематический чертеж, на котором зарисованы положения речных точек с указанием их номеров, проведены контуры местности, указан скелет рельефа и подписаны уголья.

скелет рельефа изображают в виде линий, соединяющих точки, между которыми на местности ровный скат, т. е. нет перегибов. стрелками указывают направление ската. Четко выраженные формы рельефа показывают на абрисе горизонталями. Контурные ситуации и снимаемые объекты обозначают условными знаками или надписями. Обработка результатов тахеометрической съемки включает в себя следующие работы:

- вычисление координат и отметок пунктов тахеометрических ходов;
- вычисление отметок речных точек;
- построение плана тахеометрической съемки.

8. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы по дисциплине «Геодезия» выполняется студентами очного, заочного и заочного с применением дистанционных образовательных технологий обучения, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 – Землеустройство и кадастры, 35.03.01 – Лесное дело, 35.03.10 – Ландшафтная архитектура.

Изучив методы и средства ведения инженерно- геодезических и изыскательских работ, системы координат, классификацию и основы построения опорных геодезических сетей, сведения из теории погрешностей геодезических измерений, геоинформационные и кадастровые информационные системы, способы определения площадей и перенесения проектов в натуру, приемы и методы обработки геодезической информации для целей землеустройства, кадастра недвижимости, мониторинга земель и градостроительной деятельности студенты в ходе выполнения лабораторных работ закрепляют полученные навыки по производству геодезических изысканий

Работы оформляются по общепринятым правилам и должны включать в себя:

- титульный лист;
- оглавление;
- наименование, исходные данные и решение лабораторных работ;
- список использованных источников.

Работа обязательно подписывается студентом.

В методических указаниях приводятся 30 контрольных вопросов. Номер вопроса должен соответствовать последней цифре номера зачетной книжки студента или выдаваться преподавателем.

Варианты для лабораторных работ приводятся ниже в описании работ.

Лабораторная работа № 1 РАБОТА С КАРТОЙ

Цель работы: - научиться пользоваться планом (картой) для решения различных прикладных задач, определять координаты точек и измерять ориентирующие углы, а также строить профили линий по горизонталям.

Материалы, приборы и принадлежности – карта масштаба 1:50 000, чертежные инструменты, транспортир.

Задание:

1. Определить географические координаты (φ, λ) двух заданных точек.
2. Определить прямоугольные координаты (x, y) двух точек.
3. Измерить дирекционный угол (α) заданного направления по карте.
4. Определить истинный и магнитный азимуты ($A_{и}, A_{м}$) заданного направления.
5. Построить профиль линии по отметкам горизонталей.

Основные понятия и формулы

Определение координат точек по карте

При решении различных инженерно-технических задач по карте часто возникает необходимость определения географических (геодезических) и прямоугольных координат точек или нанесения точек по известным координатам на карту. Для решения этих вопросов используется градусная и километровая сетка карты.

Определение географических координат. Чтобы определить географические координаты заданной точки, надо провести через эту точку линии, параллельные рамке карты, до пересечения с ней, подсчитать число минут и секунд по широте и долготе от юго-западного угла рамки и прибавить эти величины к географическим координатам юго-западного угла рамки (рисунок 8.1).

Например: $\varphi_A = 52^\circ 50' 00'' + 00^\circ 02' 40'' = 52^\circ 52' 40''$; $\lambda_A = 11^\circ 15' 00'' + 00^\circ 02' 15'' = 11^\circ 17' 15''$

Определение прямоугольных координат. Чтобы определить прямоугольные координаты заданной точки в метрах, надо измерить расстояния в м от этой точки до южной (по оси абсцисс) и западной (по оси ординат) координатных линий, ограничивающих километровый квадрат, в котором располагается данная точка, и сложить эти величины с координатами юго-западного угла километрового квадрата (рисунок 8.1).

Например: $X_A = 5\,862\,000 + 410 = 5\,862\,410\text{ м}$; $Y_A = 2\,654\,000 + 650 = 2\,654\,650\text{ м}$

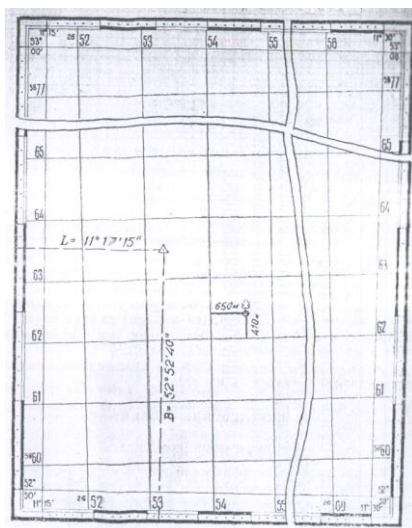


Рисунок 8.1 - Определение географических и прямоугольных координат

Определение углов ориентирования

Направления на местности могут быть заданы (или определены) истинным (географическим) азимутом A , магнитным азимутом A_m , или дирекционным углом α .

Истинным азимутом называется угол, образованный северным направлением истинного (географического) меридиана и заданным направлением.

Магнитным азимутом называется угол, образованный северным направлением магнитной стрелки буссоли и заданным направлением.

Дирекционным углом называется угол, образованный северным направлением координатной сетки (осью абсцисс) и заданным направлением.

Отсчет азимутов и дирекционных углов ведется по часовой стрелке от меридиана (координатной сетки) до заданного направления от 0 до 360°.

В общем случае географический и магнитный меридианы и ось абсцисс координатной сетки, проведенные через данную точку местности, не совпадают, а образуют углы.

Угол, образованный истинным и магнитным меридианами, называется **магнитным склонением δ** .

Угол, образованный истинным меридианом и осью абсцисс координатной сетки, называется **сближением меридианов γ** .

В зависимости от того, к западу или к востоку от истинного меридиана отклоняются магнитный меридиан или ось абсцисс координатной сетки, сближение меридианов и магнитное склонение могут быть западными или восточными соответственно, со знаками «+» или «—».

Для измерения дирекционного угла по карте центр транспортира совмещается с точкой пересечения заданного направления AB (рисунок 8.2) с координатной сеткой. Ноль транспортира совмещается с северным направлением координатной сетки. Дирекционный угол отсчитывается по шкале транспортира там, где шкалу пересекает заданное направление.

Зависимость между A , A_m и α определяется формулами:

$$A = A_m + (\pm\delta); \quad A = \alpha + (\pm\gamma);$$

$$\alpha = A_m + (\pm\delta) - (\pm\gamma);$$

$$A_m = \alpha + (\pm\gamma) - (\pm\delta);$$

Например: По карте измерен дирекционный угол направления $\alpha = 245^\circ 30'$; магнитное склонение восточное $\delta = + 5^\circ 12'$; сближение меридианов западное $\gamma = - 1^\circ 32'$. Определить истинный азимут A и магнитный азимут A_m этого направления.

$$A = \alpha + (\pm\gamma) = 245^{\circ}30' + (-1^{\circ}32') = 243^{\circ}58';$$

$$A_{\text{м}} = \alpha + (\pm\gamma) - (\pm\delta) = 245^{\circ}30' + (-1^{\circ}32') - (+5^{\circ}12') = 238^{\circ}46', \text{ или}$$

$$A_{\text{м}} = A - (\pm\delta) = 243^{\circ}58' - (+5^{\circ}12') = 238^{\circ}46'.$$

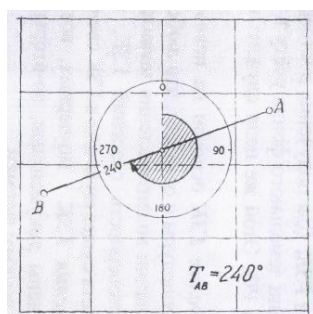


Рисунок 8.2 - Принцип измерения дирекционного угла линии

Варианты заданий

Таблица 8.1

Номер варианта	Дирекционный угол α	Магнитное склонение δ	сближение меридианов γ	истинный азимут A	магнитный азимут $A_{\text{м}}$
1	$145^{\circ}30'$	$-0^{\circ}45'$	$+0^{\circ}40'$		
2	$278^{\circ}25'$	$+0^{\circ}45'$	$-0^{\circ}40'$		
3	$30^{\circ}58'$	$-1^{\circ}28'$	$+0^{\circ}23'$		
4	$75^{\circ}10'$	$+1^{\circ}28'$	$-0^{\circ}23'$		
5	$56^{\circ}20'$	$-4^{\circ}32'$	$+2^{\circ}26'$		
6	$30^{\circ}45'$	$+4^{\circ}32'$	$-2^{\circ}26'$		
7	$176^{\circ}14'$	$-0^{\circ}45'$	$-0^{\circ}40'$		

Построение профиля по отметкам горизонталей

Профилем называется чертеж, изображающий разрез местности вертикальной плоскостью.

Профиль строится в двух разных масштабах. Обычно горизонтальный масштаб принимается равным масштабу карты, а вертикальный в десять или двадцать раз крупнее, т. е. соотношение между вертикальным и горизонтальным масштабами должно быть равно 1:10 или 1:20.

На листе миллиметровки проводят линию, по которой откладывают отрезок линии, взятой на карте между начальной и конечной точками профиля (точки A и B , рисунок 8.3). Между этими точками циркулем или с помощью бумажной полоски откладывают точки пересечения линии AB с

горизонталями, а также характерными точками рельефа: впадинами, вершинами, седловинами, водоразделами, водосливами. Ниже линии размещают графы с номерами и отметками точек. Отметки горизонтали выписывают с карты, а отметки характерных точек между горизонталями определяют интерполированием.

Из точек восстанавливают перпендикуляры (или пользуются миллиметровкой) и откладывают в масштабе отметки точек. При этом отметки откладывают не от нуля, а от так называемой линии условного горизонта, отметка которого берется на 10 м меньше самой минимальной отметки точек и округляется до 10 м.

Например, $H_{min} = 125,50$ м. Тогда $H_{УГ} = 110$ м. Полученные точки соединяют плавной линией.

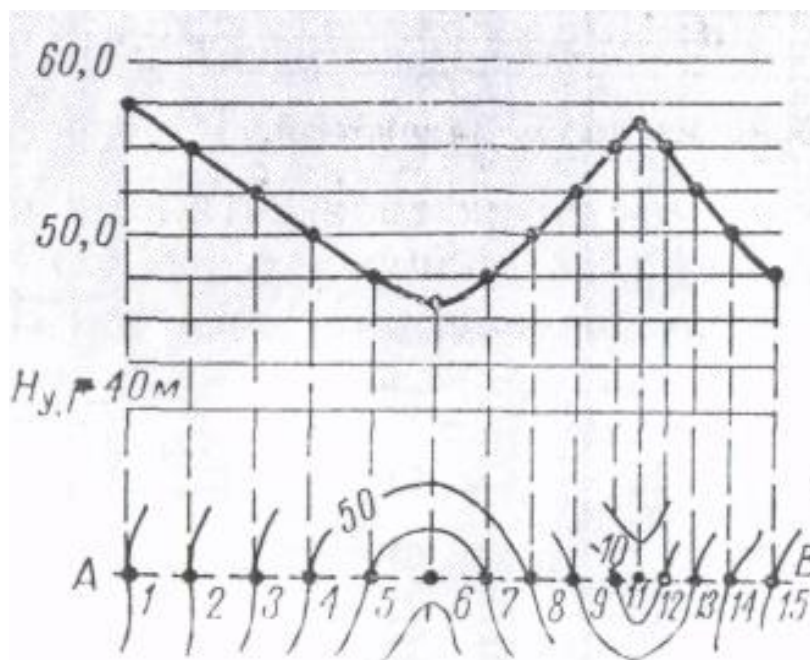


Рисунок 8.3 - Принцип построения профиля по горизонталям

Лабораторная работа № 2 МАСШТАБЫ

Цель работы: - ознакомиться с различными видами масштабов, научиться пользоваться ими, вычислять и строить их.

Материалы, приборы и принадлежности – карта масштаба 1:50 000, чертежные инструменты.

Задание:

1. Определить численный масштаб по длинам соответствующих отрезков на плане (карте) и на местности по исходным данным (таблица 8.2).
2. Построить линейный масштаб, когда дан соответствующий численный масштаб (таблица 8.3).
3. Построить поперечный масштаб на основе известного численного масштаба.
4. На поперечном масштабе отложить заданные отрезки на основе известного численного масштаба (таблица 8.4).

Основные понятия и формулы

Масштабом топографического плана (карты) называется степень уменьшения длин линий на плане (карте) относительно горизонтальных проекций (проложений) соответствующих им линий на местности.

$$\frac{1}{M} = \frac{d_n}{d_m} = \frac{1}{d_m : d_n};$$

где М – знаменатель масштаба плана (карты);

d_n – длина линии на плане (карте);

d_m – длина горизонтальной проекции соответствующей линии на местности.

Масштаб, выраженный дробью, называется **численным**.

У дроби числитель равен единице, а знаменатель показывает, во сколько раз уменьшены проекции линий местности при нанесении их на план (карту).

Линейный масштаб представляет графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии, на которой отложены равные отрезки, называемые каждый в отдельности основанием масштаба и соответствующие определенной длине линии местности (рисунок 8.4).

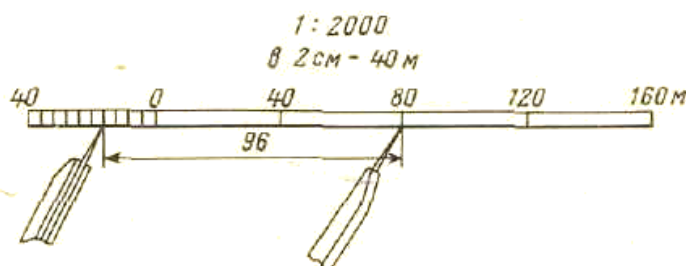


Рисунок 8.4 - Линейный масштаб

Поперечный масштаб – номограмма, позволяющая определять и откладывать расстояния с большей точностью, чем по линейному масштабу.

Поперечный масштаб гравировают на металлических пластинках и употребляют при построении планов и карт. Его создают путем прочерчивания на одинаковом расстоянии друг от друга одиннадцати параллельных линий. Перпендикулярно этим линиям прочерчивают линии основания масштаба, обычно через 2 см. Крайний левый отрезок делят на десять одинаковых частей, после чего соединяют нулевое нижнее деление с первым верхним, первое нижнее со вторым верхним и т.д. (рисунок 8.5).

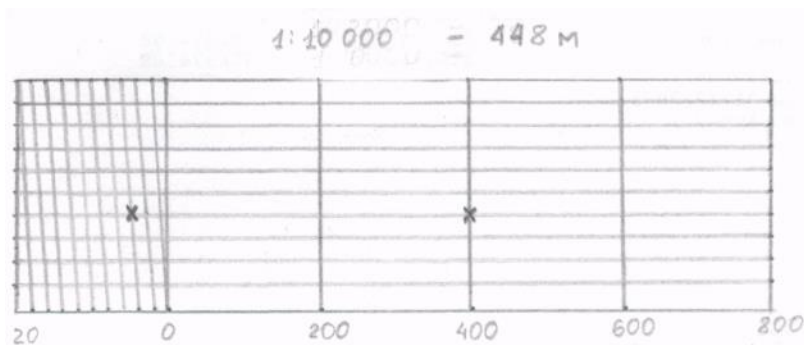


Рисунок 8.5 - Поперечный масштаб

Основание линейного или поперечного масштабов находится из пропорции:

$$2 : l_n = M_c : M$$

Откуда

$$l_n = 2 M / M_c,$$

где l_n - основание поперечного масштаба, см;

M_c – знаменатель масштаба снимка, старого плана (карты).

Варианты заданий

1. Определение численного масштаба по длинам соответствующих отрезков на плане (карте) и на местности.

Таблица 8.2

№ вариантов	Длины линий		№ вариантов	Длины линий	
	$d_n, \text{см}$	$d_m, \text{м}$		$d_n, \text{см}$	$d_m, \text{м}$
1	2,60	13	16	4,25	85
2	2,40	24	17	2,85	5700
3	3,55	71	18	3,80	950
4	4,42	221	19	2,08	10400
5	5,22	522	20	5,54	277
6	4,54	1135	21	3,12	6240
7	2,84	1420	22	2,24	560
8	2,92	2920	23	5,80	29
9	1,98	3960	24	6,92	346
10	2,72	13600	25	1,95	1950
11	1,86	1860	26	3,70	37
12	3,10	31	27	3,62	1810
13	3,80	19	28	4,05	405
14	4,62	462	29	3,65	73
15	3,14	1570	30	1,29	6450

2. Для построения линейного масштаба численный масштаб принимается равным найденному в пункте 1.

3. Построение поперечного масштаба

Таблица 8.3

№ вариант ов	Численный масштаб	№ вариан тов	Численный масштаб	№ вариантов	Численный масштаб
1.	1:1 000	11.	1:200 000	21.	1:50 000
2.	1:500	12.	1:500 000	22.	1:100 000
3.	1:200	13.	1:100	23.	1:200 000
4.	1:100	14.	1:200	24.	1:500 000
5.	1:2 000	15.	1:500	25.	1:10 000
6.	1:10 000	16.	1:1 000	26.	1:1 000
7.	1:50 000	17.	1:2 000	27.	1:500
8.	1:5 000	18.	1:5 000	28.	1:200
9.	1:25 000	19.	1:10 000	29.	1:100
10.	1:100 000	20.	1:25 000	30.	1:2 000

4. На поперечном масштабе отложить отрезки на основе численного масштаба

Таблица 8.4

№ вариантов	Численный масштаб	Длины от-резков	№ вариантов	Численный масштаб	Длины от-резков
1.	1:100	1,20	16.	1:100	7,20
	1:500	5,20		1:500	31,20
	1:2 000	20,20		1:2 000	141,40
2.	1:200	2,40	17.	1:200	14,40
	1:1 000	10,20		1:1 000	61,20
	1:5 000	25,20		1:5 000	151,20
3.	1:1 000	71,40	18.	1:1 000	51,00
	1:2 000	20,20		1:2 000	121,20
	1:5 000	151,20		1:5 000	126,00
4.	1:100	2,40	19.	1:100	2,40
	1:500	10,40		1:500	36,40
	1:2 000	40,60		1:2 000	40,60
5.	1:200	4,80	20.	1:200	2,40
	1:1 000	20,40		1:1 000	71,40
	1:5 000	50,40		1:5 000	176,40
6.	1:1 000	51,00	21.	1:1 000	40,80
	1:2 000	141,40		1:2 000	81,00
	1:5 000	100,80		1:5 000	100,80
7.	1:100	3,60	22.	1:100	4,80
	1:500	15,60		1:500	10,40
	1:2 000	60,80		1:2 000	81,00
8.	1:200	7,20	23.	1:200	7,20
	1:1 000	30,60		1:1 000	30,60
	1:5 000	75,60		1:5 000	50,40
9.	1:1 000	30,60	24.	1:1 000	30,60
	1:2 000	81,00		1:2 000	60,80
	1:5 000	50,40		1:5 000	75,60
10.	1:100	4,80	25.	1:100	7,20
	1:500	20,80		1:500	20,80
	1:2 000	81,00		1:2 000	141,40
11.	1:200	9,60	26.	1:200	12,00
	1:1 000	40,80		1:1 000	51,00
	1:5 000	100,80		1:5 000	100,80
12.	1:1 000	71,40	27.	1:1 000	20,40
	1:2 000	40,60		1:2 000	40,60
	1:5 000	176,40		1:5 000	50,40
13.	1:100	6,00	28.	1:100	4,80
	1:500	26,00		1:500	31,20
	1:2 000	121,20		1:2 000	20,20
14.	1:200	12,00	29.	1:200	14,40
	1:1 000	51,00		1:1 000	71,40
	1:5 000	126,00		1:5 000	151,20
15.	1:1 000	61,20	30.	1:1 000	10,20
	1:2 000	141,40		1:2 000	20,20
	1:5 000	151,20		1:5 000	25,20

Лабораторная работа № 3 УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТА 2Т30

Цель работы – ознакомиться с назначением и техническими характеристиками теодолита, изучить устройство основных частей прибора.

Материалы, приборы и принадлежности – штатив, отвес, теодолит, чертежные инструменты.

Задание:

1. Изучить устройство теодолита.
2. Установить прибор в рабочее положение.
3. Произвести визирование на точку.
4. Взять отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита, полученные отсчеты показать на зарисованных отсчетных устройствах теодолитов Т30 и 2Т30.

Основные понятия

Теодолит - прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов (рис. 6).

Классификация теодолитов. Теодолиты различаются по точности и по виду отсчетных устройств.

В зависимости от точности измерения горизонтальных углов теодолиты разделяются на 3 типа:

- **Высокоточные** – для измерения углов одним приемом со среднеквадратической ошибкой не более $\pm 2''$.
- **Точные** – для измерения углов для измерения углов одним приемом со среднеквадратической ошибкой не более $\pm 5''$.
- **Технические** – для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах и съемочных сетях одним приемом со среднеквадратической ошибкой не более $\pm 15 \div 30''$.

Примечание: В условных обозначениях теодолитов цифра означает среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла одним приемом в секундах (для Т 30 и 2Т30 = 30").

По виду отсчетных устройств различают:

- Верньерные.
- Оптические.

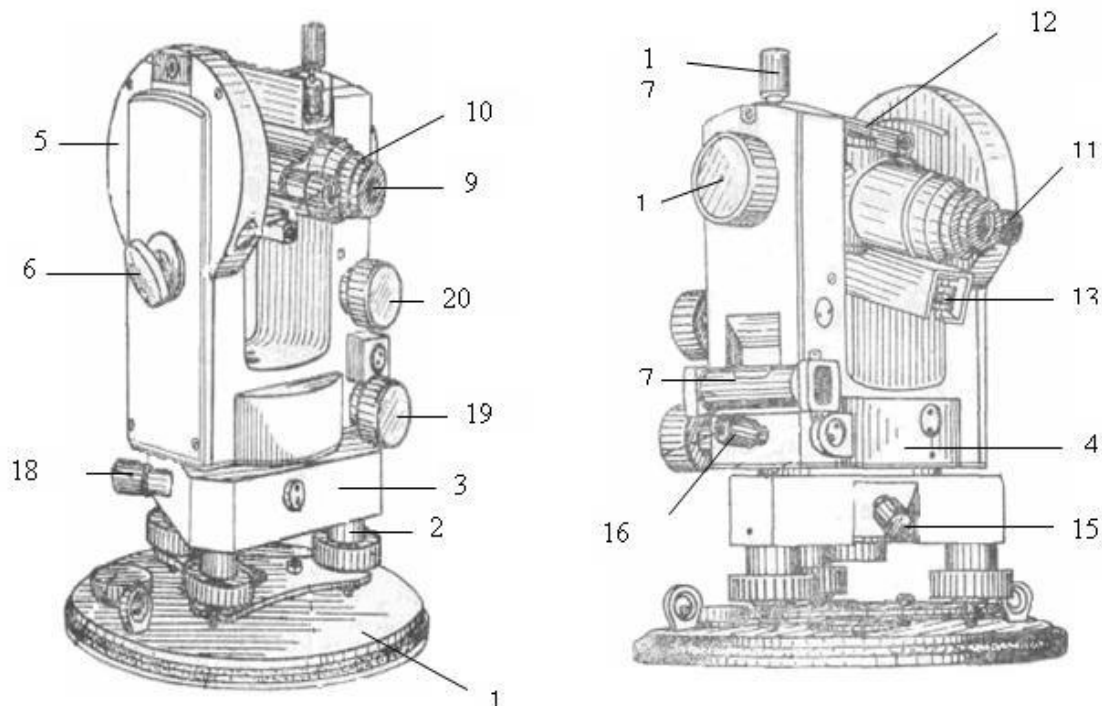


Рисунок 8.6 - Устройство теодолита 2Т30

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. основание; | 11. окуляр микроскопа; |
| 2. 3 подъемных винта; | 12. визир; |
| 3. подставка; | 13. уровень при трубе; |
| 4. горизонтальный круг: лимб и алидада; | 14. кремальера; |
| 5. вертикальный круг: лимб и алидада; | 15. закрепительный винт лимба; |
| 6. зеркало подсветки; | 16. закрепительный винт алидады; |
| 7. уровень при алидаде горизонтального круга; | 17. закрепительный винт трубы; |
| 8. объектив; | 18. наводящий винт лимба; |
| 9. окуляр; | 19. наводящий винт алидады; |
| 10. диоптрийное кольцо окуляра; | 20. наводящий винт трубы. |

Отсчетные устройства в виде верньеров использовались в теодолитах с металлическими кругами (ТТ-5 и др.).

Оптические теодолиты – это теодолиты со стеклянными угломерными кругами и оптическими устройствами: в них с помощью оптической системы

изображения горизонтального и вертикального кругов передаются в поле зрения специального микроскопа.

В комплект теодолита также входит штатив (рисунок 8.7) со станковым винтом и отвесом.

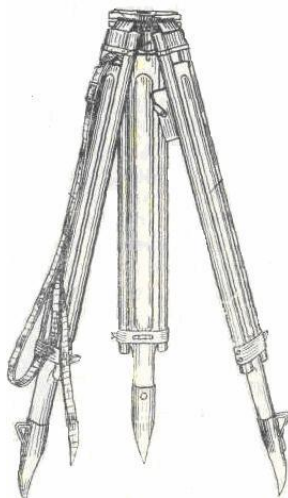
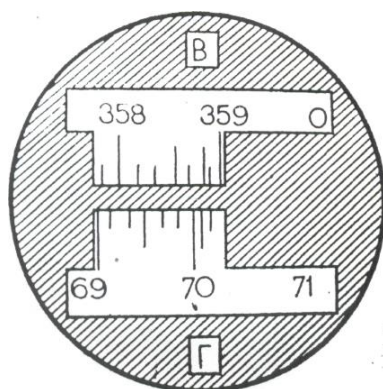


Рисунок 8.7 - Штатив

Отсчетные устройства теодолитов

Т 30
штриховой микроскоп



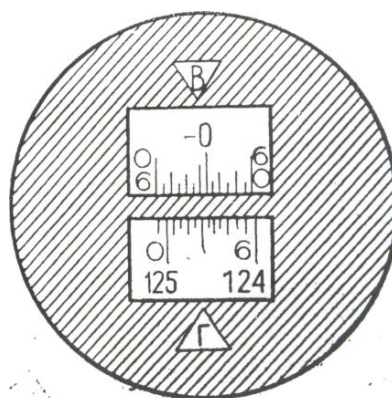
Цена деления = 10'

Точность взятия отсчетов - 1'

Отсчеты:

- по вертикальному кругу - 358° 48'
- по горизонтальному кругу - 70° 05'

2 Т 30
шкаловый микроскоп



Цена деления = 5'

Точность взятия отсчетов - 0,5'

Отсчеты:

- по вертикальному кругу - 0° 25'
- по горизонтальному кругу - 125° 05'

Рисунок 8.8 - Отсчетные устройства Т30, 2Т30
Установка теодолита в рабочее положение

Перед началом измерений теодолит устанавливается над точкой в рабочее положение, т.е. производится центрирование над точкой, горизонтирование и установку зрительной трубы для наблюдений.

Центрирование – центр лимба горизонтального круга совмещаются с отвесной линией, проходящей через точку стояния прибора. Центрирование может быть выполнено с помощью нитяного отвеса либо оптического центрира: штатив устанавливается так, чтобы отвес оказался приблизительно над точкой, а головка штатива была примерно горизонтальна. Затем, ослабив становой винт, теодолит перемещают по головке штатива до положения, когда острие отвеса будет находиться над точкой, после этого становой винт закрепляют.

(При центрировании с помощью оптического центрира теодолит перемещают по головке штатива до тех пор, пока в поле зрения центрира центр точки не совпадает с центром сетки нитей).

Горизонтирование – приведение оси вращения теодолита в отвесное положение, а плоскость лимба – в горизонтальное. Предварительное горизонтирование прибора грубо достигается при установке штатива, а точное приведение выполняется подъемными винтами с использованием цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга:

Алидаду горизонтального круга ставят параллельно двум подъемным винтам (любым) и вращая их в разных направлениях, приводят пузырек уровня на середину. Затем поворачивают алидаду примерно на 90° и третьим подъемным винтом снова приводят пузырек на середину. Далее уровень возвращают в первоначальное положение и, если пузырек ушел из середины, то подправляют уровень подъемными винтами. Поворачивают алидаду на 180° и проверяют положение пузырька.

Установка трубы по глазу наблюдателя – Для этого вращением диоптрийного кольца окуляра добиваются четкого изображения сетки нитей, а вращением диоптрийного кольца микроскопа добиваются четкого изображения делений оцифровки на лимбах вертикального и горизонтального кругов.

Лабораторная работа № 4 **ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ ТЕОДОЛИТОВ**

Цель работы: - ознакомиться с основными поверками и юстировками теодолитов, и выполнить поверки.

Материалы, приборы и принадлежности – штатив, отвес, теодолит, чертежные инструменты.

Задание:

1. Изучить основные оси теодолита.
2. Выполнить поверки.
3. Записать результаты поверок.

Основные понятия и формулы

До начала полевых работ выполняют *поверки* теодолита.

Поверки теодолита заключается в установлении правильности выполнения ряда геометрических условий, предъявляемых к прибору. При обнаружении невыполнения каких-либо условий производят исправление, называемое *юстировкой*.

Порядок выполнения поверок

1. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита.* Для поверки этого условия поворачивают алидаду так, чтобы ось уровня расположилась приблизительно параллельно прямой, соединяющей два подъемных винта подставки, и вращением этих винтов выводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают алидаду на 90° и третьим винтом устанавливают пузырек опять на середину. Поворотом алидады на 180° оценивают смещение пузырька от среднего положения. Если пузырек отклонился более чем на одно деление, выполняется юстировка. В этом случае, действуя подъемными винтами, перемещают пузырек уровня на половину делений отклонения и исправительными винтами приводят уровень в нуль-пункт.

После юстировки проводят повторную поверку. При любом положении алидады пузырек уровня должен находиться в нуль-пункте.

2. *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к ее горизонтальной оси вращения.*

Угол с отклонения визирной оси от перпендикуляра к оси вращения трубы называется коллимационной ошибкой (рисунок 8.9). Для выявления коллимационной ошибки удаленную, выбирают хорошо видимую точку, расположенную так, чтобы линия визирования была примерно горизонтальна. Наводят трубу на эту точку при двух положениях вертикального круга, берут отсчеты по лимбу горизонтального круга. Определение коллимационной ошибки делается дважды с поворотом лимба после первого определения на 180° . Величина коллимационной ошибки c определяется по формуле:

$$c = \frac{(\text{КЛ}_1 - \text{КП}_1 \pm 180^\circ) + (\text{КЛ}_2 - \text{КП}_2 \pm 180^\circ)}{4}$$

Если значение c превышает точность отсчетного устройства (для ТЗ0 $t=1'$, т. е. $|c| \leq 2t$), вычислить исправленные показания для горизонтального круга по формуле $\text{КЛ}_{\text{испр}} = \text{КЛ} - c$ (или $\text{КП}_{\text{испр}} = \text{КП} + c$) и с помощью наводящего винта алидады устанавливают их. В этом случае произойдет смещение перекрестия сетки нитей относительно наблюдаемой точки. Ослабив предварительно вертикальные винты сетки нитей, боковыми винтами передвигают сетку до точного совмещения перекрестия с изображением предмета. Поверку следует повторить.

3. *Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.*

Для поверки этого условия теодолит на штативе устанавливают по уровню на расстоянии 10—20 м от стены (рис. 10). Выбирают и отмечают на стене точку M (или укрепляют марку) под углом 25—30° к горизонту. Наводят на эту точку

$$i = \rho \frac{m_1 m_2}{2Mm}$$

зрительную трубу и при круге лево и право проектируют точку M вниз отмечают точки m_1 и m_2 . Условие считается выполненным, если расстояние между точками m_1 и m_2 не превышает две ширины биссектора сетки нитей. Угловая погрешность определяется по формуле

где m_1 , m_2 и M_m — расстояния между соответствующими точками;

$\rho = 206265'$.

Значение наклона горизонтальной оси i не должно быть более 1'. Если указанные условия не выполнены, то прибор ремонтируют в мастерской.

4. *Вертикальная нить сетки должна быть установлена отвесно, т. е. находится в коллимационной плоскости.*

Теодолит устанавливают на штативе и приводят вертикальную ось в отвесное положение. Зрительную трубу наводят на визирную цель и совмещают изображение цели с левым концом горизонтального штриха сетки нитей. Затем, вращая прибор наводящим винтом алидады, следят, не сходит ли изображение цели с правого конца штриха сетки нитей. Если оно сходит более чем на три ширины штриха, то необходимо снять защитный колпачок сетки нитей, ослабить четыре крепежных винта окуляра и повернуть окуляр так, чтобы средний штрих сетки расположился горизонтально. После этого окуляр закрепляют, а защитный колпачок устанавливают на место.

Измерение горизонтального угла

В зависимости от конструкции приборов, условий измерений и предъявляемых к ним требований применяются следующие способы измерения горизонтальных углов:

1. способ приемов (способ отдельного угла) – для измерения отдельных углов при проложении теодолитных ходов, выносе проектов в натуру и т.д.

2. способ круговых приемов – для измерения углов из одной точки между тремя направлениями и более в сетях триангуляции и полигонометрии 2 и более низких классов (разрядов).

3. способ повторений – для измерения углов, когда необходимо повысить точность окончательного результата измерения путем ослабления влияния погрешностей отсчитывания; используется при работе с техническими повторительными теодолитами.

В геодезии измеряют правые или левые по ходу горизонтальные углы.

Порядок измерения горизонтального угла способом приемов

В вершине измеряемого угла c (рисунок 8.9) устанавливают теодолит и приводят его в рабочее положение, а на правой a и левой b точках устанавливают вехи. Вехи устанавливают обычно за точками вдоль измеряемых направлений с точностью ± 5 мм и по возможности вертикально. Крест сетки нитей трубы при измерении горизонтальных углов наводят на основание вехи, чтобы избежать ошибок за ее наклон.

Для исключения грубых ошибок и повышения точности измерений угла его значение получают из двух полуприемов: при круге право (КП) и при круге лево (КЛ). (Положение, при котором вертикальный круг находится справа от наблюдателя, смотрящего в окуляр, «круг право»).

Первый полуприем. Измерения начинают при КП. Для измерения угла закрепляют лимб, открепляют алидаду и трубу и наводят зрительную трубу по оптическому визиру на правую (заднюю) точку. Затем закрепляют зажимные винты алидады и трубы и отфокусировав зрительную трубу (кремальерой) по предмету, выполняют точное визирование с помощью наводящих винтов трубы и алидады. Осветив зеркалом, поле зрения отсчетного микроскопа, берут отсчет a по горизонтальному кругу и записывают его в журнал (таблица 5).

Таблица 5

Журнал измерения горизонтальных углов

Точка стояния	Точки визирования	КЛ	КП	среднее значение угла β

Открепив алидаду и трубу, визируют на левую (переднюю) точку и по аналогии с предыдущим берут отсчет b . Значение угла β вычисляют как разность двух отсчетов – правый (задний) минус левый (передний): $\beta_{кп} = a - b$ (получив при этом правый по ходу угол).

Второй полуприем. Открепляют лимб и смещают его примерно на 90° , закрепляют лимб. Затем открепляют алидаду и поворачивают ее на 180° , а зрительную трубу переводят через зенит и при другом круге (КЛ) повторяют измерения. Вычисляют значение угла при КЛ.

Примечание: В случае если отсчет на правую (заднюю) точку меньше отсчета на левую (переднюю) точку, то при вычислении угла к нему прибавляют 360° .

Контроль. Расхождение результатов измерений по первому и второму полуприемам не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита

$$\beta_{кЛ} - \beta_{кП} \leq 2t$$

(Для теодолитов: Т 30 - $\pm 2'$; 2 Т 30 - $\pm 1',0$)

Если расхождение допустимо, то за окончательный результат принимают среднее значение угла

$$\beta = (\beta_{кЛ} - \beta_{кП})/2$$

Примечание: измерение и вычисление левого по ходу горизонтального угла производится в аналогичной последовательности с той лишь разницей, что левый по ходу угол в каждом полуприеме рассчитывается как разность отсчетов на левую (переднюю) и правую (заднюю) точки, $\beta = в - а$.

Все вычисления в полевом журнале вплоть до вывода среднего значения угла выполняются до снятия теодолита со станции.

Наиболее благоприятным временем для измерения углов являются периоды спокойных изображений: утром до 10 ч и с 15 ч до наступления сумерек.

Ошибки измерения углов складываются из ошибок за центрирование теодолита, за установку визирных знаков, из ошибок отсчета по горизонтальному кругу и ошибок визирования.

Лабораторная работа № 6 ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ НАКЛОНА

В геодезии углы наклона линий в зависимости от их расположения относительно линии горизонта могут быть положительными и отрицательными.

При измерении вертикальных углов, так же как и горизонтальных, приходится наводить крест сетки нитей на визирные знаки. Обычно эти знаки представляют собой переносные или постоянные вехи, на которых отмечена точка визирования.

Теодолит устанавливают над точкой, приводят в рабочее положение и приступают к измерениям.

Визируют на точку при КЛ и берут отсчет по вертикальному кругу, который записывают в журнал измерений (таблица 8.6). Для исключения влияния $МО$ вертикального круга измерения повторяют при втором положении круга (КП).

МО – это угол между горизонтальной плоскостью и визирной линией, когда зрительная труба находится в горизонтальном положении, а пузырек уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункте.

Далее вычисляют $МО$ и угол наклона v .

Значение угла наклона линии визирования и $МО$ рассчитывают в зависимости от типа применяемого теодолита по следующим формулам

$T\ 30$

$2T30, T15, 2T5$ и др.

$$МО = (КЛ + КП + 180^\circ) / 2$$

$$v = КЛ - (КП + 180^\circ) / 2$$

Контроль:

$$v = КЛ - МО$$

$$v = МО - (КП + 180^\circ)$$

Примечание:

к величинам КП, КЛ и МО, меньшим 90° необходимо прибавлять 360°

$$МО = (КЛ + КП) / 2$$

$$v = (КЛ - КП) / 2$$

Контроль:

$$v = КЛ - МО$$

$$v = МО - КП$$

Примечание: *Добавлений 360° делать не нужно*

Правильность измерения вертикальных углов на станции контролируется постоянством $МО$, колебания которого в процессе измерений не должны превышать двойной точности отсчетного устройства.

Изменение места нуля может происходить от неточного выведения пузырька уровня на середину, от неточного наведения горизонтальной нити на визирный знак и от ошибок в отсчетах. Непостоянство места нуля вызывается также тем, что исправительные винты уровня или нитей недостаточно затянуты или лимб не жестко скреплен с осью вращения трубы. Эти причины должны быть устранены тщательной подготовкой теодолита к измерениям.

Таблица 8.6

Журнал измерения углов наклона

Точка стояния	Точки визирования	КЛ	КП	Место нуля МО	Значение Угла δ

Лабораторная работа № 7 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАМКНУТОМ ТЕОДОЛИТНОМ ХОДЕ

Цель работы: - ознакомиться со схемой обработки результатов измерений в теодолитном ходе.

Материалы, приборы и принадлежности – исходные данные, чертежные инструменты, калькулятор.

Задание:

1. составить схему теодолитного хода.
2. Выписать исходные данные (таблица 8.7 и 8.8).
3. Обработать угловые измерения и вычислить дирекционные углы сторон.
4. Вычислить приращения координат и координаты вершин хода.
5. Оценить точность сделанных вычислений.
6. Внести полученные результаты в ведомость, установленной формы (таблица).

Исходные данные

Для выполнения тахеометрической съемки в качестве планового обоснования был проложен замкнутый теодолитный ход (рисунок 8.10.). Горизонтальные углы в ходе были измерены техническими теодолитами способом приемов, а длины сторон – стальными мерными лентами.

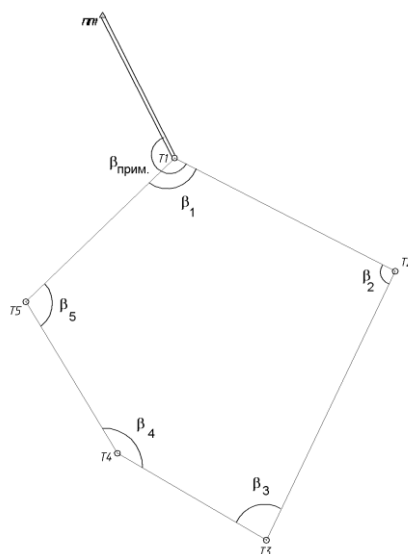


Рисунок 8.10 – Схема теодолитного хода

Таблица 8.7

№ вершины	Измеренные горизонтальные углы $\beta_{\text{изм}}$	Горизонтальные проложения d , м
T1	154° 3' 0"	
		124.136
T2	91° 41' 30"	
		149.529
T3	85° 16' 30"	
		86.263
T4	151° 26' 30"	
		88.767
T5	102° 59' 0"	
		103.620
T1	108° 38' 00"	

Таблица 8.8

Примычный угол $B_{\text{прим}}$	Координаты точки ПП1		Координаты точки T_1		Абсолютная отметка точки T_1 H_{T_1}
	X, м	Y, м	X, м	Y, м	
154°03' +1°·№ вар.	1500,00	1300,00	5593,05+1м·№ вар.	1480.50 -1м·№ вар.	544.86+1м·№ вар.

Порядок выполнения работы

Камеральную обработку начинают с проверки и обработки полевых журналов. Затем составляют схему теодолитных ходов. У вершин подписывают средние значения горизонтальных углов, а возле каждой стороны – ее горизонтальную длину. На схему наносят также пункты геодезической сети, к которым осуществлялась привязка теодолитных ходов (ПП1, T1).

Вычислительные работы по определению координат вершин теодолитного хода включают в себя:

- 1) Обработку угловых измерений и вычисление дирекционных углов сторон;
- 2) Вычисление приращений координат и координат вершин хода.

Все вычисления ведутся в специальной ведомости. В ведомость выписывают все исходные данные и начинают обработку.

Обработка угловых измерений и вычисление дирекционных углов сторон

1) Вычисляют сумму измеренных углов $\Sigma \beta_{\text{изм}}$

$$\Sigma \beta_{\text{изм}} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n;$$

$$\Sigma f_{\beta \cdot \text{теор}} = 180 \cdot (n - 2)$$

2) Вычисляют теоретическую сумму углов $\Sigma \beta_{\text{теор}}$

где n – количество углов.

$$f_{\beta} = \Sigma \beta_{\text{изм}} - \Sigma \beta_{\text{теор}}$$

3) Вычисляют угловую невязку f_{β}

4) Полученную угловую невязку сравнивают с допустимой невязкой, т.к. величина угловой невязки характеризует точность измерения углов, она не должна быть больше предельно допустимой величины

$$f_{\beta_{\text{изм}}} \leq f_{\beta_{\text{дон}}}$$

где

$$f_{\beta_{\text{дон}}} = \pm 1 \cdot \sqrt{n}$$

Если измеренная невязка $f_{\beta_{\text{изм}}}$ не превышает допустимой, то вычисления продолжают. В противном случае повторяют полевые измерения.

5) Угловую невязку распределяют по измеренным углам поровну с обратным знаком

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

(При этом если невязка не делится без остатка на число углов, то несколько большие поправки вводят в углы с короткими сторонами, вследствие неточности центрирования теодолита и вех).

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta_{изм}}$$

$$\beta_{испр_i} = \beta_{изм_i} + \delta_{\beta_i}$$

б) Вычисляют исправленные углы

Контролем правильности вычислений является равенство

$$\sum \beta_{испр} = \sum \beta_{теор}$$

7) Вычисляют дирекционные углы. В предложенной задаче дирекционный угол исходной стороны α_{III-I} необходимо найти, решив обратную геодезическую задачу.

$$tgr_{III-I} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_{I} - y_{III}}{x_{I} - x_{III}}$$

отсюда

$$r_{III-I} = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Для перехода от табличного угла (r) к дирекционному углу (α) необходимо учесть знаки приращений координат (таблица 9), определить в какой четверти лежит данное направление, учитывая знаки приращений координат. Затем, руководствуясь соотношением между табличными и дирекционными углами, находят дирекционный угол направления (рисунок 8.11 и таблица 8.9).

Далее вычисляют дирекционные углы остальных сторон по формулам

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^\circ - \beta_{пр} \text{ (правые углы),}$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180^\circ + \beta_{лев} \text{ (левые углы)}$$

где α_i - дирекционный угол определяемой стороны;

α_{i-1} - дирекционный угол предыдущей стороны;

$\beta_{пр(лев)}$ - правый (левый) исправленный угол между этими сторонами.

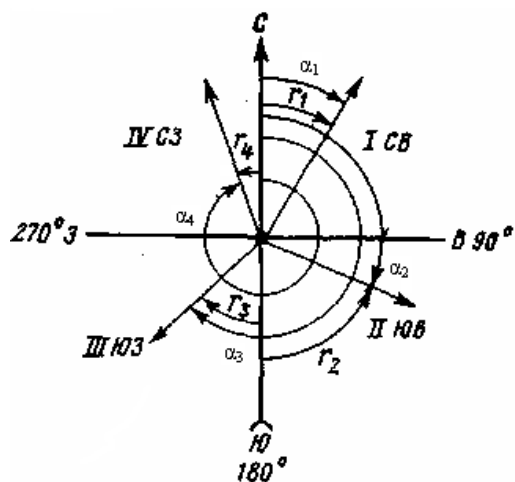


Рисунок 8.11 – связь между дирекционными углами и румбами

Таблица 8.9

Приращения координат	Дирекционный угол			
	0-90° (I четверть)	90-180° (II четверть)	180-270° (III четверть)	270-360° (IV четверть)
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

Таблица 10

Ориентирующий угол	Четверть			
	I (СВ)	II (ЮВ)	III (ЮЗ)	IV (СЗ)
Румб	$r_1 = A_1$	$r_2 = 180^\circ - \alpha_1$	$r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$	$r_4 = 360^\circ - \alpha_4$
Дирекционный угол	$\alpha_1 = r_1$	$\alpha_2 = 180^\circ - r_2$	$\alpha_3 = 180^\circ + r_3$	$\alpha_4 = 360^\circ - r_4$

Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон полигона является повторное получение дирекционного угла начальной стороны α_{III-TI} .

Вычисление приращений координат и координат вершин хода

8) Вычисляют приращения координат

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

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

9) Вычисляют суммы приращений координат $\Sigma \Delta x$ и $\Sigma \Delta y$

Поскольку полигон замкнутый, то теоретическая сумма приращений координат должна быть равна нулю, т.е. $\Sigma \Delta x = 0$; $\Sigma \Delta y = 0$. Однако на практике вследствие погрешностей угловых и линейных измерений суммы приращений координат равны не нулю, а некоторым величинам f_x и f_y , которые называются невязками в приращениях координат $f_x = \Sigma \Delta x$; $f_y = \Sigma \Delta y$.

В результате этих невязок полигон окажется разомкнутым на величину

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

абсолютной линейной невязки.

Оценивают точность угловых и линейных измерений по величине относительной линейной невязки. Вычисленная относительная невязка сравнивается с допустимой

$$f_{отн} \leq f_{дон}$$

$$f_{отн} = \frac{1}{P : f_{abc}}$$

($f_{дон}$ – допустимая относительная невязка устанавливается инструкциями и составляет 1:2000 – 1:1000 в зависимости от требуемой точности хода.)

Если условие не соблюдается, то тщательно проверяют все записи и вычисления в полевых журналах и ведомостях. Если при этом ошибка не обнаружена, следует выполнить контрольные измерения длин сторон.

10) Выполняют уравнивание приращений координат, т.е. распределяют невязки по вычисленным приращениям координат пропорционально длинам сторон с обратным знаком. При этом поправки в приращения координат определяются по формулам:

$$\delta_{\Delta x_i} = -\frac{f_x}{P} d_i \quad \delta_{\Delta y_i} = -\frac{f_y}{P} d_i$$

При этом $\sum \delta_x = -f_x$ и $\sum \delta_y = -f_y$

11) Вычисляют исправленные приращения координат:

$$\begin{aligned} \Delta x_{i \text{ испр}} &= x_i + \delta_{\Delta x}, \\ \Delta y_{i \text{ испр}} &= y_i + \delta_{\Delta y} \end{aligned}$$

12) Вычисляют суммы исправленных приращений координат, которые должны быть равны нулю:

$$\begin{aligned} \sum \Delta x_{i \text{ испр}} &= 0, \\ \sum \Delta y_{i \text{ испр}} &= 0 \end{aligned}$$

Вычисление координат вершин замкнутого теодолитного хода

13) По исправленным приращениям координат и координатам начальной точки последовательно вычисляют координаты вершин теодолитного хода:

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + \Delta x, \\ Y_{i+1} &= Y_i + \Delta y \end{aligned}$$

где X_{i+1} и Y_{i+1} – определяемые точки;

X_i и Y_i – известные координаты предыдущей точки;

Δx и Δy – приращения координат между этими точками.

14) Окончательным контролем правильности вычислений координат служит получение координат начальной точки теодолитного хода.

Лабораторная работа № 8 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы: - ознакомиться со схемой обработки результатов измерений тригонометрического нивелирования.

Материалы, приборы и принадлежности – исходные данные, чертежные инструменты, калькулятор.

Задание:

1. Вычертить принципиальную схему тригонометрического нивелирования.
2. Выписать исходные данные: горизонтальные проложения (таблица 8.7), абсолютную отметку точки T_1 H_{T_1} (таблица 8.8) и углы наклона (таблица 8.12).
3. Вычислить абсолютные высоты вершин замкнутого теодолитного хода.
4. Внести результаты измерений в таблицу (таблица 8.13).

Таблица 8.12

№ вершины	Углы наклона δ	
	прямые $\delta_{\text{прям}}$	обратные δ
T1	+1° 40'	-1° 42'
T2	+0° 14'	-0° 12'
T3	-2° 52'	+2° 50'
T4	-1° 58'	+2° 00'
T5	+1° 47'	-1° 46'

Исходные данные

Для определения высот точек теодолитного хода (см. рисунок 8.10) был проложен высотный ход тригонометрическим нивелированием.

В процессе тригонометрического нивелирования на местности измеряют расстояние между точками A и B (D) и угол наклона v . Расстояние измеряется мерной лентой или дальномером, а угол наклона – теодолитом или тахеометром.

Порядок измерений на станции

Над точкой A устанавливают теодолит (рисунок 8.12), а в точке B рейку. Измеряют высоту прибора i над точкой A (высота прибора – это расстояние по

отвесной линии от оси вращения трубы до центра пункта), а высота визирной цели на рейке равна v . Для измерения угла наклона ν визируют на заданную точку и берут отсчеты по вертикальному кругу при двух положениях круга (КЛ и КП), вычисляют угол наклона. Измеряют расстояние между точками, а затем вычисляют горизонтальное проложение d , по формуле:

$$d = D \cos \nu.$$

Зная горизонтальное проложение и угол наклона ν можно вычислить превышение т. B над т. A по формуле:

$$h = d \operatorname{tg} \nu + i - v$$

где d – горизонтальное проложение;

i – высота инструмента;

v – высота визирования.

Если $v=i$, то превышение можно вычислить по формуле $h' = d \operatorname{tg} \nu$

Так как работать с последней формулой удобнее при съемке на рейке заранее отмечают высоту прибора тесемкой или резинкой и при измерении вертикального угла делают наведения не на верх рейки, а на высоту прибора.

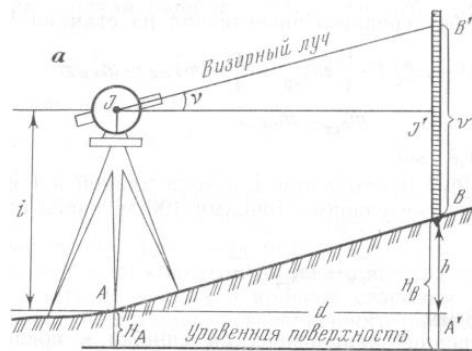


Рисунок 8.12 – Схема тригонометрического нивелирования

Для контроля и повышения точности измерение расстояний и превышений выполняют в прямом и обратном направлениях хода. Т. е. угол наклона v_{AB} – прямой, а v_{BA} – обратный. Углы наклона прямого и обратного направлений должны отличаться знаками, а значения углов не должны превышать $\pm 1'$. Расхождения в превышениях между прямым и обратным ходами не должно превышать по абсолютному значению 0,04 м на 100 м. хода. За окончательное значение измеренных превышений принимают средние арифметические из их абсолютных величин со знаком прямого превышения.

Точность тригонометрического нивелирования оценивают по невязке хода. Невязку f_h в сумме превышений Σh хода вычисляют по формуле:

$$f_h = \Sigma h - (H_k - H_n),$$

где H_k и H_n – соответственно высоты конечной и начальной точек хода.

Допустимость невязки определяют по формуле

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04 P / \sqrt{n}, \text{ см},$$

где P – периметр полигона;

n – число сторон хода.

Невязку распределяют с обратным знаком на все превышения пропорционально длинам линий хода. Высоты точек определяются по формуле

$$H_{i+1} = H_i + h_{испр i}$$

Лабораторная работа № 9 **КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЖУРНАЛА
ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Цель работы: - вычислить журнал тахеометрической съемки.

Материалы, приборы и принадлежности – журнал тригонометрического нивелирования, исходные данные, чертежные инструменты, калькулятор.

Задание:

1. Выписать абсолютные отметки вершин замкнутого теодолитного хода из журнала тригонометрического нивелирования в журнал тахеометрической съемки (таблица 8.13).
2. Вычислить абсолютные высоты речных точек.
3. Внести полученные результаты в журнал (таблица 8.14).

Исходные данные

Для составления топографического плана на подготовленном ранее съемочном обосновании была выполнена тахеометрическая съемка небольшого участка местности (таблица 8.14).

Таблица 8.14

Журнал тахеометрической съемки

Вариант –

№ ре- ечной точки	Наклонное расстояние по даль- номеру D, м	Отсчеты по		Место нуля МО	Угол наклона $\pm v^\circ$	Высота визир. V, м	Горизонтальное проложение, d, м	Превышение		Абсолют- ные от- метки реечных точек, H, м	Примечания (характеристика точек)
		горизонтальному кругу КЛ	по вертикаль- ному кругу КЛ					h'	h		
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13
станция Т1, точка ориентирования 2, i=1,45 м								H _{Т1} =			
1	98,0	54° 31'	-0°14'	0°01'		1,45					Ручей, граница леса
2	64,5	132°04'	-1°59'	0°01'		1,45					Точка рельефа
3	99,0	176°47'	-2°33'	0°01'		1,45					Берег озера
4	52,5	192° 49'	-1°24'	0°01'		1,45					Точка рельефа, граница леса
5	111,5	204° 57'	-2°15'	0°01'		1,45					Берег озера, граница леса
6	68,0	244°03'	-0°09'	0°01'		1,45					граница леса
7	71,0	282°22'	+1°12'	0°01'		1,45					граница леса
8	68,0	324°30'	+3°15'	0°01'		2,80					Точка рельефа, граница леса
станция Т2, точка ориентирования 3, i=1,50 м								H _{Т2} =			
9	64,0	3°23'	-2°07'	0°01'		1,50					Ручей
10	58,5	43°55'	-2°35'	0°01'		1,50					Точка рельефа
11	114,0	153°49'	-0°02'	0°01'		1,50					Граница леса
12	79,5	163°16'	+0°30'	0°01'		1,50					Точка рельефа, граница леса
13	148,0	174°07'	+1°01'	0°01'		1,50					Ось шоссе, граница леса
14	95,0	190°56'	+2°28'	0°01'		3,00					Ось шоссе, граница леса

№ речной точки	Наклонное расстояние по дальности D, м	Отсчеты по		Место нуля МО	Угол наклона $\pm v^\circ$	Высота визир. V, м	Горизонтальное проложение, d, м	Превышение		Абсолютные отметки речных точек, Н, м	Примечания (характеристика точек)
		горизонтальному кругу КЛ	по вертикальному кругу КЛ					h'	h		
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13
15	63,0	229°57'	+2°27'	0°01'		1,50					Ось грунтовой дороги
16	55,5	297°42'	+1°47'	0°01'		1,50					Ось грунтовой дороги
17	112,5	324°06'	+0°59'	0°01'		1,50					Родник
18	98,0	328°53'	+0°30'	0°01'		1,50					Ось грунтовой дороги, ручей
станция Т3, точка ориентирования 4, i=1,50 м								Н _{Т3} =			
19	43,0	162°00'	+1°57'	-0°01'		1,50					Ось грунтовой дороги
20	61,0	231°20'	+1°17'	-0°01'		1,50					Ось грунтовой дороги, тропа
21	87,0	281°57'	-0°03'	-0°01'		1,50					Огород, угол здания
22	59,0	284°32'	+0°07'	-0°01'		1,50					Огород, угол здания
станция Т4, точка ориентирования 5, i=1,48 м								Н _{Т4} =			
23	98,0	209°29'	+3°05'	0°00'		3,00					Угол здания, тропа
24	44,0	179°43'	+2°43'	0°00'		1,48					Тропа, огород
25	83,5	201°52'	+2°31'	0°00'		1,48					Угол здания, огород
26	64,0	227°06'	+1°17'	0°00'		1,48					Тропа, огород
27	76,5	261°27'	-0°16'	0°00'		1,48					Точка рельефа
28	48,0	293°38'	-1°14'	0°00'		1,48					Тропа, одно дерево
станция Т5, точка ориентирования 1, i=1,55 м								Н _{Т5} =			

№ ре- ечной точки	Наклонное расстояние по даль- номеру D, м	Отсчеты по		Место нуля МО	Угол наклона $\pm v^\circ$	Высота визир. V, м	Горизонтальное проложение, d, м	Превышение		Абсолют- ные от- метки реечных точек, H, м	Примечания (характеристика точек)
		горизонтальному кругу КЛ	по вертикаль- ному кругу КЛ					h'	h		
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13
29	39,0	151°21'	+1°26'	0°01'		1,55					Граница луга
30	83,0	169°36'	+0°45'	0°01'		1,55					Граница луга, тропа
31	129,0	176°52'	-0°38'	0°01'		1,55					Берег озера
32	77,5	196°38'	-0°54'	0°01'		1,55					Берег озера
33	33,0	248°16'	-2°27'	0°01'		1,55					Берег озера, устье ручья
34	74,5	294°50'	-0°55'	0°01'		1,55					Берег озера
35	48,0	52°02'	1°39'	0°01'		1,55					ручей

сущность работ при таком виде съемке сводится к определению пространственных полярных координат (β, ν, D). При этом плановое положение точек определяется полярным способом (координатами β, d), а превышения точек – методом тригонометрического нивелирования.

Порядок обработки журнала

1) Вычисляют место нуля на каждой станции по формуле

$$MO = (KL + KP) / 2;$$

2) Определяют углы наклона $\nu = KL - MO$;

3) Вычисляют горизонтальные проложения от точек стояния до речных точек

$$d = D \cos^2 \nu;$$

4) В зависимости от исходных данных превышения вычисляют по следующим формулам

$$h = d \operatorname{tg} \nu + i - \nu, \text{ если } \nu \neq i$$

где d – горизонтальное проложение;

i – высота инструмента;

ν – высота визирования.

и

$$h' = d \operatorname{tg} \nu,$$

если $\nu = i$

5) По исходным абсолютным высотам вершин замкнутого теодолитного хода и вычисленным превышениям определяют высоты речных точек

$$H_{p.m.} = H_{cm} + h_i$$

Лабораторная работа № 10 СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА

Цель работы: - ознакомиться с этапами, требованиями и способами составления топографического плана.

Материалы, приборы и принадлежности – ведомость координат замкнутого теодолитного хода (таблица 8.11), журнал тригонометрического нивелирования (таблица 8.13) и тахеометрической съемки (таблица 8.14), лист ватмана формата А3, чертежные инструменты, калькулятор.

Задание:

1. Построить координатную сетку для составления плана в масштабе 1:2000.
2. Нанести точки теодолитного хода и речные точки.
3. Вычертить ситуацию.
4. Методом интерполирования вычертить рельеф местности.
5. Оформить топографический план в условных знаках и выполнить соответствующее зарамочное оформление.

Содержание работы

На листе ватмана с помощью линейки Дробышева строят прямоугольную сетку квадратов со сторонами 10 см (рис. 13). Линии сетки по осям координат оцифровываются в зависимости от масштаба съемки. При этом квадраты должны располагаться так, чтобы после их оцифровки изображение теодолитного хода и снимаемого участка было примерно в середине листа бумаги. По координатам наносят точки съемочного обоснования и проверяют правильность нанесения точек по расстояниям между ними.

Нанесение на план речных точек производится полярным способом с помощью кругового транспортира и масштабной линейки. Для нанесения речной точки центр круга транспортира совмещают с точкой станции на плане, а 0 транспортира с точкой ориентирования. Затем откладывают угол равный

отсчету по горизонтальному кругу на съемочной точке и по линейке откладывают в масштабе плана соответствующее полярное расстояние и накалывают точку. Около нанесенных точек подписывают их номера и отметки. согласно абрису и примечаниям в полевых журналах вычерчивают контуры и предметы местности. По отметкам речных точек, пользуясь методом интерполирования, проводят горизонтали. Затем план вычерчивают тушью в соответствии с действующими условными знаками для планов данного масштаба.

Лабораторная работа № 11 **УСТРОЙСТВО НИВЕЛИРА Н-3**

Цель работы – ознакомиться с назначением и техническими характеристиками нивелира, изучить устройство прибора.

Материалы, приборы и принадлежности – штатив, отвес, нивелир, шашечная рейка, чертежные инструменты.

Задание:

1. Изучить устройство нивелира.
2. Установить прибор в рабочее положение.
3. Взять отсчеты по рейке.
4. Записать полученные результаты.

Основные понятия

Нивелир – прибор для измерения превышений между точками.

В нивелирный комплект входят: нивелир, штатив, две нивелирные рейки и нивелирные башмаки.

Классификация нивелиров

Нивелиры различаются по двум основным признакам: по точности и по способу приведения визирной оси в горизонтальное положение.

По точности:

- **Высокоточные** – для определения превышений с погрешностью не более 0,5 мм на 1 км двойного хода, предназначены для нивелирования I и II классов.
- **Точные** – для определения превышений с погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода, предназначены для нивелирования III и IV классов.
- **Технические** – для определения превышений с погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода, предназначены для нивелирования

при обосновании топографических съемок, инженерных изысканиях и строительстве.

По способу приведения визирной оси в горизонтальное положение:

- Глухой нивелир с элевационным винтом (Н-05, Н-3, Н10).
- Нивелир с компенсатором (Н-05К, Н-3К, Н10К).

Устройство нивелира Н-3

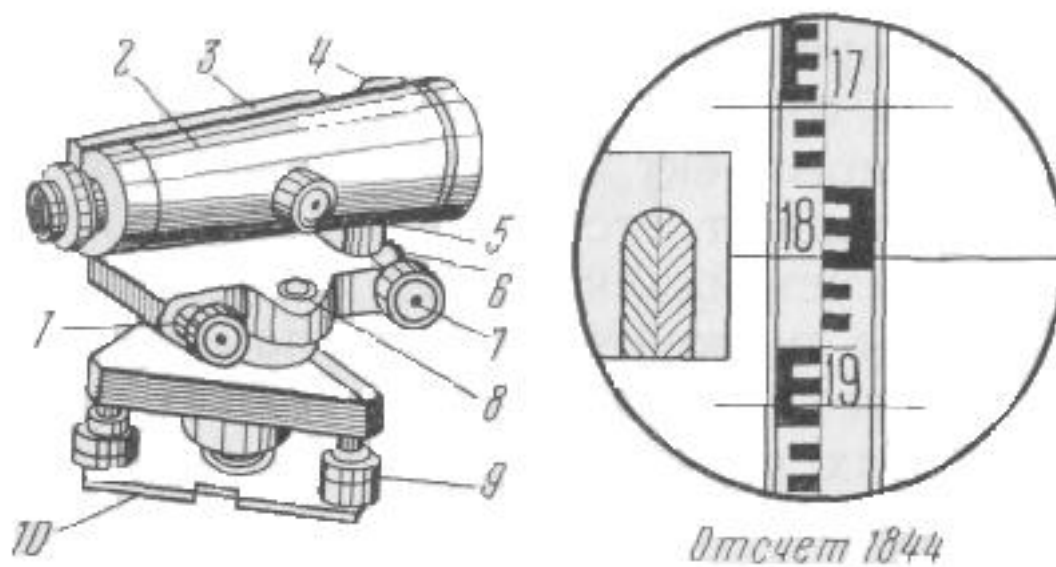


Рисунок 8.14 – Нивелир Н-3 и поле зрения его трубы

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 - элевационный винт; | 5 - кремальера; |
| 2 - зрительная труба:
- объектив; | 6 - закрепительный винт; |
| - окуляр; | 7 - наводящий винт; |
| - диоптрийное кольцо; | 8 - круглый уровень; |
| 3 - цилиндрический уровень; | 9 - три подъемных винта; |
| 4 - визир; | 10 - пластинка. |

Лабораторная работа № 12 **ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ НИВЕЛИРОВ**

Цель работы – ознакомиться с основными поверками и юстировками нивелиров и выполнить поверки.

Материалы, приборы и принадлежности – штатив, отвес, нивелир, шашечная рейка, чертежные инструменты.

Задание:

1. Установить прибор в рабочее положение.
2. Выполнить поверки.
3. Записать результаты поверок.

Основные понятия и формулы

Перед началом полевых работ необходимо тщательно осмотреть рейки и нивелир и выполнить их исследования и поверки. При осмотре нивелира в первую очередь обращают внимание на исправность всех его частей, плавность движения при вращении подъемных, закрепительных и наводящих винтов, отсутствие коррозии, механических повреждений и других дефектов. Оценивают контрастность и четкость одновременного изображения штрихов сетки и концов пузырька цилиндрического уровня, качество изображения при визировании на рейку, устанавливаемую на различных расстояниях от прибора.

Поверки выполнения основных геометрических условий, предъявляемых к конструкции нивелиров, выполняются в следующей последовательности.

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

Действуя тремя подъемными винтами, приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт. Затем, поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если после этого пузырек уровня остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительными винтами уровня, перемещают пузырек к нуль-пункту на половину дуги его отклонения. Затем подъемными

винтами вновь выводят пузырек уровня в нуль-пункт и повторяют те же действия до выполнения условия.

2. Поверка сетки нитей. Горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен, а вертикальный штрих — параллелен оси вращения нивелира.

Перпендикулярность горизонтального и вертикального штрихов сетки нитей гарантируется заводом-изготовителем. Поэтому поверку удобнее выполнять по вертикальному штриху с помощью отвеса, подвешиваемого на расстоянии 20—25 м от нивелира. По круглому уровню тщательно приводят ось вращения нивелира в отвесное положение. Зрительной трубой визируют па отвес и совмещают один из концов вертикального штриха сетки с нитью отвеса. Если другой конец вертикального штриха отходит от нити отвеса более чем на 0,5 мм, то производят исправление положения сетки нитей. У нивелира Н-3 доступ к сетке нитей возможен только после отделения окулярной части от корпуса зрительной трубы. Ослабив винты пластинки, несущей сетку нитей, слегка поворачивают ее в нужную сторону за счет люфта в отверстиях винтов. Затем зажимают винты и повторяют поверку.

3. Поверка главного геометрического условия.

У нивелиров с цилиндрическими уровнями (Н-3, Н-10) ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

Поверка выполняется двойным нивелированием «вперед» одной и той же линии длиной 40-60 м с разных ее концов. Для этого концы линии AB (рисунок 15,а) закрепляют кольями. Нивелир располагают над точкой A , производят предварительную установку нивелира по круглому уровню и измеряют высоту прибора i_1 с точностью до 1 мм. В точке B отвесно устанавливают рейку, с помощью элевационного винта приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт и делают отсчет b'_1 по рейке. Если визирная ось и ось цилиндрического уровня непараллельны, то вместо правильного отсчета b'_1 по рейке будет взят отсчет b_1 , содержащий погрешность x . Тогда превышение точки B над точкой A будет

$$h = i_1 - b'_1 = i_1 - (b_1 - x). \quad (1)$$

Затем меняют местами нивелир и рейку (рис.15,б), измеряют высоту прибора i_2 и берут отсчет по рейке b_2 . Отсчет b'_2 будет ошибочен на ту же величину x , тогда

$$h = b'_2 - i_2 = b_2 - x - i_2. \quad (2)$$

Решая уравнения (1) и (2) относительно x , получают

$$x = ((b_1 + b_2)/2) - ((i_1 + i_2)/2)$$

Для нивелира типа Н-3 при данном расстоянии погрешность в отсчетах по рейкам не должна превышать 4 мм. В противном случае, действуя элевационным винтом, наводят средний штрих сетки нитей на правильный отсчет $b = b - x$. При этом пузырек цилиндрического уровня отклоняется от нуля пункта. Тогда с помощью вертикальных юстировочных винтов цилиндрического уровня совмещают изображения пузырька уровня, предварительно ослабив боковые винты. Проверку повторяют до получения допустимой погрешности ($x \leq 4$ мм).

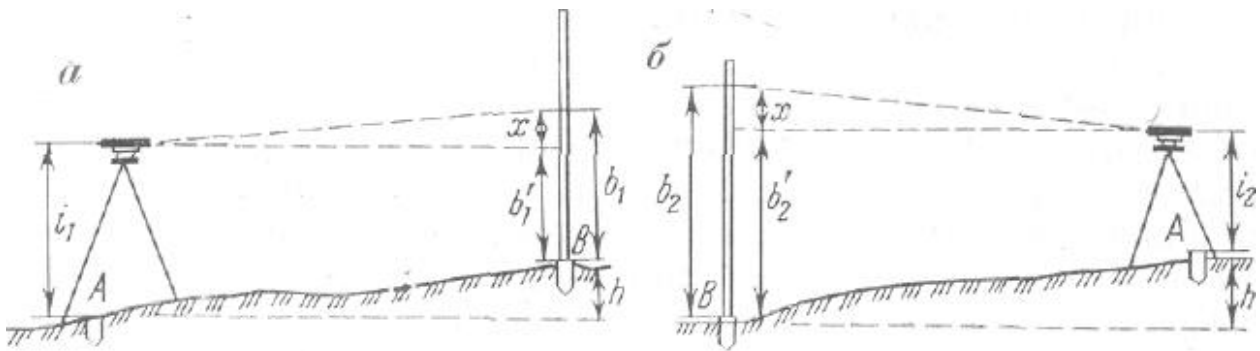


Рисунок 8.15 – Схема проверки главного геометрического условия

Лабораторная работа № 13 КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ АВТОДОРОГИ

Цель работы - вычислить журнал технического нивелирования трассы автодороги.

Материалы, приборы и принадлежности – исходные данные, чертежные инструменты, калькулятор.

Задание:

1. Выписать исходные данные.
2. По приведенной ниже схеме вычислить превышения и высоты пикетов.
3. Результаты вычислений внести в журнал (таблица 15).

Исходные данные

Для определения высот точек трассы (пикетных, плюсовых, точек поперечников) был проложен нивелирный ход технической точности с привязкой к пунктам нивелирной сети - реперам *Rp1* и *Rp2* (рисунок 8.16).

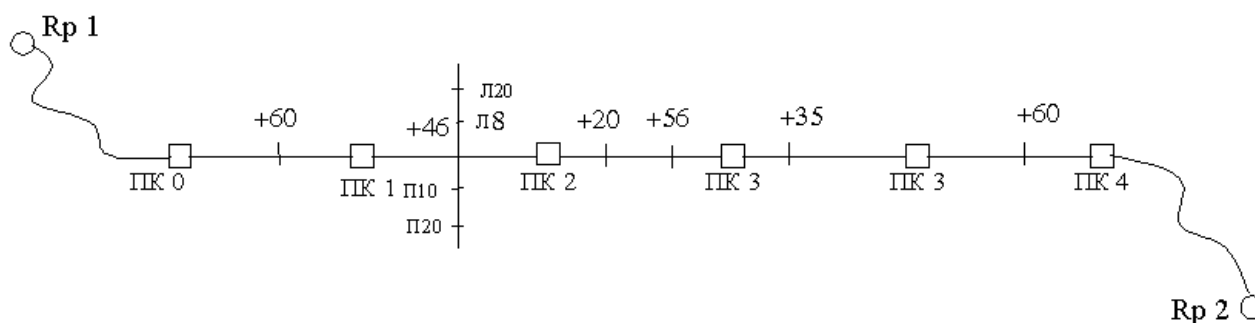


Рисунок 8.16 – Схема нивелирного хода

Расстояние между связующими пикетами (ПК0, ПК1, ПК2, ПК4, П5) составляет 100м. Нивелирование выполнялось способом «из середины» (рисунок 8.17).

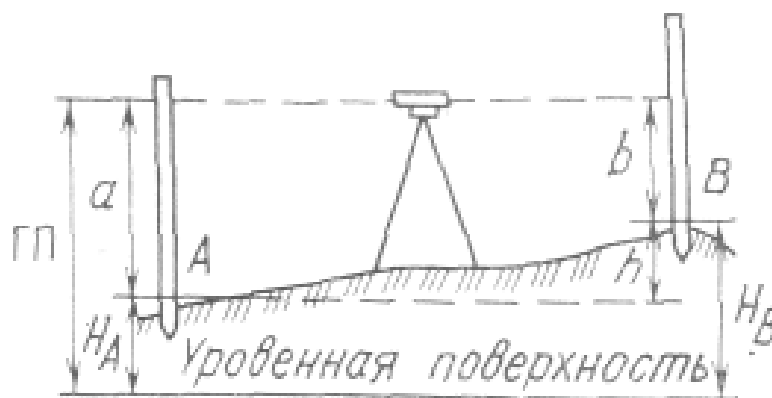


Рисунок 8.17 – Нивелирование способом «из середины»

Порядок обработки журнала

Обработку журналов нивелирования начинают с проверки всех записей и вычислений, выполненных в поле.

- 1) Вычисляют превышения по черной и красной сторонам реек:

$$h_{ч} = a_{ч} - b_{ч}; \quad h_{кр} = a_{кр} - b_{кр}$$

где $a_{ч}$, $b_{ч}$ — отсчеты по черной стороне реек, установленных на задней и передней связующих точках.

при этом расхождения в превышениях с учетом разности пятков пары реек не должны превышать 10 мм.

- 2) За окончательное значение превышения принимается среднее

$$h_{ср} = (h_{ч} + h_{кр}) / 2$$

3) На каждой странице журнала выполняют постраничный контроль. Он заключается в подсчете сумм отсчетов на связующие точки по задней (Σa) и передней (Σb) рейкам, а также сумм превышений по черной и красной сторонам реек и средних превышений на станциях; при этом должно соблюдаться равенство:

$$(\Sigma a - \Sigma b) / 2 = \Sigma h / 2 = \Sigma h_{ср}$$

- 4) Далее определяют высотную невязку хода.

Так как нивелирный ход разомкнутый, то

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_{кон} - H_{нач}),$$

где $H_{кон}$ и $H_{нач}$ – отметка конечного и начального реперов соответственно.

5) Полученную высотную невязку сравнивают с допустимой

$$f_h \leq f_{h доп.},$$

которая вычисляется по формуле

$$f_{h доп.} = 50 \text{ мм} \sqrt{L} \quad \text{или} \quad f_{h доп.} = 10 \text{ мм} \sqrt{n},$$

где L – длина хода, км, а n – число станций в ходе.

6) Если невязка не превышает допустимой величины, то ее разбрасывают с обратным знаком поровну на все средние превышения хода

$$\delta_h = - f_h / n.$$

При этом сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком, т.е.

$$\sum \delta_h = - f_h$$

7) Вычисляют исправленные превышения по формуле $h_{испр i} = h_i + \delta_i$

8) По исправленным превышениям вычисляют отметки связующих точек

$$H_i = H_{i-1} + h_{i испр}$$

где H_{i-1} — отметка предыдущей точки хода.

Журнал геометрического нивелирования

Вариант — _____ $H_{Rp1} = 247.502 \text{ м} + 0,2 \text{ м} \cdot \text{№ варианта}$

$H_{Rp2} = 246.760 \text{ м} + 0,2 \text{ м} \cdot \text{№ варианта}$

Таблица 8.15

Номер станции	Пикеты	Отсчеты, мм			Превышения h, мм						Горизонт инструм., ГИ, м	Абсолют. отметки, Н, м	Примечание
		Задний (a)	Передний (b)	Промежуточн.	Вычислен.		среднее		Исправл.				
					+	-	+	-	+	-			
I	Rp1	1746											Репер IV класса
		(6533)											
	ПК0		2383										
II			(7158)										
	ПК0	0434											
		(5182)											
	+60			2814									
III			1146										
	ПК1		(5897)										
	ПК1	0681											
		(5427)											
	+46			2322									
	П10			0836									
	П20			2466									
IV	Л8			0143									
	Л20			2664									
			2902										
	ПК2		(7645)										
	ПК2	0427											
IV		(5173)											
	+20			2948									
	+56			2948									
Постраничный контроль:		$\sum a =$	$\sum b =$		$\sum h_{\text{выч}} =$		$\sum h_{\text{ср}} =$						

Постраничный контроль: $(\sum_{\text{з}} - \sum_{\text{п}}) / 2 = \sum h / 2 = \sum h_{\text{ср}}$

Номер станции	Пикеты	Отсчеты, мм			Превышения h, мм						Горизонт инструм., ГИ, м	Абсолют. отметки, Н, м	Примечание
		Задний (a)	Передний (b)	Промежуточн.	Вычислен.		среднее		Исправл.				
					+	-	+	-	+	-			
IV			1117										
	X		(5861)										
V	X	2652											
		(7398)											
	ПК3		0832 (5576)										
VI	ПК3	2733											
		(7479)											
	+35			2930									
VII			0462										
	ПК4	0876											
		(5620)											
	+60			2822									
VIII			2082										
	ПК5	2372											
		(7158)											
	Rp2		1736 (6523)										Репер IV класса
Постраничный контроль:													
		$\Sigma 3 =$	$\Sigma П =$		$\Sigma h_{выч} =$	$\Sigma h_{ср} =$							

Постраничный контроль: $(\Sigma_3 - \Sigma_{п}) / 2 = \Sigma h / 2 = \Sigma h_{ср}$

$f_h =$ _____ $f_{h доп} = \pm 10 \sqrt{n} =$ _____

Контролем правильности вычисления отметок связующих точек является соблюдение условия

$$H_{\text{кон}} = H_{\text{нач}} + \Sigma h_{\text{испр.}}$$

9) Далее вычисляют отметки промежуточных точек через горизонт инструмента ГИ. Для этого на станции дважды вычисляют ГИ относительно задней и передней связующих точек и из двух его значений берут среднее:

$$ГП' = H_3 + a_4$$

$$ГП'' = H_n + b_4$$

$$ГП_{\text{ср}} = (ГП' + ГП'')/2$$

где H_3, H_n - отметки задней и передней связующих точек.

Отметки промежуточных точек получают вычитанием отсчетов по черной стороне рейки, установленной на соответствующей промежуточной точке, из отметки ГИ, т. е.

$$H_{\text{пром}} = ГИ - c_{\text{пром}}$$

Аналогичным образом вычисляют отметки точек поперечных профилей.

Лабораторная работа № 14 **ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЕЙ ТРАССЫ АВТОДОРОГИ**

Цель работы - ознакомиться с этапами и требованиями составления поперечного и продольного профилей, а также с сопутствующими проектными работами.

Материалы, приборы и принадлежности – журнал технического нивелирования, миллиметровая бумага формата А3 – 2 листа, чертежные инструменты и калькулятор.

Задание:

1. По результатам, полученным в журнале нивелирования (см. таблица 8.15) построить продольный профиль в масштабах: горизонтальный 1:2000 и вертикальный 1:200 и поперечный профиль в масштабе 1:200.
2. На профильные линии нанести проектные линии и сделать соответствующие расчеты.
3. Оформить профили согласно требованиям.

Содержание работы

Продольный и поперечный профили трассы автодороги являются итоговыми документами технического нивелирования. Они необходимы при вертикальной планировке оси сооружения и для производства земляных работ.

составление продольного профиля. Профиль составляется по данным журнала нивелирования от ПК0 до ПК5 на миллиметровой бумаге в масштабах: горизонтальный 1:2000 и вертикальный 1:200.

1. Выбирают условный горизонт (УГ) с таким расчетом, чтобы профиль трассы в самой низкой своей точке располагался на 5-7 см выше линии условного горизонта; при этом отметка УГ должна быть кратной 10 м.

2. Ниже линии УГ строят сетку профиля, в отдельных графах которой размещают фактические и проектные данные по профилю. Для определенного

типа сооружений установлено стандартное содержание и расположение линий и граф сетки, назначение которых определяется подписями. Последовательность граф и их размеры (в мм) показаны на рисунок 18.

3. Заполняют графу расстояний, где дают положения пикетов и плюсовых точек в масштабе 1:2000. Ниже подписывают номера пикетов. В графу отметки земли из нивелирного журнала выписывают абсолютные отметки всех точек (пикетных и плюсовых), округляя их до сантиметров. Наносят ось проектной линии красной тушью в графе «План трассы».

4. На перпендикулярах в этих точках откладывают в вертикальном масштабе 1:200 профильные отметки, определяемые как разности абсолютных отметок точек и условного горизонта, т. е.

$$H_{\text{проф}} = H_{\text{абс}} - УГ$$

Соединив полученные точки, получают линию профиля (поверхности земли).

5. По нанесенному профилю местности и фактическим отметкам в соответствии с требованиями технических условий проектируют расположение проектной линии в профиле. При проектировании проектной линии необходимо соблюдать основные условия проектирования — предельный уклон, минимальное количество и баланс земляных работ. Например, на рисунке 18 проектная линия проведена с примерно равным числом насыпей и выемок, позволяющим использовать грунт из выемок в насыпи, с небольшими размерами глубин выемок и высотой насыпей.

6. Определяют величину уклона

$$i = \frac{h}{d} = \frac{H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}}{d}$$

где $H_{\text{кон}}$ и $H_{\text{нач}}$ —отметки конечной и начальной точек проектной линии ($H_{\text{прПК 5}}$ и $H_{\text{прПК 0}}$); d — горизонтальная длина проектной линии.

Уклоны проектной линии в тысячных долях (промиллях - ‰) указывают в графе «Уклоны» красным цветом. Вертикальными красными ординатами отмечают начало и конец линий с одним уклоном и соединяют их сплошной красной линией, надписывая над ней уклоны, а под ней — длину участка;

направление уклона (падение, горизонтальность, подъем) указывается направлением линии.

7. Отметки проектной линии (H_{np}) профиля для всех связующих и промежуточных точек вычисляют по формуле

$$H_i = H_{i-1} + i d,$$

где H_i - искомая отметка определяемой точки; H_{i-1} – отметка начальной точки; i – уклон проектной линии, d – расстояние между определяемой и начальной точкой.

Проектные отметки с округлением до сантиметров заносят в графу «Проектные отметки».

8. Вычисляют рабочие отметки профиля

$$h_{раб\ i} = H_{np\ i} - H_i,$$

где $H_{np\ i}$ – проектная отметка в данной точке; H_i – отметка земли в данной точке.

На самом профиле вдоль вертикальных линий синей тушью записывают величины рабочих отметок, причем высоту насыпи записывают над красной линией, а глубину выемки - под ней.

9. В местах пересечения профильной линии и проектной находятся точки нулевых работ. Расстояние на местности, до которых определяется по формуле

$$x_1 = \frac{h_{раб\ 1}}{h_{раб\ 1} + h_{раб\ 2}} d$$

где d — величина интервала между соседними точками, внутри которого расположена точка нулевых работ;

$h_{раб\ 1}$ и $h_{раб\ 2}$ — рабочие отметки соседних точек профиля.

$$x_2 = \frac{h_{раб\ 2}}{h_{раб\ 1} + h_{раб\ 2}} d$$

Контроль: $x_1 + x_2 = d$

Пример: $a = 5,01$ м; $b = 5,94$ м; $d = 78,50$ м;

$$x_1 = \frac{5,01}{5,01 + 5,94} 78,5 = 35,9; \quad x_2 = \frac{5,94}{5,01 + 5,94} 78,5 = 42,6;$$

Контроль $35,9 + 42,6 = 78,5$ м

следовательно, точка нулевых работ 0 находится на расстоянии 35,9 м от предыдущей точки профиля А.

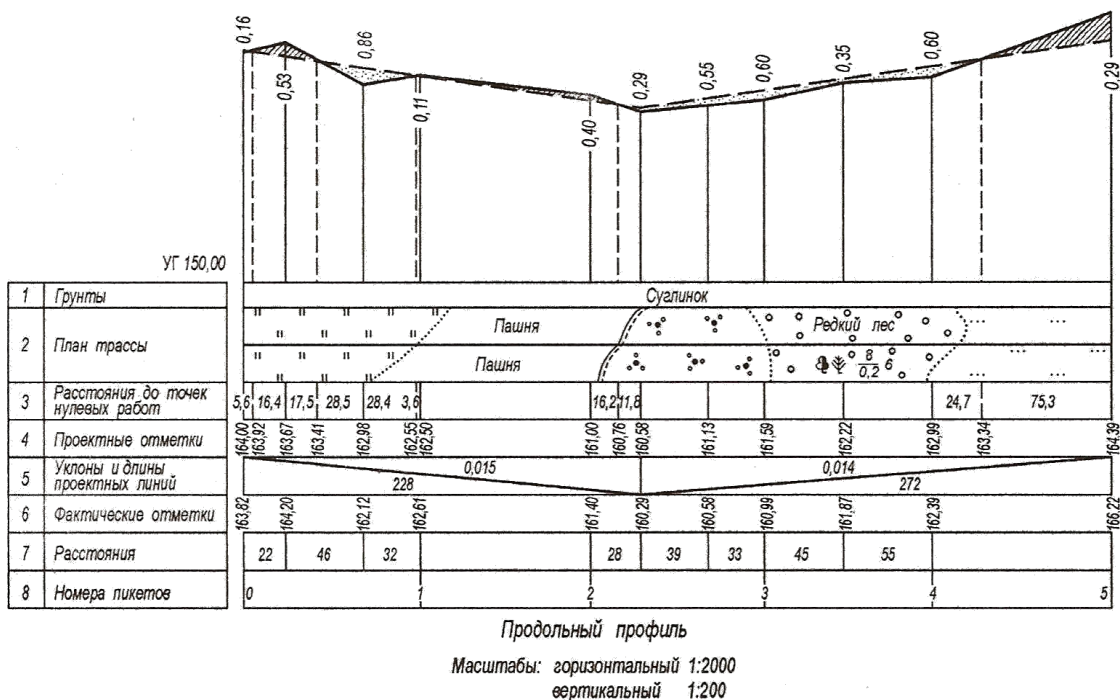


Рисунок 8.18 – Продольный профиль трассы

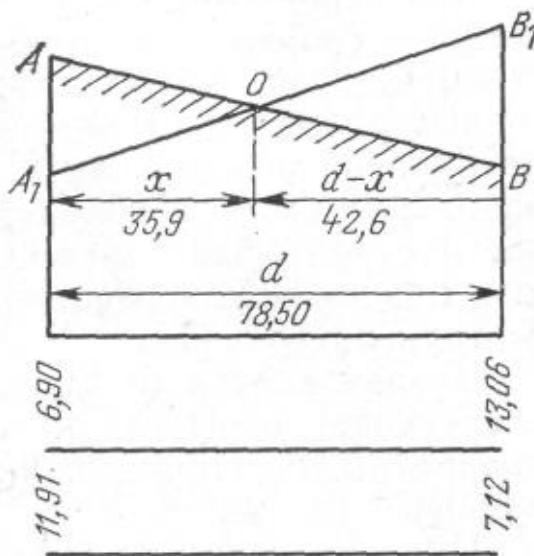


Рисунок 8.19 – Вычисление положения точки нулевых земляных работ

Между основанием и линией профиля синим вертикальным пунктиром отмечаются точки нулевых земляных работ, а по обе стороны от него записывают вычисленные расстояния от ближайших точек профиля до точки нулевых работ.

Построение поперечных профилей. Профили поперечников строят в одном масштабе 1:200. Пример поперечника приведен на рисунке 20. Условный горизонт берут с таким расчетом, чтобы высота ординат поперечника была бы в среднем около 5 см. На профиле дают черные отметки пикетов поперечника и расстояния между ними. с продольного профиля выписывают отметку проектной линии и строят ее на профиле. Затем определяют рабочие отметки земляных работ.

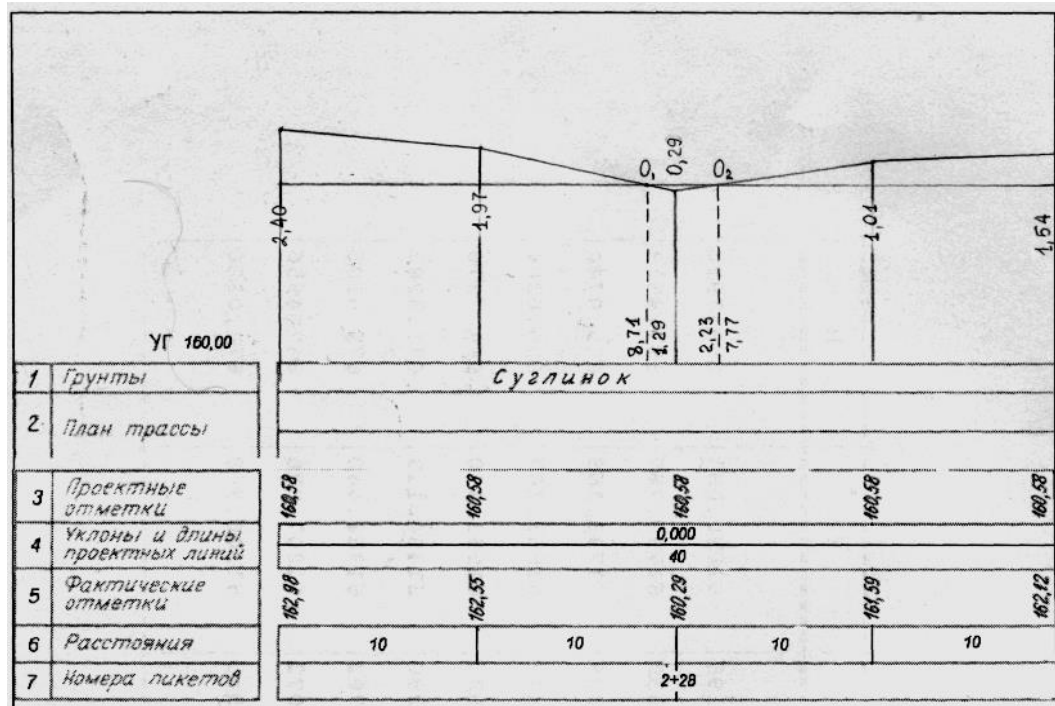


Рисунок 8.20 – Поперечный профиль трассы

Лабораторная работа № 15 КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛОЩАДНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Цель работы: - ознакомиться с необходимым составом материалов для планирования участка под горизонтальную площадку.

Материалы, приборы и принадлежности – миллиметровая бумага формата А 4 – 1 лист, чертежные инструменты и бумага, калькулятор.

Задание:

1. Выписать исходную абсолютную высоту точки $Rp5$, равную $109 \text{ м} + 0,2 \text{ м} \cdot \text{№ варианта}$.
2. Обработать журнал площадного нивелирования (таблица 16).
3. составить схему нивелирования.
4. Построить план поверхности в масштабе 1:500 с сечением горизонталей через 0,25 м.
5. Составить картограмму и ведомость объемов земляных работ.

Исходные данные

На участке местности со слабо выраженным рельефом произведено геометрическое нивелирование по квадратам для планирования участка под горизонтальную площадку (рисунок 8.21).

Порядок выполнения работы

Обработка журналов нивелирования. Обработку журналов нивелирования начинают с проверки всех записей и вычислений, выполненных в поле.

- 1) Вычисляют превышения по черной и красной сторонам реек:

$$h_{ч} = a_{ч} - b_{ч}; \quad h_{кр} = a_{кр} - b_{кр}$$

при этом расхождения в превышениях с учетом разности пятков пары реек не должны превышать 10 мм.

2) За окончательное значение превышения принимается среднее

$$h_{cp} = (h_u + h_{kp})/2$$

3) На каждой странице журнала выполняют постраничный контроль. Он заключается в подсчете сумм отсчетов на связующие точки по задней (Σa) и передней (Σb) рейкам, а также сумм превышений по черной и красной сторонам реек и средних превышений на станциях; при этом должно соблюдаться равенство:

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

4) Далее определяют высотную невязку хода.

Так как нивелирный ход замкнутый, то невязка вычисляется по формуле $f_h = \Sigma h_{cp}$.

5) Полученную высотную невязку сравнивают с допустимой $f_h \leq f_{h\text{ доп}}$, где $f_{h\text{ доп}} = 50\text{ мм} \sqrt{L}$ или $f_{h\text{ доп}} = 10\text{ мм} \sqrt{n}$, где L – длина хода, км, а n – число станций в ходе.

6) Если невязка не превышает допустимой величины, то ее разбрасывают с обратным знаком поровну на все средние превышения хода $\delta_h = -f_h / n$. При этом сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком, т.е. $\Sigma \delta_h = -f_h$

7) Вычисляют исправленные превышения по формуле $h_{испр\ i} = h_i + \delta_i$

Контроль: $\Sigma h_{испр} = 0$

8) По исправленным превышениям вычисляют отметки связующих точек

$$H_i = H_{i-1} + h_{испр}$$

где H_{i-1} — отметка предыдущей точки хода.

Контролем правильности вычисления отметок связующих точек является соблюдение условия

$$H_{кон} = H_{нач} + \Sigma h_{испр} = H_{нач} + 0 = H_{нач}.$$

9) Далее вычисляют отметки промежуточных точек через горизонт инструмента ГИ. Для этого на станции дважды вычисляют ГИ относительно задней и передней связующих точек и из двух его значений берут среднее:

$$ГП' = H_3 + a_ч;$$

$$ГП'' = H_3 + b_ч;$$

$$ГП_{cp} = (ГП' + ГП'')/2$$

где H_3, H_n — отметки задней и передней связующих точек;

$a_ч, b_ч$ — отсчеты по черной стороне реек, установленных на задней и передней связующих точках.

Отметки промежуточных точек получают вычитанием отсчетов по черной стороне рейки, установленной на соответствующей промежуточной точке, из отметки ГИ, т. е.

$$H_{пром} = ГИ - c_{пром}$$

Построение схемы нивелирования. На чертежной бумаге по нивелирному журналу в масштабе 1:500 составляют схему нивелирования. На схему наносят положение станций, а также показывают какие связующие и промежуточные точки с них снимались (рисунок 21).

Построение плана поверхности. На чертежной бумаге в масштабе 1:500 строят сеть квадратов со сторонами 20x20 м. На эту схему переносят отметки вершин из журнала нивелирования. Проводят горизонталы через 0,25 м, определяя их положение методом интерполирования на сторонах и диагоналях квадратов аналитически или графически с помощью палетки. (рисунок 8.22).

Построение картограммы и ведомости объемов земляных работ.

На миллиметровую бумагу с сеткой квадратов выписывают отметки вершин квадратов (рисунок 8.23).

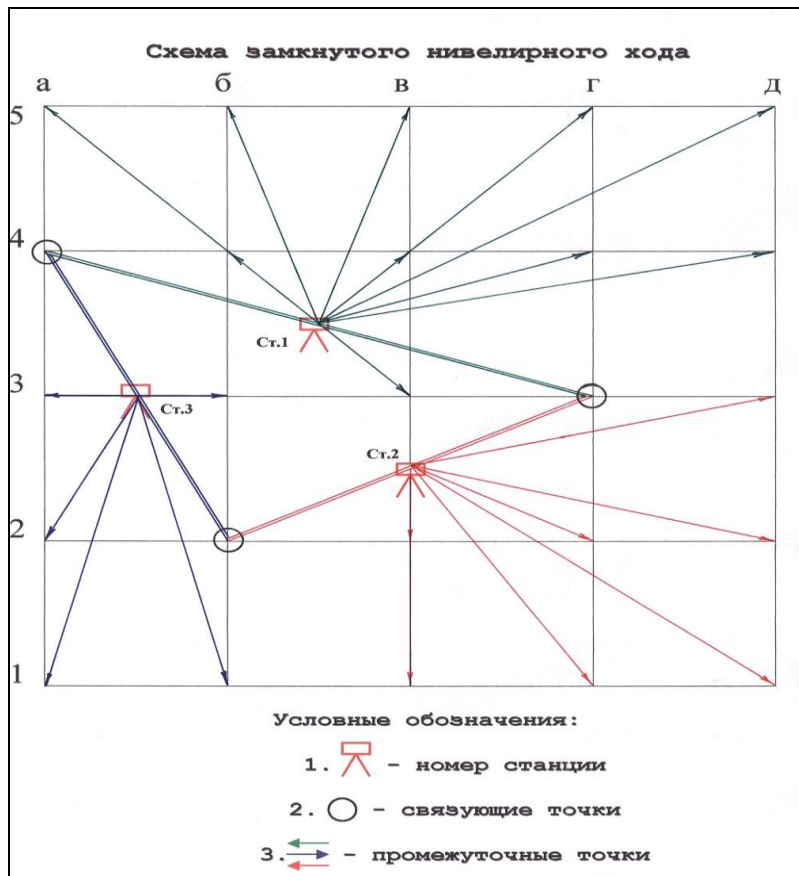


Рисунок 8.21 – Схема замкнутого нивелирного хода

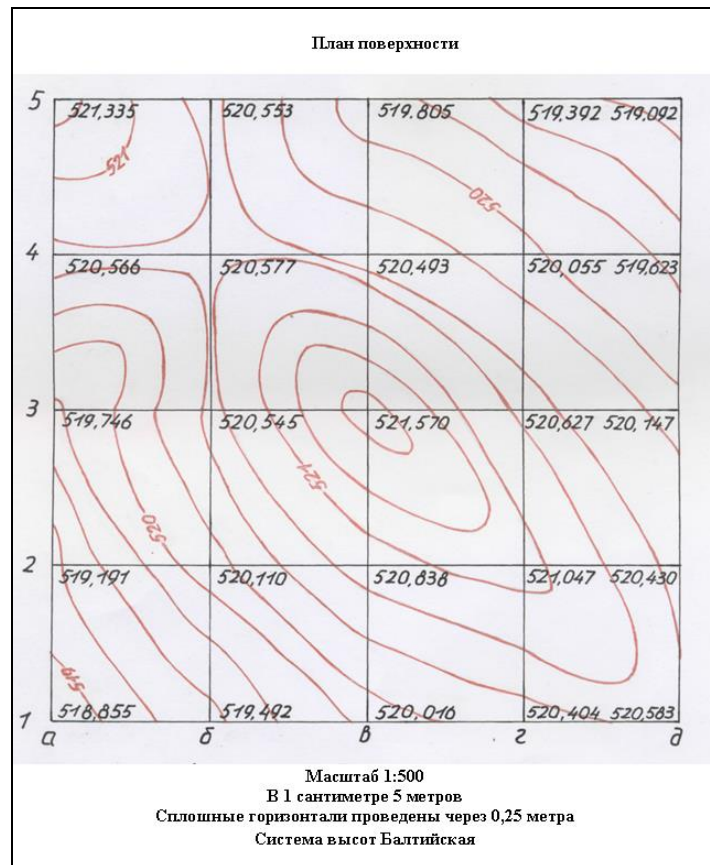


Рисунок 8.22 – План поверхности

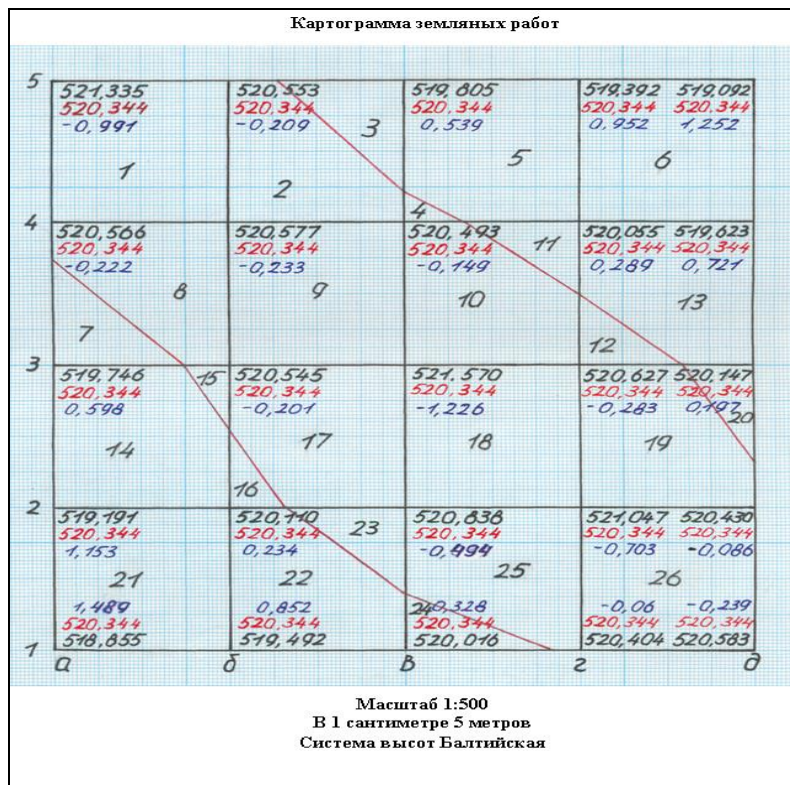


Рисунок 8.23 – Картограмма земляных работ

Переносят на картограмму проектную отметку планируемой горизонтальной площадки, которую вычисляют по формуле:

$$H_{np} = (\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 4\Sigma H_4) / 4n,$$

где ΣH_1 – сумма отметок вершин, принадлежащих одному квадрату;

ΣH_2 - сумма отметок вершин, общих для двух квадратов;

ΣH_4 - сумма отметок вершин, общих для четырех квадратов.

1. Вычисляют рабочие отметки вершин квадратов по формуле:

$$h_{рабi} = H_{np} - H_i$$

Рабочие отметки вершин квадратов переносят на картограмму земляных работ.

2. В квадратах имеющих противоположные знаки рабочих отметок определяют местоположение точек нулевых работ по формуле

$$x_1 = \frac{h_{раб1}}{h_{раб1} + h_{раб2}} d$$

где d — расстояние между вершинами квадрата, внутри которого расположена точка нулевых работ;

$h_{раб1}$ и $h_{раб2}$ - рабочие отметки соседних точек квадрата.

$$x_2 = \frac{h_{pa\delta_2}}{h_{pa\delta_1} + h_{pa\delta_2}} d$$

Контроль: $x_1 + x_2 = d$

Полученные точки нулевых работ после соединения дают линию нулевых работ.

Журнал площадного нивелирования

Вариант –

Таблица 8.16

Номер станции	Пикеты	Отсчеты, мм			Превышения h, мм						Горизонт инструм., Н, м	Абсолют. отметки, Н, м
		Задний	Передний	Проме- жуточн.	Вычислен.		среднее		Исправл.			
					+	-	+	-	+	-		
I	Rp5	1621										
		(6341)										
	4А		1024 (5744)									
II		1834 (6555)										
	5А			1533								
	3Б			1404								
	4Б			1132								
	5Б			1402								
	3В			0556								
	4В			1430								
	5В			0834								
	4Г			1631								
	5Г			2106								
	4Д			2188								
	5Д			2635								
	3Г			1305 (6024)								
	III	3Г	1526 (6247)									
3Д				2092								
2Д				1738								
1Д				1551								
2Г				1168								
1Г				1743								

	2В			1458								
	1В			2123								
	2Б		2108									
			(6827)									
IV	2Б	1128										
		(5269)										
	1Б			1626								
	1А			2178								
	2А			1824								
	3А			1453								
	Rp5		1665									
			(5808)									
Постраничный контроль:												
		$\Sigma Z =$	$\Sigma П =$		$\Sigma h_{\text{выг}} =$	$\Sigma h_{\text{ср}} =$						

Постраничный контроль: $(\Sigma_{\text{з}} - \Sigma_{\text{п}}) / 2 = \Sigma h / 2 = \Sigma h_{\text{ср}}$ $f_{h \text{ доп}} = \pm 10 \sqrt{n} =$

3. Определяем средние рабочие отметки вершин каждой полученной фигуры и заносим в таблицу 8.17.

4. В эту же таблицу заносим посчитанные площади фигур $S, м$.

5. Для каждой фигуры картограммы получаем объемы земляных работ

$$V = S h_{cp}$$

6. Подсчитываем сумму объемов всех насыпей и выемок и находим расхождение в объемах:

$$f_v = \frac{\Sigma V_n - \Sigma V_v}{V_{cp}} 100\%$$

$$V_{cp} = (\Sigma V_v + V_n) / 2$$

$$f_v \text{ доп} \leq 5\%$$

Ведомость объемов земляных работ

Вариант –

Таблица 8.17

№ фигуры	Насыпь			Выемка		
	ср. рабочая отметка h_{cp}	площадь фигуры $S, м^2$	объем $V, м^3$	ср. рабочая отметка h_{cp}	площадь фигуры $S, м^2$	объем $V, м^3$

Лабораторная работа № 16 **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ**

Цель работы: - ознакомиться с различными способами определения площадей.

Материалы, приборы и принадлежности – топографический план, ведомость координат вершин замкнутого теодолитного хода, калька, чертежные инструменты, калькулятор.

Задание:

1. Вычислить площадь замкнутого полигона аналитическим и графическим способами.
2. Записать результаты.

Основные понятия и формулы

Определение площади аналитическим способом

Если по результатам измерений на плане (карте) определены координаты вершин замкнутого многоугольника, то площадь последнего может быть определена аналитическим способом.

Пусть известны прямоугольные координаты вершин треугольника 1-2-3 (рисунок 24). Опустив из его вершин перпендикуляры на ось Oy , площадь треугольника можно представить как алгебраическую сумму площадей трех трапеций: I - (1'-1-2-2') II - (2'-2-3-3') и III-(1'-1-3-3'), т. е.

$$S = S_I + S_{II} + S_{III}.$$

Площади рассматриваемых трапеций определяются так:

$$S_I = \frac{1}{2} (x_1 + x_2) (y_2 - y_1)$$

$$S_{II} = \frac{1}{2} (x_2 + x_3) (y_3 - y_2)$$

$$S_{III} = \frac{1}{2} (x_1 + x_3) (y_3 - y_1)$$

Тогда удвоенная искомая площадь треугольника 1-2-3 будет равна

$$2S = (x_1 + x_2) (y_2 - y_1) + (x_2 + x_3) (y_3 - y_2) - (x_1 + x_3) (y_3 - y_1)$$

отсюда

$$2S = x_1 (y_2 - y_3) + x_2 (y_3 - y_1) + x_3 (y_1 - y_2)$$

или

$$2S = y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)$$

В общем виде

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=3} x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

или

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=3} y_i (x_{i+1} - x_{i-1})$$

Для контроля вычисления производят по обеим формулам.

Если координаты точек получены по результатам измерений на местности, то точность способа повышается, так как при этом на точность вычисления площади влияют лишь погрешности угловых и линейных измерений на местности. Так, при измерении углов с точностью 1' и длин линий с точностью 1:2000 относительная погрешность определения площади составит примерно 1 : 1500.

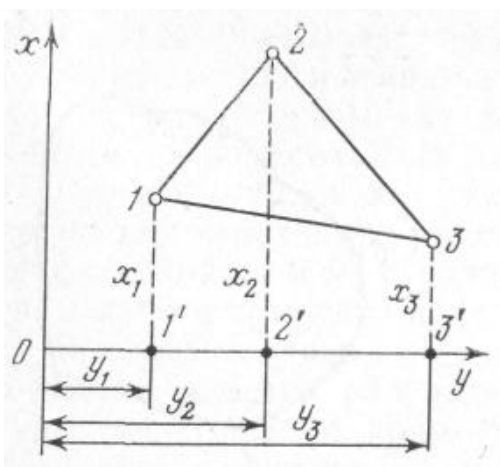


Рисунок 8.24 – Определение площади аналитическим способом

Определение площади графическим способом

сущность графического способа состоит в том, что площадь участка на плане разбивается на простейшие геометрические фигуры - прямоугольники трапеции, треугольники. По формулам геометрии определяют площади отдельных фигур и подсчитывают общую площадь участка. Наилучшим

вариантом разбивки является деление участка на равносторонние треугольники. Точность определения площади участка зависит от числа взятых фигур и углов границы участка. Точность измерения повышается в результате повторных измерений и при новой разбивке участка на другие фигуры. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из всех измерений.

Как правило, конфигурации участков леса, пашен, лугов, болот и т.д. имеют неправильные геометрические формы. Поэтому для измерения площадей небольших участков с криволинейным контуром применяют квадратные или параллельные палетки на прозрачном материале (рисунок 8.25 а, б).

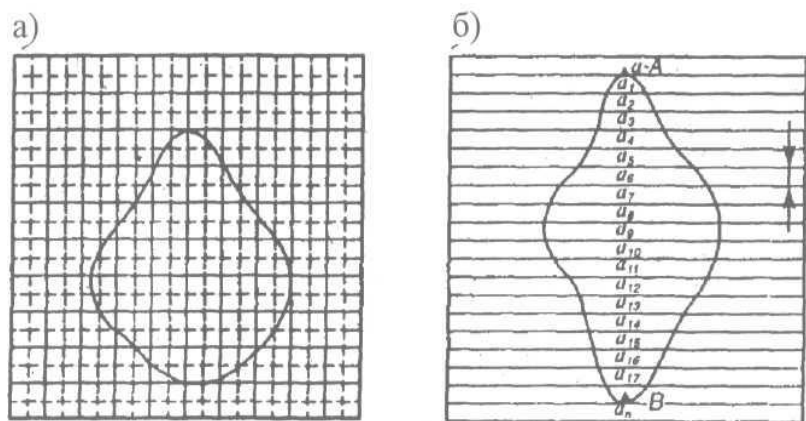


Рисунок 8.25 – Палетки: а - квадратная; б – параллельная

Квадратная палетка представляет собой квадрат со стороной 1 дм, который разбит на сеть средних квадратов со стороной 1 см, средние квадраты разбиты на сеть малых квадратов со стороной 2-5 мм.

Площадь участка определяется подсчетом больших, средних и малых квадратов, заключенных в фигуре участка. Для повышения точности и контроля измерение площади участка следует производить повторно, меняя положение палетки относительно контура участка.

Недостатком применения квадратных палеток является то, что доли палеток оцениваются на глаз и подсчет числа клеток затруднителен. Этого недостатка можно избежать при применении параллельных палеток (рисунок 8.25, б).

Здесь параллельные линии проведены на расстоянии 5 мм одна от другой. Палетку накладывают на криволинейный контур участка так, чтобы какие-нибудь две линии палетки касались контура (А и В). В этом случае можно считать, что площадь участка разбивается палеткой на ряд трапеций с основаниями a_1, a_2, \dots, a_n и постоянной высотой h .

Крайние части палетки с точками А и В следует считать трапециями с основаниями, равными нулю. Общая площадь участка S будет равна:

$$S = h (a_1 + a_2 + \dots + a_n)$$

Определение площади механическим способом

При измерении больших площадей участков с криволинейным контуром применяют механический способ. Площадь определяется по плану (карте) при помощи специальных приборов - планиметров. В настоящее время механические планиметры заменили электронные (рисунок 8.26). Результаты измерений отражаются на жидкокристаллическом дисплее. Цифровая клавиатура позволяет вводить пользовательский масштаб, в котором определяется площадь измеряемой фигуры. Выпускают несколько моделей электронных планиметров, позволяющих измерять площади по картам с ошибкой 0,2%.

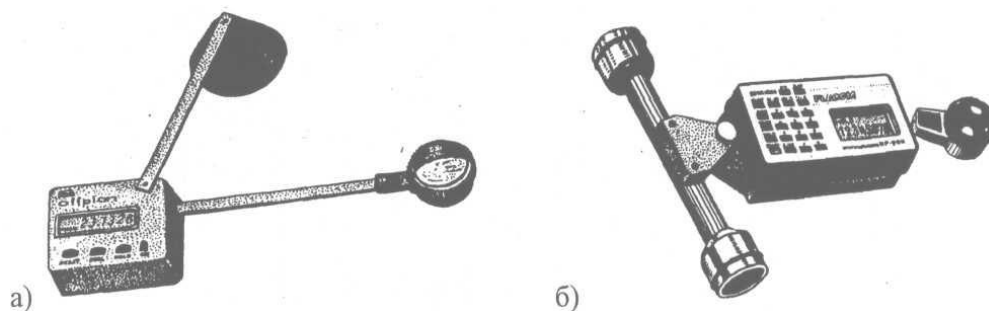


Рисунок 8.26 – Электронные планиметры: а) полярный, б) линейный (для обвода узких - до 40 см, но практически неограниченно длинных фигур)

Контрольные вопросы по курсу «Геодезия»

1. Вычисление площадей участков на топокартах по координатам их вершин.
2. Дирекционные углы, румбы и их взаимосвязь.
3. Измерение горизонтальных углов теодолитом способом приёмов.
4. Изображение рельефа горизонталями на топографических картах.
5. Истинный и магнитный азимуты линий. Магнитное склонение.
6. Масштабы: численный, линейный, поперечный.
7. Горизонтали, высота сечения, заложение ската и его крутизна.
8. Нивелир. Его назначение, устройство и поверки.
9. Определение географических координат точек на топокартах.
10. Определение площадей участков на карте полярным планиметром.
11. Определение площадей участков на топокартах палетками.
12. Определение прямоугольных координат точек на топокартах.
13. Полярный планиметр. Его назначение, устройство и поверки.
14. Поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса – Крюгера.
15. Приборы для измерения длин линий на местности.
16. Разграфка и номенклатура топографических карт.
17. Система высот в геодезии. Абсолютная и относительная отметки.
18. Система географических координат. Линия перемены дат.
19. Система прямоугольных координат, 6° и 3° зоны.
20. Способы определения площадей участков на топографических картах.
21. Теодолит. Его назначение и устройство.
22. Топоплан и топокарта, их отличительные особенности.
23. Форма и размеры Земли. Референц-эллипсоид Красовского.
24. Формы рельефа и их изображение на картах и планах.
25. Виды нивелирования (геометрическое, физическое, барометрическое).
26. Обратная геодезическая задача на плоскости.
27. Полярный планиметр. Его назначение, устройство и поверки.
28. Прямая геодезическая задача на плоскости.
29. Система высот в геодезии. Абсолютная и относительная отметки.
30. Способы определения превышений при геометрическом нивелировании.

Список рекомендуемой литературы

1. Большаков В.Д. Справочник геодезиста (в двух книгах)]/ Большаков В.Д Левчук Г.П. - М.; Недра, 1975. - 1056 с.
2. Геодезия / А.Г. Юнусов и др. – М.: Академический Проект, Гаудеамус, 2011. – 416 с.
3. Геодезия / Е.Б. Ключин и др. – М.: Академия, 2012. – 496 с.
4. Геодезия и картография на современном этапе развития. 1919-1989. - М.: Недра, 1989. - 184 с.
5. Геодезия. Учебник / А.Г. Юнусов и др. - М.: Академический Проект, Трикста, 2015. - 416 с.
6. Девис, Р.Е. Геодезия. Теория и практика. Выпуск 2 / Р.Е. Девис, Ф.с. Фут. - М.: ОНТИ НКТП. Главная редакция геологоразведочной и геодезической литературы, 2003. – 374 с.
7. Дитц, О. Г. Геодезия / О.Г. Дитц. - М.: Издательство геодезической литературы, 2002. – 332 с.
8. Дубинок, Н.К. Землеустройство с основами геодезии. –М.: Колосс., 2003.
9. Дьяков, Б.Н. Основы геодезии и топографии / Б. Н. Дьяков, В. Ф. Ковязин, А.Н. Соловьев ; под ред. Б.Н. Дьякова. - СПб.: Лань, 2011. – 271 с.
10. Золотова, Е. В. Геодезия с основами кадастра. Учебник / Е.В. Золотова, Р.Н. Скогорева. - М.: Академический Проект, Трикста, 2015. – 416 с.
11. Золотова, Е. В. Градостроительный кадастр с основами геодезии / Е.В. Золотова, Р.Н. Скогорева. - М.: Архитектура-с, 2008. – 176 с.
12. Захаров, А. И. Геодезические приборы: справочник. – М.: Недра, 2017. – 314 с.
13. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 1:500. - М.: Недра, 1985.
14. Инженерная геодезия/Е.Б. Ключин и др. - М.: Высшая школа, 2000.- 464 с.
15. Инженерная геодезия и геоинформатика. Краткий курс. Учебник. - М.: Лань, 2015. – 288 с.
16. Киселев, М. И. Геодезия. Учебник / М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев. - М.: Академия, 2014. – 384 с.
17. Ключин Е.Б. Инженерная геодезия / Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш. - 4-е изд., испр. - М.:Издательский центр «Академия», 200. - 480 с.
18. Кулешов Д.А. Инженерная геодезия для строителей / Кулешов Д.А., стрельников с.Е. - М: Недра, 1990. - 256с.
19. Курошев, Г. Д. Геодезия и топография / Г.Д. Курошев, Л.Е. смирнов. - М.: Академия, 2008. – 176 с.
20. Куштин, И. Ф. Геодезия / И.Ф. Куштин, В.И. Куштин. - М.: Феникс, 2009. – 912 с.
21. Маслов А.В. Геодезия / Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г.-М.: Колосс, 2006. – 598с.
22. Нестеренок, М. С. Геодезия / М.С. Нестеренок. - М.: Высшая школа, 2012. – 288 с.

23. Неумывакин, Ю.К. Земельно-кадастровые геодезические работы / Неумывакин Ю.К., Перский М. И. – М.: Колосс, 2008. – 184 с.
24. Погуляев, В. В. Комментарий к Федеральному закону от 26 декабря 1995 г. №209-ФЗ "О геодезии и картографии" / В.В. Погуляев. - М.: Юстицинформ, 2009. – 151 с.
25. Поклад Г.Г. Геодезия / Поклад Г.Г., Гриднев С.П. М.: - М.: Академический проспект, 2007.- 592 с.
26. Поклад, Г. Г. Геодезия / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. - М.: Академический Проект, Парадигма, 2011. – 544 с.
27. Павлов, Ф.Ф. Геодезия / Ф.Ф. Павлов, В.П. Машкевич, Б.Д. Федоров. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по угольной промышленности, 2011. - 292 с.
28. Пандул, И. с. История и философия геодезии и маркшейдерии / И.с. Пандул, В.В. Зверевич. - М.: Политехника, 2008. – 336 с.
29. Перфилов, В. Ф. Геодезия / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. - М.: Высшая школа, 2006. – 350 с.
30. Практикум по геодезии: учеб. пособие для вузов / Ю. К. Неумывакин. - М.: Колосс, 2008. – 318 с.
31. Практикум по геодезии: учеб. пособие для вузов по направлению 120300 - Землеустройство и земельный кадастр и спец. 120301 - Землеустройство, 120302 - Земельный кадастр, 120303 - Городской кадастр : рек. учеб.-метод. об-нием / Г. Г. Поклад [и др.] ; под ред. Г. Г. Поклада. - М. : Академический Проект: Трикста, 2011. – 486 с.
32. Стороженко А.Ф., Инженерная геодезия / Стороженко А.Ф., Некрасов О.К. - М.: Недра, 1993. - 256 с.
33. Усова, Н. В. Геодезия (для реставраторов) / Н.В. Усова. - М.: Архитектурас, 2006. – 224 с.
34. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М.: Недра, 1989.-300с.
35. Условные знаки для топографической карты М 1:10 000. М.: «Недра», 1997. – 143 с.
36. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия / Г.А. Федотов. - М.: Высшая школа, 2009. – 464 с.
37. Хренов, Л. С. Геодезия / Л.С. Хренов. - М.: Государственное лесотехническое издательство, 1998. – 511 с.
38. Чмирев, Н.с. Геодезия / Н.С. Чмирев А.В. Порошилов – Екатеринбург: Редакционно-издательский отдел УГЛТУ, 2011 – 55 с.
39. Шилов, П.И. Геодезия / П.И. Шилов. - М.: Госгеолтехиздат, 1988. – 384 с.
40. Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение: Учебник для вузов. – М.: Академический Проект; 2018. – 583 с.

Дина Рашитовна Чернигова
Евгения Степановна Тулунова
Елена Леонидовна Сосновская

ГЕОДЕЗИЯ (ОБЩИЙ КУРС)

Учебное пособие

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 12.10.2017 г.

Тираж 35 экз.

Издательство Иркутского государственного
аграрного университета им. А.А. Ежевского
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,
пос. Молодежный