

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**



**Белорусский национальный технический
университет
Факультет транспортных коммуникации
Кафедра «Геодезия и аэрокосмические
геотехнологии»**

Электронный учебно-методический комплекс

ГЕОДЕЗИЯ

**по учебной дисциплине «Геодезия»
для студентов специальности 6-05-0731-01
«Геодезия»**



Составитель: А.В. Кабацкий

**Минск
БНТУ
2025**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ЭУМК «Геодезия» включает в себя систематизированные учебные, научные и методические материалы по дисциплине и предназначен для повышения эффективности обучения студентов очной и заочной формах получения образования по специальности 6-05-0731-01 «Геодезия».

Содержание учебной дисциплины «Геодезия» увязано с содержанием курсов общенаучных, общепрофессиональных дисциплин, а также специальных дисциплин.

В структуру ЭУМК входят: теоретический раздел, практический раздел, раздел контроля знаний и вспомогательный раздел.

В практической части приведены методические указания по выполнению лабораторных работ по приобретению навыков работы с картой, производством и обработкой геодезических измерений приборами технической точности, созданию топографического плана.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	2
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
ТЕМА №1 Общие сведения о геодезии	6
1. Предмет геодезии, значение в народном хозяйстве. Развитие геодезической науки	6
2. Фигура Земли и ее размеры.....	7
3. Системы координат и высот, применяемые в геодезии.	9
ТЕМА №2 Топографические карты и планы.....	19
1. Понятие о карте, плане, их особенности	19
2. Условные знаки топографических карт и планов, их виды	24
3. Рельеф. Изображение рельефа на планах и картах.....	27
ТЕМА № 3 Задачи, решаемые на топографических картах и планах.....	31
1. Ориентирование. Прямая и обратная геодезические задачи	31
2. Определение расстояний	37
3. Определение координат.....	40
4. Определение отметок высот	41
5. Определение углов наклона и уклона	42
6. Построение линии заданного уклона	44
7. Построение профиля местности	45
8. Определение ориентирных углов направлений	46
ТЕМА №4 Элементы теории погрешностей измерений	49
1. Виды погрешностей измерений.....	49
2. Свойства случайных погрешностей. Арифметическая середина.....	50
3. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности	51
4. Понятие о неравноточных измерениях	52
5. Основные правила вычислений	53
ТЕМА №5 Теодолит. Поверки и исследования. Производство угловых измерений	55
1. Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности	55
2. Теодолиты их устройство.....	56
3. Классификация теодолитов.....	63
4. Поверки, исследования и аттестация теодолита 2Т30.....	64
5. Способы измерений горизонтальных углов	69
6. Измерение вертикальных углов.....	75
7. Погрешности угловых измерений	75
ТЕМА № 6. Приборы и методы производства линейных измерений	78
1. Приборы для непосредственного измерения линий.....	78
2. Закрепление измеряемых линий на местности. Вешение линий	81
3. Выполнение измерений. Вычисление длин линий	82
4. Источники погрешностей при измерении длин линий мерной лентой и рулеткой	85

5. Нитяной дальномер.....	85
6. Определение недоступных расстояний	88
7. Понятие об измерениях длин линий светодальномерами.....	90
ТЕМА № 7. Определение планового положения точек на местности.....	93
1. Понятие планового положения точек на местности.....	93
2. Плановое геодезическое съёмочное обоснование	95
3. Уравнивание теодолитного хода	100
4. Теодолитная съёмка	106
5. Построение контурного плана по результатам теодолитной съёмки	108
ТЕМА 8. Нивелир. Поверки и исследования. Производство измерений	113
1. Виды нивелирования, сущность и их точность	113
2. Геометрическое нивелирование и его методы	114
3. Приборы для геометрического нивелирования. Их классификация, устройство.....	116
4. Поверки нивелиров	121
5. Нивелирный ход. Производство нивелирования	126
6. Основные источники ошибок геометрического нивелирования.....	131
7. Тригонометрическое нивелирование	133
ТЕМА 9. Вертикальная съёмка местности	137
1. Основные положения вертикальной съёмки	137
2. Нивелирование по квадратам.....	138
ТЕМА 10. Состав работ при производстве наземных топографических съёмок	141
1. Общие сведения о топографических съёмках, их основные виды.....	141
2. Сущность и применение тахеометрической съёмки	141
3. Полевые работы и порядок работы на станции при тахеометрической съёмке	144
4. Камеральная обработка, составление и оформление плана тахеометрической съёмки ..	147
ТЕМА 11. Определение площадей	150
1. Аналитические и графические способы измерения площадей	150
2. Механический способ измерения площадей по карте.....	152
ТЕМА 12. Геодезические сети	158
1. Виды геодезических сетей. Методы построения плановых геодезических сетей.....	158
2. Государственные геодезические сети и их классификация	161
3. Сети сгущения и съёмочные плановые сети, сети специального назначения	162
4. Закрепление геодезических сетей на местности	163
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	165
Лабораторное занятие №1	165
Лабораторное занятие № 2	167
Лабораторное занятие № 3	169
Лабораторное занятие № 4	170
Лабораторное занятие № 5	171

Лабораторное занятие № 6	172
Лабораторное занятие № 7	174
Лабораторное занятие № 8	175
Лабораторное занятие № 9	176
Лабораторное занятие № 10	177
Лабораторное занятие № 11	178
Лабораторное занятие № 12	179
Лабораторное занятие № 13	181
Лабораторное занятие № 14	183
Лабораторное занятие № 15	184
Лабораторное занятие № 16	191
Лабораторное занятие № 17	192
Лабораторное занятие № 18	193
Лабораторное занятие № 19	194
Лабораторное занятие № 20	196
Лабораторное занятие № 21	197
Лабораторное занятие № 22	199
Лабораторное занятие № 23	200
Лабораторное занятие № 24	201
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	206
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	214
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	216

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ТЕМА №1 Общие сведения о геодезии

1. Предмет геодезии, значение в народном хозяйстве. Развитие геодезической науки.
2. Фигура Земли и ее размеры.
3. Системы координат и высот, применяемые в геодезии.

1. Предмет геодезии, значение в народном хозяйстве. Развитие геодезической науки

Геодезия – одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образовано 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, которые обусловили возникновение этой науки, но уже не характеризует современного многостороннего содержания геодезии и не раскрывает сущности ее научных проблем и практических задач, связанных с разнообразными потребностями человеческой деятельности.

Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами. В геодезии используют положения математики, физики, астрономии, картографии, географии и других научных дисциплин.

Современная геодезия – многогранная наука, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах.

В процессе развития геодезии в ней выделился ряд связанных между собой научных дисциплин, среди них следует назвать те, которые в определенной мере учитываются или используются в геодезическом обеспечении строительства:

- **Космическая (спутниковая) геодезия** рассматривает методы координатных описаний движения искусственных спутников Земли в режиме реального времени для решения геодезических задач методами, основанными на определении расстояний от наземных приемников до спутников, излучающих специальные радиосигналы.

- **Высшая геодезия** изучает методы определения формы и размеров планеты Земля, методы определения координат точек на ее поверхности, современные движения земной коры и их прогнозирование с использованием астрономических, гравиметрических, геодезических измерений и спутниковых систем позиционирования.

- **Топография** рассматривает наземные методы измерений на земной поверхности, а также аэрокосмические методы дистанционного зондирования и

фотографирования земной поверхности, обработки их результатов и представления в виде топографических карт и планов.

- **Фотограмметрия** рассматривает методы расчета параметров аэрофотосъемки земной поверхности для получения стереографического изображения и пространственной модели местности, на основе которой аналитическими методами создаются топографические карты; в настоящее время внедряются технологии цифровой и космической фотограмметрии на основе сканерных съемок местности.

- **Картография** изучает теоретические основы картографических проекций и технологию создания карт различных масштабов и назначения для отображения земной поверхности, различных природных и техногенных объектов на ней, для обеспечения рациональных методов природопользования; в настоящее время развиваются методы создания и практического использования цифровых и электронных карт.

- **Маркшейдерское дело** рассматривает применение методов геодезии при строительстве подземных сооружений (например, тоннелей) и для обеспечения геометрических задач горнодобывающей промышленности, решаемых при разведке и съемке залежей полезных ископаемых, строительстве горных сооружений, проходке и съемке горных выработок, определении их объема и положения и др.

- **Инженерная геодезия** рассматривает методы производства геодезических измерений в условиях строительства различных объектов.

2. Фигура Земли и ее размеры

Размеры и форму физической поверхности Земли, как планеты, относят к ее геометрической модели, поверхность которой используется в качестве основы для установления глобальных, региональных или частных систем координат, удобных для математической обработки результатов геодезических измерений и их представления для решения различных научных и практических задач и картографирования земной поверхности.

Реальная поверхность земной коры представляет собой рельеф, выраженный сочетаниями неровностей различной величины и формы. При этом воды Мирового океана покрывают более 70% поверхности Земли, поэтому его поверхность послужила основой описания физической модели Земли в виде уровенной поверхности нашей планеты. Гладкая, всюду выпуклая поверхность, образованная уровнем воды Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия, мысленно продолженная под сушей так, что в каждой ее точке вектор силы тяжести является нормалью к ней, называется геоидом (рисунок 1.1).

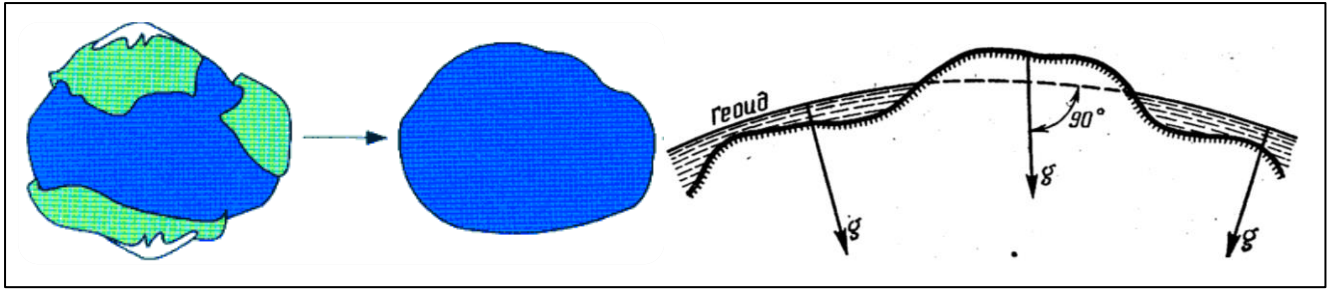


Рисунок 1.1 –Поверхность геоида

Из-за неравномерного распределения плотности в земной коре и неровностей ее рельефа поверхность геоида имеет глобальные и локальные волны и не имеет строгого геометрического описания, поэтому невозможно достаточно простое решение на ней точных задач по распространению и вычислению координат точек земной поверхности. Поэтому там, где это допустимо, поверхность геоида заменяется приближенными математическими моделями, в качестве которых принимается в одних случаях эллипсоид, в других – земной шар, а при топографическом изучении незначительных по размеру территорий – горизонтальная плоскость, т. е. плоскость, перпендикулярная к вертикальной линии в данной точке.

Эллипсоид вращения получается вращением эллипса вокруг его малой оси b (рисунок), совпадающей с осью вращения Земли, причем центр эллипсоида совмещается с центром Земли.

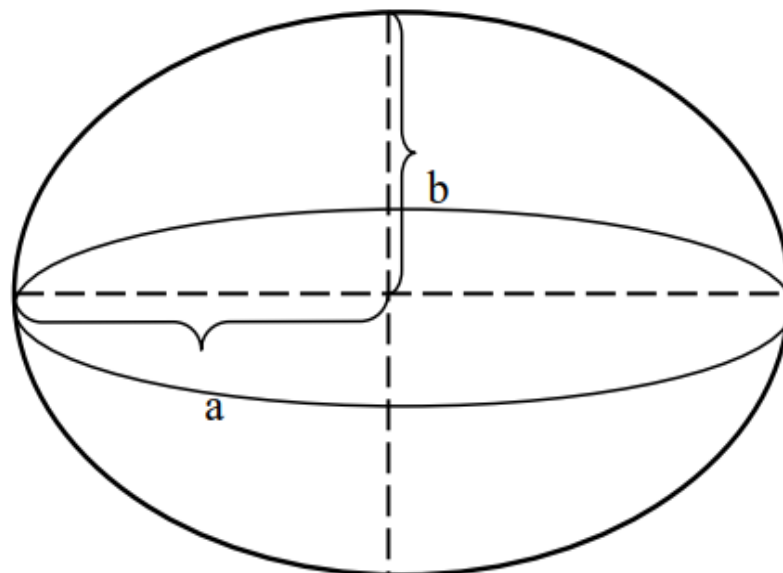


Рисунок 1.2 – Эллипсоид вращения

Размеры эллипсоида подбирают при условии наилучшего совпадения поверхности эллипсоида и геоида в целом (общеземной эллипсоид) или отдельных его частей (референц-эллипсоид). Фигура референц-эллипсоида наилучшим образом подходит для территории отдельной страны или нескольких стран.

Размеры референц-эллипсоида в разное время определялись многими учеными по материалам градусных измерений. В США, Канаде, Мексике, Франции при создании карт пользуются размерами референц-эллипсоида Кларка, в Финляндии и некоторых других странах – размерами референц-эллипсоида Хейфорда, в Австрии - размерами референц-эллипсоида Бесселя.

В 1940 г. на основе градусных измерений, выполненных на территории СССР и в ряде других стран, под научным руководством и при участии профессора Ф. Н. Красовского были получены наиболее точные для того времени параметры общего земного эллипсоида: размеры его большой полуоси $a = 6378245$ м, малой полуоси $b = 6356863$ м, и полярное сжатие $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$. Данный эллипсоид был ориентирован относительно геоида под условием минимальных отклонений их поверхностей только на территории СССР. Эллипсоид с указанными параметрами и ориентировкой в теле Земли носит наименование «референц-эллипсоид Красовского».

В инженерной геодезии и работах по топографии условно считают, что Земля имеет форму шара, объем которого равен объему земного эллипсоида, а радиус шара $R = 6371,11$ км.

3. Системы координат и высот, применяемые в геодезии.

Координаты – это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве в принятой системе координат. Система координат устанавливает начальные (исходные) точки, линии или плоскости для отсчета необходимых величин – начало отсчета координат и единицы их исчисления. В топографии и геодезии наибольшее применение получили системы географических, прямоугольных, полярных и биполярных координат.

Географические координаты применяются для определения положения точек поверхности Земли на эллипсоиде (шаре). В этой системе координат исходными являются плоскость начального меридиана и плоскость экватора.

Меридианом называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли.

Параллелью называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и перпендикулярную земной оси.

Параллель, плоскость которой проходит через центр эллипсоида, называется экватором. Через каждую точку, лежащую на поверхности земного шара, можно провести только один меридиан и только одну параллель.

Геодезические координаты определяют положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде (рисунок 1.3).

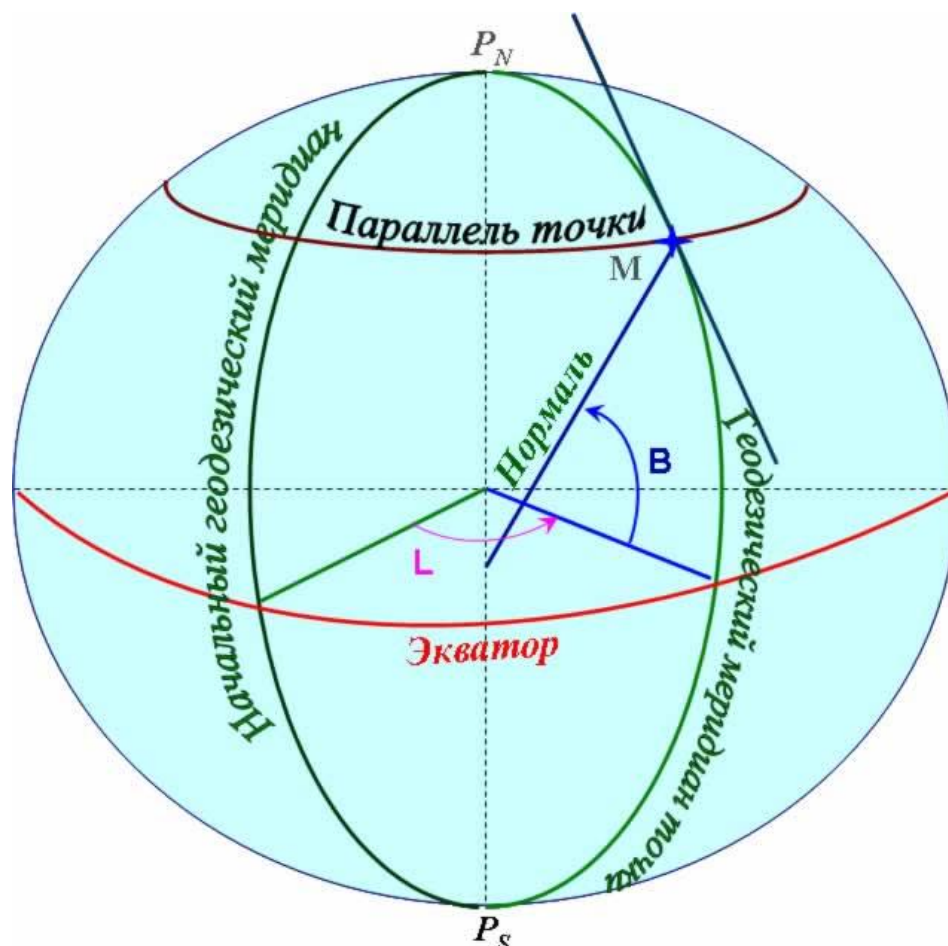


Рисунок 1.3 – Система геодезических координат

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

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

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

Астрономическая широта φ и долгота λ определяют положение точки земной поверхности относительно экваториальной плоскости и плоскости начального астрономического меридиана (рисунок 1.4).

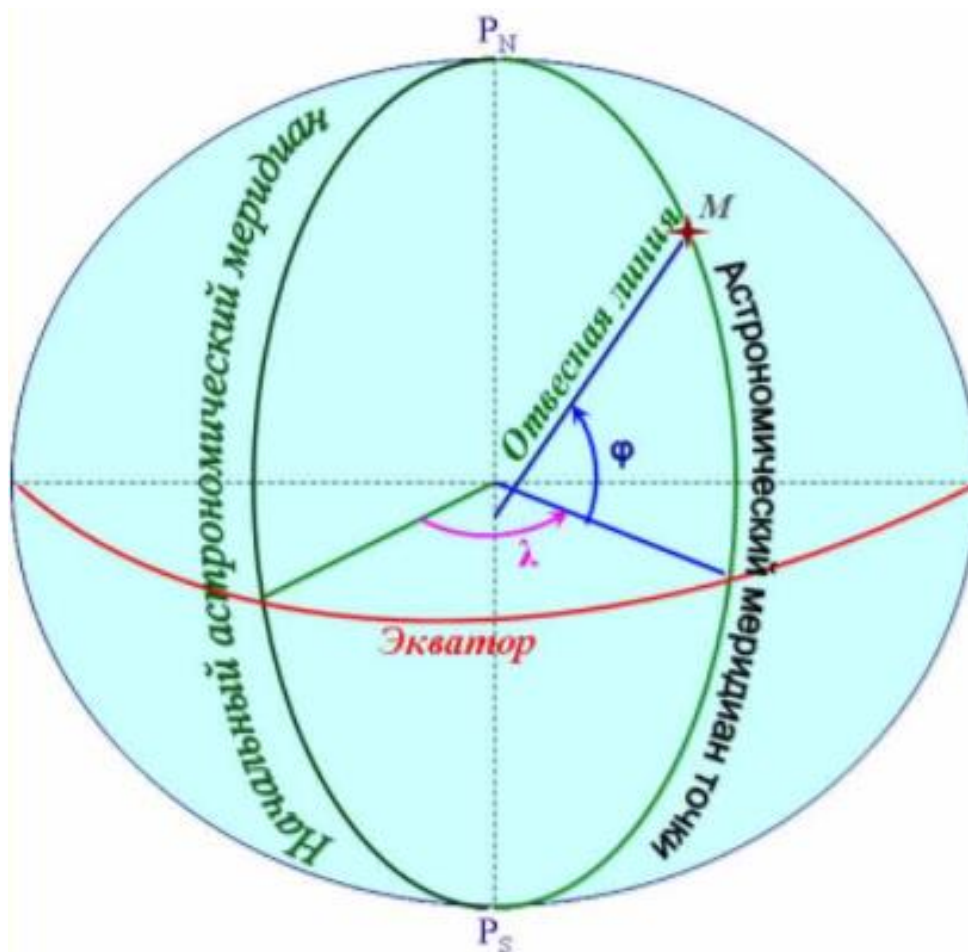


Рисунок 1.3 – Система геодезических координат

Астрономическая широта φ – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.

Астрономическая долгота λ – двугранный угол между плоскостями астрономического меридиана данной точки и начального астрономического меридиана.

Плоскостью астрономического меридиана является плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке и параллельная оси вращения Земли.

Астрономическая широта φ и долгота λ определяются астрономическими наблюдениями.

Геодезические и астрономические координаты отличаются (имеют расхождение) из-за отклонения отвесной линии от нормали к поверхности эллипсоида. При составлении географических карт этим отклонением пренебрегают.

Географические координаты – величины, обобщающие две системы координат: геодезическую и астрономическую, используют в тех случаях, когда отклонение отвесных линий от нормали к поверхности не учитывается (рисунок 1.5).

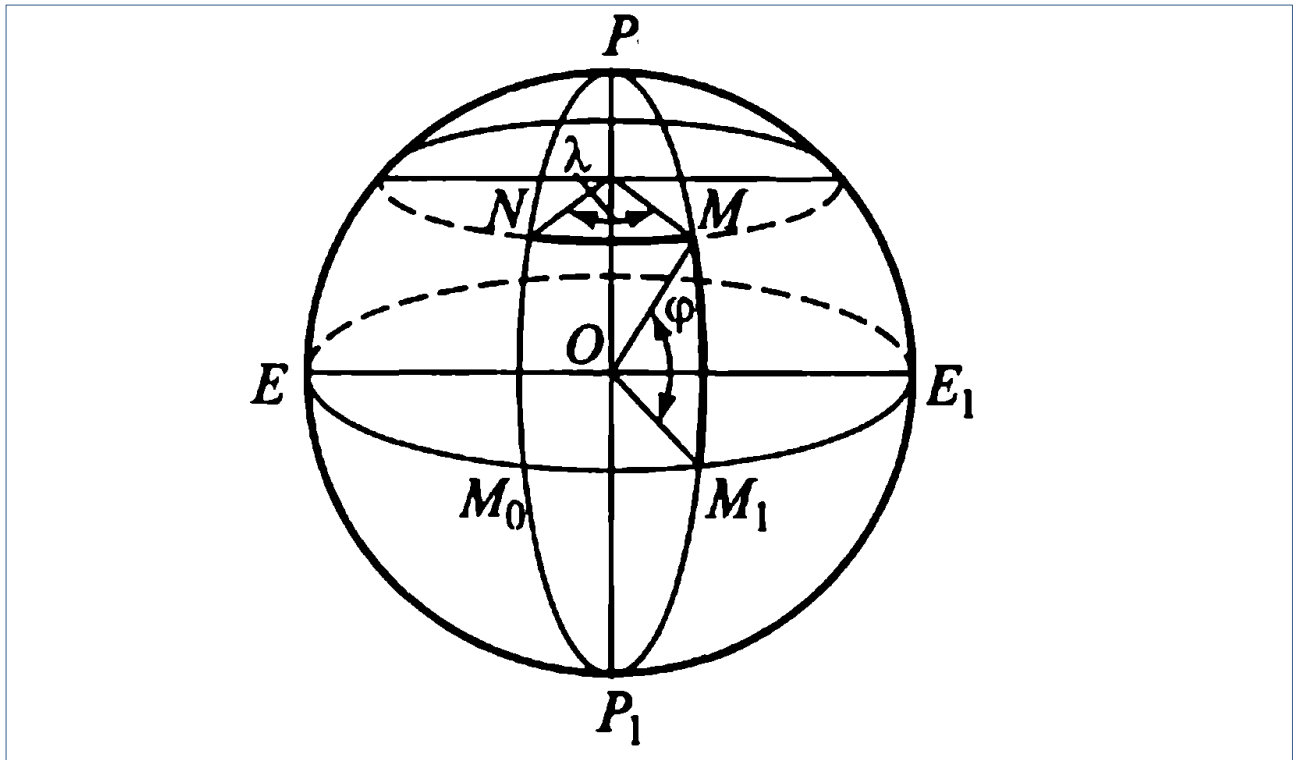


Рисунок 1.5 – Система географических координат

Географическая широта φ – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.

Географическая долгота λ – двугранный угол между плоскостями меридиана данной точки с плоскостью начального меридиана.

Система географических координат проста, но неудобна для практического применения, т.к. географические координаты выражают в угловых величинах, а их линейные значения в различных частях земного эллипсоида неодинаковы. Поэтому в геодезии широко распространена система плоских прямоугольных координат.

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

Прямоугольными координатами называются линейные величины – абсцисса и ордината, определяющие положение точки на плоскости относительно исходных направлений.

В геодезии и топографии принята правая система прямоугольных координат. Это отличает ее от левой системы координат, используемой в математике.

Для определения положения точек в плоской прямоугольной системе координат используют горизонтальную координатную плоскость XOY (рисунок 1.6), образованную двумя взаимно перпендикулярными прямыми. Одну из них принимают за ось абсцисс X , другую – за ось ординат Y , точку пересечения осей O – за начало координат.

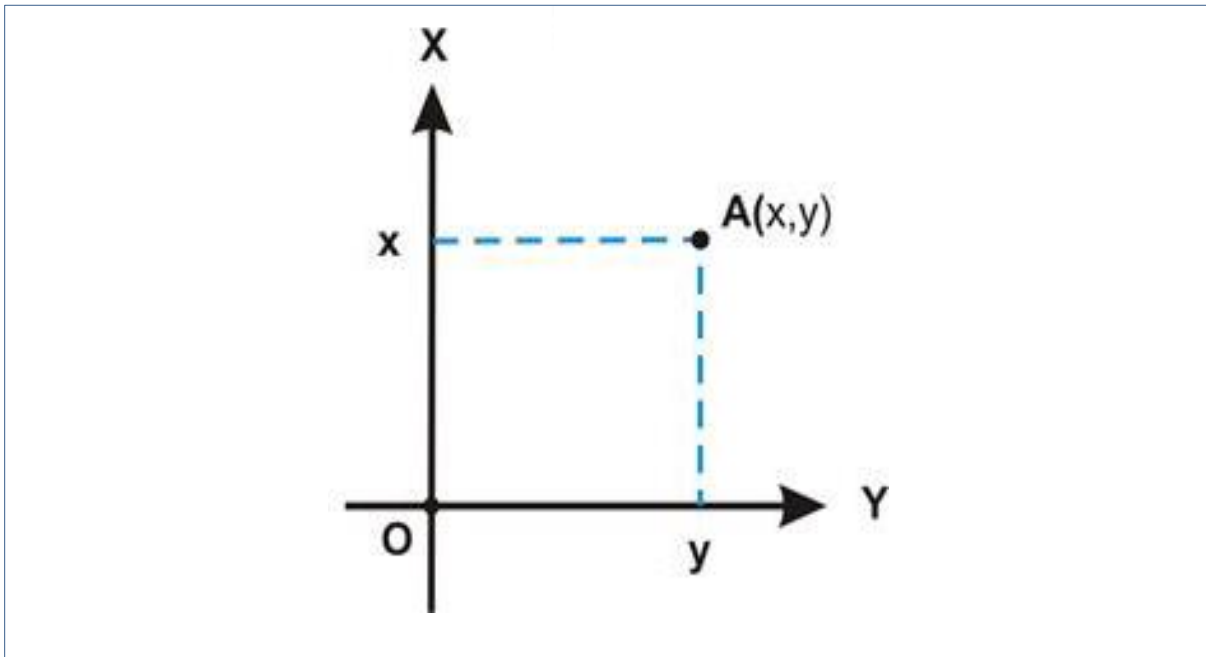


Рисунок 1.6 – Плоская прямоугольная система координат

Положительное направление оси x – на север от экватора, оси y – на восток от меридиана.

Четверти прямоугольной системы координат нумеруются. Оси абсцисс и ординат образуют координатные четверти I-IV, которые нумеруют по ходу часовой стрелки; северо-восточная четверть считается первой (рисунок 1.7).

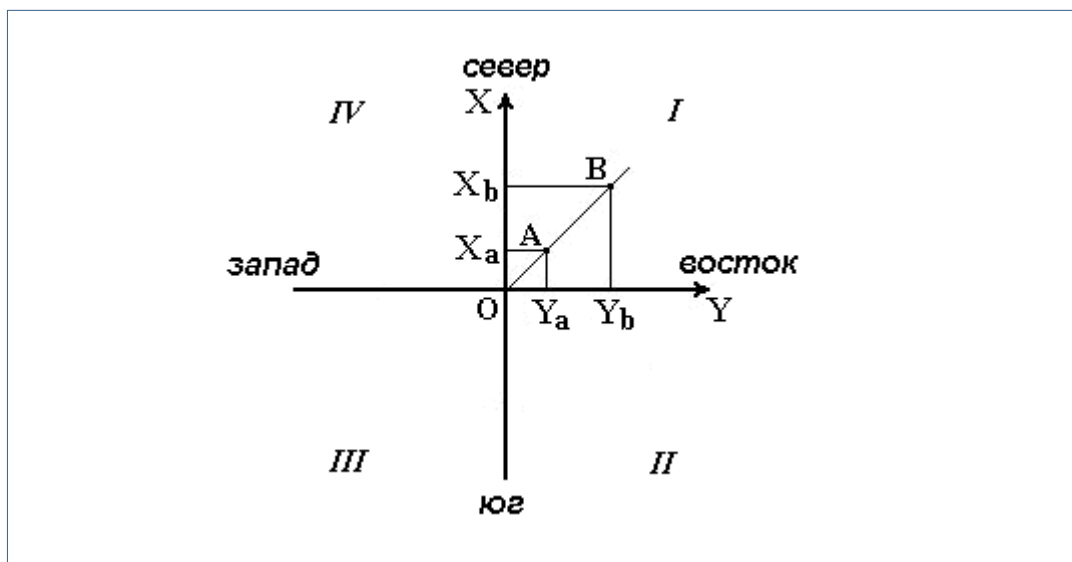


Рисунок 1.7 – Четверти прямоугольной системы координат

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

Система плоских прямоугольных координат применяется на ограниченных участках земной поверхности, которые могут быть приняты за плоские.

Изучаемые точки проектируют с математической поверхности Земли на координатную плоскость XOY . Так как сферическая поверхность не может быть спроектирована на плоскость без искажений (без разрывов и складок), то при построении плоской проекции математической поверхности Земли принимается неизбежность данных искажений, но при этом их величины должным образом ограничивают.

Для этого применяется равноугольная картографическая проекция Гаусса-Крюгера (проекция названа по имени немецких ученых, предложивших данную проекцию и разработавших формулы для её применения в геодезии), в которой математическая поверхность Земли проектируется на плоскость по участкам – зонам, на которые вся земная поверхность делится меридианами через 6° или 3° , начиная с начального меридиана (рисунок 1.8).

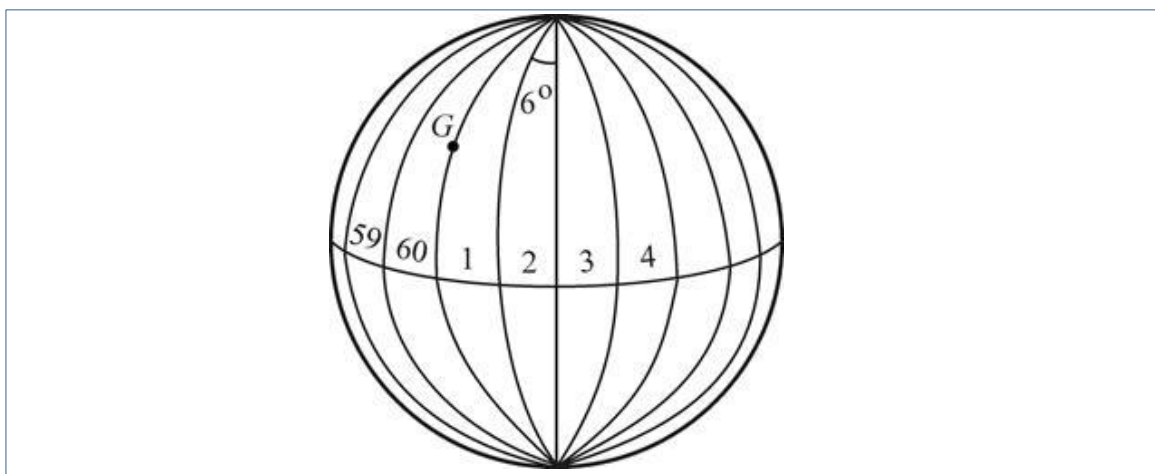


Рисунок 1.8 – Деление математической поверхности Земли на шестиградусные зоны

В пределах каждой зоны строится своя прямоугольная система координат. С этой целью все точки данной зоны проецируются на поверхность цилиндра (рисунок 1.9), ось которого находится в плоскости экватора Земли, а его поверхность касается поверхности Земли вдоль среднего меридиана зоны, называемого осевым. Относительно каждого осевого меридиана определяются границы соответствующей зоны, очерченные меридианами эллипсоида от Северного до Южного полюсов. Зоны пронумерованы с 1-й по 60-ю от Гринвичского меридиана на восток. При этом соблюдается условие сохранения подобия фигур на земле и в проекции при малых размерах этих фигур.

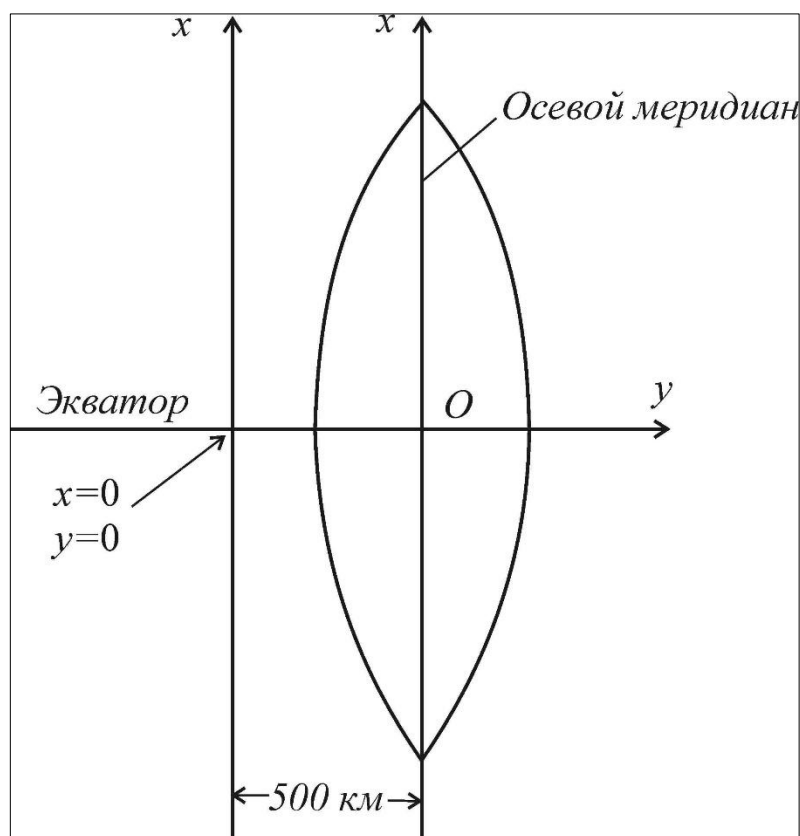


Рисунок 1.9 – Зональная система координат

Для всех точек на территории Республики Беларусь абсциссы имеют положительное значение. Чтобы ординаты точек также были только положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км. Таким образом, точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, т.к. наибольшая ширина шестиградусной зоны не превышает 385 км, а к востоку – больше 500 км и менее 900 км. Эти ординаты называют преобразованными.

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

Координаты, началом отсчета которых является какая-либо точка местности, называются полярными. В данной системе координат производится измерение углов ориентирования. На горизонтальной плоскости (рис. 13) через произвольно выбранную точку O , называемую полюсом, проводят прямую OX – полярную ось.

При выполнении съемочных и разбивочных геодезических работ часто применяют полярную систему координат (рисунок 1.10). Она состоит из полюса

О и полярной оси OP , в качестве которых принимается прямая с известным началом и направлением.

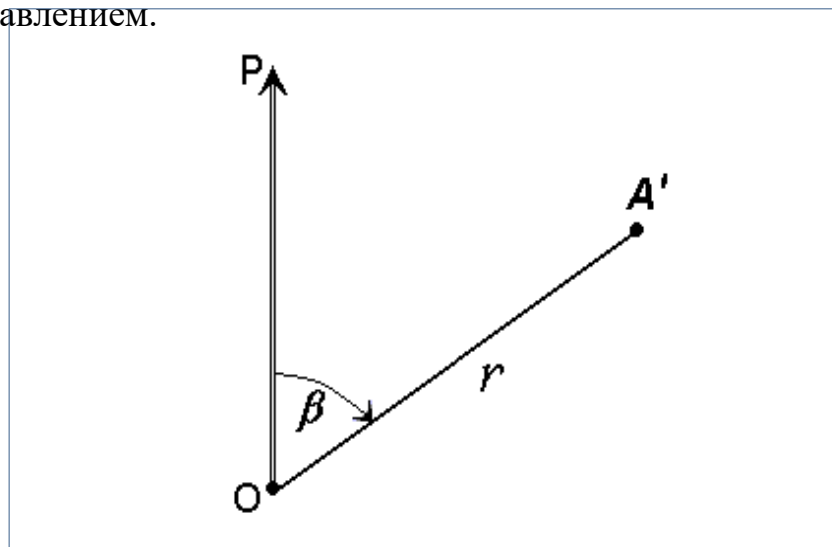


Рисунок 1.10 –Полярная система координат

Для определения положения точек в данной системе используют линейно-угловые координаты: угол β , отсчитываемый по часовой стрелке от полярной оси OP до направления на горизонтальную проекцию точки A' , и полярное расстояние r от полюса системы O до проекции A' .

Геоцентрическая система представляет одну из глобальных координатных систем, используемых в спутниковых технологиях определения координат неподвижных объектов и находящихся в движении на земной поверхности и в пространстве.

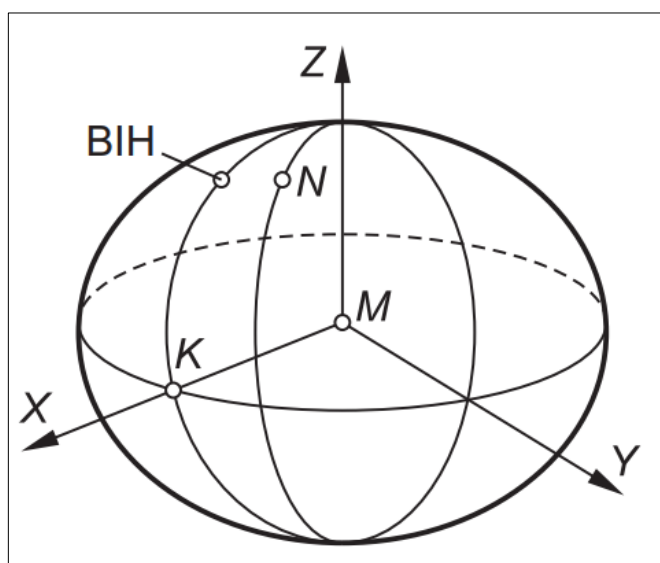


Рисунок 1.11 – Геоцентрическая система координат

Пространственные прямоугольные координаты x, y, z точки N определяют относительно центра масс Земли M и координатных осей X, Y, Z .

Ось Z совмещена со средним положением оси вращения Земли, положительное направление оси – северное. Ось X направлена от центра масс к точке K точке пересечения плоскости экватора с плоскостью нулевого меридиана ВИН, положение которого определено Международным бюро времени (ВИН) в пункте закрепления Гринвичского меридиана. Ось Y расположена в плоскости экватора под углом 90° к востоку от оси X , этим установлена правосторонняя ориентация геоцентрической системы координат.

Для определения положения точек физической поверхности Земли недостаточно знать только плановые координаты X , Y необходима третья координата – высота точки H . Высота точки является третьей координатой, определяющей её положение в пространстве. Высотой точки H (рисунок 1.12) называется расстояние по отвесному направлению от данной точки A до принятой основной уровенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется отметкой.

В геодезии для определения отметок точек применяются следующие системы высот (рис.17):

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

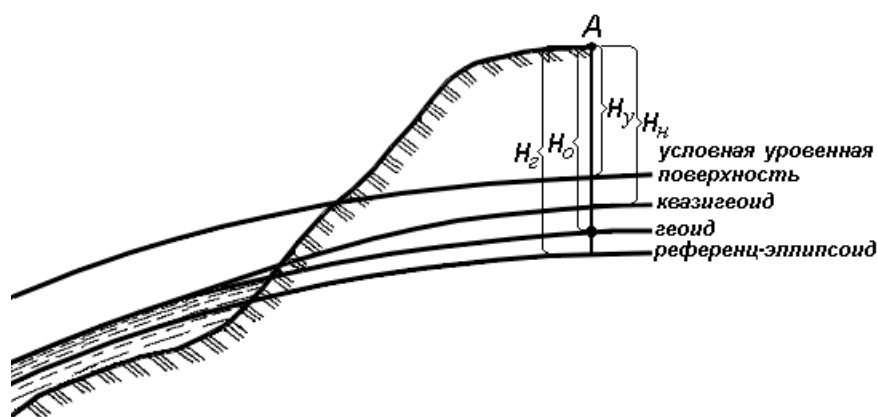


Рисунок 1.1 2– Системы высот в геодезии

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

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

Высоты, отсчитываемые от основной уровенной поверхности называют абсолютными высотами, а определяемые относительно произвольно выбранной уровенной поверхности – условными высотами.

Разность высот двух точек или расстояние по отвесному направлению между уровнями поверхностями, проходящими через две любые точки Земли называется относительной высотой или превышением этих точек h .

В Республике Беларусь принята Балтийская система высот 1977 г. Счет высот ведется от уровенной поверхности, совпадающей со средним уровнем воды в Финском заливе, от нуля Кронштадтского футштока.

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

В нормальной системе высот отметка точки H_n отсчитывается по направлению отвесной линии от поверхности квазигеоида, близкой к поверхности геоида. Отличие реального среднего уровня моря от геоида может достигать 1 м.

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

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

ТЕМА №2 Топографические карты и планы

1. Понятие о плане и карте, их особенности.
2. Условные знаки топографических карт и планов, их виды.
3. Рельеф. Изображение рельефа на планах и картах.

1. Понятие о карте, плане, их особенности

Поверхность Земли изображают на плоскости в виде планов, карт.

Карта – уменьшенное обобщенное условно-знаковое изображение поверхности Земли (ее части), других планет или небесной сферы, построенное в масштабе и проекции (т.е. по математическому закону).

Карты и планы классифицируют в основном *по масштабам* и *назначению*.

По масштабам карты подразделяются на мелко-, средне- и крупномасштабные. Мелкомасштабные карты мельче 1:1000000 – это карты обзорного характера и в геодезии практически не применяются; среднемасштабные (обзорно-топографические) карты масштабов 1:1000000, 1:500000, 1:300000 и 1:200000; крупномасштабные (топографические) – масштабов 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000 и крупнее.

По назначению топографические карты и планы делятся на основные и специализированные. К основным относятся карты и планы общегосударственного картографирования. Это карты многоцелевого назначения, поэтому на них отображают все элементы местности.

Специализированные карты и планы создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли. На них выборочно показывают ограниченный круг элементов (например, геологии, почвенных структур). К специализированным относятся и изыскательские планы, используемые только в период проектирования и строительства данного вида сооружений.

При создании карты производится строгий отбор того, что на ней будет изображено и написано. Этот отбор называется картографической генерализацией. Как правило, чем мельче масштаб карты, тем меньше на ней показано объектов, т. е. тем строже ее генерализация. Важную роль в картографической генерализации играет назначение карты и ее тематика.

Метод ортогональной проекции (метод горизонтальной проекции) применяется при выполнении геодезических работ для отображения их данных на горизонтальной плоскости в виде числовых величин и картографических чертежей. Точки контура ABCDE земной поверхности (рисунок 2.1) проецируют на уровенную поверхность отвесными линиями. На уровенной поверхности точки, линии, а также контур abcde представляют отвесные проекции соответствующих элементов контура ABCDE. Для ограниченной территории на горизонтальной плоскости ортогональная проекция осуществляется практически параллельными вертикальными лучами.

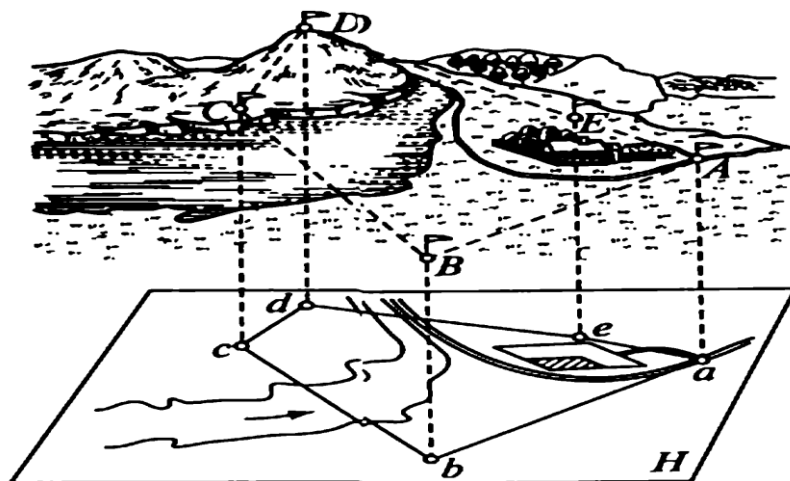


Рисунок 2.1 – Ортогональная проекция

План местности – чертеж местности, выполненный в условных знаках и в крупном масштабе (1:5000 и крупнее). Построение планов осуществляется в ходе глазомерной, инструментальной или комбинированной съемок непосредственно на местности или на основе расшифровывания аэрофотоснимков. Планы отражают небольшую по площади территорию (несколько километров), и поэтому при их построении кривизна земной поверхности не учитывается.

Отличие плана от карты:

- на планах изображаются небольшие участки местности, поэтому они строятся в крупных масштабах (например, в 1 см – 5 м). Карты показывают значительно большие территории, их масштаб мельче;

- план изображает местность подробно, сохраняя точные очертания изображаемых объектов, но только в уменьшенном виде. Крупный масштаб плана позволяет отразить на нем практически все объекты, находящиеся на местности. На карту, имеющую более мелкий масштаб, все объекты нанести не удастся, поэтому при создании карт производится генерализация объектов. Точные очертания всех объектов на карте также показать нельзя, поэтому они искажаются в той или иной мере. Многие объекты на карте, в отличие от плана, изображаются внемасштабными условными знаками;

- при построении плана кривизна земной поверхности не учитывается, т. к. изображается небольшой участок местности. При построении карты она учитывается всегда. Карты строят в определенных картографических проекциях;

- на планах нет градусной сети. На карту обязательно наносят параллели и меридианы;

- на плане направление на север считается направлением вверх, направление на юг – вниз, на запад – влево, на восток – вправо (иногда на плане направление север – юг показано стрелкой, которая не совпадает с направлением вверх – вниз). На картах направление север – юг определяется по меридианам, запад – восток – по параллелям.

Система деления карты на отдельные листы называется разграфкой карты, а система обозначения (нумерации) листов – их номенклатурой.

Разграфка листа карты на части предусматривает получение листов карт различных масштабов примерно одинаковых размеров.

Чаще всего применяются два вида разграфки карт: прямоугольная разграфка – когда карта делится на прямоугольные или квадратные листы одинакового размера и трапецевидная разграфка – при которой границами листов служат меридианы и параллели. Такое деление удобно тем, что рамки листов точно указывают положение на земном эллипсоиде участка местности, изображаемого на данном листе, и его ориентировку относительно сторон горизонта. В некоторых случаях, для удобства пользования разграфка карт может даваться с более или менее значительными перекрытиями листов, например, для морских навигационных карт. Государственные топографические и тематические карты обычно имеют стандартную разграфку, которая закладывается в основу системы номенклатуры карт (рисунок 2.2).

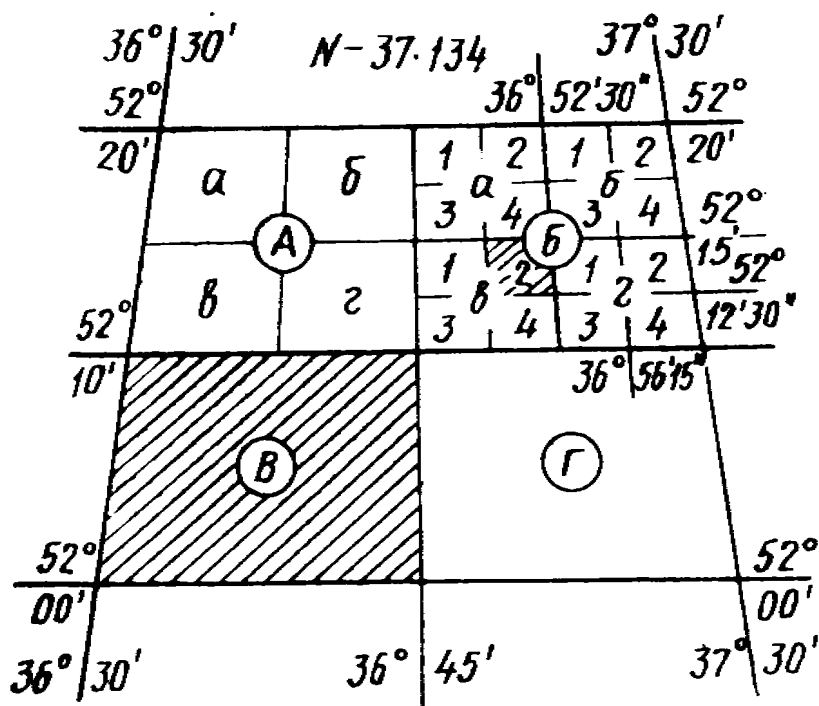


Рисунок 2.2 – Разграфка листа карты

Номенклатура каждого листа карты указана над северной стороной его рамки. Рядом с номенклатурой, кроме того, подписывается название наиболее крупного из показанных на нем населенных пунктов.

На каждом листе указывается также номенклатура смежных с ним листов, что обеспечивает их подбор при склейке карты. Эти подписи помещены посередине сторон внешней рамки листа.

В основе номенклатуры карт того или иного масштаба используется международная разграфка листов карт масштаба 1:1 000 000, который будет содержать букву ряда и номер колонны, например, N-37. Лист карты масштаба

1: 100 000 получается при делении листа карты масштаба 1: 1 000 000 на 144 части, которые нумеруются арабскими цифрами от 1 до 144. Его номенклатура складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей арабской цифры, например N-37-25 (таблица 2.1). Листы карт масштабов от 1: 50 000 до 1: 10 000 получают последовательным делением листа карты более мелкого предыдущего масштаба на 4 части. Так, если разделить лист карты масштаба 1: 100 000 на 4 части, обозначив каждую из них прописными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, получится 4 листа карты масштаба 1: 50 000. Лист карты масштаба 1: 50 000 делится на 4 листа масштаба 1: 25 000, обозначаемые строчными буквами русского алфавита. Например, лист масштаба 1: 25 000 имеет номенклатуру N-37-25-Г-г.

Таблица 2.1 – Разграфка топографических карт разных масштабов

Масштабы	Исходный лист	Число листов	Размер		Номенклатура
			по широте	по долготе	
1:1 000 000	-	-	4°	6°	N-37
1:100 000	1:1 000 000	144	20′	30′	N-37-25
1:50 000	1:100 000	4	10′	15′	N-37-25-Г
1:25 000	1:50 000	4	5′	7′30″	N-37-25-Г-г
1:10 000	1:25 000	4	2′30″	3′45″	N-37-25-Г-г-4
1:5 000	1:10 000	256	1′15″	1′52,5″	N-37-25-(256)
1: 2000	1:5 000	9	25″	37,5″	N-37-25-(256-и)

Номенклатура позволяет легко отыскать не только нужный лист карты данного масштаба, но и найти его положение на земном шаре, используя географические координаты (широту и долготу) углов рамок трапеций. С увеличением широты изображаемой территории листы карт всех масштабов сужаются, оставаясь неизменного размера по направлению с юга на север. Поэтому, начиная с 60°-й параллели листы карты вычерчиваются сдвоенными, а с 76-й параллели – счетверенными по долготе.

При создании планов и топографических карт спроектированные на уровенную поверхность линейные размеры всех объектов местности уменьшают в определенное количество раз. Степень такого уменьшения называется масштабом карты (плана).

Масштаб – это отношение длины s линии на чертеже, плане, карте к длине S горизонтального проложения соответствующей линии в натуре, т.е. $s:S$. Масштаб обозначают либо дробью (числовой), либо в виде графических изображений.

Масштаб может быть выражен в числовой форме (численный масштаб) или в графической – в виде графика (линейный, поперечный масштабы).

Численный масштаб, обозначаемый 1:М, представляет собой правильную дробь, у которой числитель равен 1, а знаменатель показывает, во сколько раз уменьшены линии местности при изображении их на плане.

Например, для масштаба 1:100 единице длины на плане соответствует 100 таких же единиц на местности или 1 см на плане – 100 см (1 м) на местности. Чем больше знаменатель числового масштаба, тем больше степень уменьшения, т. е. тем мельче масштаб. Из двух числовых масштабов более крупный тот, знаменатель которого меньше.

При решении задач по карте или плану с помощью числового масштаба приходится выполнять много вычислений. Чтобы избежать этого, используют графические масштабы.

Линейный масштаб представляет собой графическое выражение численного масштаба. Для построения линейного масштаба на прямой откладывают несколько раз какой-нибудь отрезок, равный, например, 1 или 2 см. Откладываемый отрезок называется основанием масштаба (рисунок 2.3).

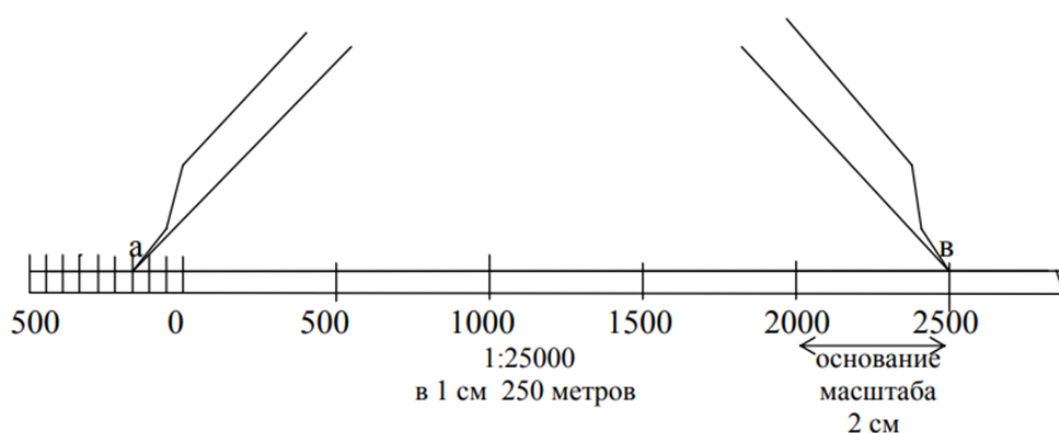


Рисунок 2.3 – Линейный масштаб

На рисунке 2.3 основание масштаба взято 2 см. Крайний левый отрезок обычно делят на 10 равных частей. Отрезки, отложенные от нулевой черточки вправо в масштабе 1 : 25 000, представляет на местности 500, 1000, 1500, 2000 и 2500 м, а влево – 50, 100, 150, ..., 500 м. Если раствор циркуля-измерителя равный отрезку измеренному на карте приложить к линейному масштабу, то ему соответствует 2650 м. Наименьший отрезок по такому масштабу соответствует 50 м на местности. С помощью линейного масштаба можно измерять и откладывать расстояния с точностью до 0,5 мм. Для более точного определения расстояний используют поперечный масштаб.

Поперечный масштаб – это специальный график, выгравированный на металлической пластинке.

Построение поперечного масштаба основано на пропорциональности отрезков параллельных линий, пересекающих стороны угла.

Стандартный (нормальный) поперечный масштаб имеет большие значения, равные 2 см, и малые деления (слева на графике), равные 0,2 см. Кроме того, на графике имеются отрезки между вертикальной и наклонной линиями, равные 0,02 см. С помощью поперечного масштаба можно измерять и откладывать расстояния на картах любого масштаба.

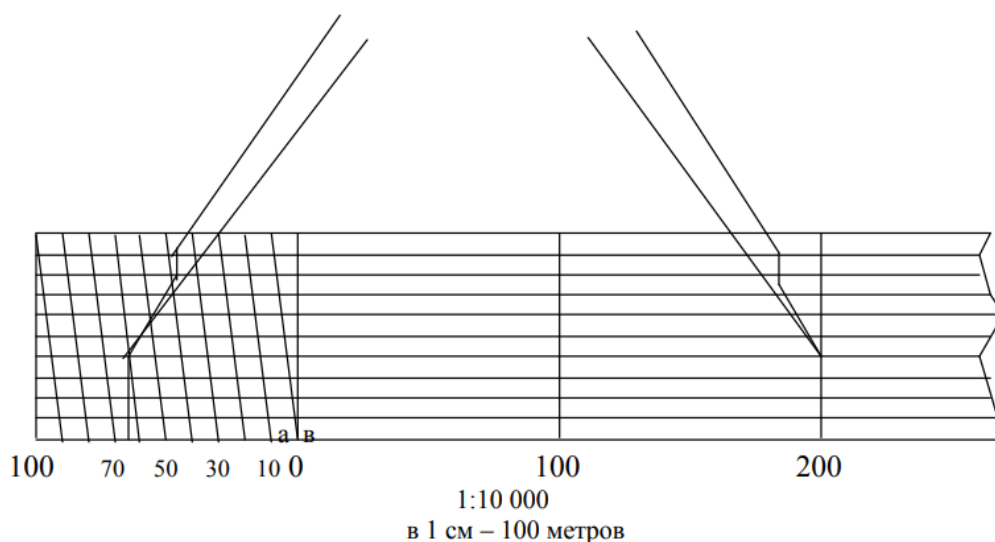


Рисунок 2.4 – Поперечный масштаб

Пользуются поперечным масштабом следующим образом. Зафиксировав измерителем отрезок на карте или плане, правую ножку его устанавливают на штрих одного из основных делений так, чтобы другая ножка попала на основание левее нулевого деления (как поступали в случае с линейным масштабом). Если левая ножка циркуля не совпала с целым делением, то циркуль перемещается поступательно вверх до совмещения левой ножки с наклонной линией основания. Длина линии равна сумме отрезков от нулевого деления до правой ножки циркуля плюс число полных малых делений левого основания и плюс число наименьших делений, соответствующее номеру горизонтальной линии, на которой расположены иглы измерителя. На рисунке расстояние между ножками циркуля в указанном масштабе равно 200 м плюс 60 м и плюс 4 м, то есть 264 м.

Применение любого масштаба, даже поперечного, не может обеспечить точности выше определенного предела, зависящего от свойств человеческого глаза. Понятие точности масштаба соответствует способности человека с расстояния 25 – 30 см различать невооруженным глазом на плане точку диаметром около 0,1 мм. Точностью масштаба t называют горизонтальный отрезок Δd на местности, соответствующий отрезку длиной 0,2 мм = 0,0002 м на плане масштаба 1:М:

$$t(\text{м}) = 0,0002 M. \quad (1.1)$$

Например, точность масштаба 1:500 будет равна 0,10 м.

2. Условные знаки топографических карт и планов, их виды

На топографических картах и планах изображают разные объекты местности: контуры населенных пунктов, сады, огороды, озера, реки, линии

дорог, электропередачи. Совокупность этих объектов называется ситуацией. Ситуацию изображают условными знаками.

С помощью условных знаков обозначают как реальные объекты (например, населенные пункты), так и абстрактные (например, плотность населения). Условные знаки предназначены для того, чтобы указать вид и некоторые характеристики изображенных на карте объектов (явлений) и определить их положение в пространстве.

Для того чтобы акцентировать внимание на каких-то элементах чертежа, карты, плана, эти элементы изображают внemasштабно, т.е. с другой степенью уменьшения или увеличения. На схематических планах городов увеличенными в произвольном масштабе изображают исторические, культурные памятники, театры, вокзалы; на мелкомасштабных картах – кружки городов, толщины рек; на чертежах – условные обозначения, стыковые швы, маркировку изделия. По такому внemasштабному изображению нельзя производить никаких измерений.

Разномасштабно, т.е. в определенном масштабе, но отличном от масштаба данного чертежа, показывают узлы, детали на строительных и машиностроительных чертежах; при изображении плана дороги, проходящей по однообразной местности, выделяют в крупном масштабе только места пересечения дорогой рек, населенных пунктов, дорог иного назначения и т.п. Таким образом, на одном и том же плане, чертеже, схеме изображения могут быть даны в разных масштабах, а в некоторых случаях – и в натуральную величину.

Условные знаки подразделяют на пять групп: площадные, линейные, внemasштабные, пояснительные, специальные.

Условные знаки бывают:

- *внemasштабными* (используются для того, чтобы изобразить объекты, которые не могут быть выражены в масштабе карты). Это рисунки или геометрические фигуры, форма которых обычно напоминает изображаемый объект (рисунок 45). Буквенные символы также относятся к внemasштабным условным знакам.

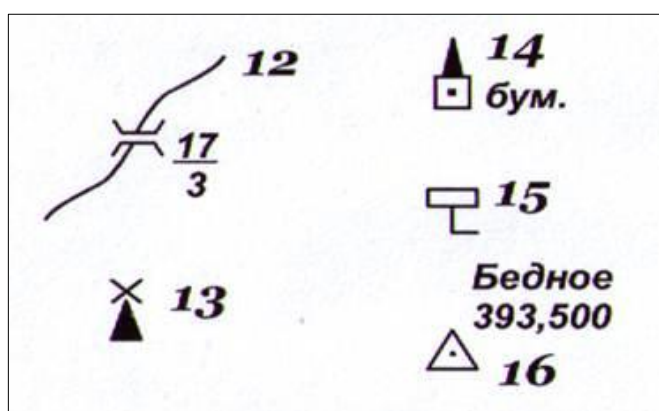


Рисунок 2.5 – Внemasштабные условные знаки

- *линейными* (используются для изображения объектов линейного характера – рек, дорог, границ, трубопроводов и др.). В масштабе они передают только длину и форму объекта, ширина их преувеличена, поэтому ее измерить нельзя (рисунок 2.6);

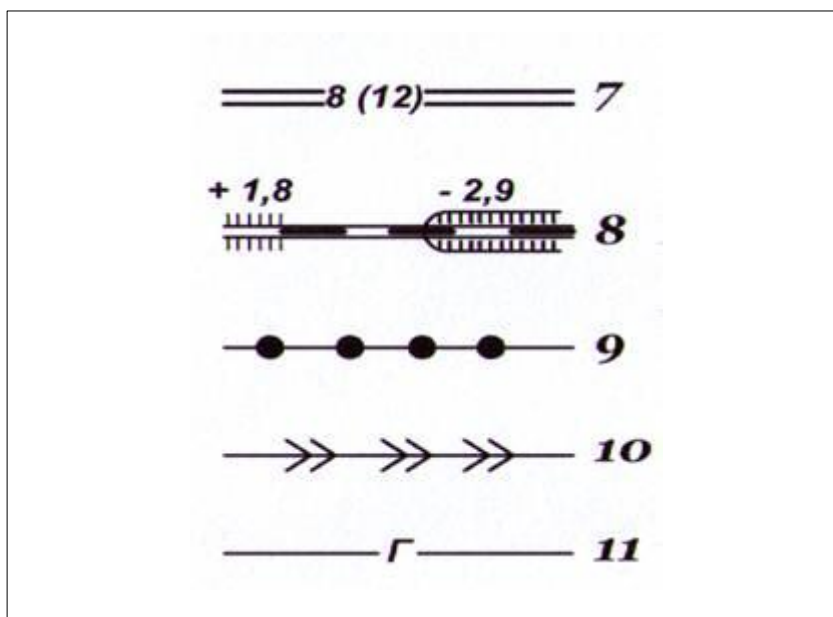


Рисунок 2.6 – Линейные условные знаки

- *площадными, или контурными* (используются для изображения географических объектов, занимающих некоторую площадь – озеро, массив леса и т. д.). Передают действительную величину объектов (рисунок 2.7). Площадные (контурные) условные знаки состоят из контура (леса, болота и т. п.) и его заполнения (цвет, штриховка);

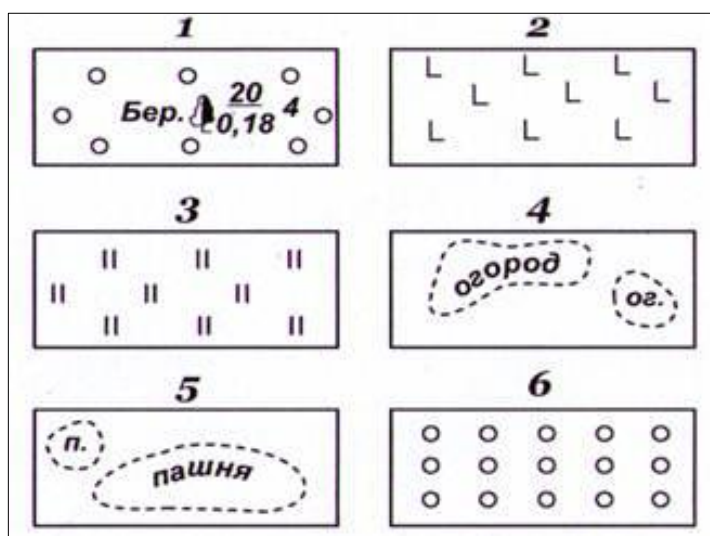


Рисунок 2.7 – Площадные условные знаки

- *пояснительные* условные знаки (например, стрелки, показывающие направление течения реки, фигурки лиственных и хвойных деревьев и др.), подписи, буквенные и цифровые обозначения также несут определенную информацию на карте;

- *специальные* условные знаки устанавливают соответствующие ведомства отраслей народного хозяйства; их применяют для составления специализированных карт и планов этой отрасли, например знаки для маркшейдерских планов нефтегазовых месторождений – нефтепромысловые сооружения установки, скважины, промысловые трубопроводы

На крупномасштабных картах чаще используются площадные и линейные условные знаки, на мелкомасштабных – внесмасштабные.

3. Рельеф. Изображение рельефа на планах и картах

Рельефом местности называется совокупность неровностей земной поверхности.

В зависимости от характера рельефа местность подразделяют на равнинную, всхолмленную и горную. Равнинная местность имеет слабовыраженные формы или почти совсем не имеет неровностей; всхолмленная характеризуется чередованием сравнительно небольших по высоте повышений и понижений; горная представляет собой чередование возвышений высотой более 500 м над уровнем моря, разделенных долинами.

Способ изображения рельефа на картах и планах должен давать возможность судить о направлении и крутизне скатов, а также определять отметки точек местности. Вместе с тем он должен быть наглядным. Известны различные способы изображения рельефа: перспективное, штриховка линиями разной толщины, цветной отмыв (горы – коричневые, лощины – зеленые), подписи отметок точек, горизонтали. Наиболее совершенные с инженерной точки зрения способы изображения рельефа – горизонталями в сочетании с подписью отметок характерных точек (рисунок 2.7).

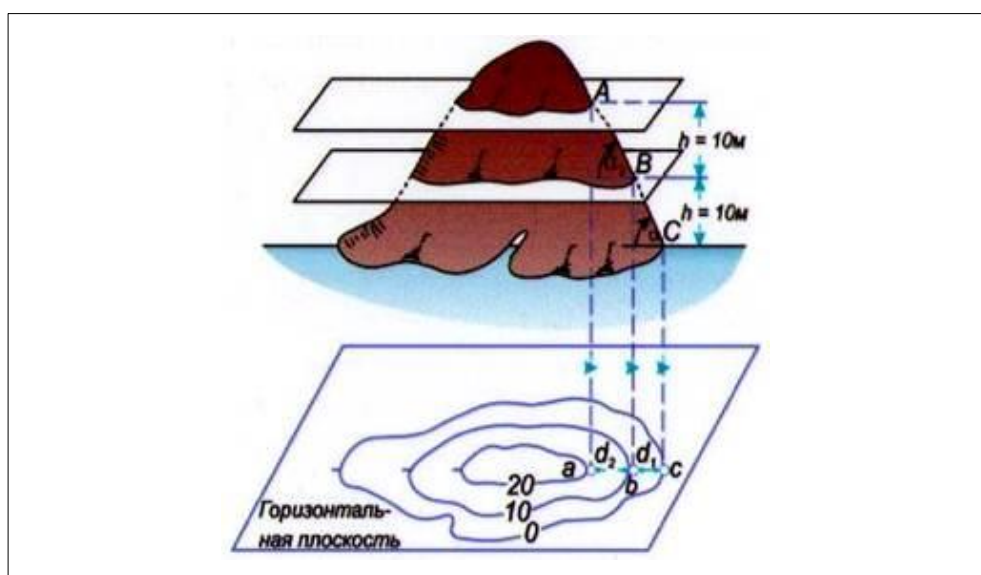


Рисунок 2.7 – Изображение рельефа горизонталями

Горизонталь – это линия на карте, соединяющая точки с равными высотами. Если представить себе сечение поверхности Земли горизонтальной (уровенной) поверхностью, то линия пересечения этих поверхностей, ортогонально спроецированная на плоскость и уменьшенная до размера в масштабе карты или плана, и будет горизонталью. Если поверхность расположена на высоте H от уровенной поверхности, принятой за начало отсчета абсолютных высот, то любая точка на этой горизонтали будет иметь абсолютную отметку, равную H . Изображение в горизонталях рельефа всего участка местности можно получить в результате сечения поверхности этого участка рядом горизонтальных плоскостей, расположенных на одинаковом расстоянии h друг от друга.

Расстояние h между секущими горизонтальными плоскостями называется высотой сечения рельефа. Ее значение указывается на карте или плане под линейным масштабом. В зависимости от масштаба карты и характера изображаемого рельефа высота сечения различна.

Расстояние между горизонталями на карте или плане называется заложением. Чем больше заложение, тем меньше крутизна ската на местности, и наоборот.

На некоторых горизонталях подписывают отметки характерных точек, причем так, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения ската. Чтобы облегчить чтение горизонталей на карте, некоторые из них утолщают. При высоте сечения 1,5, 10 и 20 м утолщают каждую пятую горизонталь с отметками, кратными соответственно 5, 10, 25 и 50 м. При высоте сечения 2,5 м утолщают каждую четвертую горизонталь с отметками, кратными 10 м.

Горизонтали никогда не пересекаются, за исключением нависшего утеса, естественных и искусственных воронок, узких оврагов, крутых обрывов, которые не отображаются горизонталями, а обозначаются условными знаками.

Из всего многообразия форм рельефа местности можно выделить наиболее характерные: гора, котловина, хребет, лощина, седловина (рисунок 2.8).

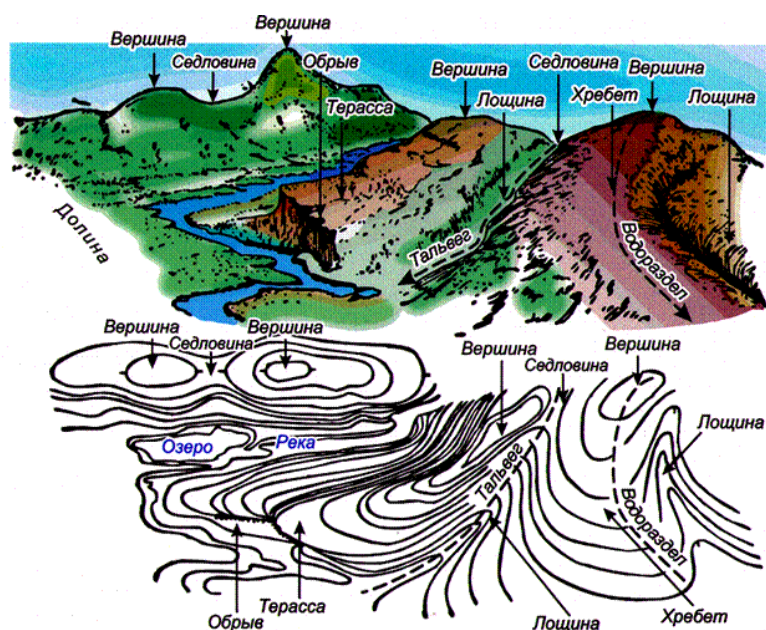


Рисунок 2.8 – Основные формы рельефа

- *Гора (холм, высота, сопка)* – это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа, наивысшая точка которой называется вершиной. Вершина в виде площадки называется плато, вершина остrokонечной формы – пиком. Боковая поверхность горы состоит из скатов, линия слияния их с окружающей местностью – подошва или основание горы.

- *Котловина или впадина* – это углубление в виде чаши. Самая низкая точка котловины – дно. Боковая поверхность ее состоит из скатов, линия слияния их с окружающей местностью называется бровкой.

- *Хребет* – это возвышенность, постепенно понижающаяся в одном направлении и имеющая два крутых ската, называемых склонами. Ось хребта между двумя склонами называется водораздельной линией или водоразделом.

- *Лощина* – это вытянутое углубление местности, постепенно понижающееся в одном направлении. Ось лоцины между двумя скатами называется водосливной линией или тальвегом. Разновидностями лоцины являются: долина – широкая лоцина с пологими склонами, а также овраг – узкая лоцина с почти отвесными склонами. Начальной стадией оврага является промоина. Овраг, заросший травой и кустарником, называется балкой. Расположенные иногда по склонам лоцин площадки, имеющие вид уступа или ступени с почти горизонтальной поверхностью, называются террасами.

- *Седловины* – это пониженные части местности между двумя вершинами. Через седловины в горах часто проходят дороги; в этом случае седловина называется перевалом.

- *Равнины* – значительные по площади участки поверхности суши, дна морей и океанов, для которых характерны: незначительный уклон местности (до 5°) и небольшое колебание высот (до 200 м); которое если и достигает сотен метров, то эти изменения имеют место на большом протяжении. Что ведёт к тому, что высоты соседних точек мало отличаются друг от друга.

Вершина горы, дно котловины и самая низкая точка седловины являются характерными точками рельефа. Водораздел и тальвег представляют собой характерные линии рельефа. Характерные точки и линии рельефа облегчают распознавание отдельных форм его на местности и изображение их на карте и плане.

Чтобы избежать неопределенностей при определении формы рельефа, в качестве дополнительных значков на горизонталях отмечаются штрихи, показывающие направление понижения местности (ската) – *бергштрихи*.

ТЕМА № 3 Задачи, решаемые на топографических картах и планах

1. Ориентирование. Прямая и обратная геодезические задачи
2. Определение расстояний
3. Определение координат
4. Определение отметок высот точек
5. Определение углов наклона и уклона
6. Построение линии заданного уклона
7. Построение профиля местности
8. Определение ориентирных углов направлений

1. Ориентирование. Прямая и обратная геодезические задачи

При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой или чертежом необходимо определить положение линии (ориентировать линию) относительно стран света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное.

Ориентирование заключается в том, что определяют угол между исходным направлением и направлением данной линии. За исходное направление для ориентирования принимают истинный (географический), магнитный меридианы или ось абсцисс прямоугольной системы координат плана. В качестве углов, определяющих направление линии, служат истинный и магнитный азимуты, румбы и дирекционные углы.

Азимутом называется угол между северным направлением меридиана и направлением данной линии MN. Азимут измеряется по направлению движения часовой стрелки, и может иметь значения 0-360°. Азимут A, измеряемый относительно истинного меридиана, называется истинным (рисунок 3.1).

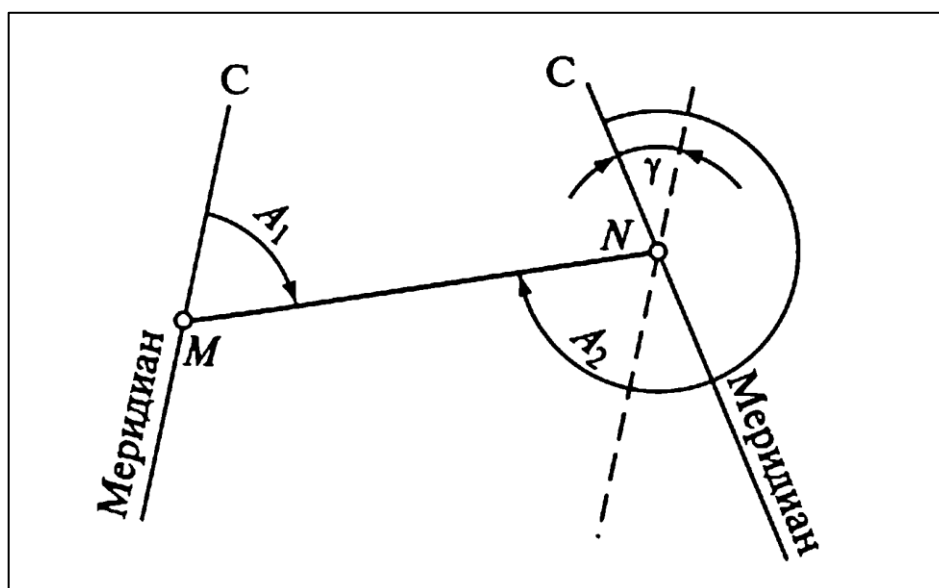


Рисунок 3.1 – Азимут

В геодезии принято различать прямое и обратное направления линии. Если направление линии MN от точки M к точке N считать прямым, то NM – обратное направление той же линии. В соответствии с этим угол A_1 – прямой азимут линии MN в точке M, а A_2 – обратный азимут этой же линии в точке N.

Меридианы разных точек не параллельны между собой, так как они сходятся в точках полюсов. Отсюда азимут линии в разных ее точках имеет разное значение. Угол между направлениями двух меридианов называется сближением меридианов и обозначается γ . Зависимость между прямым и обратным азимутами линии MN выражает следующая формула:

$$A_2 = A_1 + 180^\circ + \gamma. \quad (3.1)$$

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений или с помощью приборов – гиро-теодолитов.

Направление магнитной оси свободно подвешенной магнитной стрелки называется магнитным меридианом. Угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии называют **магнитным азимутом**. Магнитный азимут, так же как и истинный, считают по направлению движения часовой стрелки (рисунок 3.2).

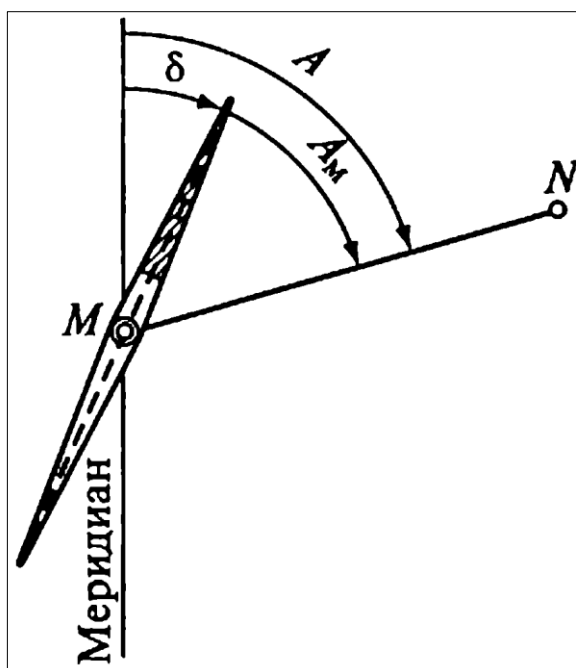


Рисунок 3.2 – Магнитный азимут

Он также изменяется от 0 до 360°. Так как магнитный полюс не совпадает с географическим, направление магнитного меридиана в данной точке не совпадает с направлением истинного меридиана. Горизонтальный угол между этими направлениями называют склонением магнитной стрелки δ . В зависимости от того, в какую сторону уклоняется северный конец стрелки от направления истинного меридиана, различают восточное и западное склонения.

Перед значением восточного склонения обычно ставят знак «плюс», западного – «минус». Зависимость между истинным A и магнитным азимутами A_M выражается формулой:

$$A = A_M + \delta. \quad (3.2)$$

При использовании этой формулы учитывают знак склонения.

В различных точках Земли магнитная стрелка имеет разное склонение. Склонение магнитной стрелки не остается постоянным и в данной точке Земли (различают вековые, годовые и суточные изменения склонений). Следовательно, магнитная стрелка указывает положение магнитного меридиана приближенно и ориентировать линии местности по магнитным азимутам можно тогда, когда не требуется высокой точности.

При ориентировании на местности для измерения магнитных азимут и магнитных румбов пользуются буссолями и компасами.

В прямоугольной системе координат ориентирование линии производят относительно оси абсцисс. Углы, отсчитываемые в направлении хода часовой стрелки от положительного (северного) направления оси абсцисс до линии, направление которой определяется, называются *дирекционными*. Дирекционные углы обозначаются буквой α и подобно азимуту изменяются от 0 до 360° (рисунок 3.3).

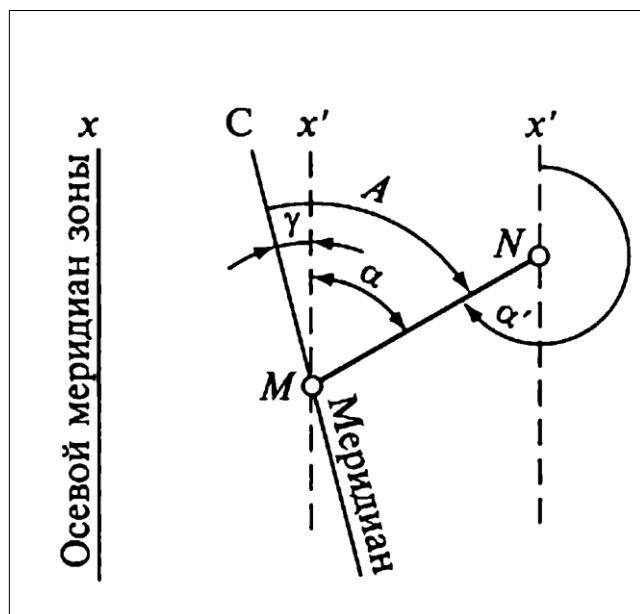


Рисунок 3.3 – Дирекционный угол

Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно на местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут по формуле:

$$\alpha = A - \gamma. \quad (3.3)$$

В данном случае γ – сближение меридианов – представляет собой угол между истинным меридианом М и осью абсцисс в этой точке. Ось абсцисс параллельна осевому меридиану зоны, в которой расположена линия MN. Так же как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы. Прямой и обратный дирекционные углы отличаются между собой на 180° .

Если известно склонение δ магнитной стрелки и сближение меридианов γ , то по измеренному магнитному азимуту A_M линии MN можно вычислить дирекционный угол α этой линии (рисунок 3.4):

$$\alpha = A_M + (\delta - \gamma), \quad (3.4)$$

где разность $(\delta - \gamma)$ – поправка на склонение стрелки и сближение меридианов (учитывают при ориентировании топографической карты).

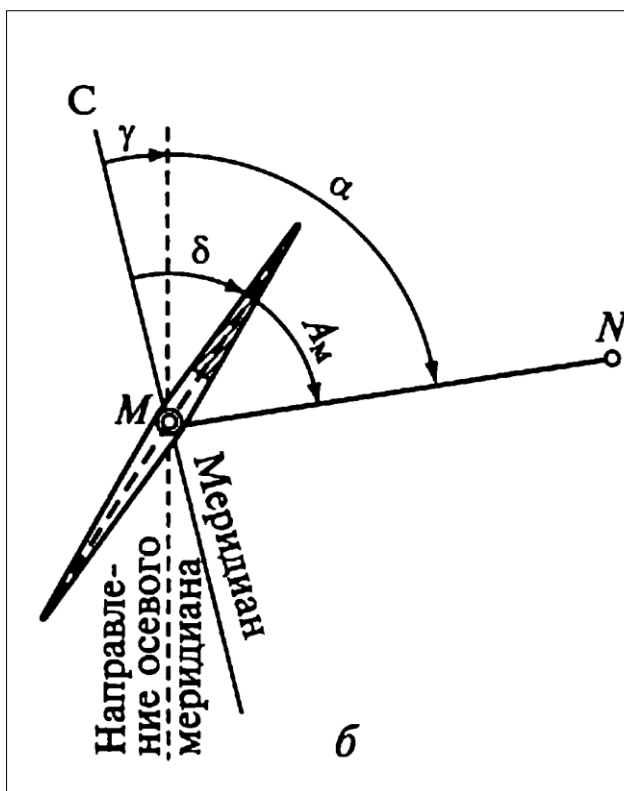


Рисунок 3.3 – Связь азимутов и дирекционного угла

Иногда для ориентирования линии местности пользуются румбами.

Румбом называется острый угол между ближайшим (северным С или южным Ю) направлением меридиана и направлением данной линии.

Румбы обозначают буквой r (рисунок 3.4). Названия четвертей составлены из соответствующих обозначений сторон света. Так, I четверть – северо-восточная (СВ), II – юго-восточная (ЮВ), III – юго-западная (ЮЗ), IV – северо-

западная (СЗ). Румб измеряется в пределах от 0 до 90° с обозначением его четверти по сторонам света, например $r = \text{ЮВ}: 54^\circ 25'$. Обратный румб r' дирекционного направления отличается от прямого румба r только наименованием четверти, например, если прямой румб $r = \text{СВ}: 41^\circ 34'$, то обратный румб $r' = \text{ЮЗ}: 41^\circ 34'$. При вычислении обратных румбов для азимутальных направлений следует учитывать сближение меридианов γ .

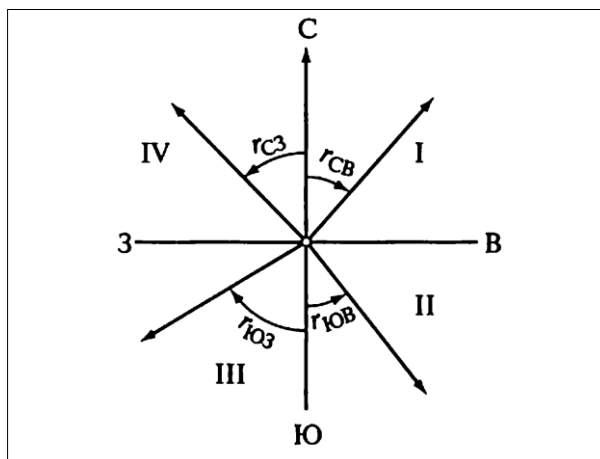


Рисунок 3.4 – Румб

Соотношение между азимутами (дирекционными углами) и румбами представлены в таблице.

Таблица 3.1 – Связь между азимутом (дирекционным углом) и румбом

Четверть	Вычисление		Численное значение	
	румба	Азимута (дирекционного угла)	румба	Азимута (дирекционного угла)
I – СВ	$r_1 = \text{СВ}: A_1(\alpha_1)$	$A_1(\alpha_1) = r_1$	СВ: $14^\circ 02'$	$14^\circ 02'$
II – ЮВ	$r_2 = \text{ЮВ}: (180^\circ - A_2(\alpha_2))$	$A_2(\alpha_2) = 180^\circ - r_2$	ЮВ: $54^\circ 02'$	$125^\circ 58'$
III – ЮЗ	$r_3 = \text{ЮЗ}: (A_3(\alpha_3) - 180^\circ)$	$A_3(\alpha_3) = 180^\circ + r_3$	ЮЗ: $27^\circ 15'$	$307^\circ 15'$
IV – СЗ	$r_4 = \text{СЗ}: (360^\circ - A_4(\alpha_4))$	$A_4(\alpha_4) = 360^\circ - r_4$	СЗ: $60^\circ 24'$	$299^\circ 36'$

Прямая и обратная геодезические задачи

В системах плоских прямоугольных координат многие инженерно-геодезические расчеты основаны на формулах решения прямой и обратной геодезических задач.

В *прямой геодезической задаче* известны горизонтальное проложение d_{1-2} прямого отрезка 1-2, его дирекционный угол α_{1-2} , координаты X_1 и Y_1 начальной точки 1 (рисунок 3.5, а). Требуется вычислить координаты X_2 и Y_2 точки 2. Сначала вычисляют приращения координат решением прямоугольного треугольника 1-Е-2:

$$\Delta x = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2} = d_{1-2} \cos r_{1-2}, \quad (3.5)$$

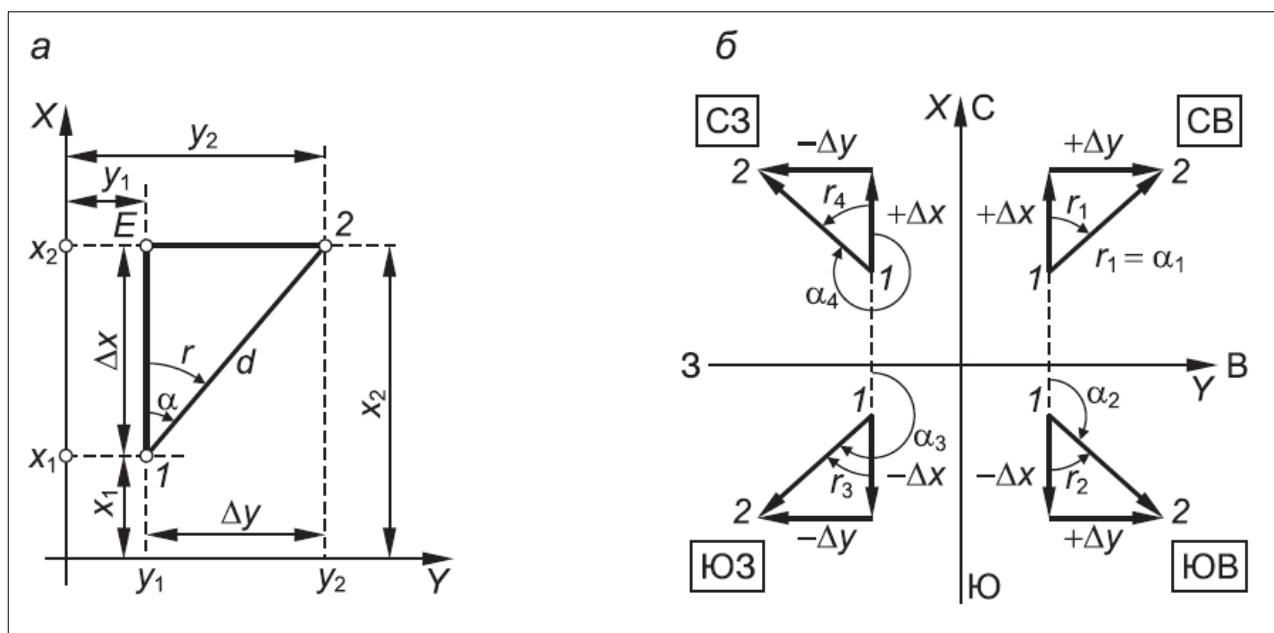
$$\Delta y = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2} = d_{1-2} \sin r_{1-2}. \quad (3.6)$$

затем искомые координаты

$$X_2 = X_1 + \Delta x, \quad (3.7)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta y. \quad (3.8)$$

Знак приращений координат Δx и Δy зависит от направления отрезка 1-2 и соответствует знаку синуса и косинуса дирекционного угла (рисунок 3.5, б). При вычислениях с использованием румба r (положительного числа) соответствующие значения Δx и Δy необходимо записывать со знаком “плюс” или “минус”.



а – прямая и обратная задачи; б – знаки приращений координат, дирекционные углы и румбы при различных направлениях

Рисунок 3.5 – Прямая и обратная геодезические задачи

В обратной геодезической задаче по известным прямоугольным координатам X_1 и Y_1 , X_2 и Y_2 начальной и конечной точек отрезка прямой 1-2 вычисляют горизонтальное проложение d_{1-2} , румб r_{1-2} и дирекционный угол α_{1-2} .

Вначале вычисляют тангенс румба:

$$\tan r_{1-2} = \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right| = \left| \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right|, \quad (3.9)$$

Затем вычисляют численное значение румба:

$$r_{1-2} = \arctan \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|. \quad (3.10)$$

По знакам приращений определяют название четверти румба и вычисляют дирекционный угол. Длину отрезка 1-2 находят по двум из трех следующих формул:

$$d_{1-2} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (3.11)$$

2. Определение расстояний

Расстояния между точками на планах и картах определяют с помощью линейного или поперечного масштаба, криволинейные отрезки – прибором курвиметром или при помощи циркуля-измерителя.

При измерении расстояния по прямой линии иглы циркуля устанавливают на конечные точки, затем, не изменяя раствора циркуля, по линейному или поперечному масштабу отсчитывают расстояние.

Если длина прямой линии превышает длину линейного масштаба, то она измеряется с помощью циркуля-измерителя, при его растворе не больше 60° . Линию измеряют по частям в прямом и обратном направлениях раствором измерителя, кратным основанию масштаба, измеряется также так называемый остаток e , равный части раствора циркуля.

Длина линии определяется по формуле:

$$s = M(na + e), \quad (3.12)$$

где M – знаменатель численного масштаба карты;

a – длина отрезка циркуля измерителя, кратная основанию линейного масштаба;

n – число отрезков a .

Разность Δs (в метрах) результатов измерения линии в прямом и обратном направлениях не должна превышать:

$$\Delta s_{\text{доп}} = \frac{M}{1000} \sqrt{n}. \quad (3.13)$$

Ломаные линии удобно измерять путем последовательного наращивания раствора циркуля прямолинейными отрезками.

Ломаная линия АБВГД (рисунок 3.6), общая длина которой не превышает допустимый раствор циркуля-измерителя в 60° , может измеряться постепенным ее спрямлением. Для этого иголки циркуля-измерителя необходимо установить в точках А и Б. Затем, не изменяя раствора вращают циркуль вокруг ножки Б до тех пор, пока ножка а не окажется на продолжении отрезка ВБ в точке А₁. После этого, закрепив ножку в точке А₁, передвигают ножку Б в точку В. Отрезок А₁В равен сумме отрезков АБ и БВ. После поворота циркуля с раствором А₁В вокруг точки В на продолжении отрезка ГВ иголка фиксируется в точке А₂, после этого

передвигают ножку В в точку Г. Затем раствором ΓA_2 находят точку A_3 на продолжении отрезка ДГ. Отрезок DA_3 представляет длину ломаной линии АБВГД. Величину ее определяют по линейному или поперечному масштабам.

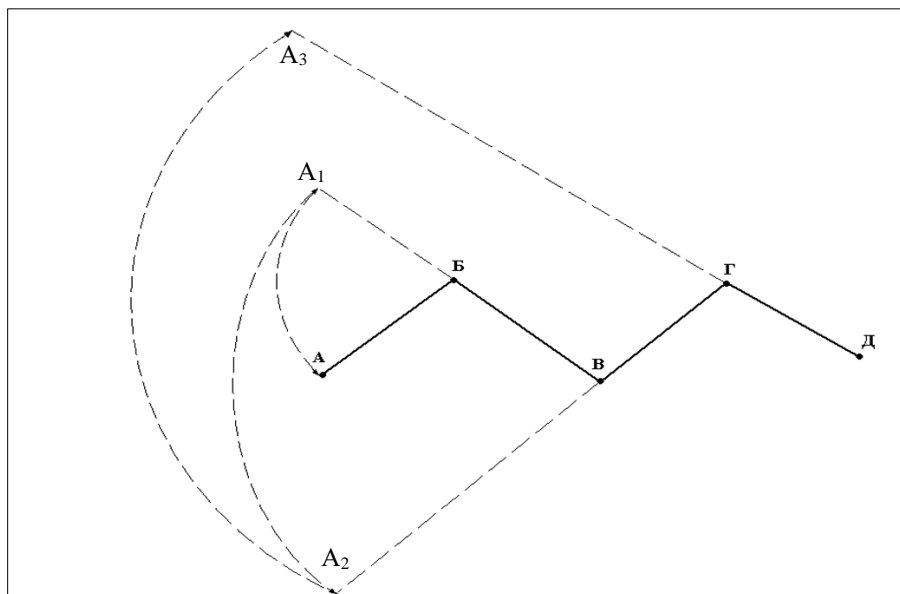


Рисунок 3.6 – Измерение ломанной линии

Для контроля измерение производится в обратном направлении, т. е. от точки Д к точке А. Допустимое расхождение между результатами обоих измерений рассчитывается по формуле (3.13).

Для измерений на чертежах длины изогнутых линий предназначен механический курвиметр (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Механический курвиметр

Внизу из корпуса курвиметра выступает зубчатое колесико 1 (датчик пути), которое прокатывают по измеряемой линии. В механическом курвиметре

вращение колесика через механическую зубчатую передачу приводит в движение стрелки двух циферблатов, расположенных по одному с двух сторон прибора. На циферблате нанесена шкала 2 с ценой деления 1 см.

При прокате колесика 1 по линии на карте масштаба 1:М берут отсчеты по шкале циферблата в начальной и конечной точках контакта зубчатого колесика с линией. Разность отсчетов выражает длину линии l в см. Протяженность линии на местности вычисляется по формуле:

$$L = l \cdot M. \quad (3.14)$$

Измерения необходимо повторить не менее двух-трех раз. Для линий длиной свыше 5 см погрешность результата составляет около 1–0,5 %; для более коротких возрастает до 1–3 % за счет погрешностей установки зубчатого колесика на начальную и конечную точки линии.

Длину изогнутой линии можно измерить при помощи циркуля-измерителя, снабженного винтом, фиксирующим величину раствора.

При измерении по линии последовательно откладывается раствор циркуля r . Раствор r циркуля выбирается длиной 2–4 мм в зависимости от извилистости измеряемой линии. Значение l_r должно быть определено многократно по линейному масштабу карты:

$$l_r = \frac{a_r}{n}, \quad (3.15)$$

где a_r – отрезок известной длины на карте, равный нескольким основаниям линейного масштаба;

n – число перестановок циркуля.

Длина на местности извилистой линии вычисляется по формуле

$$L = l_r n + \Delta l_r, \quad (3.16)$$

где n – число перестановок циркуля;

l_r – длина раствора в масштабе карты;

Δl_r – дробная часть последнего отрезка l_r .

Измерение производится в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение перестановок циркуля в прямом и обратном направлениях вычисляется по формуле:

$$\Delta n = l_{\text{пр}} - l_{\text{обр}} \leq 0,05(l_{\text{пр}} + l_{\text{обр}}). \quad (3.17)$$

3. Определение координат

Географические координаты точки могут быть определены по топографической карте. На каждом листе такой карты подписаны широты и долготы углов рамок листа (рисунок 3.8). Изображения меридиана и параллели разделены через 1' дуги линиями чередующейся толщины, которые, в свою очередь, разделены на десятки секунд, обозначенные точками.

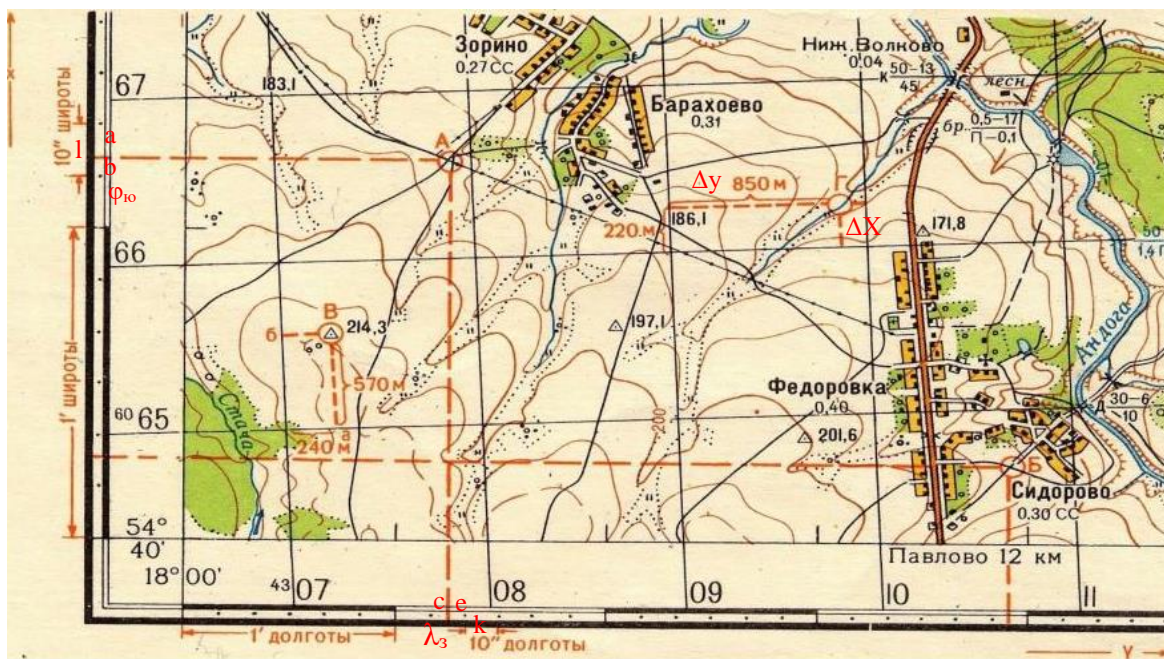


Рисунок 3.8 – Определение координат по карте

Чтобы определить географические координаты точки А, с помощью циркуля или линейки-угольника следует найти ее проекции A_1 и A_2 на шкалы минут меридиана и параллели. Значения географических координат вычисляются по формулам:

$$\begin{cases} \varphi_A = \varphi_{ю} + \Delta\varphi = \varphi_{ю} + l \frac{b}{a}, \\ \lambda_A = \lambda_з + \Delta\lambda = \lambda_з + k \frac{c}{e}, \end{cases} \quad (3.18)$$

где $\varphi_{ю}$, $\lambda_з$ – широта и долгота ближайшего к проекциям точки А южного и западного деления рамок широт и долгот соответственно;

l и k – цены наименьшего деления шкал широт и долгот;

b – расстояние от ближайшего южного деления шкалы до проекции точки А на эту шкалу;

a – длина деления шкалы b;

c – расстояние от ближайшего западного деления шкалы до проекции точки А на эту шкалу;

e – длина деления шкалы в k .

Для контроля географические координаты определяют дважды, опуская перпендикуляры на другие стороны сетки географических координат.

Прямоугольные координаты X_Γ и Y_Γ точки Γ определяют относительно километровых линий сетки (рисунок 3.8).

Для этого измеряют расстояние Δx и Δy по перпендикулярам до ближайших километровых линий с координатами X_0 и Y_0 и находят координаты точки:

$$\begin{cases} X_\Gamma = X_0 + \Delta x, \\ Y_\Gamma = Y_0 + \Delta y. \end{cases} \quad (3.19)$$

Для контроля повторно находят приращения координат и координаты точки относительно другого угла квадрата километровой сетки. Расхождения координат в соответствующих значениях по результатам двух определений не должны превышать двойного значения графической точности масштаба.

4. Определение отметок высот

Одной из наиболее распространенных задач, решаемых по карте (плану), является определение отметок (высот) точек местности (рисунок 3.9).

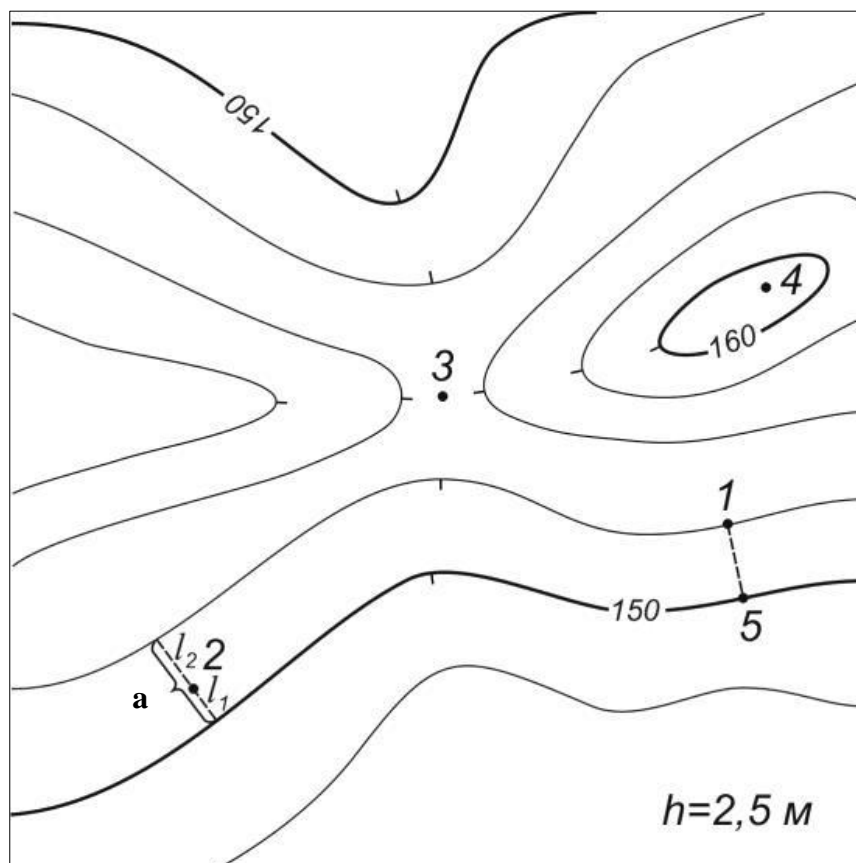


Рисунок 3.9 – Определение высотной отметки по карте

Если точка расположена на горизонтали, ее отметка равна отметке горизонтали. Высотная отметка точки 1 на рисунке 3.9 равна $H_1 = 152,5$ м, у точки 5 – $H_5 = 150$ м.

Когда точка находится между горизонталями с разными высотами (рисунок 3.9, точка 2), ее отметка H определяется интерполированием (нахождением промежуточных значений величин) между отметками этих горизонталей.

Интерполирование заключается в определении коэффициента пропорциональности расстояния l_1 или l_2 от определяемой точки до меньшей или большей по значению горизонтали $H_{МГ(БГ)}$ к величине заложения a , и умножения его на значение высоты сечения рельефа h . Значения a и $l_{1(2)}$ определяются на плане с помощью циркуля-измерителя с точностью 0,2 мм.

Отметку точки можно вычислить по формулам:

$$H = H_{БГ} - \frac{l_2}{a} h, \quad (3.20)$$

$$H = H_{МГ} + \frac{l_1}{a} h. \quad (3.21)$$

Для контроля отметку точки определяют дважды по формулам (3.20), (3.21).

Если определяемая точка расположена между одноименными горизонталями – на седловине или внутри замкнутой горизонтали – на холме или котловине, то ее отметку можно определить лишь приближенно, считая, что она больше или меньше высоты этой горизонтали на половину высоты сечения рельефа $0,5h$. На рисунке 3.9 отметка точки 3 в седловине равна $H_3 = 153,75$ м, а отметка точки 5 в вершине – $H_5 = 161,25$ м

5. Определение углов наклона и уклона

Крутизна ската определяется на карте по кратчайшему расстоянию a между двумя соседними горизонталями (рисунок 3.9), которое называется заложением ската.

Крутизна ската рассматривается в вертикальной плоскости (рисунок 3.10) и характеризуется углом наклона v , т.е. углом между линией ската и горизонтальной плоскостью.

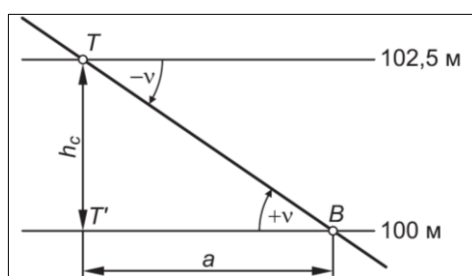


Рисунок 3.10 – Элементы ската

В направлении заложения ската крутизна линии максимальна. При определении по карте угла наклона отрезка линии, произвольно ориентированного относительно горизонталей, используют заложение между соседними горизонталями по этому произвольному направлению.

Угол наклона v можно вычислить по формуле:

$$v = \text{atan} \frac{h_c}{a}. \quad (3.22)$$

Наклон отрезков прямых линий характеризуют также уклоном. В общем случае уклон – это отношение превышения к горизонтальному проложению между двумя точками или тангенс угла наклона:

$$i = \frac{h_c}{a} = \text{tg}v. \quad (3.23)$$

Уклон выражают в натуральных значениях отношения, или в процентах ($100 i \%$), или же в тысячных долях – промилле ($1000 i \text{‰}$).

Как правило, при работе с картой или планом угол наклона либо уклон ската определяют, пользуясь графиками, называемыми масштабами (или шкалами) заложений (рисунок 3.11).

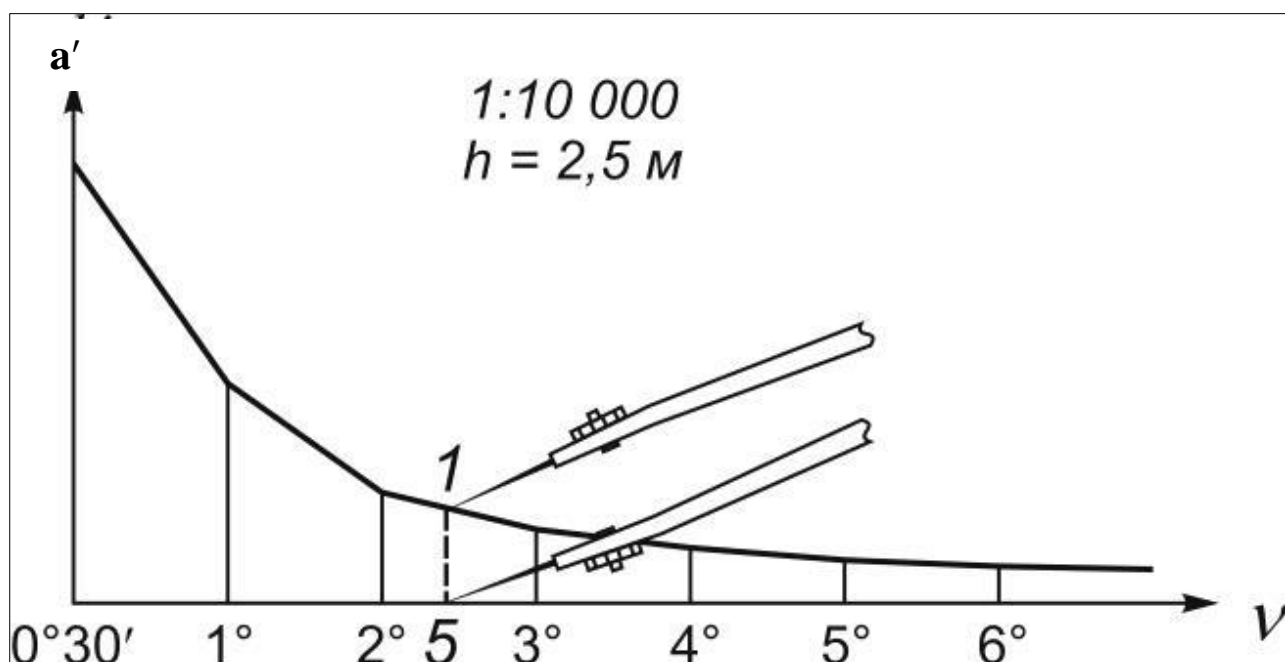


Рисунок 3.11 – График заложений для углов наклона

Построение графика заложения выполняют в следующем порядке:

1. Горизонтальную линию делят на равные отрезки произвольной длины, концов отрезков подписывают значения углов наклона, начиная с $0^{\circ}30'$, или уклонов, начиная.

2. Вычисляют заложения, соответствующие каждому значению угла наклона или уклона при принятой высоте сечения рельефа, по формуле:

$$a = \frac{h_c}{\operatorname{tg} v} = \frac{h_c}{i}. \quad (3.24)$$

3. Длину каждого отрезка выражают в масштабе плана (карты) как:

$$a' = \frac{a}{M}, \quad (3.25)$$

где M – знаменатель численного масштаба карты (плана).

4. Полученные величины заложений a' откладывают на перпендикулярах линии против соответствующих углов наклона. Через полученные точки проводят плавную кривую и получают график заложений.

Для определения угла наклона или уклона с плана раствором циркуля берут заложение между двумя горизонталями по данному скату, затем по графику находят то место, где расстояние между кривой и горизонтальной прямой равно этому заложению. Для найденной таким образом ординаты определяют значение v или i по горизонтальной прямой.

6. Построение линии заданного уклона

Построение линии заданного уклона $i_{\text{пр}}$ или угла наклона $v_{\text{пр}}$ на карте выполняется, когда требуется наметить трассу между точками A и B , (рисунок 3.12), чтобы уклон или угол наклона ее во всех частях не превышал $i_{\text{пр}}(v_{\text{пр}})$, т.е. на любом участке трассы должно соблюдаться условие $i(v) \leq i_{\text{пр}}(v_{\text{пр}})$.

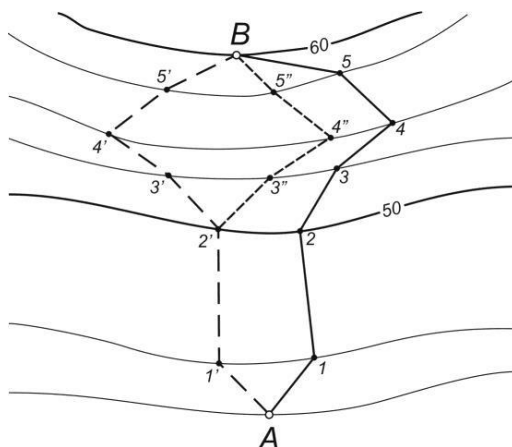


Рисунок 3.12 – Проектирование трассы с заданным уклоном

Проектирование выполняют в следующем порядке:

1. Рассчитывают заложение, соответствующее заданному проектному уклону:

$$a_{\text{пр}} = \frac{h_c}{\text{tg} \nu_{\text{пр}}} = \frac{h_c}{i_{\text{пр}}}. \quad (3.26)$$

2. Выражают предельное заложение в масштабе карты:

$$a'_{\text{пр}} = \frac{a_{\text{пр}}}{M}. \quad (3.27)$$

Величину заложения можно определить также по графику заложений.

3. Раствором циркуля, равным заложению $a'_{\text{пр}}$, из точки А засекают соседнюю горизонталь и получают точку 1; из точки 1 тем же раствором засекают следующую горизонталь, получая точку 2, и т.д. Соединив полученные точки, проводят трассу с заданным уклоном.

Если рассчитанное заложение $a'_{\text{пр}}$ окажется меньше расстояния между соседними горизонталями (т.е. уклон ската на данном участке меньше заданного), то участок трассы проводится по кратчайшему расстоянию между ними. Решение этой задачи позволяет наметить несколько вариантов трассы, из которых выбирается наиболее приемлемый по технико-экономическим соображениям.

7. Построение профиля местности

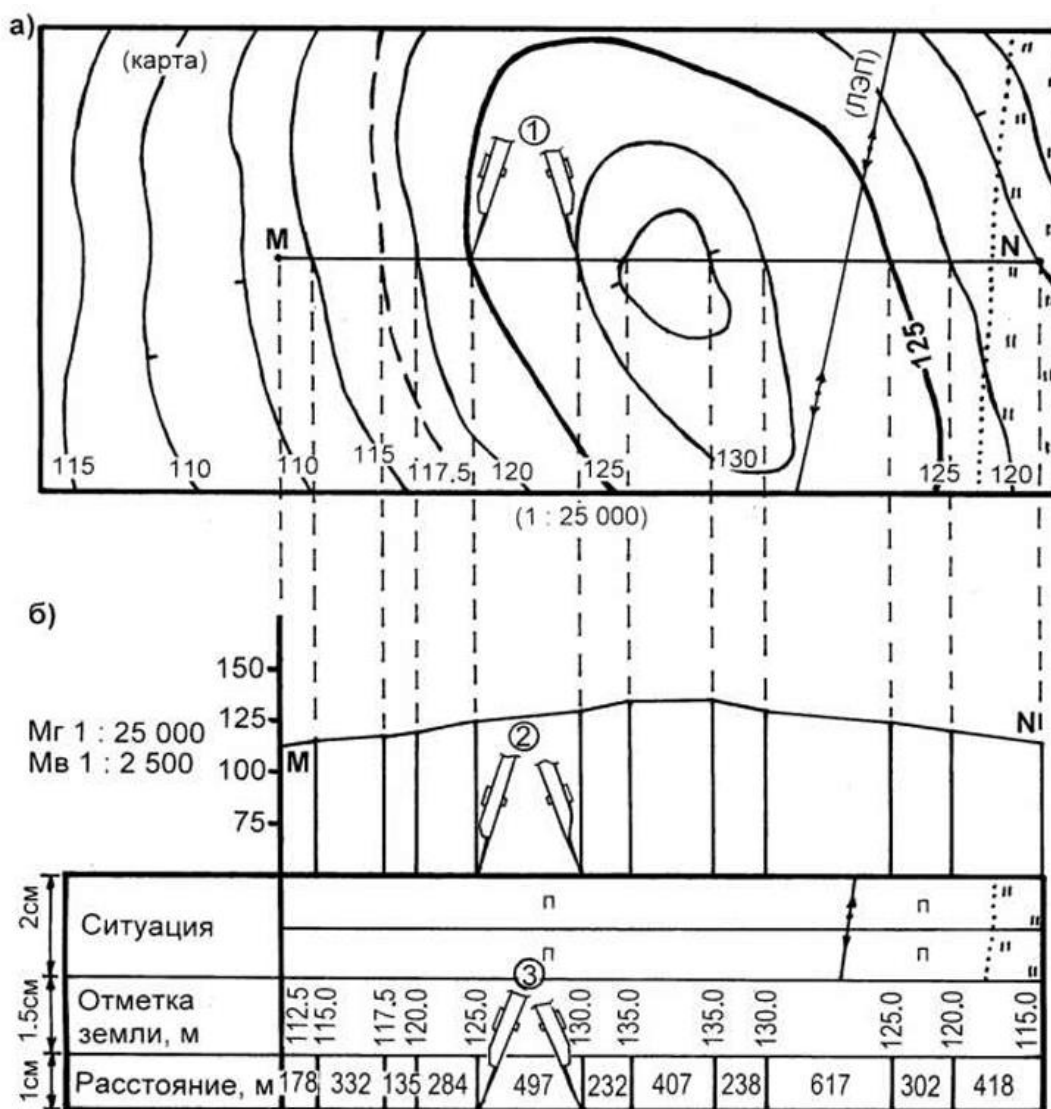
Профилем называется уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности и других объектов вдоль выбранного

Пусть требуется построить продольный профиль местности по линии MN (рисунок 3.13).

Для этого линию MN переносят в масштабе карты на бумагу и отмечают на ней точки, в которых она пересекает горизонтали, а также характерные точки. Линия MN служит основанием профиля. Взятые с карты отметки точек откладывают на перпендикулярах (ординатах) к основанию профиля в масштабе, в 10 раз превышающем горизонтальный масштаб.

Полученные точки соединяют плавной линией. Обычно ординаты профиля уменьшают на одну и ту же величину, т.е. строят профиль не от нуля высот, а от условного горизонта УГ, с расчетом, чтобы линия профиля размещалась выше основания профиля на 3–4 см.

С помощью профиля можно установить взаимную видимость между двумя точками, для чего их нужно соединить прямой линией.



а – фрагмент топографической карты; б – продольный профиль

Рисунок 3.13 – Построение продольного профиля

8. Определение ориентирных углов направлений

Для измерения дирекционного угла линии через начальную ее точку проводят линию, параллельную оси абсцисс, и непосредственно при этой точке измеряют дирекционный угол геодезическим транспортиром с точностью до $0,1^\circ$ (рисунок 3.14). Можно также продолжить линию до пересечения ею ближайшей линии ординат координатной сетки и измерить дирекционный угол в точке пересечения.

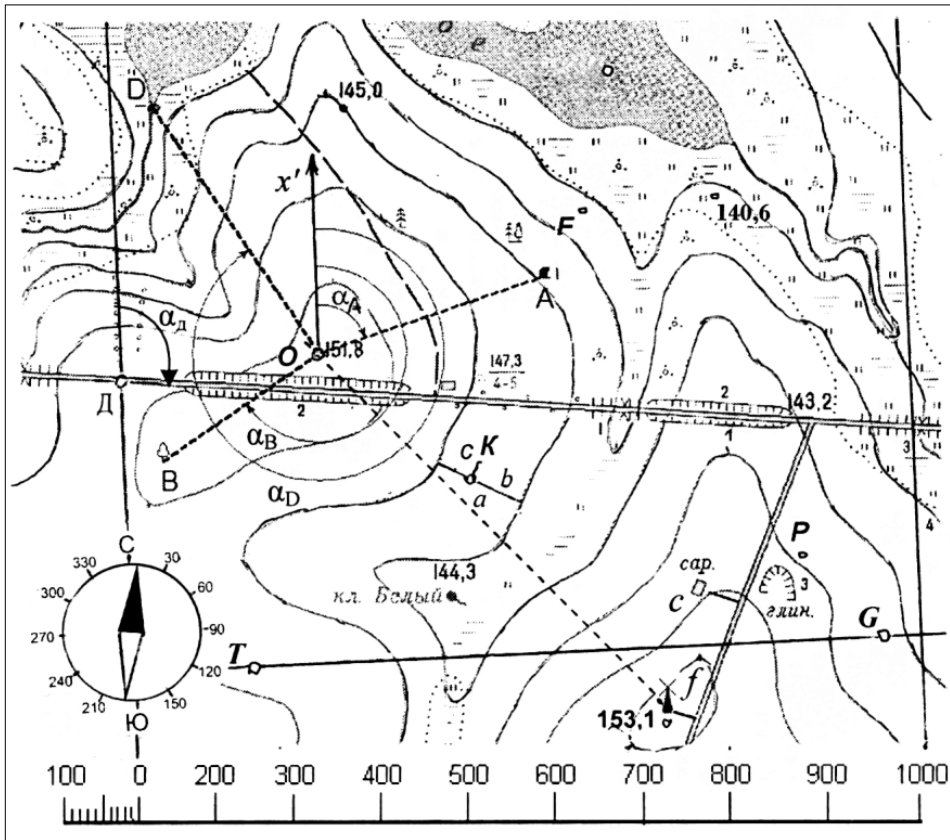


Рисунок 3.14 – Измерение дирекционного угла на карте

Зная дирекционный угол, магнитный азимут и географическому азимут можно вычислить по формулам (3.3), (3.4). Значения углов δ , γ приводятся в левом углу топографической карты (рисунок 3.15).

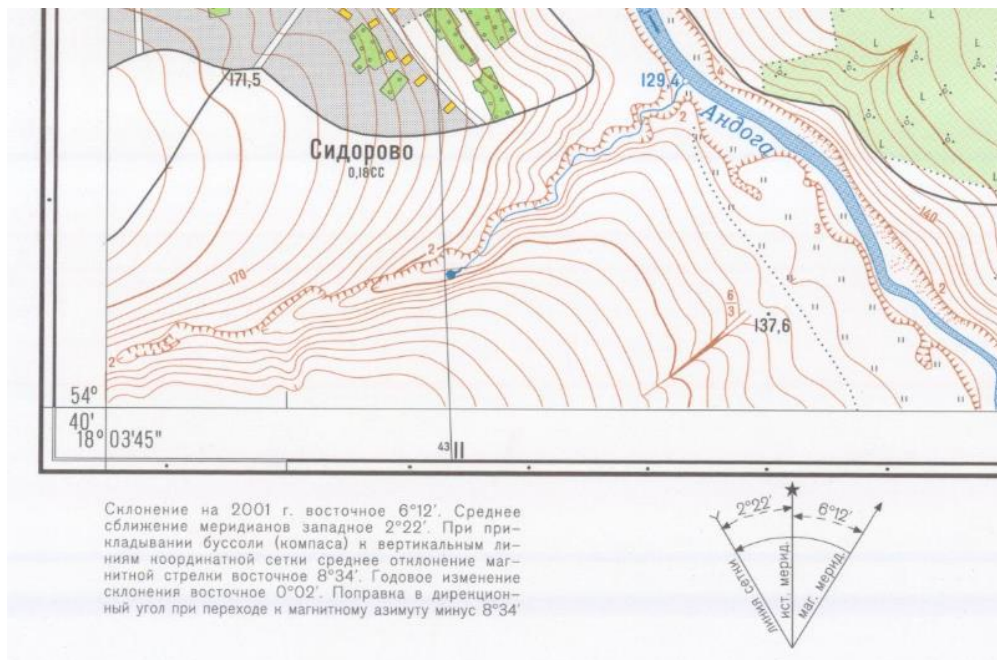


Рисунок 3.15 – Склонение магнитной стрелки и сближение меридианов на карте

Для непосредственного измерения истинного азимута линии через ее начальную точку проводят меридиан (параллельно восточной или западной рамке трапеции) и относительно него измеряют азимут.

Так как меридиан проводить трудно, можно определить сначала дирекционный угол линии, а затем по приведенным формулам вычислить истинный и магнитный азимуты.

Определение сближения меридианов для листа карты

Сближение среднего меридиана листа карты относительно осевого меридиана соответствующей зоны прямоугольных координат называется зональным сближением среднего меридиана карты. Вычисляется по формуле:

$$\gamma = (\lambda_K - \lambda_0) \sin \varphi_{\text{ср}}, \quad (3.28)$$

где λ_K – долгота среднего меридиана карты;

λ_0 – долгота осевого меридиана зоны;

$\varphi_{\text{ср}}$ – широта средней параллели карты.

ТЕМА №4 Элементы теории погрешностей измерений

1. Виды погрешностей измерений.
2. Свойства случайных погрешностей. Арифметическая середина.
3. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности.
4. Понятие о неравноточных измерениях.
5. Основные правила вычислений.

1. Виды погрешностей измерений

Измерения в геодезии рассматриваются с двух точек зрения: количественной, выражающей числовое значение измеренной величины, и качественной, характеризующей ее точность.

Из практики известно, что даже при самой тщательной и аккуратной работе многократные (повторные) измерения не дают одинаковых результатов. Это указывает на то, что получаемые результаты не являются точным значением измеряемой величины, а несколько отклоняются от него.

Любая погрешность результата измерения есть следствие действия многих факторов, каждый из которых порождает свою погрешность. Погрешности, происходящие от отдельных факторов, называют *элементарными*. Погрешности результата измерения являются алгебраической суммой элементарных погрешностей.

Изучением основных свойств и закономерностей действия погрешностей измерений, разработкой методов получения наиболее точного значения измеряемой величины и характеристик ее точности занимается *теория погрешностей измерений*. Излагаемые в ней методы решения задач позволяют рассчитать необходимую точность предстоящих измерений и на основании этого расчета выбрать соответствующие приборы и технологию измерений, а после производства измерений получить наилучшие их результаты и оценить их точность. Математической основой теории погрешностей измерений являются *теория вероятностей* и *математическая статистика*.

Погрешности измерений разделяют по двум признакам: *характеру их действия* и *источнику происхождения*.

По источнику происхождения различают *погрешности приборов, внешние* и *личные*.

Погрешности приборов обусловлены их несовершенством, например погрешность угла, измеренного теодолитом, неточным приведением в вертикальное положение оси его вращения.

Внешние погрешности происходят из-за влияния внешней среды, в которой протекают измерения, например погрешность в отсчете по нивелирной рейке из-за изменения температуры воздуха на пути светового луча (рефракция) или нагрева нивелира солнечными лучами.

Личные погрешности связаны с особенностями наблюдателя, например, разные наблюдатели по-разному наводят зрительную трубу на визирную цель.

По характеру действия погрешности бывают *грубые, систематические и случайные*.

Грубыми называют погрешности, превосходящие по абсолютной величине некоторый установленный для данных условий измерений предел. Они происходят в большинстве случаев в результате промахов и просчетов исполнителя. Такие погрешности обнаруживают повторными измерениями, а результаты, содержащие их, бракуют и заменяют новыми.

Погрешности, которые по знаку или величине однообразно повторяются в многократных измерениях (например, в длине линии из-за неточного знания длины мерного прибора, из-за неточности уложения мерного прибора в створе этой линии и т.п.), называют *систематическими*. Влияние систематических погрешностей стремятся исключить из результатов измерений или ослабить тщательной проверкой измерительных приборов, применением соответствующей методики измерений, а также введение поправок в результаты измерений.

Случайными являются погрешности, размер и влияние которых на каждый отдельный результат измерения остаются неизвестными. Величину и знак случайной погрешности заранее установить нельзя. Однако теоретические исследования и многолетний опыт измерений показывают, что случайные погрешности подчинены определенным вероятностным закономерностям, изучение которых дает возможность получить наиболее надежный результат и оценить его точность.

2. Свойства случайных погрешностей. Арифметическая середина

Так как грубые погрешности должны быть исключены из результатов измерений, а систематические исключены или ослаблены до минимально допустимого предела, то проектирование измерений с необходимой точностью и оценку результатов выполненных измерений производят, основываясь на свойствах случайных погрешностей.

Случайные погрешности характеризуются следующими свойствами.

1. При определенных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать известного предела, называемого предельной погрешностью. Это свойство позволяет обнаруживать и исключать из результатов измерений грубые погрешности.

2. Положительные и отрицательные случайные погрешности примерно одинаково часто встречаются в ряду измерений, что помогает выявлению систематических погрешностей.

3. Чем больше абсолютная величина погрешности, тем реже она встречается в ряду измерений.

4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же величины, выполненных при одинаковых условиях, при неограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю.

Последнее свойство случайных погрешностей позволяет установить принцип получения из ряда измерений одной и той же величины результата, наиболее близкого к ее истинному значению, т. е. наиболее точного.

Если за истинное значение измеряемой величины принять за X , а результат измерения за l , тогда истинную погрешность измерения можно выразить:

$$\Delta = l - X. \quad (4.1)$$

При конечном числе измерений среднее значение

$$x = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n} \quad (4.2)$$

содержит остаточную случайную погрешность, однако от точного значения измеряемой величины она отличается меньше, чем любой результат непосредственного измерения. Это позволяет при любом числе измерений, если $n > 1$, принимать арифметическую среднюю за окончательное значение измеренной величины.

Точность окончательного результата тем выше, чем больше n .

3. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности

Для правильного использования результатов измерений необходимо знать, с какой точностью, т.е. с какой степенью близости к истинному значению измеряемой величины, они получены. Характеристикой точности отдельного измерения в теории погрешностей служит предложенная Гауссом средняя квадратическая погрешность m , вычисляемая по следующей формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (4.3)$$

где n – количество измерений данной величины.

Эта формула применима для случаев, когда известно истинное значение измеряемой величины. Такие случаи в практике встречаются редко. В то же время из измерений можно получить результат, наиболее близкий к истинному значению, – арифметическую среднюю. Для этого случая средняя квадратическая погрешность одного измерения подсчитывается по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n - 1}}, \quad (4.4)$$

где δ – отклонения отдельных значений измеренной величины от арифметической середины, называемые вероятнейшими погрешностями, причем $[\delta]=0$.

Точность арифметической середины, естественно, будет выше точности отдельного измерения. Ее средняя квадратическая погрешность определяется по формуле:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (4.5)$$

В соответствии с первым свойством случайных погрешностей для абсолютной величины случайной погрешности при данных условиях измерений существует допустимый предел, называемый предельной погрешностью. В строительных нормах предельная погрешность называется допускаемым отклонением.

В качестве предельной погрешности $\Delta_{\text{пр}}$ для данного ряда измерений принимается утроенная средняя квадратическая погрешность $\Delta_{\text{пр}} = 3m$. На практике во многих работах для повышения требований точности измерений принимают $\Delta_{\text{пр}} = 3m$. Погрешности измерений, величины которых превосходят $\Delta_{\text{пр}}$, считают грубыми.

Иногда о точности измерений судят не по абсолютной величине средней квадратической или предельной погрешности, а по величине относительной погрешности.

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к значению самой измеренной величины. Относительную погрешность выражают в виде простой дроби, числитель которой – единица, а знаменатель – число, округленное до двух-трех значащих цифр с нулями (1:1200).

4. Понятие о неравноточных измерениях

Неравноточными измерениями называются такие, которые выполнены различным числом приемов, приборами различной точности и т.д.

Если измерения разной точности, то для определения общей арифметической середины пользуются формулой:

$$x = \frac{p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots + p_n l_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[pl]}{[p]}, \quad (4.6)$$

где p_n – соответствующий вес неравноточного измерения l_n .

Весом называется число, которое выражает степень доверия к результату измерения. Если в качестве веса результата измерения взять число, которое характеризует точность, то по смыслу слова вес можно сказать, что, чем больше вес результата, тем выше его точность (тем меньше погрешность, с которой

получен данный результат). Т.е. вес находится в обратно пропорциональной зависимости от погрешности результата. Пусть точность измерения какой-либо величины характеризуется средней квадратической погрешностью m , тогда вес p определяют как отношение

$$p = \frac{c^2}{m^2}. \quad (4.7)$$

Значение c может быть любым, кроме нуля, но для анализируемой группы результатов измерений его принимают равным примерно среднему значению m по группе, поэтому значения весов результатов измерений не будут слишком большими или слишком маленькими.

Средняя квадратическая погрешность единицы веса μ характеризует погрешность результата измерения, вес которого равен единице. Она вычисляется по формуле:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}}, \quad (4.8)$$

где v – разность между отдельными результатами измерений и общей арифметической серединой.

Средняя квадратическая ошибка общей арифметической середины вычисляется по формуле:

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}. \quad (4.9)$$

5. Основные правила вычислений

Точность, полученная при измерении, должна сохраняться и при вычислениях. Поэтому вычисления ведутся на один десятичный знак больше, чем измерения, или в отдельных случаях с таким же числом десятичных знаков.

Если при вычислениях получено число с большим количеством знаков, то полученное значение округляется по правилу Гаусса.

Правило Гаусса – если округление ведётся до n -го разряда, в $(n-1)$ -м разряде значение 5 и всех последующих меньших разрядах нули, то округляем в меньшую либо большую сторону таким образом, чтобы в n -м разряде было чётное число.

При сложении и вычитании приближенных чисел сохраняют столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством десятичных знаков плюс один запасной. Например, $72,5 + 2,07 + 0,794 = 75,364 \approx 75,36$.

При умножении двух приближенных чисел в результате оставляют столько десятичных знаков, сколько их в числе, у которого меньше значащих цифр, плюс один. Например, $66,34 \cdot 0,218 = 14,46212 \approx 14,46$.

При делении двух приближенных чисел в частности оставляют столько знаков, сколько их в числе, имеющем меньшее количество значащих цифр, плюс один. Например, $420,45 : 31,3 = 13,432907 \approx 13,43$.

При извлечении квадратного корня из приближенного числа в результате оставляют столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное выражение, плюс один. Например, $\sqrt{32,7} = 5,7183913 \approx 5,72$.

ТЕМА №5 Теодолит. Поверки и исследования. Производство угловых измерений

1. Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности.

2. Теодолиты их устройство.

3. Классификация теодолитов.

4. Поверки, исследования и аттестация теодолита 2ТЗ0.

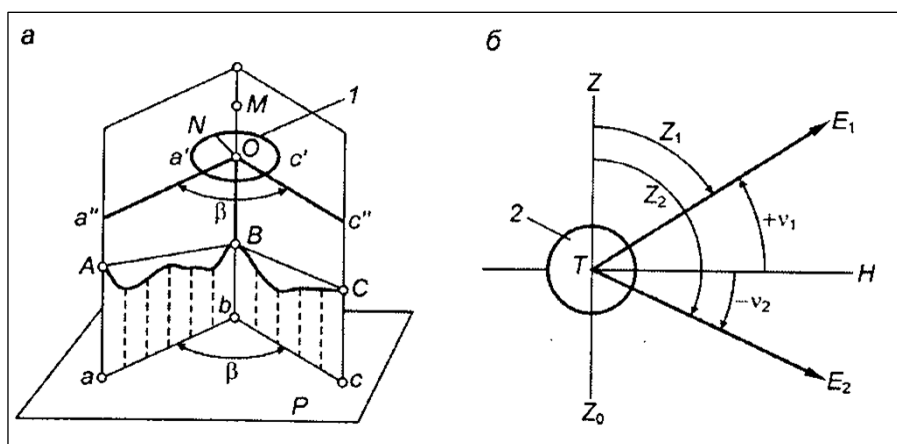
5. Способы измерений горизонтальных углов.

6. Измерение вертикальных углов

7. Погрешности угловых измерений.

1. Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности

Горизонтальные углы. Горизонтальный угол ABC (рисунок 4.1, *a*) между наклонными прямыми BA и BC , исходящими из вершины B , расположенной на отвесной линии BM , измеряют как двугранный угол β (abc) между пересекающимися по BM вертикальными плоскостями $BbaA$ и $BbcC$. Прямые ba и bc представляют проекции линий BA и BC на горизонтальную плоскость P .



а – горизонтальный угол; б – вертикальный угол

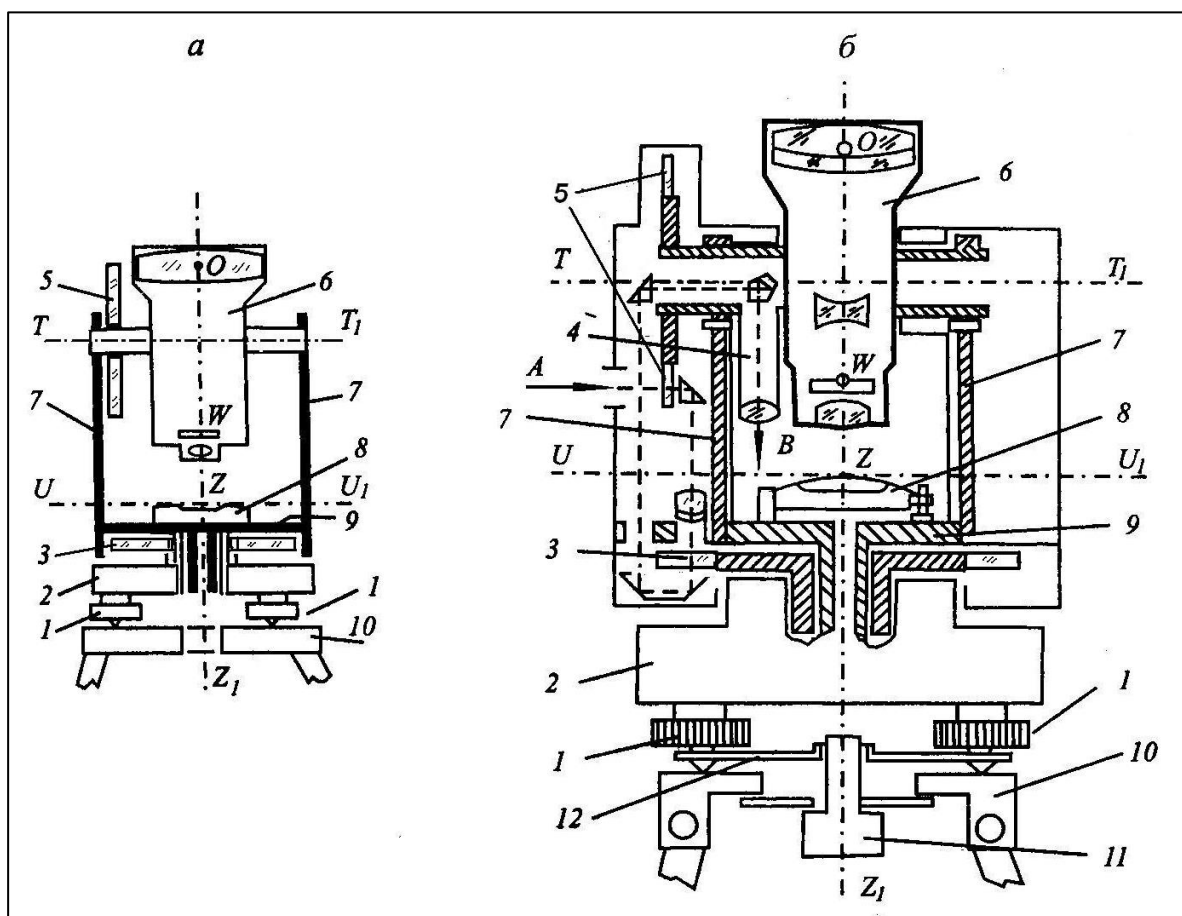
Рисунок 5.1 – Горизонтальный и вертикальные углы

Горизонтальный угол измеряют по угломерному кругу 1 , на котором нанесена круговая шкала градусных делений (лимб). Центр O шкалы совмещают с отвесной линией MB . Плоскость круга горизонтальна, ее пересекают отвесные плоскости по радиусам $Oa'a''$ и $Oc'c''$, образующим стороны горизонтального угла β . Если ON – радиус начального (нулевого) градусного деления, а счет делений возрастает по ходу часовой стрелки, причем c' и a' – отсчеты градусных делений по радиусам Oc' и Oa' , то угол $\beta = a' - c'$.

Вертикальные углы лежат в вертикальной плоскости, их измеряют по вертикальному угломерному кругу 2 (рисунок 5.1, б). Кольцо его градусных делений расположено в вертикальной плоскости, а центр кольца совпадает с горизонтальной осью T вращения вертикально круга. Вертикальный угол, отсчитанный от зенитного направления Z отвесной линии ZZ_0 , называется *зенитным углом* или *зенитным расстоянием* (углы Z_1 и Z_2). Вертикальный угол, отсчитанный от горизонтальной линии TH , называется *углом наклона* v , который считается положительным, если направление наклона выше горизонта ($+v$) и отрицательным, если ниже ($-v$).

2. Теодолиты их устройство

Теодолит – геодезический прибор, с помощью которого измеряются горизонтальные и вертикальные углы, расстояния и магнитные азимуты. В нем горизонтальный и вертикальный круги с угломерными делениями (лимбы) установлены соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рисунок 5.2, а).



а – принципиальная; б – опико-механическая

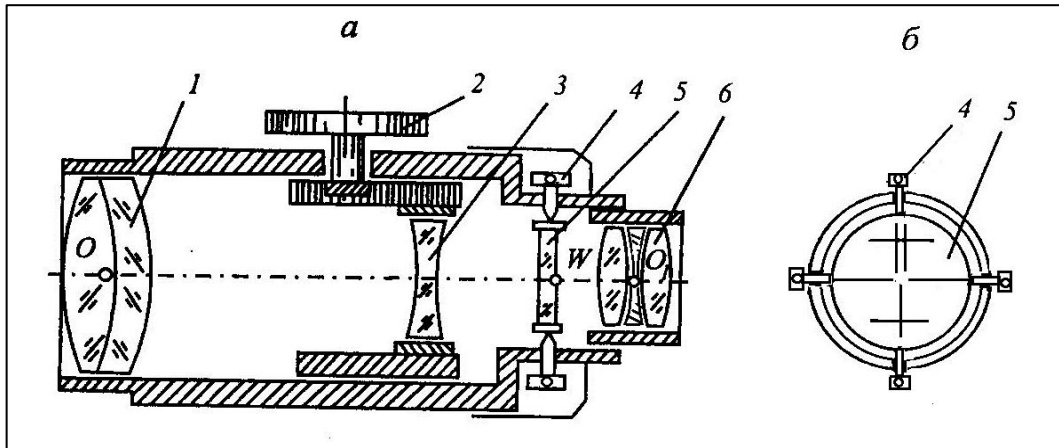
Рисунок 5.2 – Принципиальная и опико-механическая схемы теодолита

Лимб горизонтального угломерного круга 3 может вращаться вокруг вертикальной геометрической оси прибора ZZ_1 . Над горизонтальным кругом расположена алидада 9, которую можно вращать вокруг той же оси. *Алидадой* называют ту часть теодолита, на которой закреплены его вертикальная ось, входящая в подставку 2, и другие детали, среди них: цилиндрический уровень 8 и колонки 7. На колонки опирается горизонтальная ось с закрепленными на ней вертикальным угломерным кругом 5 и зрительной трубой 6, предназначенной для точного визирования на пункты (точки) измеряемых горизонтальных и вертикальных углов. Цилиндрический уровень 8 необходим для горизонтирования прибора, то есть приведения его основной оси ZZ_1 в отвесное положение. Теодолиту необходимо также центрировочное приспособление для совмещения оси ZZ_1 с вершиной измеряемого угла. Для центрирования используют нитяный отвес или оптический центрир.

Теодолит представляет собой достаточно сложный оптико-механический прибор. Зрительная труба 6 и жестко соединенный с ней стеклянный угломерный круг 5 вращаются вокруг горизонтальной геометрической оси TT_1 , перпендикулярной к основной оси ZZ_1 . Вся верхняя часть прибора, закрепленная на алидаде 9, может вращаться вокруг оси ZZ_1 . Для облегчения снятия отсчетов по шкалам градусных делений угломерных кругов применен отсчетный микроскоп, окулярная трубка которого 4 находится рядом с окуляром зрительной трубы. Подставка 2 служит основанием теодолита, три ее подъемные винта 1 предназначены для горизонтирования прибора. Закрепительным (становым) винтом 11 теодолит присоединяют к головке 10 штатива.

В комплект теодолита входят штатив (для установки прибора над центром пункта, являющегося вершиной угла), нитяной отвес или оптический центрир (для центрирования над точкой), ориентир-буссоль (для ориентирования по магнитному азимуту), отвертка и шпилька (для юстировки прибора), капсула со специальным маслом (для периодической смазки механических осей).

Зрительная труба предназначена для высокоточного визирования на удаленные точки (визирные цели) при измерениях углов и для обозначения вертикальной плоскости при вращении трубы вокруг ее горизонтальной оси TT_1 . В зрительной трубе с внутренней фокусировкой (рисунок 5.3, а) фокусирующая линза 3 расположена между объективом 1 и окуляром 6. Линза перемещается вдоль оси трубы при вращении головки 2 фокусирующего устройства, называемой также кремальерой. Изображение предмета рассматривают через окуляр зрительной трубы, проектирующееся на изображение визирной сетки (пересекающихся вертикальной и горизонтальной сетки нитей), нанесенной на стеклянную пластинку 5 (рисунок 5.3, б), положение которой регулируется юстировочными винтами 4.

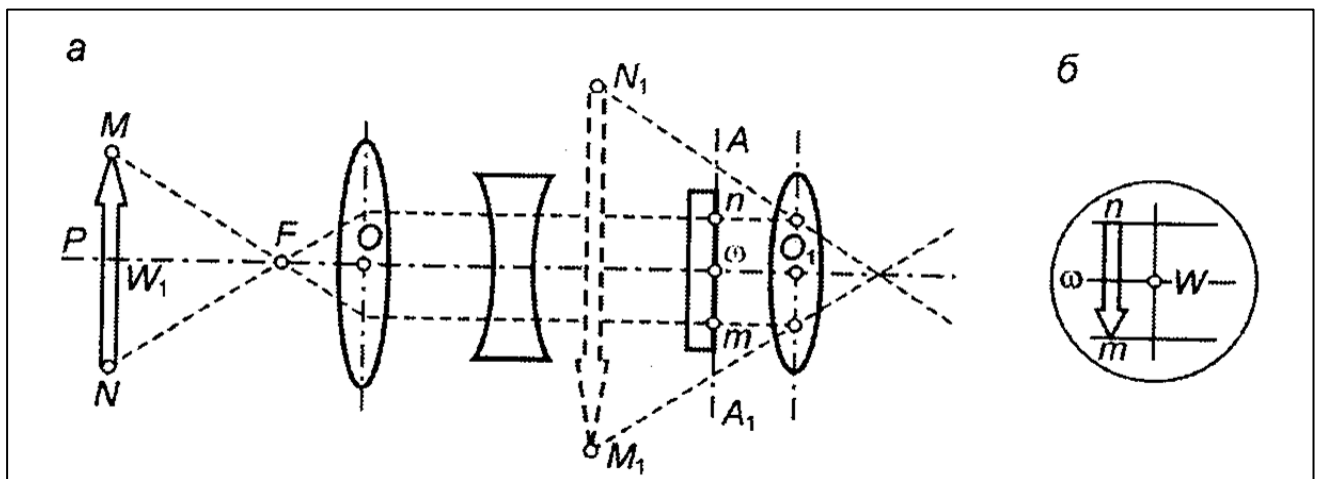


а – зрительная труба; б – визирная сетка

Рисунок 5.3 – Устройство зрительной трубы

В зрительной трубе различают оси оптическую и визирную. *Оптическая ось зрительной трубы* – это прямая, проходящая через оптический центр окуляра O_1 и оптический центр объектива O (рисунок 5.3, а). *Визирная ось зрительной трубы* – это прямая, проходящая через центр пересечения сетки нитей W окуляра O_1 и оптический центр объектива O (точка W находится в пересечении центральных нитей сетки).

Световые лучи, пересекающие штрихи n и m визирной сетки, проецируются в точках N и M на плоскость предмета P , находящегося дальше от переднего фокуса F на конечном расстоянии от него (рисунок 5.4, а).



а – приблизительная схема хода лучей; б – изображение предмета и сетки нитей

Рисунок 5.4 – Оптическая схема зрительной трубы

Оптическая система объектива и фокусирующей линзы создает изображение предмета P в фокальной плоскости AA_1 , которая должна быть

совмещена с плоскостью nm визирной сетки. Это изображение является действительным и обратным. Окуляр обеспечивает получение мнимого и увеличенного изображения M_1N_1 предмета P , видимого одновременно с изображением сетки (рисунок 5.4, б). Для получения *прямого изображения* П (в теодолитах 2ТЗ0П и других) в оптическую систему зрительной трубы вводится специальная оборачивающая призма.

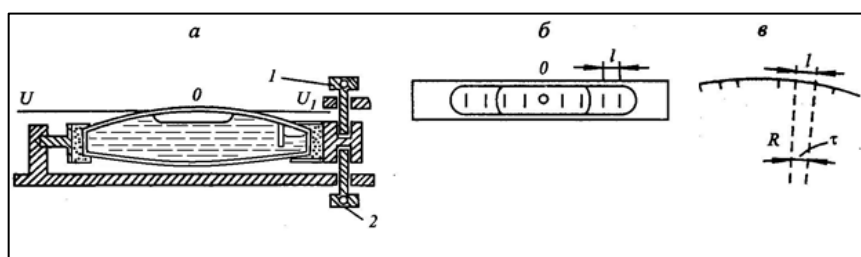
До начала работы зрительную трубу подготавливают для наблюдений:

- вращая диоптрийное кольцо, окуляр устанавливают в постоянное положение, при котором получается четкое изображение визирной сетки и не наблюдается параллакс ее изображения (параллакс проявляется поперечными смещениями изображения сетки относительно изображения предмета при поперечных перемещениях глаза наблюдателя относительно окуляра трубы; параллакс устраняется небольшими вращениями окуляра);

- в дальнейшем при визировании на иные предметы их изображение фокусируют только вращением кремальеры, расположенной на зрительной трубе справа (рисунок 5.3, а).

Уровни предназначены для установки геодезического прибора и его частей в рабочее положение относительно отвесной линии в данной точке. Они могут применяться и для измерения малых углов наклона. Стеклоанная ампула уровня неподвижно закрепляется в оправе. Корпус оправы крепится на геодезическом приборе и снабжается юстировочными (исправительными) винтами.

Цилиндрический уровень (рисунок 5.5, а) включает стеклянную трубчатую ампулу, заполненную легкоподвижной жидкостью, не смачивающей стекло – этиловым эфиром или этиловым спиртом. Пузырек уровня, состоящий из паров наполнителя, должен занимать 0,3 - 0,4 рабочей длины ампулы. Для уменьшения зависимости длины пузырька от изменений температуры объем жидкости уменьшают компенсационным стеклянным стержнем, который помещают внутри ампулы. Или же для регулирования длины пузырька в ампуле устраивают перегородку, за которую перемещают часть пузырька, наклоняя уровень.



а – разрез; б – вид ампулы сверху;

в – радиус и цена деления уровня;

1,2 – исправительные винты

Рисунок 5.5 – Цилиндрический уровень

Внутренняя поверхность ампулы в продольном сечении соответствует дуге радиуса R , а на ее наружную поверхность нанесена шкала – штрихи через равные расстояния $l = 2$ мм (рисунок 5.6, б). Нуль-пункт уровня – это средняя точка O его шкалы.

Осью цилиндрического уровня называется прямая UU_1 , лежащая в плоскости продольного вертикального сечения ампулы и касательная к ее внутренней поверхности в нуль-пункте. Ось цилиндрического уровня будет горизонтальной, когда пузырек находится в нуль-пункте (то есть концы пузырька расположены на равных расстояниях относительно точки O на рисунке 5.5, а, б).

Цена деления уровня определяется величиной угла τ , на который нужно наклонить уровень, чтобы пузырек сместился на 1 деление ампулы. Согласно рисунку 5.5, в угол τ можно выразить в радианах или в секундах:

$$\tau = \frac{l}{R} = \rho'' \frac{l}{R}, \quad (5.1)$$

где $\rho'' = 206265''$ – число секунд в радиане.

В геодезических приборах используются цилиндрические уровни с ценой деления τ от $6''$ до $60''$.

Угломерные круги и отсчетные устройства. Угломерные круги изготавливают из оптического стекла в виде плоского кольца. На поверхность кольца наносят круговую шкалу градусных делений, образующих *лимб* – рабочую меру для измерений углов. На горизонтальном круге деления лимба оцифровывают через 1 или 10° по ходу часовой стрелки от 0 до 360° . На вертикальном круге деления лимба оцифровывают либо от 0 до 360° , либо от 0 до $\pm 90^\circ$.

Угловая величина дуги, равная одному делению, называют *ценой деления лимба*, ее величина обычно равна $5'$, $10'$, $20'$, $30'$ или 1° . Для измерения неполных делений лимба служат отсчетные устройства – микроскопы.

В теодолитах со стеклянными угломерными кругами используются отсчетные микроскопы различной конструкции. В поле зрения окуляра отсчетного микроскопа через систему призм и линз выведены изображения штрихов горизонтального и вертикального лимбов, а также отсчетных штрихов или же отсчетных шкал.

В шкаловом микроскопе теодолита 2Т30П применены шкалы с ценой деления $5'$, выделены 10-минутные деления. Начальное деление шкалы горизонтального круга обозначено цифрой 0, а конечное – цифрой 6, что означает $60'$. Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр. В верхнем ряду начальный штрих, обозначенный цифрой 0, расположен слева, а конечный, обозначенный цифрой 6, расположен справа. В нижнем ряду оцифровка выполнена наоборот и цифры имеют знак минус. Отсчет по горизонтальному кругу производится в следующем порядке. Сначала считывается с лимба число градусов (по штриху лимба, попадающему на отчетную шкалу), затем по отсчетной шкале берется отсчет с точностью 0,1 деления, что соответствует $0,5'$.

Индексом для отсчитывания минут служит штрих градусного деления лимба, находящийся на отсчетной шкале. На рисунке 5.6 отсчет по горизонтальному кругу равен $292^{\circ} 58'$.

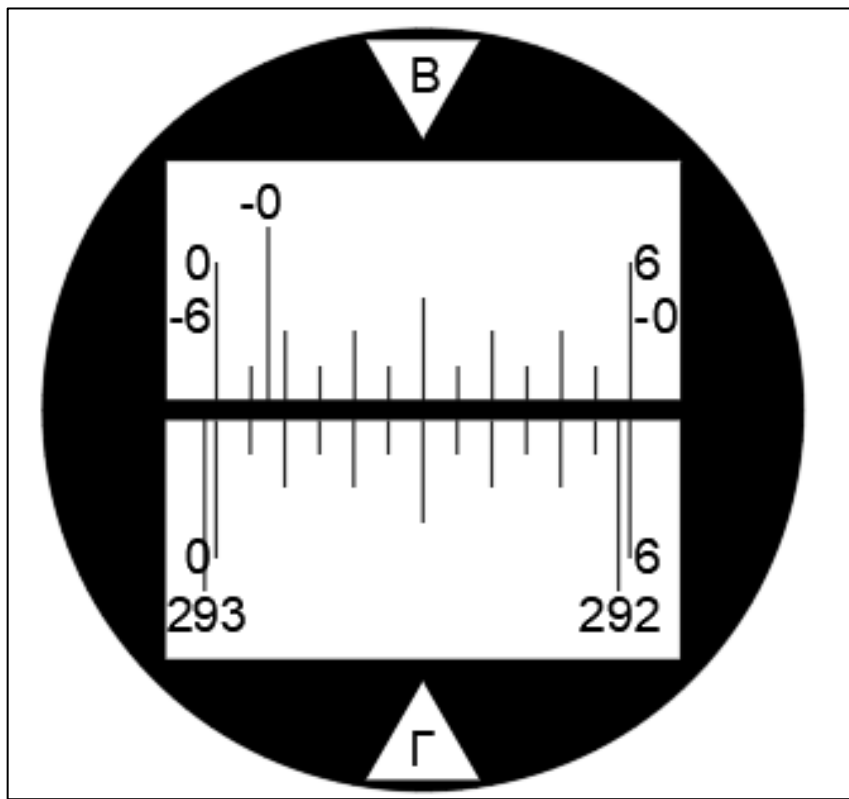
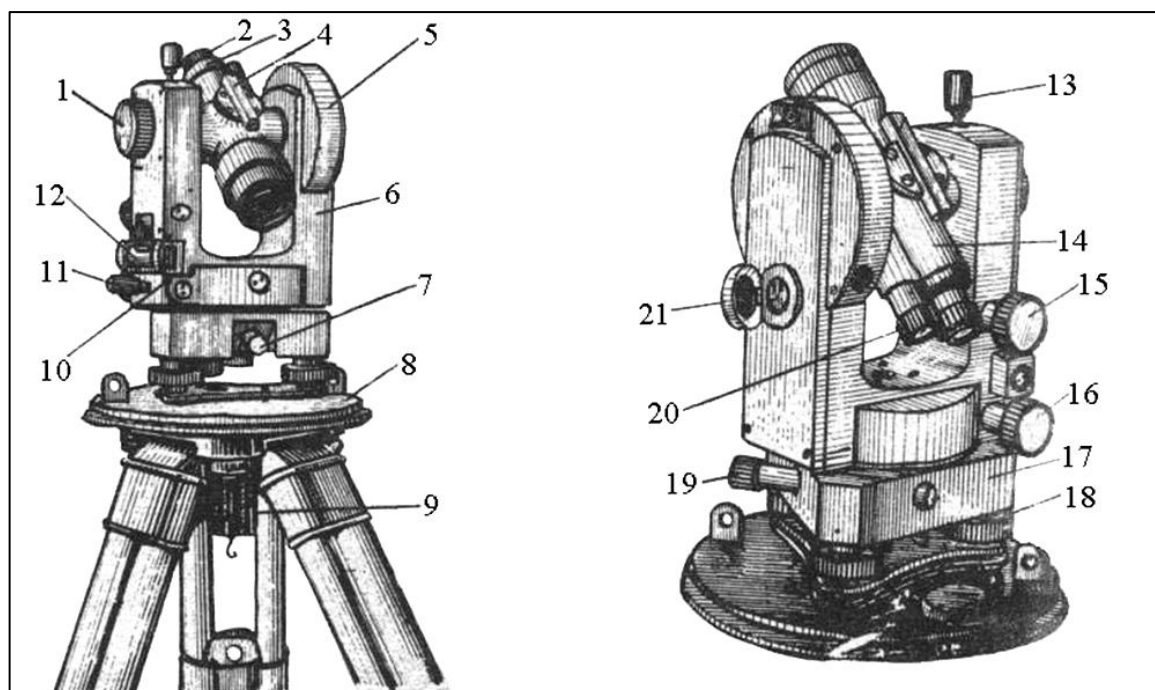


Рисунок 5.6 – Поле зрения отсчетного микроскопа

При отсчитывании по вертикальному кругу число градусов считывается так же, как и по горизонтальному кругу. При этом градусные деления вертикального круга имеют знаки либо плюс, либо минус. Если в пределах шкалы находится штрих лимба без знака, то на шкале отсчет берется по верхнему ряду цифр (слева направо), и полный отсчет записывается со знаком плюс. По нижнему ряду цифр шкалы отсчет берется (справа налево) в том случае, когда в пределах шкалы находится штрих лимба со знаком “минус”. Отсчет записывается со знаком минус. На рисунке 5.6 отсчет по вертикальному кругу равен $-0^{\circ} 52,5'$.

Установочные устройства. К установочным устройствам геодезического прибора относятся подставка, операционные винты, уровни, диоптры. Подставка служит основанием геодезического прибора и крепится к головке штатива становым винтом. Подставка снабжена тремя подъемными винтами, вращая которые прибор горизонтируют, добиваясь приведения пузырька установочного уровня в нуль-пункт. Для регулирования умеренной силы, с которой подставку прижимают к головке штатива, служат трегер и плоская пружина трегера

(рисунок 5.7), в которую ввинчивают становой винт с умеренным усилием, при котором подъемные винты не должны получать тугое вращение.



1 – кремальера; 2 – диоптрийное кольцо; 3 – колпачок, под которым расположены исправительные винты сетки нитей; 4 – оптический визир; 5 – вертикальный круг; 6 – подставка зрительной трубы; 7 – закрепительный винт лимба; 8 – основание футляра; 9 – становой винт; 10 – юстировочные винты уровня; 11 – закрепительный винт алидады; 12 – цилиндрический уровень при алидаде; 13 – закрепительный винт зрительной трубы; 14 – зрительная труба; 15 – наводящий винт зрительной трубы; 16 – наводящий винт алидады; 17 – подставка; 18 – подъемные винты; 19 – наводящий винт лимба; 20 – окуляр шкалового микроскопа; 21 – зеркало

Рисунок 5.7 – Оптико-механический теодолит 2Т30П

Операционные винты (закрепительные и наводящие) служат для ручного управления прибором в процессе измерений.

Диоптры (визеры) закреплены на зрительной трубе и предназначены для ее предварительного наведения на визирную цель. Простейший диоптр представляет выступ-прицел на корпусе трубы. В теодолитах серии Т30 и других применен наиболее совершенный диоптр – оптический, он выполнен в виде трубки с линзой и диафрагмой, вертикальная и горизонтальная щели которой воспринимаются глазом как светлые крестообразные линии прицеливания.

Штативы. Геодезические приборы при измерениях, как правило, закрепляют на штативе, изготовленном из немагнитных материалов. Геодезический штатив – это тренога с металлической головкой и металлическими наконечниками на нижней части ножек. Штатив может быть деревянным или полностью металлическим. По конструкции штативы

подразделяют на раздвижные (ШР) и нераздвижные (НР). Обозначение ШР-120 показывает, что у раздвижного штатива можно регулировать длину ножек, а длина стороны треугольной головки равна 120 мм.

3. Классификация теодолитов

Теодолиты можно разделить на три конструктивные группы.

- Теодолиты с металлическими угломерными кругами (механические теодолиты) в настоящее время не выпускают.

- Оптическими традиционно называют теодолиты со стеклянными угломерными кругами и призменно-линзовыми отсчетными микроскопами; все измерительные действия производит наблюдатель.

- Частично автоматизированные теодолиты, к ним относятся кодовые. В кодовых теодолитах на угломерные круги нанесены штриховые кодовые дорожки и применена фотоэлектрическая регистрация отсчетов при измерении углов. Результаты измерений выдаются на дисплей прибора в числовой или в кодовой форме, и записываются на магнитный носитель информации для последующей компьютерной обработки.

Классификация теодолитов по точности. Оптические теодолиты российского производства по точности разделены на 3 класса: *высокоточные* (Т1), *точные* (Т2, Т5) и *технические* (Т15, Т30). В обозначении теодолита цифрами указана средняя квадратическая погрешность измерения угла (в секундах) одним полным приемом в благоприятных условиях. Основные технические характеристики оптических теодолитов, выпускаемых в России, приведены в таблице 5.1. Эти сведения используются также при рассмотрении сравнительной точности и выборе теодолитов других зарубежных фирм.

Таблица 5.1 – Основные технические характеристики оптических теодолитов

Характеристика	Теодолит				
	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом, с:					
горизонтального	1,5	3	7	15	30
вертикального	3	5	12	15	45
Зрительная труба:					
увеличение, крат	30	25	25	25	18
наименьшее расстояние визирования, м	5	2	1,5	1,2	1,2
Цена деления цилиндрического уровня при алидаде круга, с:					
горизонтального	10	15	30	45	60
вертикального	15	15	15	30	30
Масса теодолита, кг	11,0	5,5	3,5	3,0	2,5

В высокоточных, точных и некоторых типах технических теодолитов на алидаде вертикального круга устанавливается контактный уровень для повышения точности измерения вертикальных углов. Но вместо уровня может применяться маятниковый компенсатор для автоматического устранения погрешностей, возникающих при малых наклонах прибора в процессе измерения вертикальных углов. В шифр теодолитов с компенсатором добавляется буква К, например 2Т5К.

В шифре усовершенствованных теодолитов первой цифрой обозначают порядковый номер модификации прибора, например, 2Т2, 2Т5К, 2Т30П (теодолиты “второго поколения”). Буква П обозначает наличие зрительной трубы прямого изображения.

Требования к точности теодолитов, применяемых в геодезических работах для строительства, определяются допусками к погрешностям конкретного вида измерений при установке конструкций в проектное положение. Для съемочных работ используют технические теодолиты, специальные работы выполняют точными и высокоточными теодолитами.

4. Поверки, исследования и аттестация теодолита 2Т30

Каждый геодезический прибор, находящийся в эксплуатации, подвергается обязательной ежегодной метрологической аттестации в учреждении метрологического надзора. Помимо этого работник, действующий с прибором, обязан выполнять периодически его основные поверки и при возможности необходимые юстировки (регулировки).

Погрешности, свойственные геодезическому прибору, делят на две группы:

- вызванные отклонениями геометрической формы и размеров деталей при заводском изготовлении и сборке прибора;
- происходящие в результате отклонения осей и частей прибора от заданного взаимного положения.

Первую группу погрешностей выявляют в процессе исследований прибора по специальной программе и при необходимости направляют прибор на ремонт. Вторую группу погрешностей уменьшают до заданно малых величин в процессе поверок и юстировок (наладки) прибора.

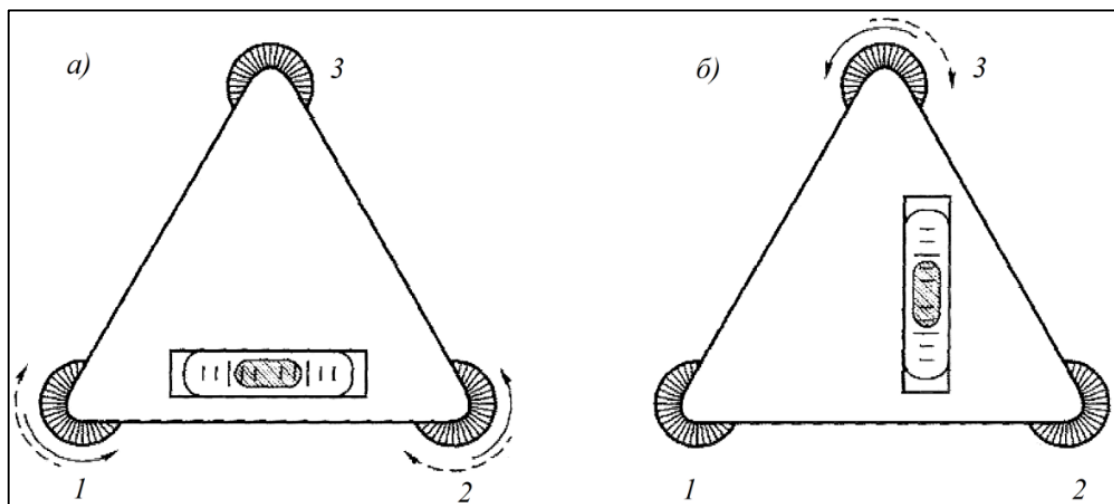
При приемке прибора для работы проверяют комплектность его упаковки. Выявляют общее техническое состояние теодолита, отсутствие механических повреждений, работоспособность операционных винтов, легкость вращения алидады и зрительной трубы, чистоту поля зрения трубы и отсчетного микроскопа, работу фокусирующего устройства. Проверяется устойчивость прибора в подставке и на штативе. Люфт в соединениях штатива устраняется умеренной затяжкой соответствующих болтов.

Качество цилиндрического уровня теодолита проверяется следующим образом: подъемным винтом подставки пузырьку придают малые перемещения, которые должны быть плавными без задержек и рывков.

Проверка длины шкалы отсчетного микроскопа. В теодолитах со шкаловыми микроскопами видимая длина шкалы должна равняться длине дуги между двумя соседними штрихами лимба. Допускается несовпадение до 0,1 наименьшего деления шкалы. Теодолит юстируют в мастерской.

Рабочие положения теодолита. Во время измерений теодолит должен быть горизонтирован при помощи цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.

Поворотом верхней части теодолита ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга устанавливают параллельно двум любым подъемным винтам подставки 1 и 2 (рисунок 5.8). Вращая их в противоположные стороны, пузырек уровня приводят в нуль-пункт. Затем верхнюю часть теодолита поворачивают на 90° и вращением подъемного винта 3 пузырек вновь приводят в нуль-пункт. После этого верхнюю часть теодолита приводят в первоначальное положение.



а – параллельно винтам; б – при повороте на 90°

Рисунок 5.8 – Положение цилиндрического уровня

Если пузырек остался в нуль-пункте горизонтирование завершено. При смещении пузырька более чем на одно деление ампулы все действия повторяют.

Различают два рабочих положения теодолита по отношению к наблюдателю:

- вертикальный круг находится слева от окуляра зрительной трубы (обозначение “круг лево” или КЛ)
- справа (обозначение “круг право” или КП).

Положение теодолита КЛ меняют на положение КП (или наоборот) поворотом зрительной трубы через зенит, при этом верхнюю часть прибора поворачивают вокруг вертикальной оси на 180° окуляром к наблюдателю.

Основные поверки оптических теодолитов

В исправном теодолите его главные геометрические оси (рисунок 5.9), должны быть взаимно сопряжены с высокой точностью.

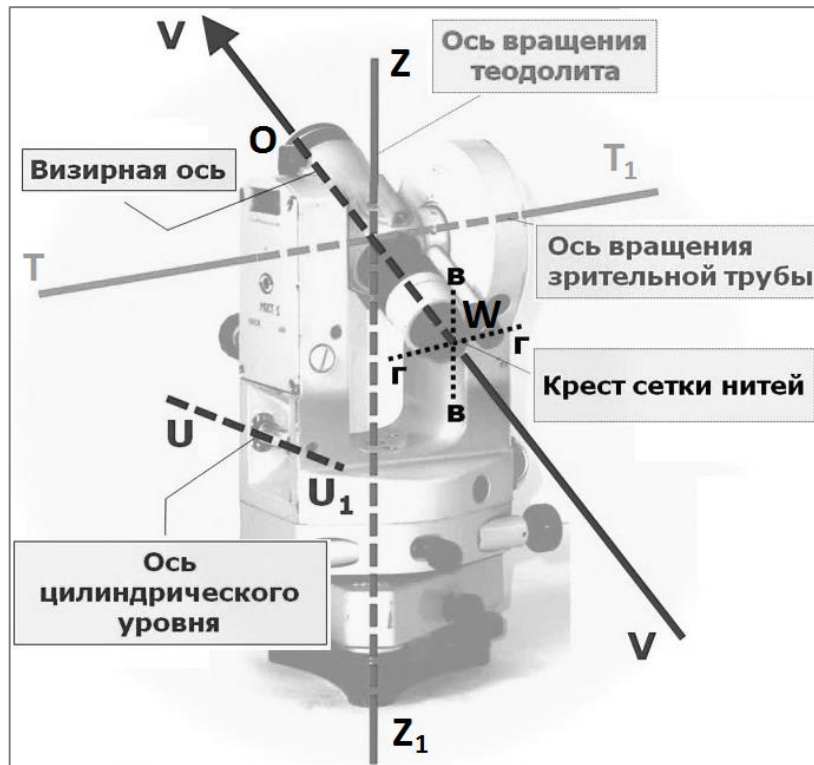
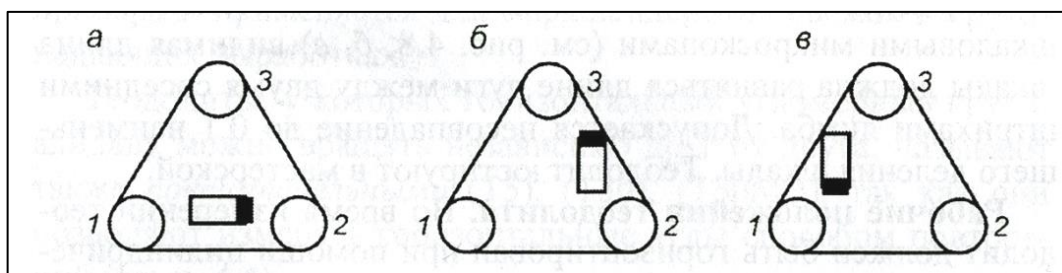


Рисунок 5.9 – Геометрические оси теодолита

Рассмотренные ниже основные поверки оптических теодолитов выполняются в полевых условиях. При выполнении каждой поверки теодолит заново горизонтируют.

1. *Ось цилиндрического уровня UU_1 при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ZZ_1 .*

Поворотом верхней части теодолита ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга устанавливают параллельно двум любым подъемным винтам подставки 1 и 2 (рисунок 5.10, а).



а – параллельно подъемным винтам 1 и 2; б – на 90° ; в – на 180°

Рисунок 5.10 – Повороты цилиндрического уровня при его поверке и юстировке

Вращая их в противоположные стороны, пузырек уровня приводят в нуль-пункт. Затем верхнюю часть теодолита поворачивают на 90° , закрепляют и вращением подъемного винта 3 (рисунок 5.10, б) пузырек вновь приводят в нуль-

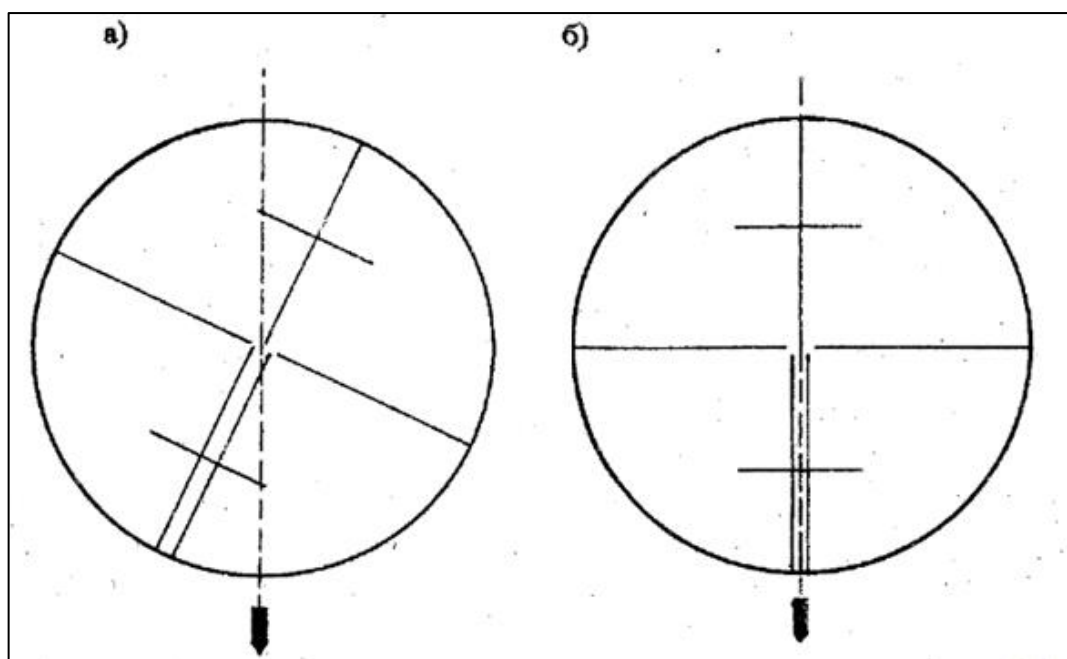
пункт. Оставив круг закрепленным, верхнюю часть теодолита поворачивают на 180° (рисунок 5.10, в). Если пузырек остался в нуль-пункте (допустимо отклонение до 1 деления ампулы), то условие поверки соблюдено.

При значительном смещении пузырька уровень юстируют: вращая подъемный винт 3 подставки пузырек смещают к нуль-пункту на половину его отклонения. Затем пузырек приводят к нуль-пункту, действуя юстировочными винтами уровня 1 и 2 (рисунок 5.5, а). После этого поверку повторяют.

2. *Вертикальный штрих визирной сетки должен быть перпендикулярен оси вращения трубы TT_1* (рисунок 5.9).

Визируют зрительной трубой на четко видимую точку и совмещают с ней изображение вертикального штриха сетки, наводящим винтом поворачивают трубу в вертикальной плоскости (вокруг оси TT_1). В исправном теодолите изображение точки перемещается вдоль вертикального штриха и оси двойного штриха (биссектора). Поверку также можно выполнить путем наведения вертикальной нити сетки на нить подвешенного отвеса.

Если изображение точки смещается в сторону более чем на $1/3$ ширины биссектора, то положение сетки следует исправить. Для этого отвинчивают защитный колпачок при окуляре, ослабляют винты, которые скрепляют окулярную часть с торцом трубы, и разворачивают сетку, визируя на нить отвеса, подвешенного в 5 – 10 м от прибора (рисунок 5.11). После закрепления ослабленных винтов проверяют результат юстировки.



а – положение до юстировки; б – положение после юстировки

Рисунок 5.11 – Положение сетки нитей

3. *Визирная ось зрительной трубы VV_1 должна быть перпендикулярна оси вращения трубы TT_1* (рисунок 5.9).

В исправном теодолите при вращении зрительной трубы вокруг оси TT_1 визирная ось WO описывает плоскость, называемую *коллимационной*. Если визирная сетка установлена с боковым смещением, (рисунок 5.15), то визирная ось отклоняется от перпендикуляра к оси T_1T_1 на угол c , который называется *коллимационной погрешностью*.

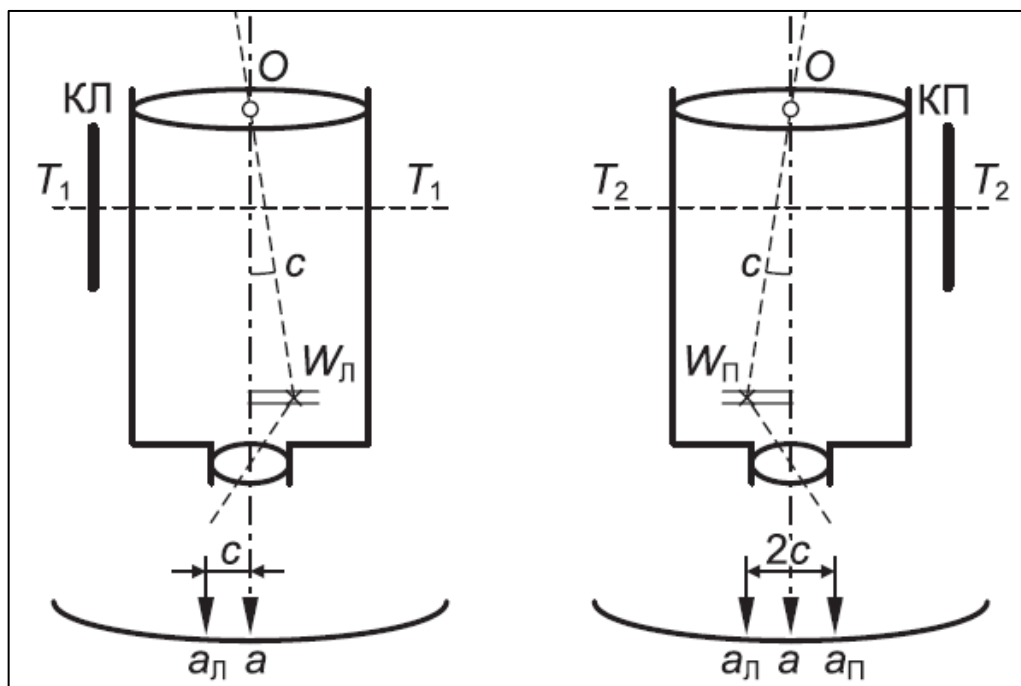


Рисунок 5.12 – Проверка положения визирной оси

При проверке в положении теодолита КЛ (или КП) визируют концом вертикального штриха сетки на четко видимую точку A , удаленную на 100-200 м в приблизительно горизонтальном направлении. Берут отсчет $a_{л}$ по горизонтальному кругу. Оставив горизонтальный круг неподвижным, аналогично визируют на ту же точку в положении теодолита КП и берут отсчет по горизонтальному кругу $a_{п}$. В исправном теодолите разность отсчетов не должна отличаться от 180° больше, чем на двойную коллимационную погрешность, равную двойной точности прибора. В теодолитах типа Т30 – 4Т30П $2c_{доп} = 01'$.

Для устранения недопустимой коллимационной погрешности сначала вычисляют среднее из отсчетов $a_{л}$ и $a_{п}$:

$$a = \frac{a_{л} + a_{п} \pm 180^\circ}{2}. \quad (5.2)$$

Затем алидаду устанавливают на отсчет a , диафрагму с визирной сеткой перемещают ее боковыми юстировочными винтами до совмещения вертикального штриха сетки с изображением точки A . Результат юстировки проверяют повторной проверкой.

4. Ось вращения зрительной трубы TT_1 должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ZZ_1 (рисунок 5.9).

Для проверки теодолит устанавливают в 30 – 40 м от вертикальной стены здания (рисунок 5.13) и приводят в рабочее положение по уровню, закрепляют горизонтальный круг.

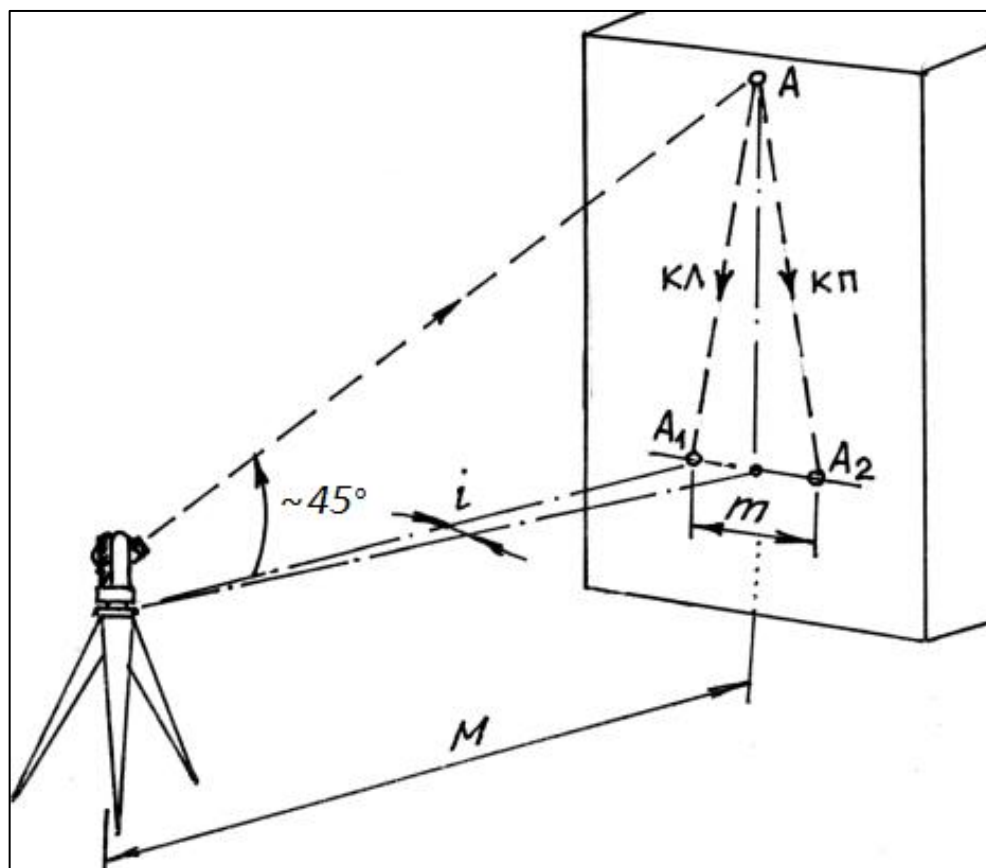


Рисунок 5.13 – Проверка положения оси вращения трубы

В перпендикулярном к стене направлении зрительной трубой визируют на какую-либо четкую легко опознаваемую точку A под углом наклона $40-50^\circ$. Зрительную трубу переводят в горизонтальное положение и на стене по команде наблюдателя помощник отмечает точку A_1 – проекцию вертикального штриха сетки. Затем при втором положении вертикального круга находят вторую проекцию A_2 точки A . Видимое через трубу расстояние A_1A_2 не должно превышать $1/3$ ширины биссектора. Исправляют положение оси вращения трубы теодолита в мастерской.

5. Способы измерений горизонтальных углов

Положение визирных целей. Как правило, с точки стояния теодолита невозможна прямая оптическая видимость на координатную метку, нанесенную на центр наблюдаемого геодезического пункта. Поэтому при измерениях углов над центром наблюдаемого геодезического пункта устанавливают визирную

цель, которая должна находиться на отвесной линии, проходящей через координатную метку этого пункта (рисунок 5.14).

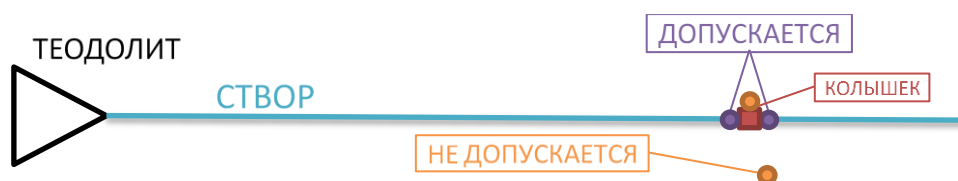


Рисунок 5.14 – Установка визирной цели

При расстояниях между геодезическими пунктами в несколько км постоянную визирную цель закрепляют визирным цилиндром на вершине сигнала или пирамиды, поставленной над центром. При расстояниях в десятки и сотни м в качестве временных визирных целей используют марки на штативах или на консолях, вежи. Продольная ось визирной цели должна быть отвесна. Это условие проверяется относительно вертикальных штрихов визирной сетки теодолита.



а – визирная марка на штативе, б – вежа

Рисунок 5.15 – Визирные цели

Работа с теодолитами Т30 – 4Т30П. Теодолит центрируют над пунктом по нитяному отвесу с точностью 4–5 мм при длинах сторон угла больших 90–100 м, а при меньших длинах сторон – с точностью 2–3 мм и выше при помощи зрительной трубы, направленной объективом вниз при отсчете по вертикальному кругу $270^{\circ} 00'$ или $- 90^{\circ}00'$. С такой же точностью вехи устанавливают над соседними пунктами в створе сторон угла.

Теодолиты горизонтируют с помощью цилиндрического уровня. В горизонтированном теодолите при любой ориентации зрительной трубы пузырек цилиндрического уровня не должен отклоняться от нуля-пункта больше чем на половину деления ампулы.

Зрительную трубу фокусируют с устранением параллакса изображений сетки и предмета.

Основные способы измерения горизонтальных углов – способ отдельного угла и способ круговых приемов. Применяются также способы: повторений, «от нуля» и построения угла с повышенной точностью.

Способ отдельного угла. Горизонтальный угол ABC (схема в табл. 4.2) можно рассматривать как правый (справа лежащий) по ходу $A-B-C$.

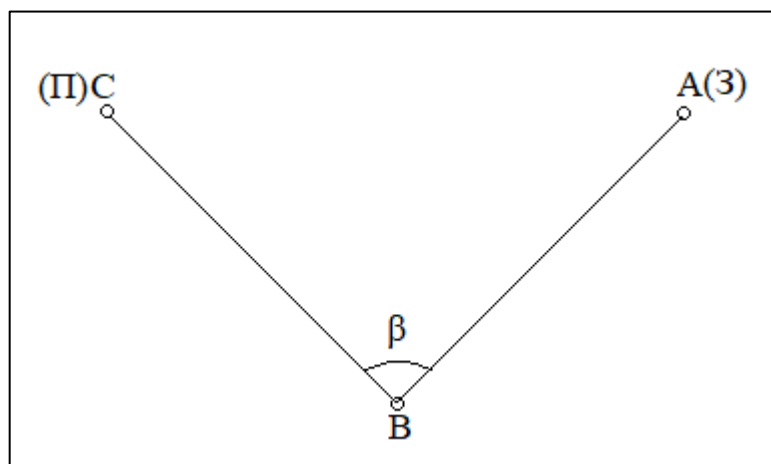


Рисунок 5.16 – Схема измеряемого угла

В этом случае точку A называют *задней*, а точку C – *передней* по отношению к вершине B угла β . При измерении отдельного угла ABC точку A можно также рассматривать как правую, а точку C как левую точки этого угла.

Над вершиной B измеряемого угла β центрируют и горизонтируют теодолит, а над точками A и C ставят визирные цели (вехи вдавливают в землю в створе прямых BC и BA).

Угол измеряют двумя полуприемами. Каждый полуприем выполняют в одном из положений вертикального круга теодолита либо КЛ, либо КП. Все результаты измерений заносят в журнал измерения углов (таблица 5.2)

Таблица 5.2 – Журнал измерения углов способом отдельного угла

Станция	Круг	Точка	Отсчеты по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол β , °'	
				измеренный	средний
В	КЛ	А	156°48' (1)	85°37' (3)	85°37,5' (7)
		С	71°11' (2)		
	КП	А	336°49' (4)	85°38' (6)	
		С	251°11' (5)		

Первый полуприем. Закрепляют горизонтальный угломерный круг теодолита, открепляют алидаду и визируют зрительной трубой (вертикальным штрихом сетки) на заднюю по ходу визирную цель *A*.

По горизонтальному кругу берут отсчет a_1 , записывают его в журнал (таблица 5.2). Затем при закрепленном горизонтальном круге визируют на переднюю точку *C* и берут отсчет a_2 .

Правый по ходу угол вычисляют по формуле:

$$\beta' = a_1 - a_2 = 3 - \Pi, \quad (5.3)$$

где $a_1 = 3$ и $a_2 = \Pi$ – отсчеты по горизонтальному лимбу при визировании на заднюю и переднюю по ходу точки.

В таблице 5.2 в результате измерений угла первым полуприемом получено значение $\beta' = 85^\circ 37'$.

Прежде чем начать *второй полуприем*, зрительную трубу переводят через зенит (изменяют положение КЛ на КП или наоборот). Затем действия второго полуприема выполняют в той же последовательности как и первого. В примере таблицы 5.2 второе значение угла равно $\beta'' = 85^\circ 38'$.

Допустимое расхождение углов β' и β'' составляет $2t$ – двойную точность отсчетного устройства ($2t = 01'$ для теодолитов Т30 – 4Т30П). При этом условии вычисляется среднее (окончательное) значение измеренного угла β .

Способ круговых приемов. Теодолит устанавливают над общей вершиной *M* нескольких измеряемых горизонтальных углов/

Первый полуприем. При визировании в положении КЛ на начальную точку *I* (рисунок горизонтальный лимб ставят на отсчет, близкий к $0^\circ 03' - 0^\circ 10'$, и закрепляют. Отпускают верхнюю часть теодолита и, сделав 1–2 оборота по часовой стрелке, визируют зрительной трубой (вертикальным штрихом сетки) на визирные цели в последовательности 1, 2, 3, 4, 1 и каждый раз берут отсчет по горизонтальному лимбу (таблица 5.3). Разность $\delta Л$ начального и конечного отсчетов на точку 1 характеризует устойчивость прибора, ее допустимое значение составляет $2t$ – двойную точность отсчетного устройства ($2t = 01'$ для теодолита Т30 – 4Т30П).

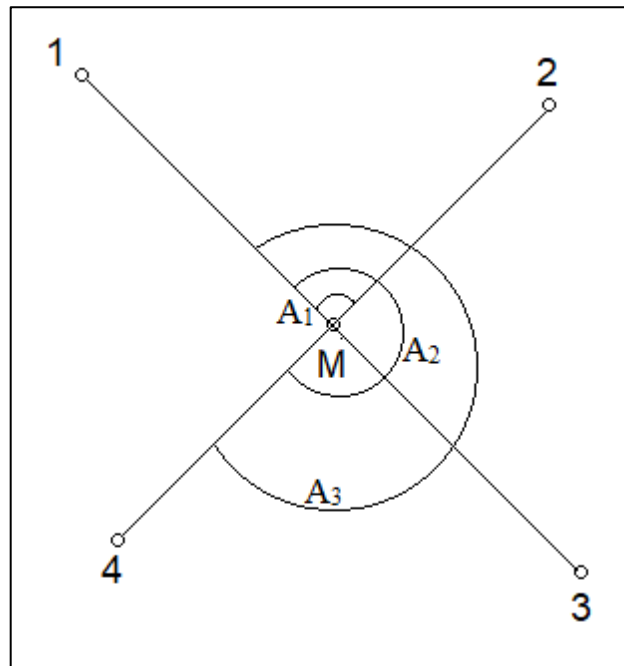


Рисунок 5.16 – Схема направлений

Таблица 5.3 – Журнал измерения углов способом круговых приемов

Станция	Точка	Отсчеты по лимбу		2с	(Л+П)/2	Приведенные направления
		КЛ	КП			
М	1	0°01' (1)	180°01' (7)	00' (13)	00' (24) 0°01' (18)	0°00' (29)
	2	44°20' (2)	224°19' (8)	-01' (14)	0,2' (25) 44°19,5' (19)	44°18,7' (30)
	3	76°12' (3)	256°12' (9)	00' (15)	0,5' (26) 76°12' (20)	76°11,5' (31)
	4	156°48' (4)	336°47' (10)	01' (16)	00,8' (27) 156°47,5' (21)	156°47,3 (32)
	1'	00°00' (5)	180°0' (11)	00' (17)	01' (28) 00°00' (22)	0°00' (33)
			δЛ=-01' (6)	δП=-01' (12)		δ=-01' (23)

Второй полуприем. Зрительную трубу переводят через зенит, отпускают алидаду, но горизонтальный круг оставляют закрепленным в прежнем положении. Верхнюю часть теодолита вращают на 1–2 оборота против часовой стрелки и приступают к визированиям с отсчетами второго полуприема в последовательности 1, 4, 3, 2, 1. Убедившись в допустимости разности δП, вычисляют значения двойной коллимационной погрешности 2с, среднее значения по направлениям. Вычисляют среднее значение незамыкания δ, если величина получится больше 0,5', то ее следует распределить на все направления с обратным знаком пропорционально их номерам.

Окончательный результат первого приема – это приведенные направления $A_i = (Л + П)/2 - a_n$.

Для уменьшения приборных и внешних погрешностей выполняют 2–3 круговых приема, а перед каждым приемом горизонтальный лимб переставляют

на угол $\Delta\beta = 180^\circ / n + \mu$, где n – число приемов; μ – цена наименьшего деления лимба.

Способ повторений. При этом способе сначала визируют на точку A измеряемого угла β (рисунок 5.16) и берут начальный отсчет a_n , затем визируют на точку C и берут промежуточный отсчет c_1 , вычисляют контрольное значение угла $\beta_k = a_n - c_1$, затем отпускают закрепительный винт угломерного круга и, вращая трубу совместно с угломерным кругом (сохраняя отсчет c_1), вновь визируют на точку A (при этом горизонтальный круг поворачивается на угол β), закрепляют угломерный круг, затем визируют на точку C и берут отсчет c_2 по горизонтальному кругу, соответствующий *второму повторению*. Вычисленное значение угла $\beta_2 = (a_n - c_2)/2$ должно быть близко к контрольному β_k . Число повторений принимают до трех при КП и КЛ и таким способом уменьшают погрешности, обусловленные ограниченной точностью отсчетного устройства теодолитов со шкаловым отсчетным микроскопом.

Измерения горизонтальных углов способом «от нуля». На практике в ряде угломерных задач для некоторого упрощения измерений горизонтальный круг теодолита устанавливают на отсчет $0^\circ 00,0'$ при визировании на левую точку угла и закрепляют. При визировании на правую точку отсчет по горизонтальному кругу будет равен измеряемому углу. Способ «от нуля» не применяют в тех геодезических работах, в которых он не предусмотрен соответствующими инструкциями, не обеспечивает надлежащий контроль результатов, оказывается излишне трудоемким.

Построение горизонтальных углов теодолитом Т30 с повышенной точностью. Горизонтальные углы можно построить на местности теодолитом Т30 со средней квадратической погрешностью $m_\beta \approx 5-6'' = 0,1'$ при условии, что угол не содержит дробных долей наименьшего деления шкалы, а точность центрирования теодолита и визирных целей (≈ 1 мм) отвечает названной погрешности m_β . В данном случае используют свойство глаза человека различать совмещение штриха отсчетного микроскопа со штрихом градусного деления лимба с точностью $2-3''$. Например, требуется построить угол $\angle CBA = \beta = 90^\circ 00' \pm 0,1'$. Для этого сначала необходимо точно центрировать теодолит над вершиной угла при помощи его зрительной трубы, установленной объективом вниз на отсчет по вертикальному кругу $90^\circ 00'$ или $270^\circ 00'$ (визирование производится сквозь отверстие в подставке теодолита и станом винте). Затем при визировании на точку C максимально точно устанавливают отсчет по горизонтальному кругу $c = 00^\circ 00,0'$ и при закрепленном горизонтальном круге поворачивают верхнюю часть теодолита на отсчет $a = 90^\circ 00,0'$. Визирная ось зрительной трубы будет направлена в сторону точки A . На местности обозначают точку A_1 . Работу следует выполнить при КП и КЛ. За окончательное положение точки A выбирают среднее, если несовпадение точек A_1 и A_1 не превышает $3-4$ мм на 100 м расстояния от теодолита.

6. Измерение вертикальных углов

Измерения вертикальных углов начинают после приведения теодолита в рабочее положение. Наведение на визирную цель производят средним горизонтальным штрихом визирной сетки зрительной трубы, при этом следят, чтобы пузырек соответствующего цилиндрического уровня находился в нуль-пункте. В теодолитах Т30 – 4Т30П используется цилиндрический уровень на алидаде горизонтального круга. В теодолитах, оснащенных цилиндрическим уровнем при алидаде вертикального круга, проверяют установку этого уровня.

Место нуля вертикального круга (M0) – это величина отсчета по вертикальному кругу теодолита при горизонтальном положении осей: визирной оси зрительной трубы.

В хорошо отъюстированном теодолите M0 близко или равно нулю. Если $M0 = 0^\circ 00'$, то в положении теодолита КЛ отсчет Л по вертикальному кругу равен углу наклона v .

В теодолитах 2Т30П градусные деления вертикального круга разделены на четыре сектора, каждый оцифрован от 0° до 75° или от 0° до 90° с указанием знака “минус” для отрицательных углов наклона, а формулы для вычисления значений M0 и v имеют вид:

$$M0 = \frac{Л + П}{2} \quad (5.4)$$

$$v = Л - M0 = M0 - П \quad (5.5)$$

При измерении вертикальных углов колебания величины M0 не должны превышать $2t$ – двойной точности отсчетного устройства ($01'$ в теодолитах Т30). Из полученных величин M0 используется среднее.

Юстировка места нуля. Если M0 близко к нулю, то упрощаются вычисления углов наклона. Приступая к юстировке, значение M0 определяют 2-3 раза, затем вычисляют угол наклона v .

В теодолитах Т30 – 4Т30П после определения величин M0 и v вновь визируют на точку M при КЛ и, удерживая пузырек уровня в нуль-пункте, зрительную трубу ставят на отсчет по вертикальному кругу $Л = v$. Затем вертикальными юстировочными винтами сетки ее средний горизонтальный штрих совмещают с изображением точки M , после чего определяют полученную величину M0.

7. Погрешности угловых измерений

Погрешности в значении измеренного угла или направления разделяют на два вида:

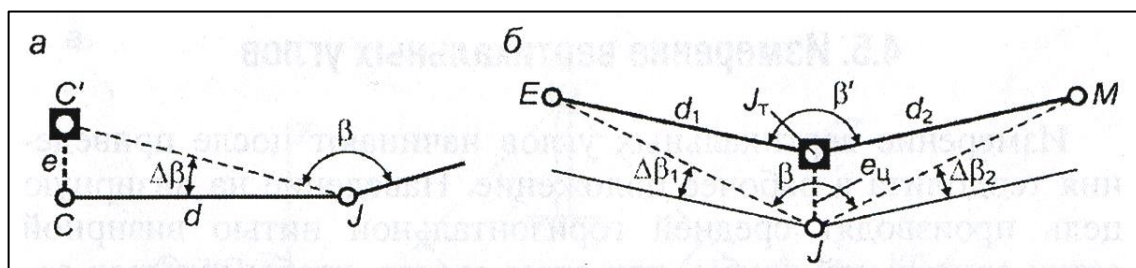
- приборные погрешности;
- погрешности, обусловленные внешними факторами угловых измерений.

Приборные погрешности исправного теодолита соответствуют в основном метрологическим пределам его точности и неполной его юстировке. Эти погрешности уменьшают до мало значимых величин тщательной юстировкой теодолита и соблюдением установленной методики соответствующих угловых измерений при КЛ и КП. Для технических теодолитов приборная средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним приемом составляет $m_{\beta} = 20\text{--}30''$, т. е. близка к точности отсчетного устройства $t = 20''\text{--}30''$ или в среднем $m_{\beta} = 0,5'$.

Внешние факторы погрешностей угловых измерений (неточности центрирования визирных целей и теодолита, неточности визирования, недостаточную устойчивость прибора) необходимо учитывать и минимизировать соответствующей подготовкой работ. Рассмотрим требования к точности центрирования визирной цели, приняв допустимую погрешность ее углового отклонения $\Delta\beta = m_{\beta}/\sqrt{2} \approx 0,3'$. Например (рисунок 5.17, а), если веха С центрирована с линейной погрешностью $e = CC'$, то угол β получится с погрешностью (в радианах) $\Delta\beta = e/d$. Откуда $e = d \Delta\beta$ или при выражении $\Delta\beta$ в угловых минутах:

$$e = \frac{d \Delta\beta}{\rho'}, \quad (5.6)$$

где $\rho' = 3438'$ – число минут в радиане.



а – вехи; б – теодолита

Рисунок 5.17 – Погрешность угла при неточном центрировании

При $\Delta\beta = 0,3'$ и расстоянии $d = 100$ м допустимая погрешности центрирования вехи $e_{\text{доп}} \approx 9$ мм, но при расстоянии $d = 20$ м находим $e_{\text{доп}} \approx 2$ мм. Следовательно при коротких сторонах угла необходимо обеспечивать наиболее точную установку вехи на пункте и применять в качестве визирных целей металлические стержни, отвесы, визирные марки и др.

Если теодолит центрирован над вершиной угла (точкой J_T) с поперечной погрешностью e_c (рисунок 5.17, б) то вместо угла $\beta = EJM$ измеряется горизонтальный угол $\beta' = EJ_TM$ и погрешность угла за счет фактора центрирования принимает максимальное значение $\Delta\beta = \Delta\beta_1 + \Delta\beta_2$. При

расстояниях от теодолита до вех $d_1 \approx d_2$ и допустимой составляющей угловой погрешности $\Delta\beta_{\text{ц,доп}}$ требуемая точность центрирования теодолита рассчитывается по формуле

$$e_{\text{ц,доп}} = \frac{d_1 \Delta\beta_{\text{ц,доп}}}{2\rho'}. \quad (5.7)$$

По данной формуле находим допустимую погрешность центрирования теодолита $e_{\text{ц,доп}} \approx 1$ мм при минимальных расстояниях визирования равных 20 м и при условии, что $\Delta\beta_{\text{ц,доп}} = 0,3'$. Если в среднем $d_1 \approx d_2 \approx 100$ м, то $e_{\text{ц,доп}} \approx 4$ мм

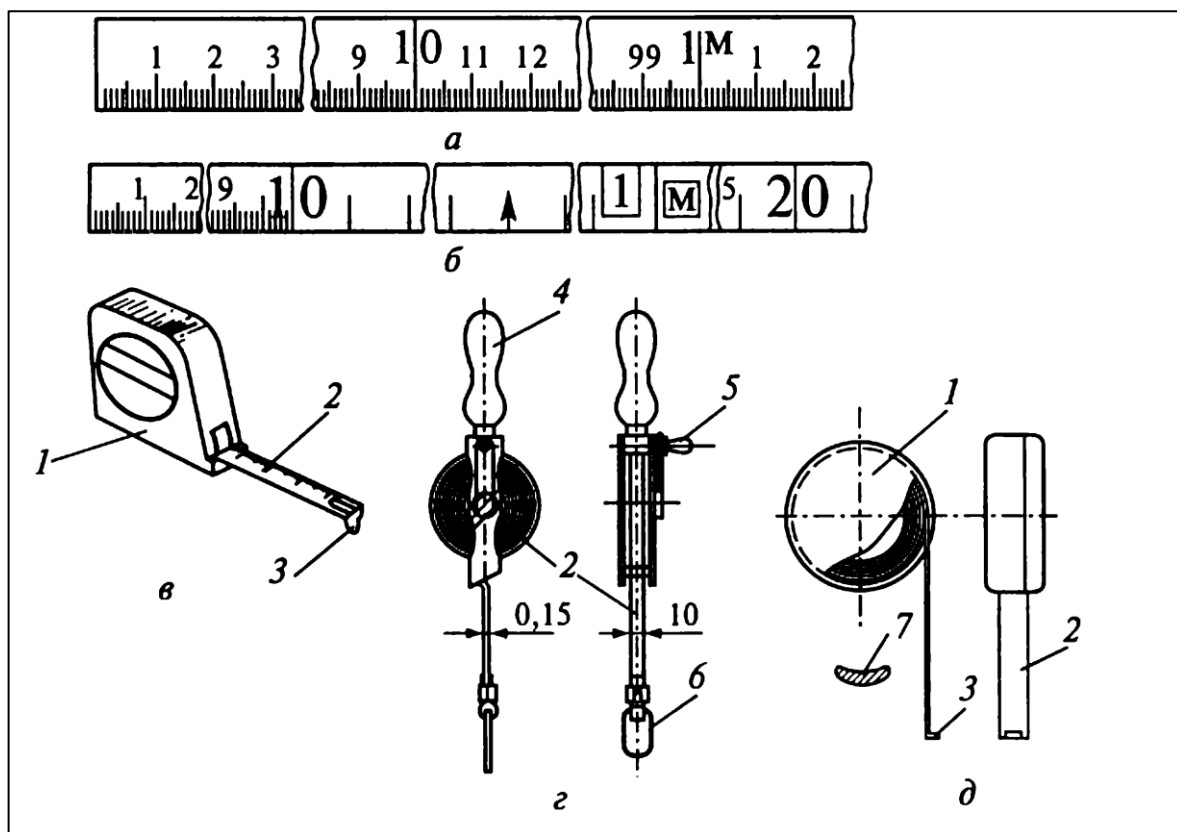
ТЕМА № 6. Приборы и методы производства линейных измерений

1. Приборы для непосредственного измерения линий
2. Закрепление измеряемых линий на местности. Вешение линий.
3. Выполнение измерений. Вычисление длин линий.
4. Источники погрешностей при измерении длин линий мерной лентой и рулеткой
5. Нитяной дальномер.
6. Определение недоступных расстояний
7. Понятие об измерениях длин линий светодальномерами

1. Приборы для непосредственного измерения линий

В геодезических работах расстояния между точками на местности и при возведении сооружений измеряют и определяют различными приборами непосредственными и косвенными методами. Непосредственное измерение расстояния между двумя обозначенными точками производится электронными и оптическими дальномерами или механическими приборами (стальными рулетками, мерными проволоками). В косвенных методах определения расстояний производят измерения линейных и угловых величин в соответствующих геометрических фигурах с последующим вычислением искомого расстояния по формулам тригонометрии (например, определение горизонтального проложения по длине наклонной прямой и углу ее наклона, измерения расстояния оптическими дальномерами геометрического типа и др.).

Рулетки выпускают стальные (рисунок 6.1) и тесемочные длиной 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10... 12 мм, толщиной 0,15...0,30 мм. На полотне рулетки наносят штрихи – деления через 1 мм по всей длине или только на первом дециметре. В последнем случае все остальное полотно размечают сантиметровыми штрихами. Цифры подписывают у каждого дециметрового деления. Чтобы измерить расстояние между двумя точками штрих с подписью 0 (ноль) прикладывают к одной точке и смотрят, какой штрих совпадает со второй точкой. Если вторая точка не совмещается со штрихом на рулетке, а попадает между ними, то расстояние между штрихами визуально делят на 10 частей и «на глаз» оценивают отстояние ее от ближайшего штриха. У рулеток с миллиметровыми делениями (рисунок 6.1, а) отсчет берут до 0,1 мм, у рулеток с сантиметровыми делениями (рисунок 6.1, б) — до 0,1 деления или до 1 мм. Цифры у метровых делений даны с размерностью метров – буквой м. Стальные рулетки выпускают либо в футляре (рисунок 6.1, в), либо с полотном, намотанным на крестовину (вилку) (рисунок 6.1, г). Для измерений коротких отрезков металлические рулетки делают изогнутыми по ширине – желобковыми (рисунок 6.1, д).



а, б – виды делений; в – карманная; г – на вилке; д – в футляре
 1 – футляр; 2 – полотно; 3 – Г-образные окончания для фиксации;
 4, 5 – ручки; 6 – кольцо; 7 – желобковый вид сечения

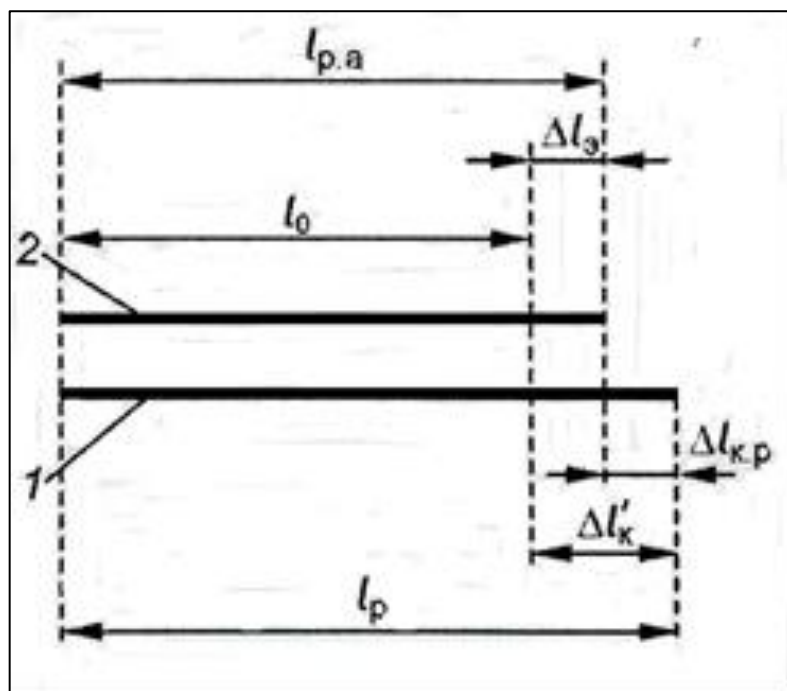
Рисунок 6.1 – Стальные рулетки

Компарирование рулетки – это сравнение рабочей длины рулетки с длиной рабочего эталона. Рулетки, находящиеся в эксплуатации, ежегодно аттестуют (выполняют их компарирование с выдачей документа на допуск к использованию) в лаборатории метрологического надзора. Фактическая длины рабочей рулетки выражается уравнением:

$$l_p = l_0 + \Delta l_k, \quad (6.1)$$

где l_0 – номинальное значение длины; Δl_k – поправка за компарирование, указанная для температуры компарирования t_k (обычно $t_k = 18 - 20^\circ\text{C}$).

В процессе эксплуатации мерных лент производят их рабочее компарирование в метрологической лаборатории предприятия. Применяют также сравнение длины l_p рабочей рулетки с длиной l_a однотипной аттестованной рулетки, хранящейся в качестве рабочего эталона (рисунок 6.2).



1 – рабочая; 2 – контрольная

Рисунок 6.2 – Сравнение рабочей ленты с рабочей поверенной лентой

При рабочей проверке аттестованную и проверяемую рулетки помещают на ровной горизонтальной поверхности рядом, растягивают силой 98 Н (можно применить пружинные динамометры для натяжения силой 10 кгс \pm 0,3 кгс), совмещают нулевые штрихи рулеток, проверяют величины несовпадения шкал через каждые 1 - 3 м и находят разницу $\Delta l_{ар}$ длин рулеток рабочей и аттестованной (рисунок 6.2):

$$\Delta l_{ар} = l_p - l_a. \quad (6.2)$$

Для аттестованной рулетки 2 известна метрологически выявленная поправка:

$$\Delta l_{э} = l_0 - l_a, \quad (6.3)$$

где l_0 – номинальное значение длины; l_a – фактическая длина аттестованной ленты.

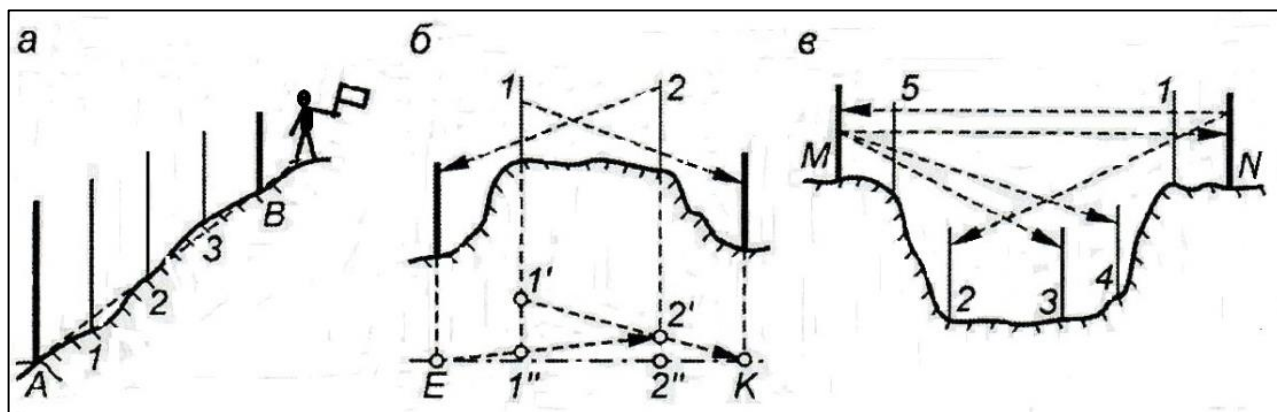
Тогда поправка в длину рабочей рулетки (приближенная поправка на компарирование) будет равна:

$$\Delta l'_{к} = \Delta l_{кр} + \Delta l_{э}. \quad (6.4)$$

Если численное значение $\Delta l'_k$ отличается от метрологически выявленной поправки Δl_k больше чем на $1/10000$ от длины l , то рабочую рулетку направляют на поверку метрологической службой.

2. Закрепление измеряемых линий на местности. Вешение линий

Полосу местности между конечными точками А и В измеряемой линии расчищают от высокой травы, кустов и предметов, препятствующих выравниванию ленты при измерениях. Для устранения чрезмерных боковых отклонений ленты от направления АВ (рисунок 6.3, а) вехами обозначают створ – вертикальную плоскость, проходящую через две точки на местности, в данном примере через точки А и В. Кроме основных вех А и В в створе выставляют дополнительные вехи через 50 – 150 м соответственно условиям их видимости. Вешение протяженных линий производят различными способами.



а – на мало пересеченной местности; б – через возвышенность; в – через овраг

Рисунок 6.3 – Вешение створа

Вехи устанавливают либо «на глаз», либо с помощью оптической зрительной трубы с такой частотой, чтобы при нахождении мерщика у одной из них обеспечивалась видимость двух смежных. Вешение «на глаз» менее точно, чем с помощью оптической трубы с увеличением, однако его точность вполне достаточна, если измерение делать рулеткой со шпильками.

Вешение «на глаз» выполняют приемами «от себя» и «на себя». При вешении «от себя» один мерщик становится на исходной точке, а на конечной точке второй мерщик устанавливает веху такой высоты, чтобы она была видна с исходной точки. Второй мерщик по створу на расстоянии не более 100 м от начала устанавливает веху, перемещая ее перпендикулярно створу до совпадения ее с вехой на конечной точке. Команды о смещении устанавливаемой вехи в створ подают отмашкой руки.

При вешении «на себя» мерщик выставляет вешку или укладывает рулетку в створе двух других вех, имея их перед собой.

Для установки промежуточных вех способом "на себя" наблюдатель располагается в 2–3 м позади вехи В (рисунок 6.3, а), по его сигналам помощник в створе А-В выставляет вехи 1, 2, 3. Первой укрепляют дальнюю веху.

При отсутствии за возвышенностью прямой видимости между вехами Е и К (рисунок 6.3, б) промежуточную веху 1 ставят на глаз вблизи створа в точке 1'. Затем по указанию наблюдателя в точке 1' помощник выставляет веху 2 в точке 2' створа 1'–К. После этого веху 1 выставляют в точке 1" створа 2'–Е и аналогичными действиями быстро приходят к обозначению створа Е–К.

В случае вешения через овраг или балку (рисунок 6.3, в) в створе М–N ставят вехи 1 и 5, в створе N–1 – веху 2, в створе М–5 – вехи 3 и 4.

При прямой видимости в створе более точное вешение достигается с помощью зрительной трубы теодолита, установленного над одной из точек створа. Сначала устанавливают дальнюю веху, затем ставят промежуточные вехи, приближаясь к теодолиту.

3. Выполнение измерений. Вычисление длин линий

Измерения линий рулеткой выполняют два замерщика. Передний берет 5 или 10 шпилек (колышков, острых игл), задний – одну и этой шпилькой, поставленной вертикально, закрепляет задний конец рулетки у начальной точки, убедившись, что подписи метровых делений возрастают в направлении переднего ее конца. Затем задний замерщик прижимает ногой рулетку к земле с упором к шпильке и направляет переднего замерщика в створ, т. е. по направлению на переднюю веху. Передний замерщик натягивает рулетку и передний ее конец закрепляет в земле шпилькой, при этом рулетка не должна сдвигаться относительно задней шпильки. Затем задний замерщик вынимает свою шпильку, а передний снимает рулетку со шпильки, которая остается в земле и от которой измерение продолжается после продвижения рулетку вперед на ее длину l .

Когда передний замерщик поставит последнюю шпильку, у заднего их будет 5 или 10, это значит, что измерен отрезок, равный $5l = 100$ м или $10l = 200$ м при $l = 20$ м.. Задний замерщик передает переднему 5 или 10 шпилек. Каждая такая передача отмечается в журнале измерений.

При достижении конечной точки В линии АВ измеряют так называемый остаток r – расстояние от заднего нулевого штриха рулетки до центра знака В. Полевой результат измерения вычисляется по формуле:

$$D = nl + r, \quad (6.5)$$

где n – число отложений рулетки до остатка r .

Расстояние измеряется дважды («прямо» и «обратно»). Допустимое расхождение ΔD первого и второго результатов D' и D'' определяется по их допустимой относительной погрешности, например $(\Delta D / D)_{\text{доп}} = 1/2000$, при этом $\Delta D_{\text{доп}} = D/2000$.

Если линия или ее часть расположены на наклонной поверхности, то измеряют угол наклона v и длину D_v соответствующего отрезка. Определяют температуру t ленты во время измерений, если она отличается от температуры компарирования более чем на $8-10^\circ\text{C}$.

Вычисление горизонтального проложения d измеренного отрезка D производится с учетом поправок на компарирование ленты, на приведение наклонных участков к горизонту и на температуру.

Поправка на компарирование вычисляется с учетом формулы (6.5):

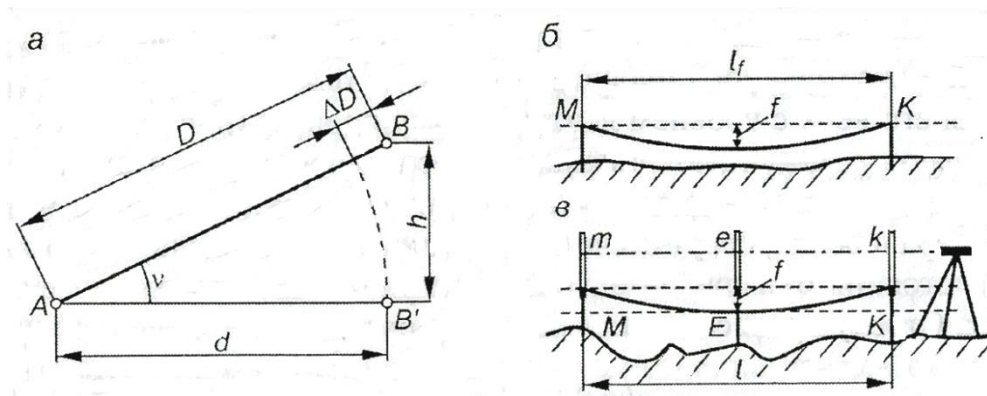
$$\Delta D_k = \Delta l_k \left(n + \frac{r}{l} \right). \quad (6.6)$$

Она прибавляется к расстоянию D , если рулетка длиннее номинального значения l_0 , и вычитается, если лента короче. Такая поправка не принимается во внимание, если ее величина равна или меньше $1/10\ 000$ длины l , то есть для рулетки длиной $l = 20$ м не учитываются поправки $\Delta l_k \leq 2$ мм.

Поправка на наклон отрезка длиной D учитывается в неявном виде при вычислении горизонтального проложения d (рисунок 6.4) по формуле:

$$d = D \cos v, \quad (6.7)$$

где v – угол наклона отрезка.



а – наклон и горизонтальное проложение линии; б – провисание;
в – определение стрелы провисания

Рисунок 6.4 – Наклонное положение и провес рулетки

Поправка на наклон ΔD_v – отрицательное число, которое равно:

$$\Delta D_v = d - D = D \cos v - D = D(\cos v - 1). \quad (6.8)$$

Если известно превышение h между конечными точками A и B прямого отрезка (рисунок 6.4), то поправку на наклон можно вычислить по формуле:

$$\Delta D_v = \frac{h^2}{2D}. \quad (6.9)$$

Поправка ΔD_v учитывается при углах наклона $v \geq 1,5^\circ$ или при превышениях $h \geq 2,6$ м на 100 м расстояния D .

Температурная поправка в измеренное расстояние вычисляется по формуле:

$$\Delta D_t = \alpha D(t - t_k), \quad (6.10)$$

где α – коэффициент температурной деформации ленты на 1°C (для стали $\alpha = 0,0000125$; для нержавеющей стали $\alpha = 0,0000205$);

t и t_k – температура ленты во время измерений и при компарировании соответственно.

Поправка на провес мерной ленты. На земной поверхности и между строительными конструкциями нередко мерной лентой измеряют расстояния «на весу» под постоянным натяжением динамометром (рисунок 6.4, б). Лента получает провисание или прогиб, стрела прогиба равна f , при этом расстояние l_f между точками M и K отсчитывается по шкале ленты преувеличенным, а поправка на провисание теоретически вычисляется по формуле:

$$\Delta l_{\text{п}} = \frac{8f^2}{3l}, \quad (6.11)$$

но практически поправку $\Delta l_{\text{п}}$ определяют опытным путем.

Для определения поправки $\Delta l_{\text{п}}$ кольца M и K забивают на одной высоте с контролем по горизонтальному вирному лучу теодолита или нивелира. Через верх кольшкков натягивают мерную ленту с помощью динамометра, с постоянной силой, которая будет применяться на объекте (в геодезии сила натяжения принята величиной 98Н или 10 кгс). Рядом с точкой максимального провисания забивают кольшек E , совмещая его верх с уровнем ленты. Стрелу провеса измеряют с помощью линейки относительно горизонтального луча теодолита. Или кольшки нивелируют с помощью нивелира и рейки, берут отсчеты по рейке, соответственно m , e , k – расстояния от горизонтального визирного луча до точек ленты. Стрелу провеса вычисляют по формуле:

$$f = \frac{m + k}{2} - e. \quad (6.12)$$

Стрелу провеса следует определить для ряда длин провисания рулетки: 10, 15, 20, 25, 30, ... м и, пользуясь формулой (6.11), рассчитать для данного типа мерной ленты таблицу или график поправок $-\Delta l_{\text{п}}$ на провисание участков различной длины.

Длина горизонтального проложения вычисляется по формуле:

$$d = D + \Delta D_k + \Delta D_v + \Delta D_t. \quad (6.12)$$

4. Источники погрешностей при измерении длин линий мерной лентой и рулеткой

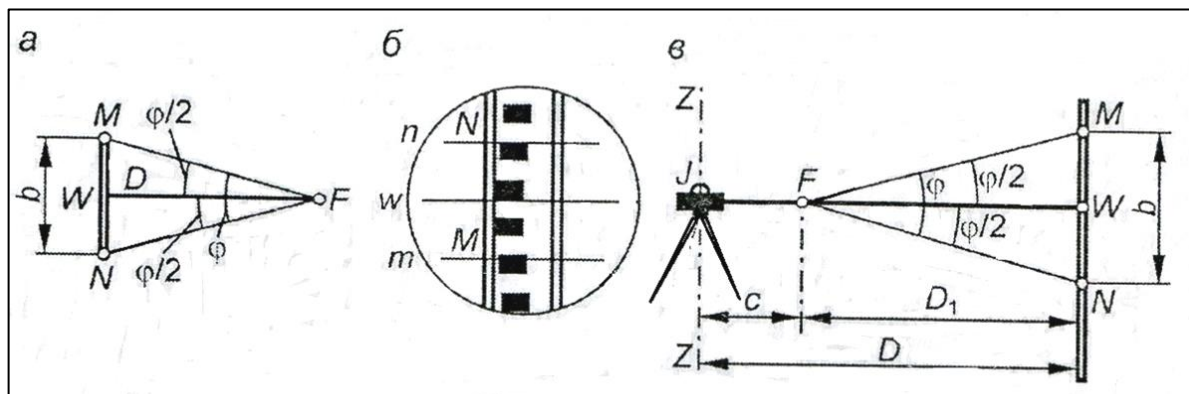
При измерениях лентами на местности возникают систематические и случайные погрешности. Систематическая погрешность складывается из ряда односторонне действующих факторов: остаточной погрешности компарирования ленты, погрешностей за счет искривлений ленты на вертикальных неровностях земной поверхности и отклонений ленты от створа, ее неверного натяжения и смещений шпилек, вследствие пренебрежения поправками за наклон при $\nu < 1,5^\circ$, а также температурными поправками.

Случайная погрешность обусловлена случайными влияниями неточного учета поправок на наклон и температуру, колебаниями силы натяжения ленты.

Внешние условия сильно влияют на точность измерений линий лентами. В благоприятных условиях (ровная поверхность связного грунта) относительная погрешность длины линии составляет в среднем $1/T = 1/3000$, в средних условиях измерений (небольшие неровности, низкая трава) – $1/T = 1/2000$, в неблагоприятных условиях (резко пересеченная или заболоченная местность, кочковатость, пашня, высокие травы и др.) – $1/T = 1/1000$ (или 0,1 м на 100 м расстояния).

5. Нитяной дальномер

Оптические дальномеры служат для определения расстояний до 100-300 м с относительной погрешностью от 1/200 до 1/3000 в зависимости от конструкции прибора (рисунок 6.5).



а – геометрическая схема; б – поле зрения трубы; в – схема измерений

Рисунок 6.5 – Оптический дальномер геометрического типа

Принцип измерения расстояний оптическими дальномерами геометрического типа основан на решении сильно вытянутого прямоугольника или равнобедренного треугольника, называемого параллактическим (рисунок 6.5, *a*), малая сторона которого $b = MN$ называется базисом дальномера, а противолежащий малый угол φ – параллактическим.

Из прямоугольного треугольника FWM , где $WM = b/2$, измеряемое расстояние можно вычислить как:

$$D = \frac{1}{2} b \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}. \quad (6.13)$$

Различают оптические дальномеры с постоянным параллактическим углом и с постоянным базисом.

В дальномерах с постоянным параллактическим углом ($\varphi = \text{const}$) измеряют базис b , при этом в формуле (6.13) произведение $\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} = K$ является постоянной величиной, которая называется *коэффициентом дальномера*, поэтому:

$$D = Kb. \quad (6.14)$$

В дальномерах с постоянным базисом измеряют угол φ высокоточным теодолитом с погрешностью $m_\varphi \leq 3''$, а расстояние D вычисляют по формуле (6.13).

Нитяной дальномер конструктивно входит в устройство теодолитов и нивелиров. В зрительной трубе теодолита и нивелира верхний и нижний горизонтальные штрихи n и m визирной сетки (рисунок 6.5, *б*) образуют нитяной дальномер с вертикальным постоянным параллактическим углом φ . Вершина F этого угла – передний фокус оптической системы зрительной трубы (рисунок 6.5, *в*), расположена либо вне, либо внутри зрительной трубы. Визирные лучи, проходящие через дальномерные нити и передний фокус F , пересекаются с вертикально расположенной дальномерной шкалой в точках N и M . Наблюдатель через окуляр трубы отсчитывает по шкале величину базиса b – число делений между нитями n и m . Измеренное расстояние FW равно $D_1 = Kb$. Полное расстояние $JW = D$ между вертикальной осью прибора ZZ и плоскостью шкалы вычисляются по формуле нитяного дальномера:

$$D = Kb + c = D_1 + c, \quad (6.15)$$

где c – постоянное слагаемое дальномера (расстояние между осью вращения ZZ прибора и передним фокусом F).

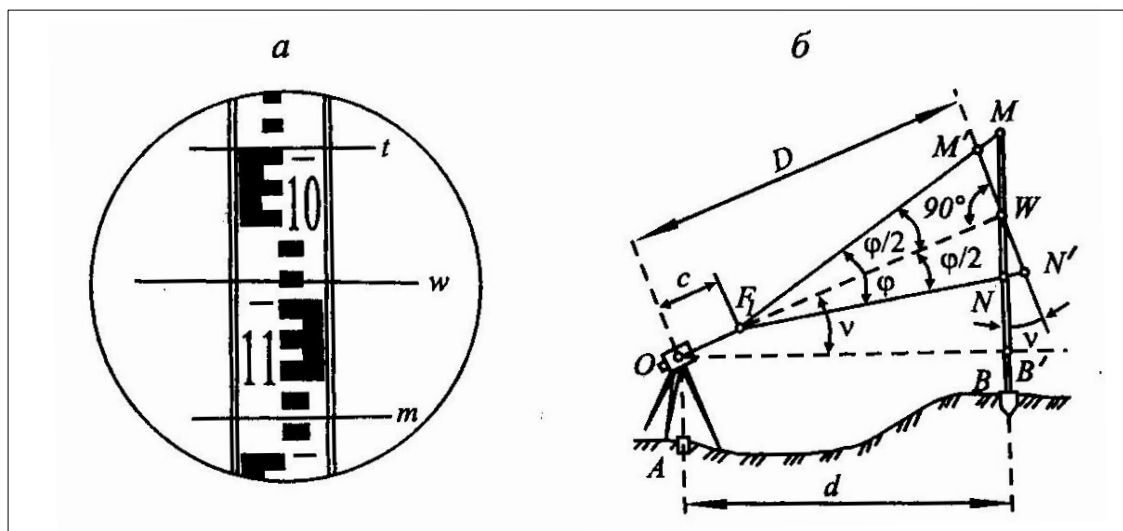
В современных зрительных трубах $K = 100$; $c \approx 0$, а соответствующий параллактический угол $\varphi = 34,38'$

Дальномерные рейки к нитяному дальномеру могут быть специальными, но при топографических съемках масштаба 1:1000 и крупнее обычно используют

рейки для технического нивелирования с сантиметровыми шашечными делениями, при этом максимальное измеряемое расстояние близко к 150 м.

На рисунке 6.5, б по сантиметровым делениям между нитями t и m отсчитан отрезок шкалы $b = 6,1 \text{ см} = 0,061 \text{ м}$. Здесь при $K = 100$ и $c = 0$ искомое расстояние $D = 6,1 \text{ м}$.

Горизонтальное проложение. При измерениях расстояний дальномером зрительной трубы теодолита дальномерную рейку устанавливают вертикально. Визирование на рейку сопровождается наклоном визирной оси зрительной трубы на угол v (рисунок 6.6, б).



а – отсчет по дальномерным штрихам; б – горизонтальное проложение

Рисунок 6.6 – Определение расстояния по нитяному дальномеру

Между проекциями дальномерных нитей на шкалу рейки в точки M и N берется отсчет базиса b , но его значение получается преувеличенным в сравнении с величиной $b' = M'N'$, которая будет при наклоне рейки в положение, перпендикулярное лучу OW . Треугольник WMM' практически прямоугольный, так как угол при вершине M' отличается от прямого на $\varphi/2 = 17,2' = 0,3^\circ$, поэтому:

$$\frac{b'}{2} = WM' = WM \cos v = \frac{b}{2} \cos v. \quad (6.16)$$

Отсюда $b' = M'N' = b \cos v$.

Тогда для треугольника $F_1M'N'$ высота $F_1W = K b'$, а наклонное расстояние равно:

$$D = OW = kb' + c = Kbc \cos v + c. \quad (6.17)$$

Тогда горизонтальное проложение d равно:

$$d = Ob' = OW \cos v = (D + c) \cos v = Kbc \cos^2 v + c \cos v, \quad (6.18)$$

а при $c = 0$:

$$d = Kbc \cos^2 v = D \cos^2 v. \quad (6.19)$$

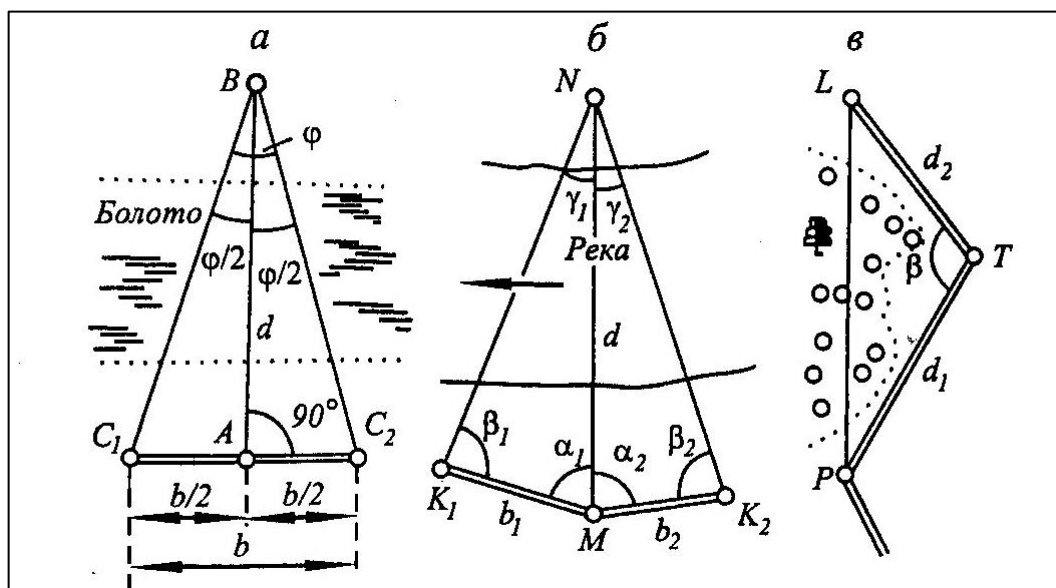
Горизонтальное проложение вычисляется также по формуле:

$$d = D - \Delta D_v, \quad (6.20)$$

где $\Delta D_v = 2D \sin^2 v$ – поправка на наклон в расстояние, измеренное нитяным дальномером.

6. Определение недоступных расстояний

Определение недоступных расстояний – это определение расстояний между точками, которые разделены препятствием (река, водоем, овраг и др.), превышающим длину механического мерного прибора (ленты). В таких случаях недоступные расстояния определяют различными тригонометрическими (косвенными) способами (рисунок 6.7).



а – параллактический; б – прямой угловой засечки; в – обхода

Рисунок 6.7 – Определение недоступных расстояний

Параллактическими называются косвенные способы определения расстояний, основанные на вычислении высоты сильно вытянутого равнобедренного треугольника (рисунок 6.7, а), в котором измеряется базис b и малый острый угол φ – параллактический угол. На местности закрепляют точки

A и B определяемой линии, в точке A с помощью теодолита строят перпендикуляр (базис b), концы которого C_1 и C_2 закрепляют на расстоянии $b/2$ от точки A . После измерения b и φ вычисляется искомое расстояние:

$$AB = d = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}. \quad (6.21)$$

Чтобы относительная погрешность результата d была не более $1/2000$, угол φ должен быть не меньшим $8-10^\circ$ и измеряться с погрешностью не более $10-15''$, а базис следует измерять с относительной погрешностью не грубее $1/4000 - 1/5000$.

Для нахождения длины d неприступного расстояния MN способом *прямой угловой засечки* (рисунок 6.7, б) на местности вначале закрепляют и измеряют два базиса b_1 и b_2 , измеряют углы треугольников MK_1N и $MK_2N - \beta_1, \alpha_1$ и β_2, α_2 . Вычисляют углы γ_1 и γ_2 по формулам:

$$\begin{cases} \gamma_1 = 180^\circ - \beta_1 - \alpha_1 \\ \gamma_2 = 180^\circ - \beta_2 - \alpha_2' \end{cases} \quad (6.20)$$

а затем дважды вычисляют расстояние d :

$$\begin{cases} d' = \frac{b_1 \sin \beta_1}{\sin \gamma_1} \\ d'' = \frac{b_2 \sin \beta_2}{\sin \gamma_2} \end{cases} \quad (6.21)$$

Расхождение величин d' и d'' допускается до $1/1000 - 1/2000$ от искомой длины d .

При *способе обхода* между точками P и L (рисунок 6.7, в) находится препятствие, перекрывающее видимость вдоль линии PL . В этом случае выбирают точку T с учетом хороших условий измерения линий PT и TL и после нахождения их горизонтальных проложений d_1 и d_2 и измерения горизонтального угла β вычисляют по теореме косинусов:

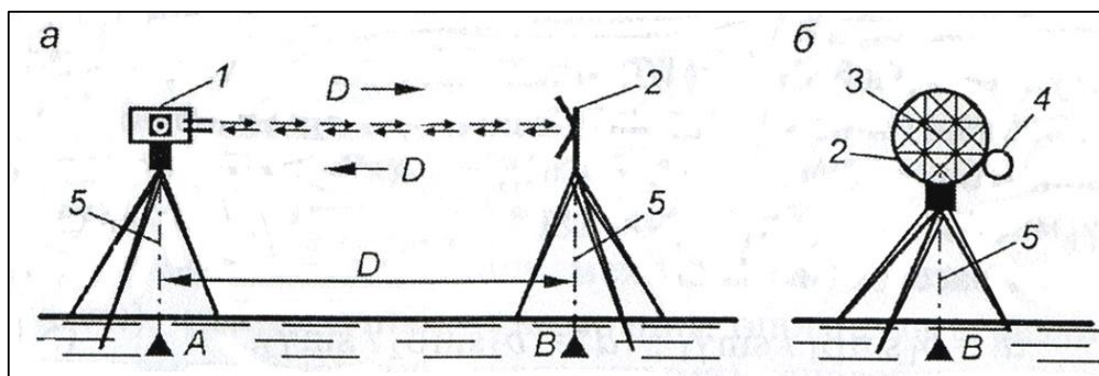
$$PL = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos \beta}. \quad (6.22)$$

Для контроля измерения и вычисления повторяют.

7. Понятие об измерениях длин линий светодальномерами

Рассмотренные способы прямого и косвенного определения расстояний трудоемки. В инженерно-геодезических работах для измерения расстояний широко применяются электронные дальномеры, работающие в оптическом (световом) диапазоне электромагнитных волн (светодальномеры).

Принцип работы светодальномеров базируется на измерении времени τ прохождения световым сигналом с постоянной скоростью отрезка измеряемой линии.



а – измеряемое расстояние D ; б – световозвращатель

Рисунок 6.8 – Схема измерения расстояния светодальномером

Над одной из точек линии установлен светодальномер с генератором и приемником электромагнитных волн, над второй – световозвращатель, для которого в литературе приняли название световозвращатель (рисунок 6.8, б). Световые сигналы проходят расстояние $2D$, поэтому:

$$D = \frac{v\tau}{2}, \quad (6.23)$$

где v – средняя скорость электромагнитной волны в воздушной среде;
 τ – время прохождения сигнала на расстоянии $2D$.

Светодальномер состоит из источника монохроматического лазерного излучения, электронного блока управления параметрами светового потока, оптической системы формирования узко направленного светового пучка, оптической системы приема отраженного светового сигнала и электронного блока совместной обработки излученных и принятых световых сигналов по определению расстояния. В световозвращателях используются специальные трипельпризмы, которые возвращают отраженные световые лучи к светодальномеру. Каждый светодальномер оснащен штатным аккумулятором.

В геодезических светодальномерах лазерное излучение модулируется по амплитуде или по интенсивности гармоническим управляющим сигналом с частотой f и направляется к светоотражателю. После возвращения от отражателя Z (рисунок 6.8, б) модулированный световой поток в приемной части светодальномера преобразуется во вторичный электрический сигнал той же частоты. Последний подается на фазоизмерительное устройство, которое принимает опорный управляющий гармонический сигнал и отраженный сигнал, в котором измеряется разность фаз $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ этих сигналов. Разности фаз $\Delta\varphi$ соответствует линейная величина домера $\Delta\lambda$, т.е. дробная часть длины волны λ . Поскольку справедливо соотношение $\Delta\lambda / \lambda = \Delta\varphi^\circ / 360^\circ$, то домер будет равен:

$$\Delta\lambda = \lambda \frac{\Delta\varphi^\circ}{360^\circ}, \quad (6.24)$$

а длина волны равна:

$$\lambda = \frac{v}{f}. \quad (6.25)$$

Между точками A и B модулированный световой поток проходит расстояние:

$$2D = \lambda N + \Delta\lambda, \quad (6.26)$$

где N – число целых волн.

Тогда определяемое расстояние:

$$D = \frac{\lambda N + \Delta\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\Delta\varphi^\circ}{360^\circ} \right). \quad (6.27)$$

Число N целых волн (число полных фазовых циклов $\Delta\varphi^\circ = 360^\circ$ или полных периодов гармонических колебаний), соответствующих основной частоте модуляции f , определяется в светодальномере автоматически за счет определения расстояния при плавном изменении основной частоты или на нескольких дополнительных частотах модуляции f_1, f_2, f_3, \dots и совместного решения соответствующих уравнений вида (6.25). На дисплее светодальномера высвечивается результат измерения – наклонное расстояние D .

В светодальномерах учитывается скорость света, отвечающая Международным стандартным условиям метеорологической среды (температура $t_c = 15^\circ\text{C}$, давление $P_c = 101080$ Па или 760 мм рт. столба, влажность $e_c = 0$).

В результат измерения линии вводят поправки за счет отклонений температуры, давления и влажности воздушной среды от стандартных показателей, а также поправку на наклон измеренной дальности.

ТЕМА № 7. Определение планового положения точек на местности

1. Понятие планового положения точек на местности
2. Плановое геодезическое съемочное обоснование
3. Уравнивание теодолитного хода
4. Теодолитная съемка
5. Построение контурного плана по результатам теодолитной съемки

1. Понятие планового положения точек на местности

Для составления карт и планов, решения геодезических задач, в том числе геодезического обеспечения строительства, на поверхности Земли располагают ряд точек, связанных между собой единой системой координат. Эти точки маркируют на поверхности Земли или в зданиях и сооружениях центрами (знаками). Совокупность закрепляемых на местности или зданиях точек (пунктов), положение которых определено в единой системе координат, называют *геодезическими сетями*.

Геодезические сети подразделяют на плановые и высотные: первые служат для определения координат X и Y геодезических центров, вторые — для определения их высот H .

Принцип построения плановых геодезических сетей заключается в следующем. На местности выбирают точки, взаимное положение которых представляется в виде геометрических фигур: треугольников, четырехугольников, ломаных линий и т.д. Причем точки выбирают с таким расчетом, чтобы некоторые элементы фигур (стороны, углы) можно было бы непосредственно измерить, а все другие элементы вычислить по данным измерений.

Например, в треугольнике достаточно измерить одну сторону и три угла (один для контроля правильности измерений) или две стороны и два угла (один для контроля правильности измерений), а остальные стороны и углы вычислить.

Для вычисления плановых координат вершин выбранных точек необходимо кроме элементов геометрических фигур знать еще дирекционный угол стороны одной из фигур и координаты одной из вершин.

Сети строят по принципу перехода от общего к частному, т. е. от сетей с большими расстояниями между пунктами и высокоточными измерениями к сетям с меньшими расстояниями и менее точным.

Геодезические сети подразделяют на четыре вида: государственные, сгущения, съемочные и специальные.

Государственная геодезическая сеть создается для распространения на всю территорию страны единой системы плановых координат и высот.

Сети сгущения необходимы для увеличения количества опорных пунктов на территории города или крупного промышленного предприятия при геодезическом обеспечении съемочных и строительных работ.

Съемочное геодезическое обоснование предназначено для координатной привязки в плане и по высоте материалов топографических съемок, изыскательских и инженерно-геодезических работ.

Сети специального назначения создаются для геодезического обеспечения строительства, как правило, уникальных: энергетических, гидротехнических, мелиоративных и др.

Государственные геодезические сети служат исходными для построения всех других видов сетей.

Точки геодезических сетей закрепляют на местности знаками. По местоположению знаки бывают: грунтовые и стенные, заложенные в стены зданий и сооружений; металлические, железобетонные, деревянные и т.д.; по назначению – постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей, и временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции, наблюдений и т.д.

Постоянные знаки закрепляют подземными знаками – центрами. Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течение длительного периода времени (рисунок 7.1). Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит, закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которой наносят центр в виде креста или точки. Положению этого центра соответствуют координаты X и Y и во многих случаях отметки H .



- а – подземный центр; б – пирамида; в – сигнал;
 1 – нижний центр; 2 – плита; 3 – пилон верхнего центра;
 4 – верхний центр; 5 – опознавательный столбик; б – визирный цилиндр;
 7 – столик;

Рисунок 7.1 – Геодезические пункты

Для того чтобы с одного знака был виден другой (смежный), над подземными центрами устанавливают наружные знаки в виде металлических или деревянных трех- или четырехгранных пирамид или сигналов.

Пирамиды или сигналы имеют высоту 3 - 30 м и более. Геодезический сигнал с подземным центром и столиком предназначен для установки измерительных приборов и настила при работе на нем наблюдателя. Верх сигнала или пирамиды заканчивается визирной целью, на которую при измерении углов направляют зрительную трубу теодолита.

Как правило, пункты плановых разбивочных сетей и сетей сгущения закрепляют подземными центрами, такими же как и пункты государственных сетей. Так как расстояния между этими пунктами сравнительно небольшие, оформления их наружными знаками не требуется. Иногда над ними устанавливают Г-образные металлические или деревянные вехи. В городах знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий. Знаки могут закладывать в зданиях и сооружениях, в этом случае их называют стенными.

Точки съёмочных, а иногда и разбивочных сетей закрепляют временными знаками – деревянными или бетонными столбами, металлическими штырями, отрезками рельсов и т. д. Их закрепляют в земле на глубину до 2 м. В верхней части такого знака крестом, точкой или рискуй отмечают местоположение центра или точки с высотной отметкой.

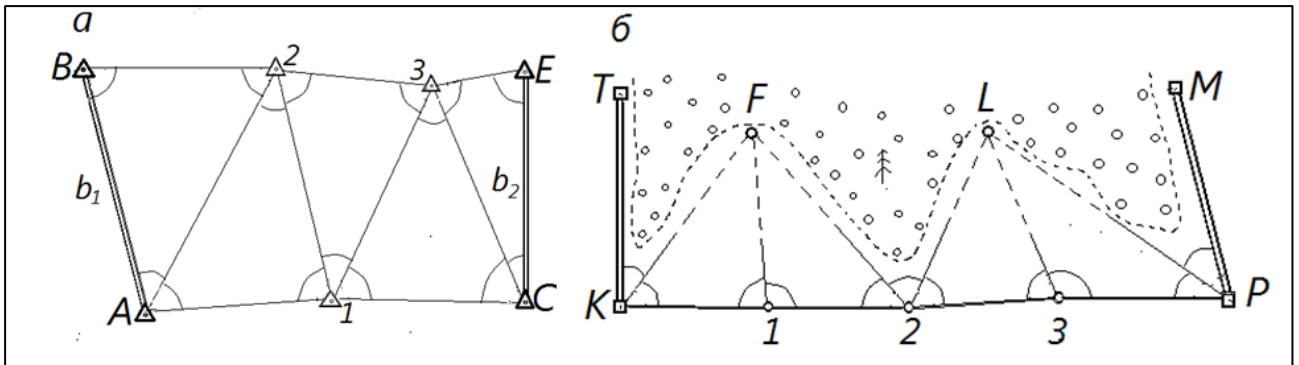
2. Плановое геодезическое съёмочное обоснование

Плановое геодезическое съёмочное обоснование создается для передачи координат от исходных пунктов плановых сетей на участок топографической съёмки. Топографическую съёмку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. Такими точками служат пункты опорных государственных и инженерно-геодезических сетей. Однако их количества, приходящегося на площадь снимаемого участка, большей частью бывает недостаточно, поэтому геодезическая основа сгущается обоснованием, называемым съёмочным.

В последующем пункты съёмочного обоснования могут использоваться для перенесения на местность проектов сооружений различного назначения, поэтому сохранность геодезических знаков имеет соответствующее значение. Их закрепляют постоянными знаками на застроенной территории (постоянное съёмочное обоснование) – центрами, заложенными в грунт, в углы капитальных зданий, и стержнями с головкой – в асфальтовое покрытие. На незастроенной территории, как правило, применяются временные знаки – деревянные столбы, колья, металлические трубки, стержни.

При использовании технического теодолита и стальной мерной ленты плановое съёмочное обоснование в открытой местности можно создавать теодолитными ходами, микротриангуляцией (рисунок 7.2, а) в виде пунктов, образующих сети треугольников с длиной сторон не менее 150 м, углами не меньше 20° и не больше 160° . Базисные стороны сети измеряются с относительной погрешностью $1 / 5000$, а углы в треугольниках – с погрешностью

$m_{\beta} = 0,5'$, допустимая невязка измеренных углов в каждом треугольнике равна $01,5'$.



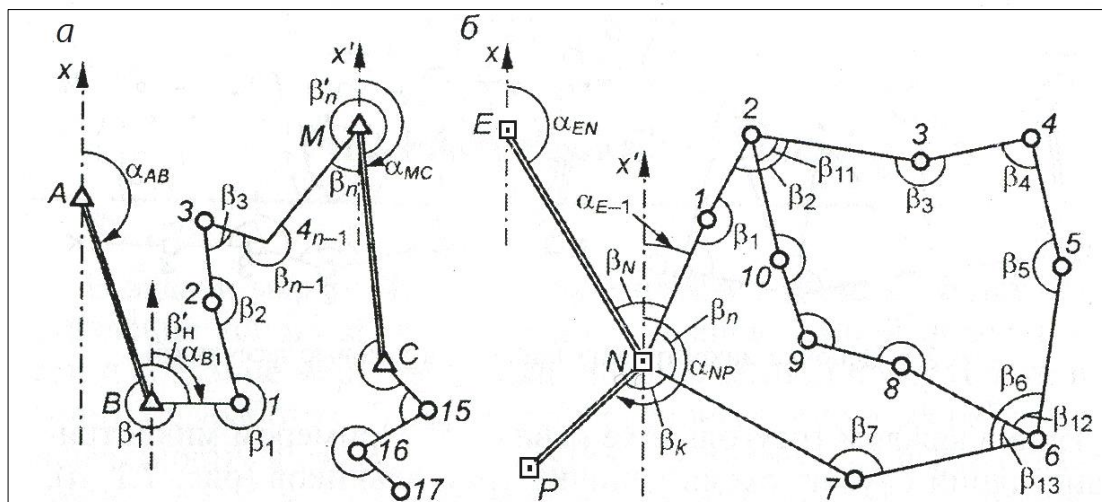
а – цепочка микротриангуляции; б – прямые угловые засечки;

Рисунок 7.2 – Методы создания съемочного обоснования

В условиях частично закрытой местности плановые координаты пунктов F и L (рисунок 7.2, б) можно получить прямыми угловыми засечками относительно пунктов теодолитного или полигонометрического хода К–1–2–3–4–Р, в процессе его проложения или при развитии съемочного обоснования.

Самый распространенный вид съемочного планового обоснования – теодолитные ходы.

Теодолитным ходом называется ход, в котором углы между сторонами измеряют техническим теодолитом с угловой погрешностью $\pm 0,5'$, а стороны – мерными приборами с относительной погрешностью от $1 / 1000$ до $1 / 3000$ (рисунок 7.3).



а – разомкнутый и висячий; б – замкнутый и диагональный

Рисунок 7.3 – Схемы теодолитных ходов и их плановой привязки

По форме теодолитные ходы бывают *разомкнутые* (рисунок 7.3, *а*) и *замкнутые* (рисунок 7.3, *б*). Внутри замкнутого хода для сгущения пунктов съемочного обоснования прокладываются дополнительные *диагональные ходы* (рисунок 7.3, *б*). Теодолитные ходы могут прокладываться через общие для них пункты, которые называются *узловыми*. Разомкнутый теодолитный ход, опирающийся только одной точкой на исходный пункт, называется *висячим*, например ход С-15-16-17 на рисунке 7.3, *а*. В висячем ходе на земной поверхности допускается не более 3-х сторон, его длина не должна быть больше, указанной в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Технические требования к теодолитным ходам

Масштаб съемки	Открытая местность				Закрытая местность			Допустимая удаленность точек от исходных пунктов, км
	1/Т 1/3000	1/Т 1/2000	1/Т 1/1000	Висячий ход	1/Т 1/2000	1/Т 1/1000	Висячий ход	
	Допустимая длина хода, км							
1:5000	6,0	4,0	2,0	0,35	6,0	3,0	0,5	3
1:2000	3,0	2,0	1,0	0,2	3,6	1,5	0,3	2
1:1000	1,8	1,2	0,6	0,15	1,5	1,5	0,2	1,3
1:500	0,9	0,6	0,3	0,1	-	-	-	-

Прокладка теодолитных ходов. В процессе *рекогносцировки* на местности отыскивают опорные геодезические пункты, сохранившиеся пункты геодезической основы предыдущих съемок, проверяют наличие оптической видимости между ними и возможность измерения длин линий на местности для угловой и плановой привязки теодолитного хода. Придерживаясь проекта, выбирают места закрепления вершин теодолитного хода. Длины его сторон при измерениях длины линий мерными лентами должны быть не менее 40 м (20 м в застроенной территории) и не более 350 м. Вершины теодолитного хода обозначают либо деревянными колышками (временными знаками на период съемочных работ), либо надежно закрепленными трубами, стержнями, рассчитанными на создание постоянного съемочного обоснования. Постоянные знаки окапывают.

Измерения углов. В теодолитных ходах чаще всего измеряют правые по ходу горизонтальные углы техническими теодолитами класса Т30 двумя приемами с соблюдением методики измерений и технических требований по уменьшению действия основных источников погрешностей. При измерениях заполняется полевой журнал, содержащий графы таблицы 5.2 или 5.3.

Для осуществления съемки в установленной системе координат теодолитный ход прокладывают между пунктами геодезической сети. Должны быть известны координаты x и y начального и конечного исходных пунктов и необходимые дирекционные углы сторон сети, например α_{AB} , α_{MC} на рисунке 7.3, *а*.

При угловой привязке на исходных пунктах, начальном B и конечном M , измеряются правые по ходу примычные углы β_1 и β_n . Оптическая видимость

исходных пунктов A и C соответственно с пунктов B и M обеспечивается визирными целями: визирным цилиндром сигнала или пирамиды или же вехой.

Угловая привязка замкнутого теодолитного хода должна выполняться с таким же контролем, как и разомкнутого. Если в пункте N планово-угловой привязки существует видимость на другие пункты исходной геодезической сети E и P (рис. 7.2, б), то способом круговых приемов определяют внутренний правый по ходу угол β_n и два примычных угла, например β_N и β_k . В данном случае проверяется условие:

$$(\beta_N + \beta_n + \beta_k) - (\alpha_{NP} - \alpha_{EN} + 180^\circ) \leq |\pm 01'|. \quad (7.1)$$

Измерения сторон. При использовании рулетки стороны измеряют в прямом (D') и обратном (D'') направлении. Допустимое расхождение первого и второго результатов $\Delta D = D' - D''$ определяется по допустимой относительной погрешности $1/T$ теодолитного хода (таблица 7.1). Например, при условии $1/T=1/2000$, $\Delta D_{\text{доп}} = D/2000$.

Если угол наклона стороны хода или ее отрезка $v \geq 1,5^\circ$, то его измеряют для определения поправки на наклон.

В средние значения D длин линий вводят поправки на компарирование, наклон и температуру, если их абсолютная величина достигает $D/10000$ или 1 мм на 10 м длины ленты.

В процессе прокладки теодолитного хода результаты полевых измерений и сопутствующие пояснительные рисунки вносят в специальный полевой журнал. Для последующих камеральных вычислений составляется общая схема теодолитных ходов в произвольном масштабе, на которой указываются величины измеренных углов и горизонтальных расстояний. Заполняется исходными данными ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода (таблица 7.2): в графе 1 указываются номера пунктов, в графе 2 – величины измеренных углов, в графе 5 – горизонтальные проложения сторон хода, в графе 4 – исходные дирекционные углы α_n и α_k , в графах 11 и 12 – координаты x и y начального и конечного исходных пунктов.

Таблица 7.2 – Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода

Вершина	Горизонтальные углы		Дир-ные углы α	Румбы r	Гориз. проложение S , м	Приращения координат, м				Координаты, м		Вершина
	Измеренные β' и поправки v_β	Уравненные β				Вычисленные, поправки		Уравненные		x	y	
						$\Delta x'$	$\Delta y'$	Δx	Δy			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>A</i>			α_H							x_H	y_H	<i>A</i>
	+0,3'		<u>111° 50,8'</u>									
<i>B</i>	225° 10,5'	225° 10,8'				-0,03	+0,06			+6000,00	+2000,00	<i>B</i>
	+0,3'		66° 40,0'	СВ: 66° 40,0'	151,92	+60,17	+139,50	+60,14	+139,56			
<i>I</i>	100° 22,0'	100° 22,3'				-0,03	+0,05			+6060,14	+2139,56	<i>I</i>
	+0,3'		146° 17,7'	ЮВ 33° 42,3'	119,20	-99,16	+66,14	-99,19	+66,19			
<i>2</i>	207° 46,8'	207° 47,1'				-0,06	+0,11			+5960,95	+2205,75	<i>2</i>
	+0,3'		118° 30,6'	ЮВ: 61° 29,4'	274,46	-131,00	+241,18	-131,06	+241,29			
<i>3</i>	52° 23,2'	52° 23,5'				-0,03	+0,05			+5829,89	+2447,04	<i>3</i>
	+0,2'		246° 07,1'	ЮЗ: 66° 07,1'	112,54	-45,56	-102,90	-45,59	-102,85	x_K	y_K	
<i>C</i>	165° 16,1'	165° 16,3'	α_K							+5784,30	+2344,19	<i>C</i>
			<u>260° 50,8'</u>									
<i>D</i>												<i>D</i>

$\Sigma\beta' = 750^\circ 58,6'$
 $\Sigma\beta_{\text{теор}} = 751^\circ 00,0'$;
 $f_\beta = -0^\circ 01,4'$;
 $f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{5} = \pm 02,2'$;

$\Sigma d = 658,12$ $\Sigma\Delta x'$ $\Sigma\Delta y'$ $\Sigma\Delta x$ $\Sigma\Delta y$ $x_K - x_H$ $y_K - y_H$
 $-215,55$ $+343,92$ $-215,70$ $+344,19$ $-215,70$ $+344,19$
 $\Sigma\Delta x_{\text{теор}}$ $\Sigma\Delta y_{\text{теор}}$
 $-215,70$ $+344,19$
 $f_x = +0,15$; $f_y = -0,27$
 $f_d = \sqrt{0,15^2 + 0,27^2} = \pm 0,31 \text{ м}$; $f_d / \Sigma d = 0,31 / 658,12 = 1/2112 < (1/2000)$.

3. Уравнивание теодолитного хода

Угловая невязка замкнутого теодолитного хода. Для вычисления угловой невязки суммируют все внутренние измеренные правые по ходу углы β' замкнутого хода (рисунок 7.3, б), исключая примычные, и вычисляют теоретическую сумму внутренних углов такого n -вершинного многоугольника:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ(n - 2). \quad (7.2)$$

Разность f_β суммы измеренных углов β' и теоретической их суммы называется *угловой невязкой хода*. В замкнутом многоугольнике:

$$f_\beta = \sum_i^n \beta'_i - 180^\circ(n - 2), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.3)$$

Фактическая величина f_β характеризует качество измерения углов в сравнении с *допустимой угловой невязкой*, вычисляемой по формуле:

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 2t\sqrt{n}, \quad (7.4)$$

где t – заданная средняя квадратическая погрешность измерения углов, которую назначают в зависимости от точности работ, и для теодолитных ходов принимают $t = 0,5'$. При этом формула (7.4) примет вид:

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 01'\sqrt{n}, \quad (7.5)$$

Если фактическая угловая невязка превышает допустимую величину, то для устранения допущенных ошибок необходимо проверить результаты вычислений и измерений.

Угловая невязка разомкнутого теодолитного хода. На рисунке 7.4 представлен разомкнутый теодолитный ход опирается на пункты B и C исходной геодезической сети с известными дирекционными углами стороны AB триангуляции и стороны CD полигонометрии. В разомкнутом ходе измерены примычные углы β_1 и β_n , являющиеся правыми по ходу, как и углы $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{n-1}$ между сторонами хода. Значения углов записаны в таблицу 7.2 (ведомость вычисления координат). В исходной сети известны прямоугольные координаты всех названных пунктов и решением обратной геодезической задачи определены значения исходных дирекционных углов: начального $\alpha_n = \alpha_{AB}$ и конечного $\alpha_k = \alpha_{CD}$ ($\alpha_n = 111^\circ 50,8'$ и $\alpha_k = 260^\circ 50,8'$ записаны в графу 4 таблицы 7.2).

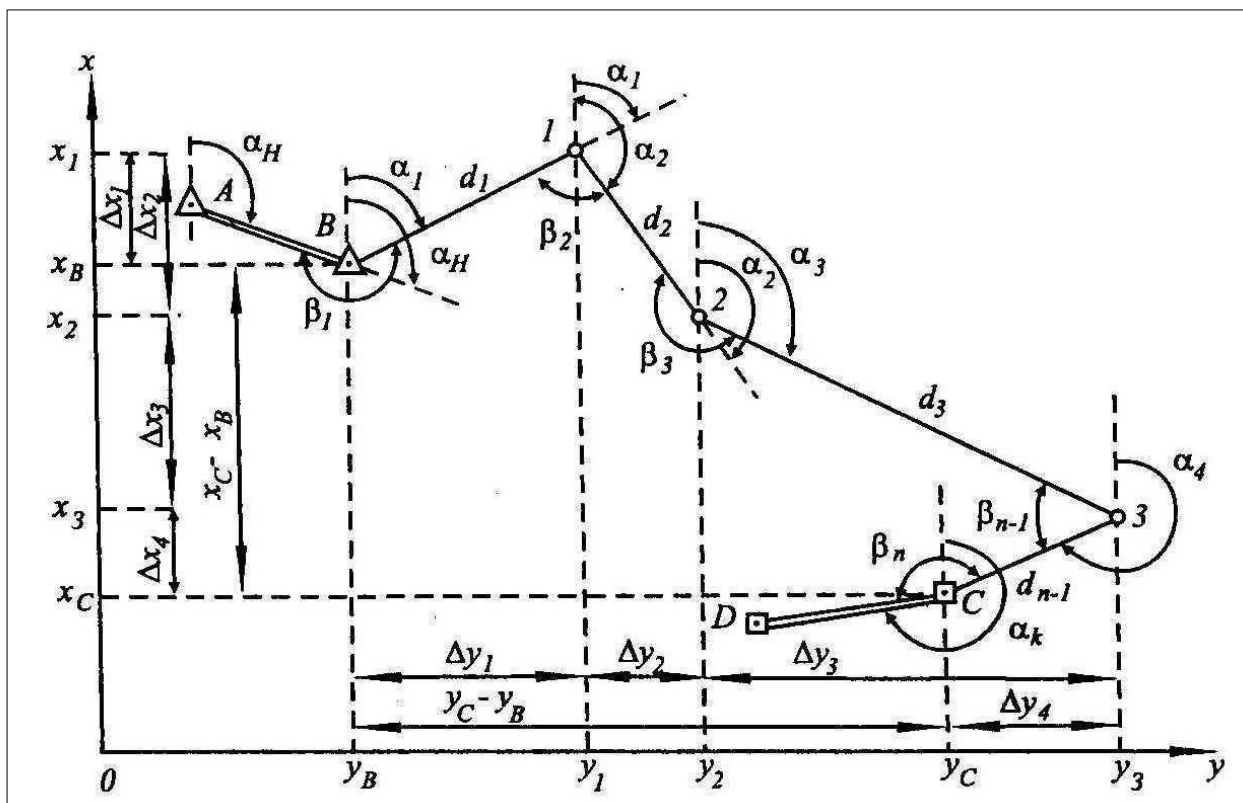


Рисунок 7.4 – Дирекционные углы сторон и координаты вершин теодолитного хода

Согласно рисунку 7.4 при пункте B сумма углов будет равна:

$$\alpha_1 + \beta_1 = \alpha_H + 180^\circ, \quad (7.6)$$

откуда

$$\alpha_1 = \alpha_H + 180^\circ - \beta_1. \quad (7.7)$$

При вершине 1:

$$\alpha_1 + \beta_1 = \alpha_H + 180^\circ. \quad (7.8)$$

$$\alpha_1 = \alpha_H + 180^\circ - \beta_1. \quad (7.9)$$

Аналогично вычисляется дирекционный угол при каждой вершине и в конечном пункте.

Следовательно, дирекционный угол следующей стороны хода равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс 180° минус правый по ходу угол или в математической записи:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + 180^\circ - \beta_i, \quad (\alpha_{i+1} < 360^\circ), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.10)$$

Если при вычислениях по формуле (7.10) отдельные величины α_{i+1} получаются равными или большими 360° , то их уменьшают на 360° . Вычисления начинаются от начального дирекционного угла α_n и контролируются по конечному значению дирекционного угла α_k .

Теоретическая сумма правых по ходу углов разомкнутого теодолитного хода равна:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_n + 180^\circ n - \alpha_k \quad (7.11)$$

Практическая сумма измеренных с погрешностями углов β'_i отличается от теоретической суммы на величину фактической угловой невязки:

$$f_\beta = \sum_i^n \beta'_i - (\alpha_n + 180^\circ n - \alpha_k), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.12)$$

Допустимая угловая невязка вычисляется по формуле (7.4) или (7.5). Если $f_\beta \leq f_{\beta\text{доп}}$, то фактическая невязка допустима.

Если в теодолитном ходе измерены *левые по ходу углы*, то формулы (7.10) и (7.12) примут вид:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - 180^\circ + \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.13)$$

$$f_\beta = \sum_i^n \beta'_i - (\alpha_k + 180^\circ n - \alpha_n), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.14)$$

Уравнивание измеренных углов. Если фактическая угловая невязка допустима, то измеренные углы β' приближенно уравнивают (увязывают), т. е. между ними практически поровну распределяют фактическую невязку f_β , разделенную на поправки v_{β_i} , противоположные по знаку невязке:

$$v_{\beta_i} = -\frac{f_\beta}{n}, \quad (7.15)$$

и округленные до $0,1'$, причем сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком:

$$\sum_i^n v_{\beta_i} = -f_\beta, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.16)$$

Уравненные (увязанные) таким приближенным способом углы β_i равны:

$$\beta_i = \beta'_i + v_{\beta_i}, \quad (7.16)$$

а сумма уравненных (увязанных) углов должна равняться теоретической.

После уравнивания измеренных углов переходят к вычислению дирекционных углов сторон теодолитного хода по формулам (7.10) или (7.13).

Вычисление приращений координат и оценка точности теодолитного хода. В графе 6 таблицы 7.2 записывают горизонтальные проложения d_i сторон хода, рассчитанные с учетом поправок на компарирование, наклон и температуру мерной ленты. *Вычисленные* приращения координат (графы 7 и 8) находят по формулам:

$$\begin{cases} \Delta x'_i = d_i \cos \alpha_i \\ \Delta y'_i = d_i \sin \alpha_i \end{cases} \quad (7.17)$$

и записывают со знаком “плюс” или “минус” соответственно направлению стороны хода. При вычислениях пользуются инженерными калькуляторами, результаты округляют до 0,01 м.

Согласно рисунку 7.4 приращения координат Δx_i и Δy_i представляют собой проекции сторон d_i на оси абсцисс и ординат. В случае безошибочности величин Δx_i и Δy_i теоретические суммы таких проекций равны разностям координат опорных пунктов:

$$\begin{cases} \sum_i^n \Delta x_{i\text{теор}} = x_C - x_B = x_K - x_H \\ \sum_i^n \Delta y_{i\text{теор}} = y_C - y_B = y_K - y_H \end{cases}, \quad (7.18)$$

где $x_C = x_K$, $x_B = x_H$, $y_C = y_K$, $y_B = y_H$ – координаты конечного и начального исходных пунктов.

В формуле (7.18) для замкнутого теодолитного хода $x_H = x_K$, $y_H = y_K$, следовательно теоретическая сумма приращений координат будет равна нулю.

Вследствие погрешностей в значениях дирекционных углов α_i и сторон d_i вычисленные приращения $\Delta x'_i$ и $\Delta y'_i$ и их суммы $\sum \Delta x'_i$ и $\sum \Delta y'_i$ тоже содержат погрешности, поэтому условие (7.18) точно не выполняется. Расхождения между суммами вычисленных и теоретических приращений координат называются *невязками* f_x и f_y *приращений координат*:

$$\begin{cases} f_x = \sum_i^n \Delta x'_i - (x_k - x_n) \\ f_y = \sum_i^n \Delta y'_i - (y_k - y_n) \end{cases}, \quad (7.19)$$

Величины f_x и f_y являются катетами прямоугольного треугольника погрешностей (рис. 7.4), гипотенуза которого f_d представляет абсолютную невязку теодолитного хода:

$$f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (7.20)$$

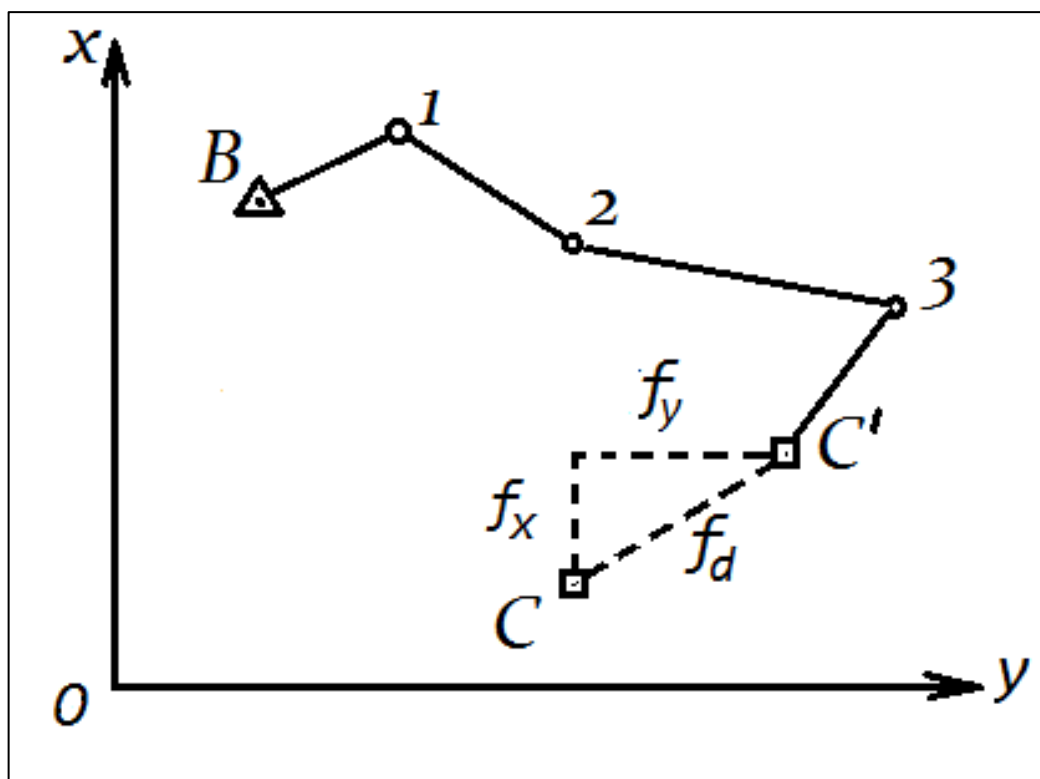


Рисунок 7.5 – Абсолютная линейная невязка теодолитного хода

Допустимая абсолютная невязка теодолитного хода вычисляется по формуле:

$$f_{d\text{доп}} = \sum d \frac{1}{T} \leq \frac{2\Delta p M}{1000}, \quad (7.21)$$

где $\Delta p = 0,2$ мм – допустимая погрешность положения на плане масштаба 1: М точек съемочного обоснования в середине хода для застроенной территории и открытой местности и $\Delta p = 0,3$ мм для закрытой местности.

Точность теодолитного хода оценивают также его *относительной невязкой* $1/T$, при этом фактическая относительная невязка равна:

$$\frac{f_d}{\sum d} = \frac{1}{\sum d/f_d}. \quad (7.22)$$

Допустимая величина относительной невязки хода $(1/T)_{\text{доп}}$ принимается по таблице 7.1, либо определяется особыми требованиями к точности съемочного обоснования. Фактическая относительная невязка хода должна дополняться указанием ее допустимости:

$$\frac{f_d}{\sum d} = \frac{1}{\sum d/f_d} \leq \frac{1}{T_{\text{доп}}}. \quad (7.23)$$

Условие (7.23) применяют для теодолитных ходов, длина которых меньше предельной, указанной в таблице 7.1.

Уравнивание приращений координат. Если фактическая линейная невязка хода f_d допустима, то в вычисленные приращения координат $\Delta x'_i$ и $\Delta y'_i$ прибавляют («вводят») поправки v_{xi} и v_{yi} . Поправки пропорциональны длинам соответствующих сторон хода и вычисляются по формулам:

$$\begin{cases} v_{xi} = K_x d_i \\ v_{yi} = K_y d_i \end{cases} \quad (7.24)$$

где K_x и K_y – коэффициенты пропорциональности:

$$\begin{cases} K_x = \frac{-f_x}{\sum_i^n d_i} \\ K_y = \frac{-f_y}{\sum_i^n d_i} \end{cases} \quad (7.25)$$

Поправки округляют до 0,01 м.

Сумма поправок должна быть равна соответствующей невязке с обратным знаком:

$$\begin{cases} \sum_i^n v_{xi} = -f_x \\ \sum_i^n v_{yi} = -f_y \end{cases} \quad (7.26)$$

Поправки v_{xi} и v_{yi} прибавляют к вычисленным приращениям и получают *уравненные (увязанные) приращения координат*:

$$\begin{aligned}\Delta x_i &= \Delta x'_i + v_{xi} \\ \Delta y_i &= \Delta y'_i + v_{yi}\end{aligned}\quad (7.27)$$

Вычисления координат. Координаты x_i и y_i вершин теодолитного хода последовательно вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}x_{i+1} &= x_i + \Delta x_i \\ y_{i+1} &= y_i + \Delta y_i\end{aligned}\quad (7.28)$$

т. е. абсцисса x_i и ордината y_i следующей вершины равны абсциссе и ординате предыдущей вершины плюс соответствующие уравненные приращения координат. Для контроля вычисляют координаты x_k и y_k конечного пункта, которые должны совпасть с исходными значениями.

4. Теодолитная съемка

Наземной топографической съемкой называется комплекс работ, выполняемых на местности и в камеральных условиях, по составлению топографической карты или плана. Топографические съемки производятся относительно *пунктов съёмочного геодезического обоснования*, созданного теодолитно-нивелирными ходами, микротриангуляцией, геодезическими засечками или же современными более точными и технологичными методами, которые обеспечиваются электронными тахеометрами и спутниковыми приборами. На рисунке 7.6 приведен пример схемы планового съёмочного обоснования, созданного теодолитными ходами.

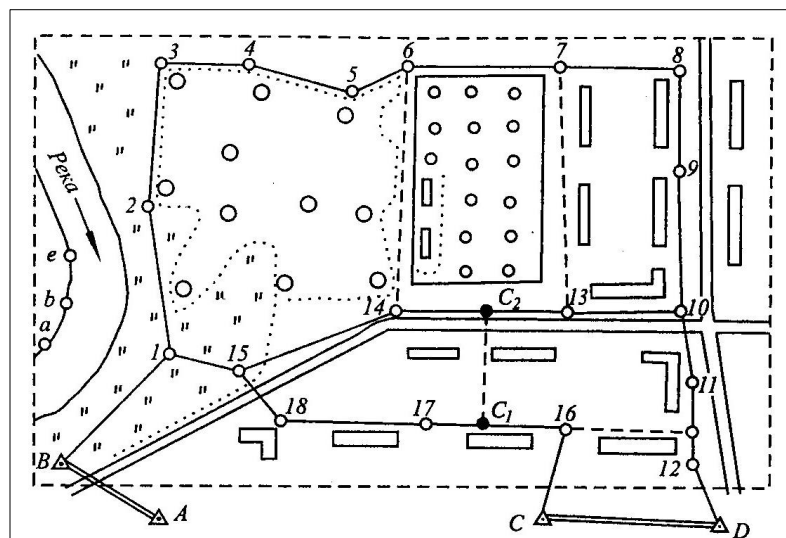
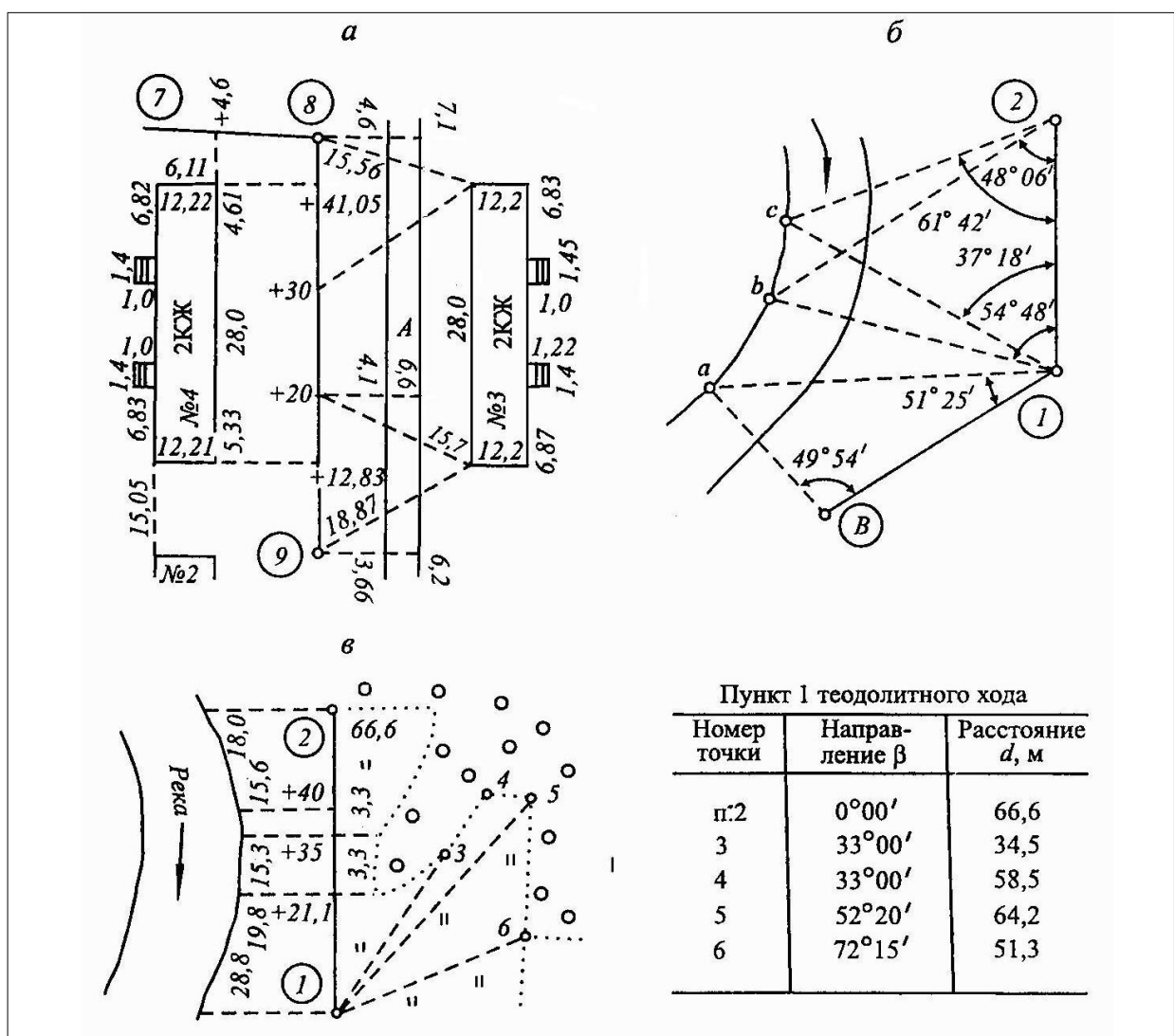


Рисунок 7.6 – Схема съёмочного обоснования

Теодолитной съемкой называют контурную (горизонтальную) съемку участка земной поверхности, выполняемую при помощи теодолита и мер длины.

Теодолитом измеряют горизонтальные углы; длины линий – стальными лентами (рулетками), оптическими и лазерными дальномерами. По данным съемки составляют контурные планы объекта, определяются площади его участков. При необходимости теодолитная съемка дополняется высотной съемкой участка и на плане отображается рельеф горизонталями и числовыми данными.

Способы съемки ситуации. Съемка ситуации (подробная съемка контуров местности) производится либо одновременно с прокладкой теодолитного хода, либо после создания съемочного обоснования. В процессе съемки составляются абрисы – разборчивые схематические чертежи, на которых показывают точки теодолитного хода, контуры объектов и записывают линейные и угловые данные съемочных измерений, выполняемых различными способами (рисунк 7.7).



а – перпендикулярами и линейными засечками; б – угловыми засечками;
в – полярным способом

Рисунок 7.7 – Абрисы съемки ситуации

Способ перпендикуляров (способ прямоугольных координат) применяется для съемки объектов, расположенных вблизи сторон теодолитного хода. В

комплект средств для измерений входят теодолит, мерная лента и рулетка (или две рулетки), экер, вехи. Сторону 9–8 теодолитного хода (рисунок 7.6, а) обозначают вехами, принимают за ось абсцисс и наносят на абрис (рисунок 7.7, а), на котором затем показывают контуры ситуации, схемы и численные данные съемки. Одну мерную ленту или рулетку (длиной, например 20 м) используют для измерений вдоль оси абсцисс, вначале ее кладут с помощью зрительной трубы теодолита (или ее оптического визира) в створ пунктов 9 и 8, совместив нуль ленты с точкой 9. Приложив нуль второй рулетки к углу дома № 4, на первую ленту опускают перпендикуляр и по второй рулетке отсчитывают его длину (ординату y) (5,33 м), по первой ленте отсчитывают расстояние x от точки 9 до основания перпендикуляра (+12,83).

Перпендикуляры длиной до 4–5 м восстанавливают визуально (на глаз), более длинные (до длины рулетки в 20–30 м) – при помощи экера. Первую ленту перемещают в створе 9–8 через интервалы, равные ее длине, и аналогичными перпендикулярами выполняют съемку других точек. На абрисе указывают данные обмера контура здания по цоколю, и обмера его выступов, отмостки, расстояния между соседними постройками. Измеренная длина фасада используется для контроля съемки его краев.

Способ линейных засечек. Как и при способе перпендикуляров первую ленту помещают в створе стороны 9–8 теодолитного хода. Второй рулеткой измеряют расстояния от угла дома №3 до пункта 9 и до створной точки +20 (рисунок 7.7, а). Аналогично привязывают к теодолитному ходу второй угол дома. Обмеряют контур здания, в том числе для проверки съемки его точек линейными засечками.

Применяя *способ угловых засечек*, на противоположном берегу водной преграды или на стороне глубокого карьера ставят вехи в точках a, b, c (рисунок 7.7, б). Теодолитом относительно пунктов и сторон съемочного обоснования $B-1-2$ измеряют горизонтальные углы. По данным абриса точки находят на плане с помощью транспортира в пересечениях сторон углов.

При съемке границы луга *полярным способом* составляются абрис и таблица (рисунок 7.7, в). Теодолит устанавливается над пунктом 1 (полусом). При визировании зрительной трубой в положении КЛ на веху в пункте 2 отсчет по горизонтальному кругу устанавливается на $0^\circ 00'$ (задается полярное направление 1–2). Положение съемочных точек определяется горизонтальными углами β_i , отсчитанными по горизонтальному кругу теодолита относительно полярного направления, и расстояниями d_i , которые измеряются нитяным дальномером или рулеткой.

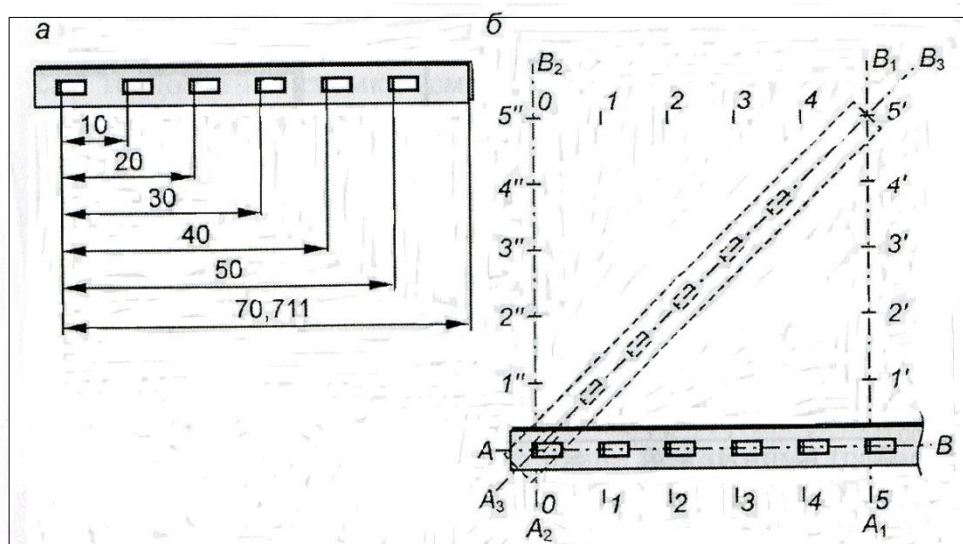
Способ обхода состоит в том, что теодолитный ход прокладывают по контуру пашни, леса или по границе территории, обозначенной граничными знаками (на рисунке 7.6 точки теодолитного хода 2, 3, 4, 5, 6). Точки хода наносятся на план по их координатам, а отрезки линий между точками представляют контуры местности или границы территории и изображаются соответствующими условными знаками.

5. Построение контурного плана по результатам теодолитной съемки

В камеральных условия план составляют в заданном масштабе по данным абриса. Точки наносят на план в соответствии со способом съемки, пользуясь масштабной линейкой, угольниками, циркулем-измерителем, транспортиром. Конечный результат теодолитной съемки – это контурный план местности.

Оригиналы планов составляют на планшетах размером 50×50 см по внутренней рамке. Планшеты представляют собой листы чертежной бумаги высокого качества, наклеенные на недеформируемую основу размером 60×60 см. Иногда участок объекта изображают на отдельном листе чертежной бумаги нестандартных размеров.

Координатную сетку наносят на планы с высокой точностью при помощи координатной линейки ЛД-1 Дробышева. В металлической основе такой линейки вырезаны 6 окошек (рисунок 7.8, а), скошенные края которых очерчены дугами радиусов 10, 20, ..., 50 мм с общим центром 0 в начальном окошке. Скошенный конец линейки очерчен по дуге радиуса 70,711 мм, которая равна диагонали квадрата со сторонами 50×50 см.



а – линейка; б – нанесение меток координатной сетки

Рисунок 7.8 – Координатная линейка Дробышева

На листе чертежной бумаги формата А1 (60×75 см) с помощью линейки и остро отточенного простого карандаша прочерчивают прямую AB (рисунок 7.8, б) на расстоянии 5 см от края листа. Линейку смещают так, чтобы линия AB пересекала окошки, вдоль их скошенных краев проводят штрихи 0, 1, 2, ..., 5. После этого линейку кладут перпендикулярно линии AB , совмещают 0 линейки со штрихом 5 и прочерчивают штрихи 1', 2', ..., 5'. Потом линейку кладут по диагонали A_3B_3 , совмещают нуль линейки с центром штриха 0 на линии AB и по скошенному концу линейки прочерчивают дугу, пересекающую штрих 5'. Через полученную точку пересечения 5' и точку 5 вычерчивают перпендикуляр A_1B_1 к линии AB . Аналогично находят перпендикуляр A_2B_2 и на нем штрихи 1'', 2'', ..., 5''. Линейку кладут на линию 5''–5'. Нуль 0 линейки совмещают с точкой 5''.

этом дуга в шестом окошке должна пересечь точку 5' (допускается несовпадение дуг и соответствующих точек 0,1–0,2 мм). После этого проводят остальные штрихи 1, 2, ... – метки сетки квадратов. После нанесения всей координатной сетки проверяют ее точность: линейку совмещают скошенным краем с точками 0 и 5' и через вершины сетки прочерчивают короткие штрихи, треугольники погрешностей не должны превышать 0,2 мм. Аналогично сетку проверяют по другим диагональным направлениям.

Для нанесения с помощью линейки ЛД-1 координатной сетки общим размером 40×30 см действуют аналогично, но используют свойство “египетского треугольника” с соотношением катетов и гипотенузы 3–4–5: принимают катеты $AB = 40$ см, $A_1B_1 = 30$ см, гипотенузу $A_3B_3 = 50$ см. После нанесения всей сетки ее проверяют по диагональным направлениям.

Контур сетки служит внутренней линией рамки планшета или отдельного плана. Между внутренней и внешней линиями рамки даются подписи абсцисс и ординат с учетом номенклатуры системы планов данного объекта. На учебных планах сетку оцифровывают с таким расчетом, чтобы участок съемки изображался на листе в заданном масштабе по возможности целиком.

На рис. 7.16 координатная сетка оцифрована для плана масштаба 1:1000 через 100 м с учетом того, чтобы точки, координаты которых приведены в координатной ведомости (таблице 7.2), расположились в пределах планшета.

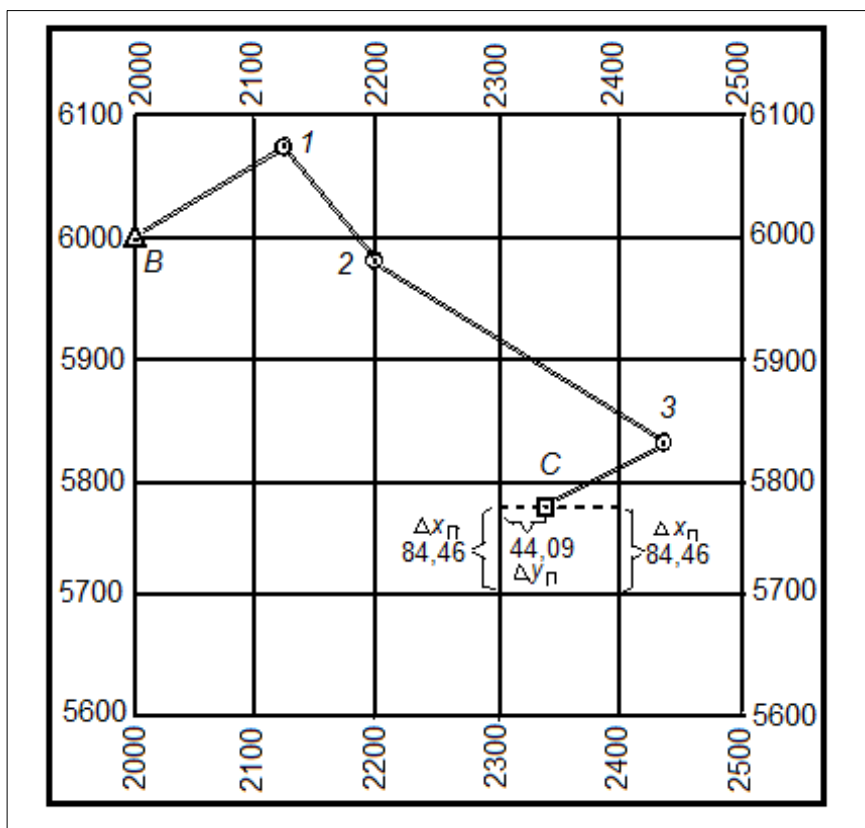


Рисунок 7.9 – Оцифровка координатной сетки плана при масштабе 1:1000

Изображение пункта триангуляции B ($x_B = 6000,00$ м; $y_B = 2000,00$ м) совпадает с пересечением линий сетки. Для нанесения на план

полигонометрического пункта C ($x_C = 5784,46$ м; $y_C = 2344,09$ м) сначала находят квадрат, в котором пункт расположен, затем определяют ее положение в данном квадрате: приращения координат $\Delta x = 5784,46 - 5700 = +84,46$ м и $\Delta y = 2344,09 - 2300 = +44,09$ м. На плане масштаба 1:1000 $\Delta x_{\text{п}} = 84,46$ мм; $\Delta y_{\text{п}} = 44,09$ мм. Отметив на сторонах данного квадрата вертикальные отрезки $\Delta x_{\text{п}}$, наносят точку C по длине отрезка $\Delta y_{\text{п}}$. Точность нанесения проверяется измерением на плане отрезков до противоположных сторон квадрата: $\Delta x'_{\text{п}} = 5800 - 5784,46 = 15,54$ мм и $\Delta y'_{\text{п}} = 2400 - 2344,09 = 55,91$ мм; допускается расхождение до 0,2 мм. Аналогично наносят точки 3, 2 и т.д., а для проверки измеряют на плане длины отрезков $C-3$, $3-2$, и т.д., сравнивают их с соответствующими горизонтальными проложениями, записанными в координатной ведомости (таблица 7.2, графа 6). Допускается расхождение до 0,3 мм.

Составление контурного плана. Его составляют по абрисам теодолитной съемки (рисунки 7.6; 7.7). Способ нанесения точек и контуров на план соответствует способу съемки. При выполнении графических работ применяют циркуль-измеритель, масштабную линейку и прямоугольный треугольник для построения на плане отрезков заданной длины, нанесения точек способом перпендикуляров и линейными засечками. Геодезический транспортир служит для нанесения точек угловыми засечками и полярным способом. Для этой же цели применяют тахеометрический транспортир (рисунок 7.10). Контурные местности изображаются на плане по их зарисовкам в абрисах. Размеры объектов, расстояния на плане между ними проверяются по данным абрисов (размеры зданий по цоколю, расстояния между соседними постройками, ширина улиц, проездов, тротуаров и т.п.).

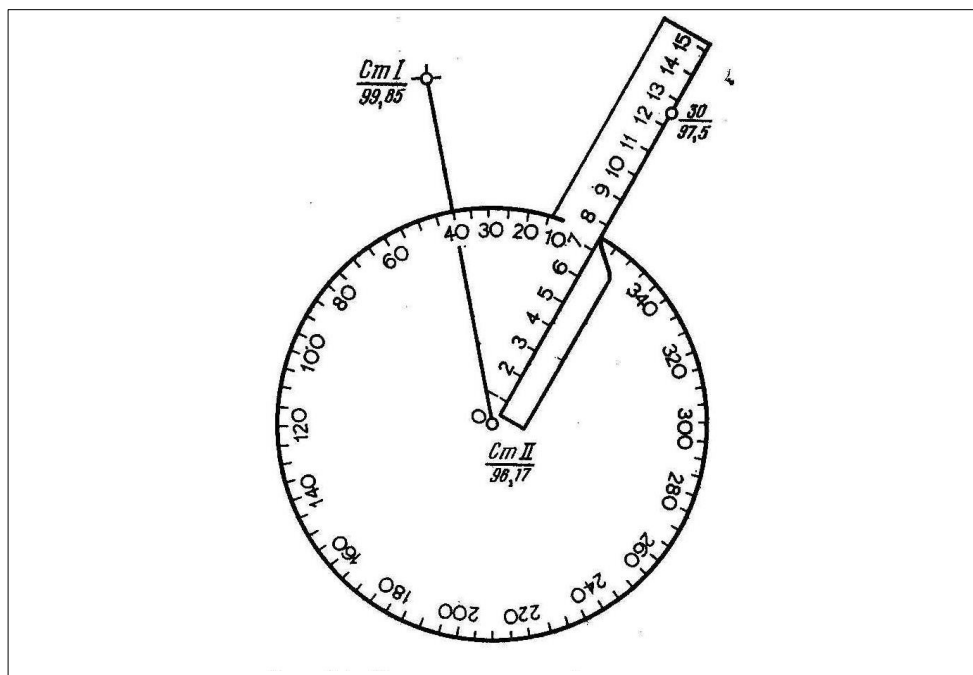


Рисунок 7.10 – Тахеометрический транспортир

На план наносят только постоянные контуры ситуации, и не прочерчивают такие поясняющие линии абриса, как перпендикуляры и полярные направления.

После нанесения точек угловыми засечками стирают пересекающиеся линии. Не подписывают цифровые данные съемки

После составления плана карандашом проверяют его точность и полноту в камеральных условиях и выборочно в поле, затем вычерчивают тушью в соответствующих условных знаках или переносят на план заранее приготовленные условные знаки со специальных пленок. Пояснительные надписи и цифровые данные располагают параллельно северной (южной) стороне рамки.

ТЕМА 8. Нивелир. Поверки и исследования. Производство измерений

1. Виды нивелирования, сущность и их точность.
2. Геометрическое нивелирование и его методы.
3. Приборы для геометрического нивелирования. Их классификация, устройство.
4. Поверки и исследование нивелиров.
5. Нивелирный ход. Производство нивелирования.
6. Обработка журнала технического нивелирования.
7. Основные источники ошибок геометрического нивелирования.
8. Тригонометрическое нивелирование.

1. Виды нивелирования, сущность и их точность

Измерения превышений именуют также нивелированием, в задачи которого входит определение высотных координат точек природных образований при их изучении и картографировании, а также наземных, подземных и подводных сооружений. Данные нивелирования необходимы при осуществлении многих видов научно-практических исследований, в геодезическом мониторинге вертикальных смещений земной поверхности тектонического характера и техногенного происхождения (от извлечения жидких и твердых ископаемых).

Нивелирование представляет необходимую составляющую топографических съемок, геодезических изысканий для строительства жилых и промышленных зданий, гидроэлектростанций, водохранилищ, каналов, дорог, трубопроводов и других сооружений. Нивелирные измерения предусматриваются технологиями строительства практически всех видов сооружений.

Наиболее широко применяются следующие виды нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, спутниковое, гидростатическое, барометрическое, механическое.

Спутниковое нивелирование – определение превышений между двумя точками земной поверхности по координатам точек местности или водной поверхности средствами систем глобального позиционирования.

Гидростатическое нивелирование основывается на свойстве жидкостей находиться в сообщающихся сосудах на одном уровне.

Превышение между точками может быть получено как разность отсчетов по шкалам сосудов. Как правило, расстояние между точками ограничивается длиной соединительного шланга 1 между сосудами и достигает нескольких десятков метров. Достоинство гидростатического нивелирования, применяемого для строительных целей, – простота работы, возможность производства работы в тесных местах (комнатах, сооружениях, среди оборудования), быстрота действия. К недостаткам относятся: невысокая точность (± 10 мм) и затруднительные работы со шлангами.

Барометрическое нивелирование основано на свойстве разности воздушного давления в различных по высоте над уровнем поверхности точках. Нивелирование выполняют барометрами-анероидами или микробарометрами.

Наиболее простой случай барометрического нивелирования, когда точки, между которыми определяется превышение, соединяются замкнутым маршрутом; продолжительность маршрута не более 2-3 ч. Для измерений используют один aneroid. На исходной точке маршрута измеряют температуру воздуха t_v , температуру anerоида t_a , его высоту над точкой и считывают по нему показания давления. Затем переходят на вторую и последующие точки и производят аналогичные измерения. Наблюдения заканчивают на исходной точке. Полагая, что давление воздуха и температура в начальной точке изменялись пропорционально времени, по барометрическим таблицам находят высоты точек. Расстояние между точками может быть любым, ограничивается только разностью времени между первым и последним наблюдениями на исходной точке. Современные приборы барометрического нивелирования позволяют определять отметки точек с точностью 0,5 м и выше.

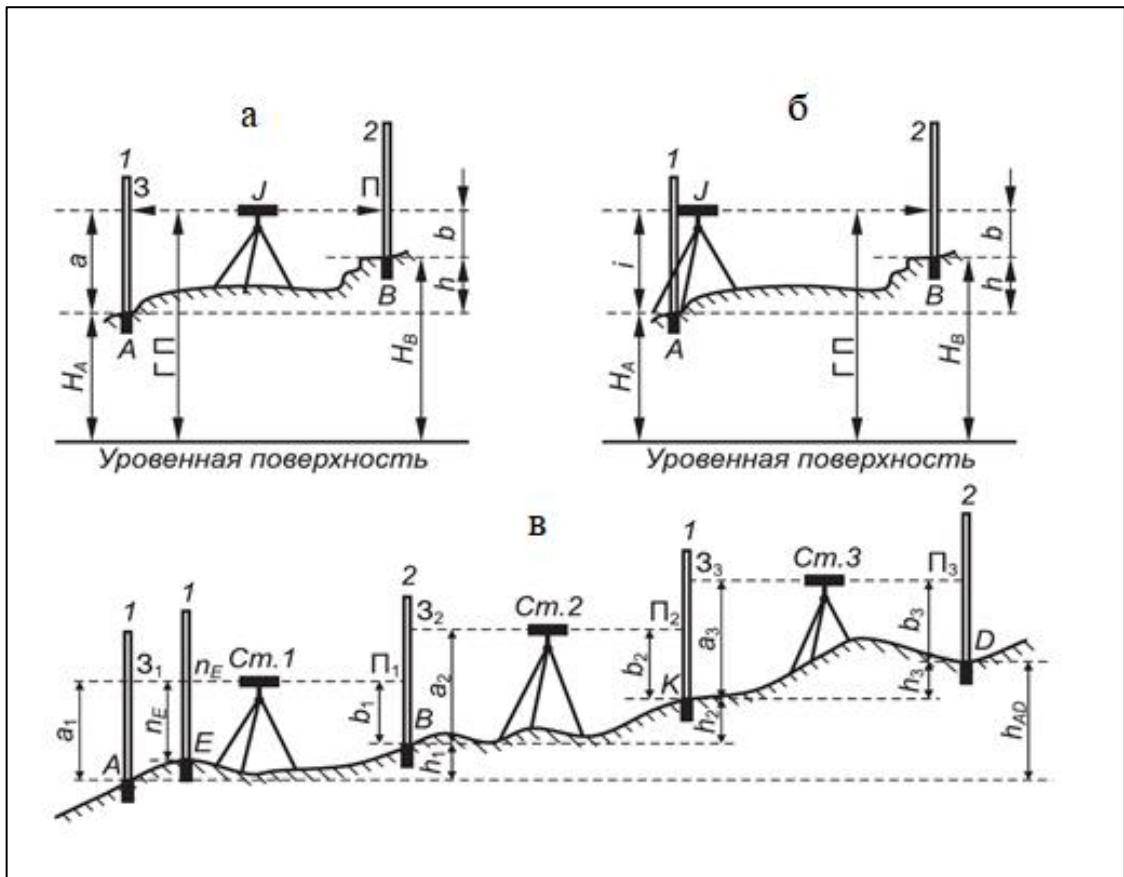
Механическое нивелирование выполняется с помощью приборов, устанавливаемых в путеизмерительных вагонах, тележках, автомобилях, которые при движении вычерчивают профиль пройденного пути. Механическое нивелирование выполняет отвесный нивелир, позволяющий автоматически вычерчивать профиль местности и измерять расстояние по пройденному пути. В отвесном нивелире вертикаль задаётся тяжёлым отвесом, отклонения отвеса фиксируются с помощью отсчётного приспособления, расстояние фиксируется специальными инструментами системы

2. Геометрическое нивелирование и его методы

Геометрическое нивелирование выполняется по схеме рисунке 8.1, а при помощи геодезического прибора (нивелира J) с горизонтальным лучом визирования и нивелирных реек 1 и 2 (прямолинейных мер длины со специальными линейными шкалами), которые ставят вертикально на нивелируемые точки A и B . Существует два способа нивелирования: из середины и вперед.

При нивелировании *способом из середины* нивелир устанавливают на равных расстояниях от точек A и B (рисунок 8.1, а), на которые ставят нивелирные рейки. Визируют зрительной трубой на шкалу рейки 1 и берут отсчет a , равный высоте визирного луча над точкой A , а по шкале рейки 2 – отсчет b , равный высоте визирного луча над точкой B . Превышение точки B над точкой A – это расстояние h между уровнями поверхностями, проходящими через точки A и B , превышение равно разности отсчетов по рейкам:

$$h = a - b. \quad (8.1)$$



а – из середины; б – вперед; в – нивелирный ход

Рисунок 8.1 – Сущность и способы геометрического нивелирования

При нивелировании *вперед* (рисунок 8.1, б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы прилегал к рейке 1, поставленной вертикально на точку А. Отсчет i по шкале рейки относительно центра окуляра называется высотой прибора над точкой А. Затем визируют на рейку 2, поставленную отвесно на точку В, берут отсчет b и вычисляют превышение:

$$h = i - b. \quad (8.2)$$

Нивелирный ход применяют для последовательного измерения превышения h_{AD} между точками А и D (рисунок 8.1, в), разделенными значительными расстоянием или превышением. Нивелируют способом из середины: прибор последовательно устанавливают на станциях Ст. 1, Ст. 2, Ст. 3, которые выбирают на равных расстояниях от задней и передней по ходу точек А и В, В и К, К и D. Искомое превышение может быть найдено по формуле:

$$h_{AD} = h_1 + h_2 + h_3 = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + (a_3 - b_3) = \sum_1^n a_i - \sum_1^n b_i. \quad (8.3)$$

Если известна высота (отметка) H_A точки A над исходной уровенной поверхностью (рисунок 8.1, a), то высота (отметка) точки B равна:

$$H_B = H_A + h. \quad (8.4)$$

Высота визирной оси нивелира над исходной уровенной поверхностью называется *горизонтом прибора* (ГП). Согласно рисунку 8.1, a горизонт прибора можно вычислить относительно точек A и B и определить его среднее значение:

$$\begin{aligned} \text{ГП}' &= H_A + a = H_A + 3 \\ \text{ГП}'' &= H_B + b = H_B + \text{П} \end{aligned} \quad (8.5)$$

$$\text{ГП} = \frac{\text{ГП}' + \text{ГП}''}{2}. \quad (8.6)$$

Относительно среднего значения горизонта прибора данной станции вычисляют отметку каждой точки H_i , на которую ставили рейку и по горизонтальному лучу брали по ней отсчет n_j :

$$H_i = \text{ГП} - n_i. \quad (8.7)$$

3. Приборы для геометрического нивелирования. Их классификация, устройство

Современные приборы для геометрического нивелирования можно разделить на две группы:

- нивелиры оптико-механические и лазерные неавтоматизированные;
- нивелиры автоматизированные – лазерные, электронные (цифровые).

В зависимости от способа приведения визирного (оптического) или лазерного луча в горизонтальное положение различают нивелиры двух видов – с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе (в них для горизонтирования визирного или лазерного луча пузырек уровня необходимо приводить в нуль-пункт) и нивелиры с компенсатором (в них визирный или лазерный луч автоматически удерживается в горизонтальном положении при небольших наклонах прибора).

Оптико-механические нивелиры применяются, как правило, в комплекте со стандартными нивелирными рейками или с применением специальных шкал. Лазерные нивелиры обеспечивают получение лазерного пятна на шкале рейки или поверхности строительной конструкции.

Согласно действующих нормативно-технических документов оптико-механические нивелиры по точности подразделяют на три класса: высокоточные Н-05, Н-1, Н-2 – для нивелирования I и II классов; точные Н-3 – для нивелирования III и IV классов; технические Н-10 – для нивелирования технического, топографических съемок и многих видов инженерных работ. В

обозначениях (шифрах) оптико-механических нивелиров с компенсатором к цифре добавляется буква К, а нивелиров с горизонтальным угломерным кругом (лимбом) – буква Л. Например, нивелир Н-3К четвертого поколения (модификации) обозначается 4Н-3КЛ. Шифр лазерного нивелира (лазерного построителя плоскости) – НЛ-20К. Основные технические характеристики нивелиров приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Основные технические данные оптико-механических нивелиров

Показатель	Н-1	Н-3	4Н-3КЛ	Н-10	Н-10КЛ	НЛ-20К
Средняя квадратическая погрешность измерения превышения, мм:						
двойное нивелирование на 1 км	0,5	3	3	10	10	2,5 мм/20 м
на станции при расстоянии 2×100 м	2	2	5	5	5	
на станции						
Увеличение зрительной трубы, крат	44	30	30	20	20	
Коэффициент оптич. дальномера	100	100	100	100	100	
Цена деления уровней:						
цилиндрического, с	12	15		45	-	-
круглого, мин	10	10	10	10	10	10
Масса, кг	7	2	2,5	2	2	1,3

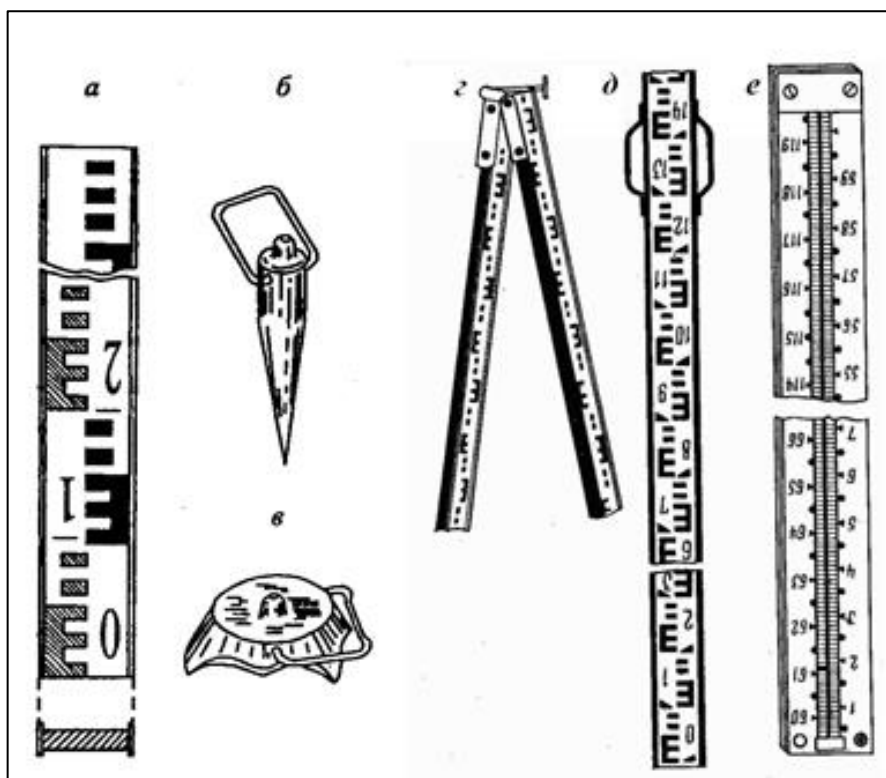
Нивелирные рейки изготавливаются под общими обозначениями РН-05, РН-3, РН-10 для нивелирования соответственно высокоточного (I и II классов), точного (III и IV классов) и технического. В рейках РН-05 высокоточная шкала нанесена на инварную полосу (инвар – металл с малым коэффициентом температурной деформации).

Ряд геодезических фирм к цифровым нивелирам поставляет высокоточные рейки со штрих-кодовыми и метрическими шкалами. Все рейки для высокоточного и точного нивелирования оснащены круглым уровнем для контроля их установки в вертикальное положение.

Рейки РН-3, РН-10 изготавливают из дерева, для увеличения жесткости имеют двутавровое поперечное сечение (рисунок 8.2, а). В комплекте с нивелирами обратного изображения соответственно используются рейки с оцифровкой обратного изображения (рисунок 8.2, а).

Рейки, предназначенные для нивелиров прямого изображения выпускаются с прямой оцифровкой шкалы и обозначаются, например, РН-10П-3000С (длина 3 м, складная). Рейка РНР-4 (раздвижная, с обратной оцифровкой) имеет длину 4 м (2 + 2 м).

На одной стороне рассматриваемых реек шашечная шкала сантиметровых делений (рис. 8.2, а) нанесена черным цветом, на другой – красным. Нуль шкалы черной стороны совмещен с нижней плоскостью пятки рейки – стальной пластины, жестко закрепленной на рейке. На красной стороне рейки с нижней плоскостью пятки совмещена шкала начальным делением 4683 или 4783 мм (на других типах реек – иным делением).



а – шашечные деления шкалы; б – костыль; в – башмак;
г, д – рейка складная РНТ; е – рейка с инварной полосой

Рисунок 8.2 – Нивелирные рейки и переносные опоры

При техническом нивелировании в комплекте к нивелиру рейки должны быть парными: у них с нижней плоскостью пятки совпадают одинаковые деления красной стороны.

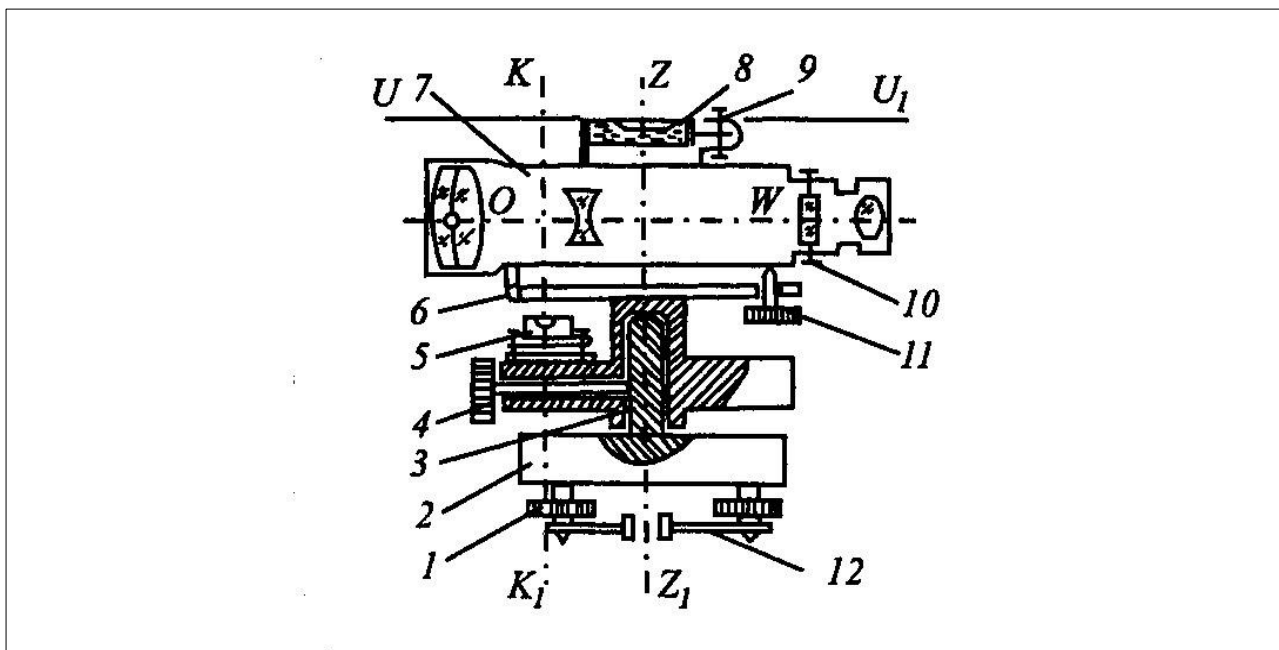
Применяются также облегченные металлические (из сплава на основе алюминия) рейки, составные и телескопические, их полная длина 3 или 4 м. На одной стороне рейки нанесена шкала шашечных сантиметровых делений, на другой – шкала миллиметровых делений.

Перед началом работ *рейки компарируют*: их кладут горизонтально и с помощью специального контрольного метра измеряют длину дециметровых и метровых делений. Погрешность метровых делений допускается до 0,5 мм на рейках РН-3 и 1 мм на рейках РН-10. Погрешность дециметровых делений не должна превышать 0,5 мм. *Прямолинейность рейки* проверяется относительно натянутой на ней нити – величина прогиба (стрелы прогиба) допускается до 10 мм.

При прокладке нивелирного хода рейки ставят на устойчивые предметы: нивелирные реперы, прочно вбитые в землю переносные костыли или устойчиво поставленные башмаки (рисунок 8.2, б, в) или же на деревянные колышки, другие неподвижные предметы.

У нивелиров с цилиндрическим уровнем зрительная труба и цилиндрический уровень, закрепленный на ее корпусе (рисунок 8.3), могут вращаться в небольших пределах вокруг горизонтальной оси с помощью

элевационного винта. Круглый уровень предназначен для приведения вертикальной оси ZZ_1 нивелира в отвесное положение.



- 1 – подъемный винт; 2 – подставка; 3 – ось; 4 – закрепительный винт;
 5 – круглый уровень; 6 – горизонтальная ось наклонов зрительной трубы
 7; 8 – цилиндрический уровень; 9 – юстировочные винты цилиндрического
 уровня; 10 – юстировочные винты визирной сетки;
 11 – элевационный винт; 12 – пружинящая пластина трегера

Рисунок 8.3 – Схема нивелира с уровнем

Нивелиры могут быть снабжены контактным уровнем: в них в поле зрения трубы выведены изображения концов пузырька цилиндрического уровня (рисунок 8.4).

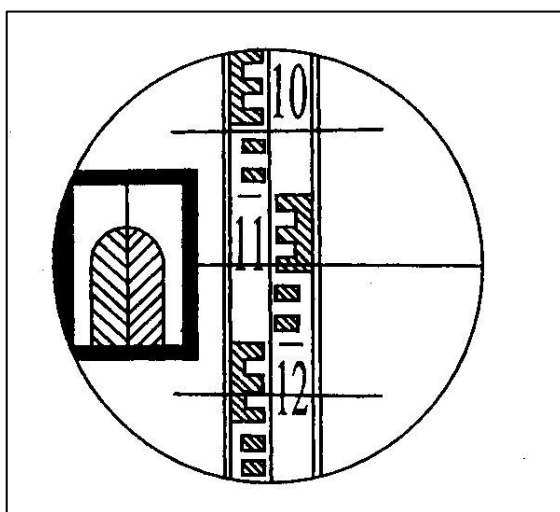


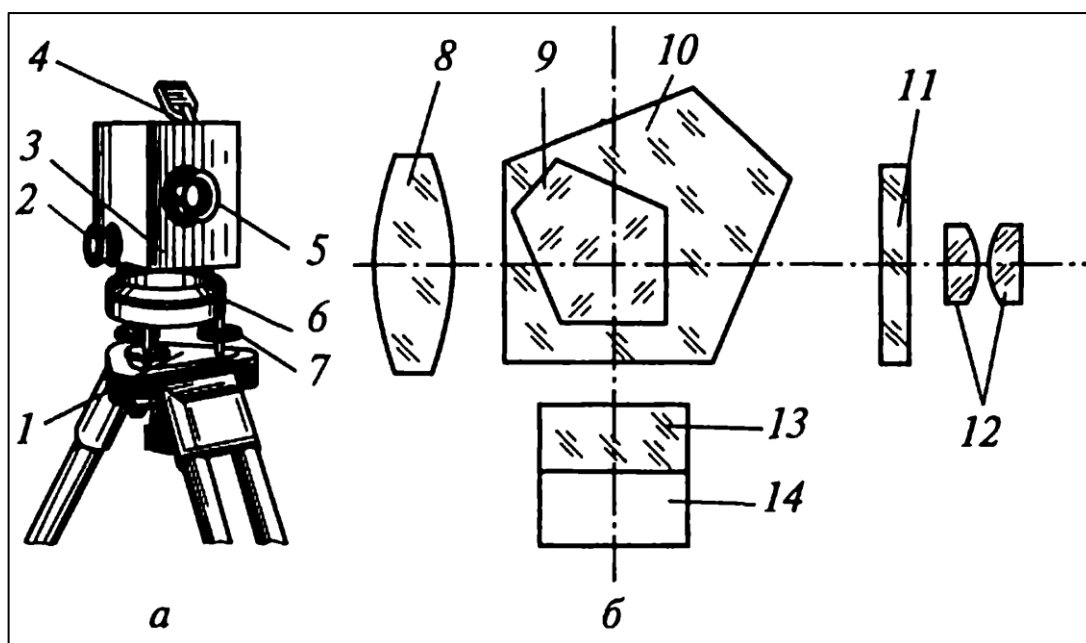
Рисунок 8.4 – Поле зрения нивелира

Отсчет по шкале нивелирной рейки производится после приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт (совмещения его концов, видимых в окуляре зрительной трубы согласно рисунку 8.4). Отсчет снимают с точностью до 1 мм по средней горизонтальной нити сетки нитей, а для определения расстояний – по нижней и верхней горизонтальным нитям, в следующей последовательности:

- установить между какими дециметровыми делениями на рейке располагается средняя (верхняя или нижняя) горизонтальная нить сетки, младшая цифра выразит число дециметров в отсчете;
- отсчитать от начала дециметра количество полных сантиметровых делений, отсекаемых горизонтальной нитью сетки;
- оценить на глаз число миллиметров, отсекаемых горизонтальной нитью на неполном сантиметре.

В поле зрения трубы обратного изображения деления рейки отсчитываются сверху вниз. На рисунке 8.4 отсчеты по среднему, верхнему и нижнему горизонтальным штрихам сетки равны: $a_c = 1146$ мм; $a_v = 1055$ мм; $a_n = 1231$ мм.

Компенсатор малых наклонов зрительной трубы представляет собой оптический элемент, который автоматически удерживает линию визирования в горизонтальном положении с высокой точностью (1" и точнее), но предварительно нивелир горизонтируют по круглому уровню. На рисунке 8.5 представлен нивелир Н-10КЛ и его оптическая схема.



а – внешний вид; б – оптическая схема;

- 1 – прижимная пластина; 2 – фокусирующий винт; 3 – корпус;
- 4 – круглый уровень с зеркальцем; 5 – объектив; 6 – подставка;
- 7 – подъемные винты; 8, 12 – линзы объектива и окуляра;
- 9, 10 – пентапризмы; 11 – сетка нитей; 13, 14 – призма и рамка

Рисунок 8.5 – Нивелир Н10-КЛ

Компенсатор нивелира Н-10КЛ состоит из двух пентапризм 9 и 10 (пятиугольных призм), склеенных между собой и скрепленных с корпусом прибора коробчатой формы, а также подвижной прямоугольной призмы. Прямоугольная призма заключена в рамку, перемещаемую в вертикальной плоскости фокусирующим винтом 2, укрепленным в корпусе 3. Ее перемещение обеспечивает фокусировку зрительной трубы по объекту наведения.

4. Поверки нивелиров

Нивелиры, используемые на производстве, подлежат ежегодной метрологической аттестации в лаборатории государственной метрологической службы. Но и в процессе эксплуатации приборов необходимо периодически выполнять их полевые поверки и необходимые юстировки.

При внешнем осмотре нивелира проверяют исправность круглого и цилиндрического уровней и их юстировочных винтов, плавность вращения зрительной трубы, работу ее винтов – наводящего, закрепительного и элевационного, фокусирование визирной сетки и предмета, действие подъемных винтов подставки. В штативе устраняют шатания (люфты) его деталей умеренной подтяжкой соответствующих болтов.

Нивелиры с цилиндрическим уровнем Н-3, Н-10 и другие, отвечающие схеме рисунка 8.3, поверяются на следующие геометрические условия.

1. *Ось круглого уровня KK_1 должна быть параллельна оси вращения нивелира ZZ_1 .* Действуя подъемными винтами подставки, пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт, затем верхнюю часть нивелира поворачивают на 180° вокруг оси ZZ_1 (рисунок 8.6).

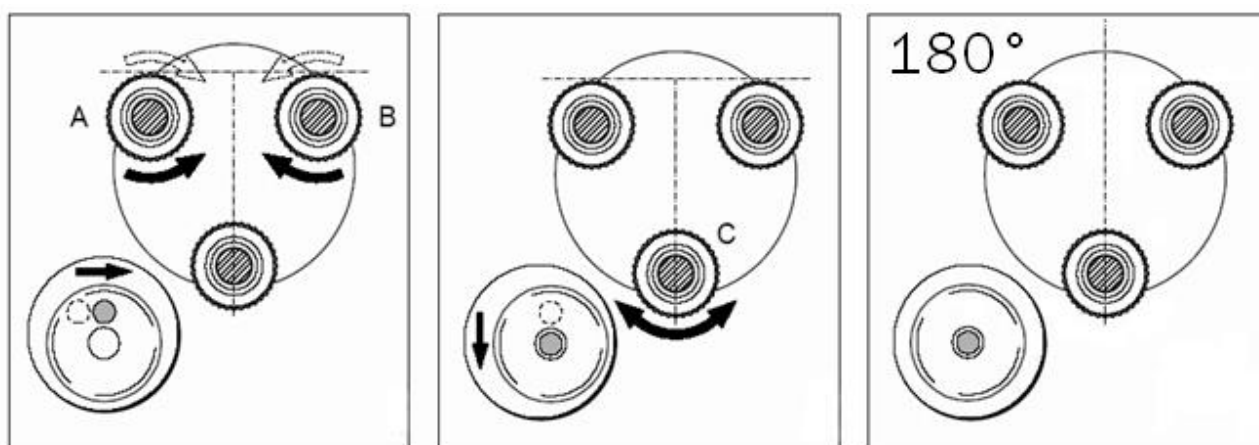


Рисунок 8.6 – Положение круглого уровня при выполнении поверки

Если пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено. Если же пузырек отклонился, вращением подъемных винтов подставки его перемещают к центру ампулы на половину дуги отклонения, а окончательно совмещают с нуль-пунктом поочередным вращением юстировочных винтов. После этого поверку повторяют.

2. Горизонтальный штрих сетки должен быть перпендикулярен оси вращения нивелира ZZ_1 . Зрительной трубой визируют на рейку, установленную в 50–60 м от нивелира. Вращая зрительную трубу вокруг вертикальной оси, перемещают изображение рейки от одного края поля зрения к другому (рисунок 8.7).

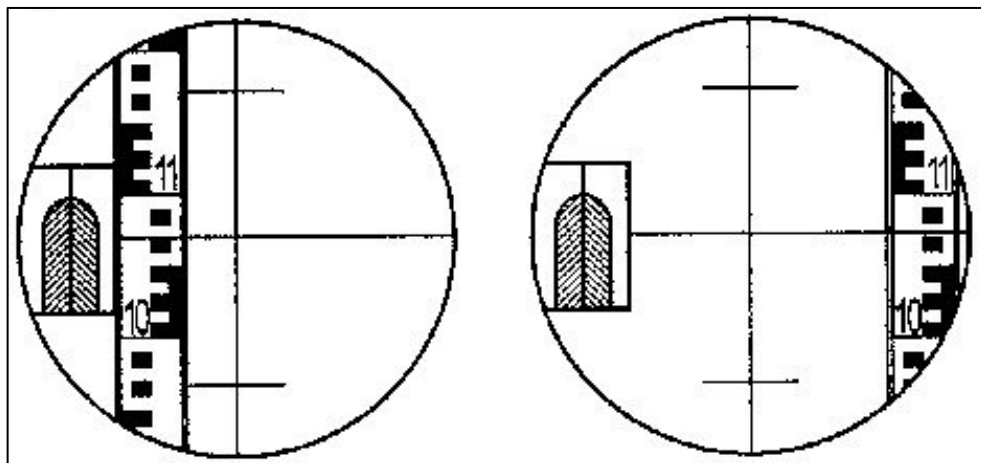
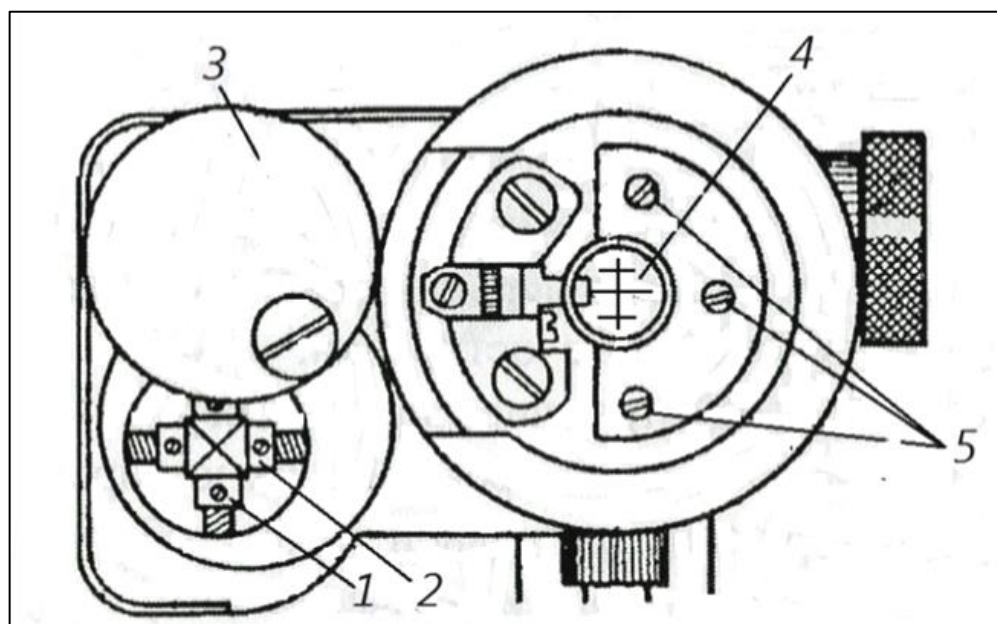


Рисунок 8.7 – Наведение на рейку при выполнении поверки

Если отсчет изменяется больше, чем на 1 мм, диафрагму с сеткой поворачивают в требуемое положение, ослабив крепящие ее винты 4 (рисунок 8.8). Для облегчения юстировки рекомендуется совмещать вертикальный штрих сетки с изображением нити отвеса, подвешенного в 5–10 м от прибора.



1,2 – юстировочные винты цилиндрического уровня
3 – поворотная крышка; 4 – сетка нитей; 5 – крепежные винты

Рисунок 8.9 – Вид зрительной трубы со стороны окуляра

3. Проверка главного условия нивелира с уровнем. Ось цилиндрического уровня должна UU_1 быть параллельна визирной оси зрительной трубы WO . Это условие проверяют разными способами двойного нивелирования.

При способе двойного нивелирования из середины и вперед нивелир устанавливают на станции J_1 (рисунок 8.10) на равном удалении $d_1 = d_2$ от кольшков A и B , вбитых на расстоянии 60 – 100 м друг от друга. На кольшки ставят вертикально рейки.

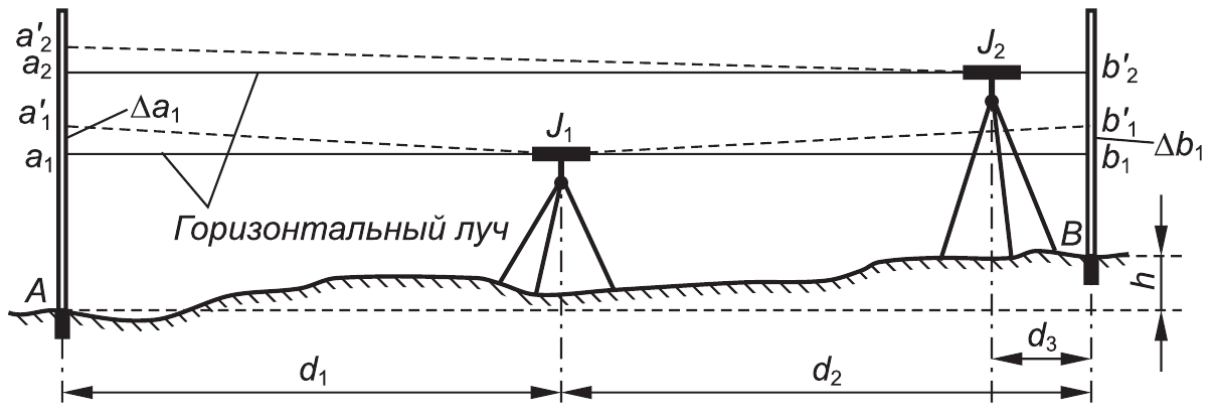


Рисунок 8.10 – Проверка главного условия нивелира

Если визирный луч горизонтален, то при нивелировании из середины получают по рейкам отсчеты a_1 и b_1 и вычисляют верное превышение

$$h = a_1 - b_1. \quad (8.8)$$

Если же главное условие не соблюдается, то отсчеты принимают значения:

$$\begin{aligned} a'_1 &= a_1 + \Delta a_1 \\ b'_1 &= b_1 + \Delta b_1 \end{aligned} \quad (8.9)$$

но при одинаковых расстояниях d_1 и d_2 от нивелира до реек равны и величины отклонений $\Delta a_1 = \Delta b_1$. Поэтому превышение при нивелировании из середины определяется верно:

$$h = a'_1 - b'_1 = (a_1 + \Delta a_1) - (b_1 + \Delta b_1) = a_1 - b_1. \quad (8.10)$$

Затем нивелир устанавливают на станции J_2 в 3–5 м от реки B и по ней берут отсчет b'_2 , визируют на дальнюю рейку A и берут отсчет a'_2 . Вычисляют превышение

$$h'_2 = a'_2 - b'_2, \quad (8.11)$$

сравнивают его с верным превышением h . Если разница $\Delta h = h'_2 - h$ меньше ± 5 мм в расчете на 100 м длины визирного луча (± 3 мм на длину $BA \approx 60$ м), условие считается выполненным.

Для необходимой юстировки вычисляют величину отсчета по дальней рейке:

$$a_2 = b'_2 - h, \quad (8.12)$$

который практически соответствует горизонтальному положению визирного луча. Зрительную трубу наклоняют элевационным винтом до получения вычисленного отсчета a_2 . Затем при помощи юстировочной шпильки ослабляют боковой юстировочный винт 2 цилиндрического уровня (рисунок 8.9) и, вращая его вертикальные юстировочные винты, добиваются контактного положения концов его пузырька при умеренной затяжке юстировочных винтов. После этого отсчеты по рейкам со станции J_2 повторяют и сравнением полученного превышения h_2 с верным h проверяют качество юстировки.

Рассмотренный способ применим для всех типов нивелиров и наиболее рационален в полевых условиях.

Способ двойного нивелирования вперед применяется для нивелиров при отсутствии перископичности зрительной трубы. Нивелир ставят над точкой A , как показано на рисунке 8.1, б. Относительно центра окуляра измеряют высоту нивелира i_A , визируют на рейку B и берут отсчет b . Затем нивелир ставят над точкой B , измеряют его высоту i_B и берут отсчет a по рейке A . При негоризонтальном визирном луче в отсчетах a и b присутствуют равные погрешности $\Delta a = \Delta b = x$. Если из отсчетов вычесть x , то получится правильное превышение:

$$h = i_A - (b - x) = (a - x) - i_B, \quad (8.13)$$

откуда погрешность x будет равна:

$$x = \frac{a + b}{2} - \frac{i_A + i_B}{2}. \quad (8.14)$$

Если погрешность $x > \pm 5$ мм на 100 м расстояния от нивелира до рейки, то прибор необходимо юстировать. Для этого, оставив его над точкой B , вычисляют правильный отсчет для рейки A :

$$a_0 = a - x. \quad (8.15)$$

Зрительную трубу элевационным винтом устанавливают на отсчет a_0 , далее действуют как при юстировке по способу двойного нивелирования из середины и вперед.

Нивелиры с компенсатором Н-3К, Н-10К и их модификации, а также нивелиры с компенсатором иной конструкции подвергаются поверкам **1** и **2** и

соответствующим юстировкам так же, как и нивелиры с уровнем. Далее будут рассмотрены проверки компенсатора и главного условия нивелира с компенсатором.

3. *Линия визирования должна самоустанавливаться практически равномерно в пределах работы компенсатора при различных направлениях наклона нивелира.* Штатив следует установить так, чтобы один из подъемных винтов подставки был направлен в сторону рейки, удаленной от нивелира на 70–100 м. Пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт и через зрительную трубу берут отсчет по рейке. Затем подъемными винтами подставки наклоняют нивелир вперед, назад, влево и вправо на угол, соответствующий отклонению пузырька от нуль-пункта на одно кольцевое деление (рисунок 8.11).

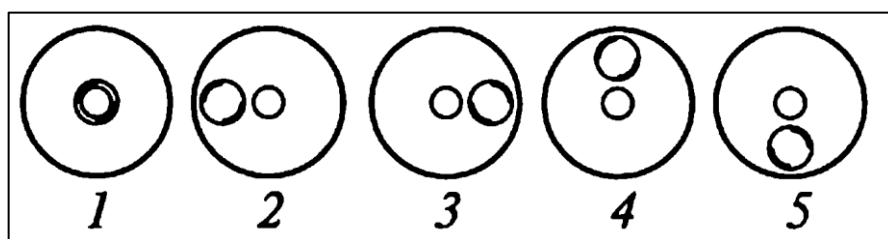
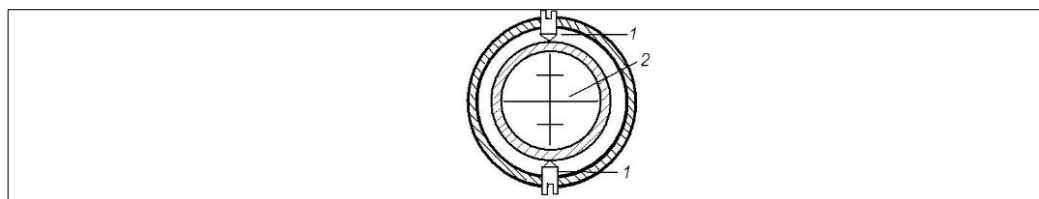


Рисунок 8.11 – Положение пузырька круглого уровня при выполнении проверки

Каждый раз по рейке берут отсчет. В исправном нивелире отсчеты не должны изменяться больше чем на 1–2 мм. Компенсатор можно отъюстировать в геодезической мастерской (сервисном центре).

4. Проверка главного условия. *Линия визирования должна быть горизонтальна (в диапазоне работы компенсатора).* Нивелиры с одинаковой высотой линии визирования в окуляре и объективе зрительной трубы и нивелиры с перископичностью зрительной трубы следует проверять двойным нивелированием по способу двойного нивелирования из середины и вперед проверки **3** нивелиров с уровнем. Прибор горизонтируют по круглому уровню. На станции J_2 в процессе юстировки линию визирования переводят в горизонтальное положение на вычисленный отсчет a_2 перемещением диафрагмы с визирной сеткой, действуя вертикальными юстировочными винтами **1** (рисунок 8.12). Результат юстировки проверяют повторным нивелированием со станции J_2 .



1 – юстировочные винты; 2 – сетка нитей

Рисунок 8.12 – Вертикальные юстировочные винты

Исследование перефокусировочных колебаний визирной оси зрительной трубы выполняют для всех типов нивелиров одинаково. На ровном участке местности по круговой дуге радиусом 50 м (рисунок 8.13) закрепляют кольшками 8-9 точек.

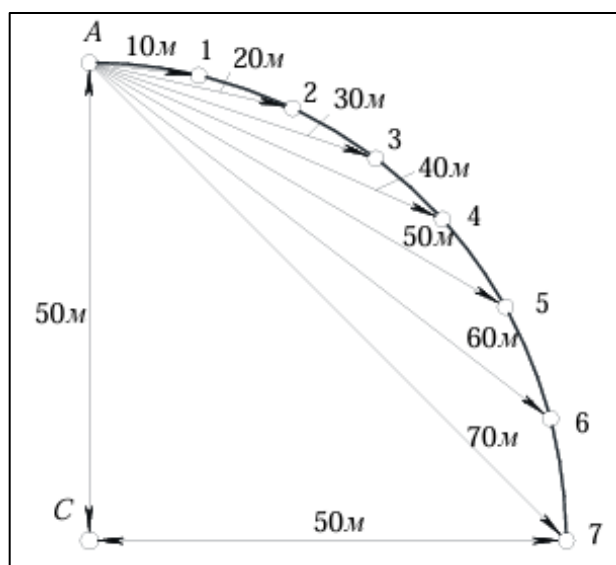


Рисунок 8.13 – Схема нивелирования

Эти точки нивелируют один раз со станции C (из центра дуги) не меняя фокусировку зрительной трубы и определяют условные отметки H_i всех кольшков, приняв например для кольшка A отметку $H_A = 1000$ мм.

Второй раз нивелируют со станции, расположенной в точке A , и аналогично вычисляют отметки кольшков H'_i . Если разности отметок одних и тех же точек достигают 2–3 мм, то это указывает на недопустимые колебания визирной оси при перемещениях фокусирующей линзы и необходимость ремонта зрительной трубы.

5. Нивелирный ход. Производство нивелирования

Для постоянных и временных пунктов съемочного геодезического обоснования должны быть известны не только плановая координата x и y , но и высотная координата H . На участке топографической съемки в дополнение к плановым пунктам закладывают высотные геодезические знаки – грунтовые и стенные реперы и создается *высотное съемочное обоснование*.

Высотные координаты передают на плановые и высотные пункты съемочного обоснования от исходных грунтовых и стенных реперов высотной геодезической сети I–IV классов. Для этого от исходных реперов через пункты съемочной сети прокладывают ходы геометрического нивелирования IV класса или технического. Нивелирные и теодолитные ходы, проложенные через одни и те же пункты, называются *теодолитно-нивелирными*.

Высота пунктов съемочного обоснования может определяться тригонометрическим нивелированием, если точность такого нивелирования достаточна для съемки масштаба 1:2000 и мельче.

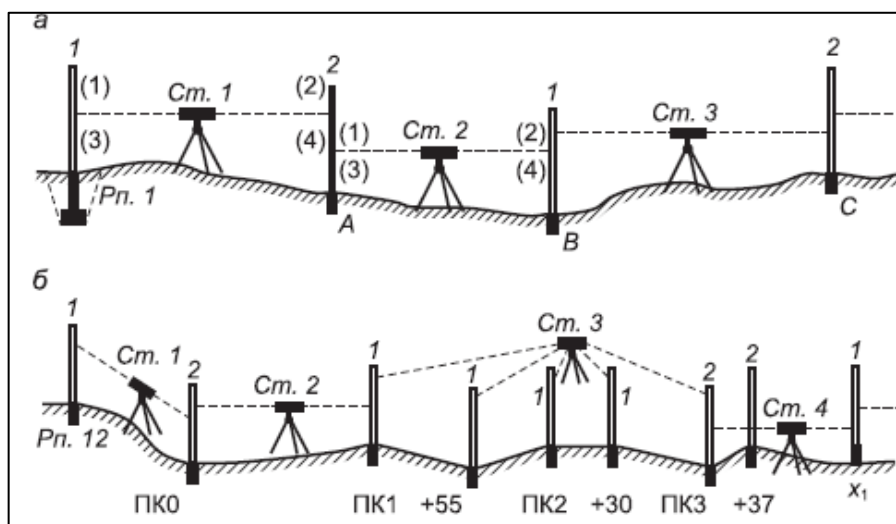
Техническое нивелирование включает в себя полевые и камеральные работы. Полевые работы начинают с рекогносцировки участка местности, при этом выявляется сохранность исходных реперов государственной геодезической сети, намечаются места закладки пунктов съемочного обоснования. После установки всех знаков приступают к техническому нивелированию, ходы которого должны опираться не менее чем на два исходных репера и проходить через все закрепленные плановые пункты и реперы съемочного обоснования.

Техническое нивелирование выполняется способом из середины. Расстояния до реек допускаются до 120 м, а в благоприятных условиях при работе с точным нивелиром класса НЗ и до 150 м. Неравенство плеч, т.е. расстояний до задней и передней реек, допускается до 10 м. Расстояние до реек можно проверить нитяным дальномером или шагами. Нивелирные рейки устанавливают на исходные реперы и на устойчивые связующие точки: деревянные колышки, забитые в землю, на верхнюю точку камня и др. Не допускается установка реек на землю на связующих точках.

Ходы технического нивелирования могут прокладываться:

- без нивелирования промежуточных точек;
- с нивелированием промежуточных точек.

В первом случае (рисунок 8.14, а) на каждой станции отсчеты берутся только по задней и передней рейкам, которые поставлены на устойчивые *связующие точки*. Во втором случае (рисунок 7.5, б, станция Ст. 3) отсчеты сначала берутся по рейкам на связующих точках (задней, затем передней), потом по рейке, которую последовательно ставят на нужные промежуточные точки (+55; ПК2; +30), которые могут выбираться и на поверхности земли.



а – нивелирный ход;

б – нивелирный ход с промежуточными точками

Рисунок 8.14 – Схемы ходов технического нивелирования

На каждой станции нивелирного хода действуют в определенной последовательности, называемой *программой наблюдений*: вначале берут (с записями в журнал нивелирования – таблица 8.2) отсчеты (1) и (2) по черной стороне задней и передней реек, затем отсчеты (4) и (5) по красной стороне передней и задней реек.

Таблица 8.2 – Журнал технического нивелирования

Станция	Точка	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм		ГП, м	Отметка Н, м
		З	П	пром.	h', h'', м	h _{ср} , мм		
1	РП 12	1472(1)				-2		80,000
	ПК0	6259(5)	1350(2)		+0122(3)	<u>+0123(7)</u>		80,121
			6135(4)		+0124(6)	+0121		
2	ПК0	3796			+3513	-1		80,121
	ПК1	8584	0283		+3516	<u>+3514</u>		83,634
			5068			+3513		
3	ПК1	0823(1)					84,457	83,634
	ПК3	5612(5)	3849(2)		-3026(3)	-1	<u>84,458</u>	80,609
	ПК1+55		8633(4)		-3021(6)	<u>-3024(7)</u>	84,458	
	ПК2			3625(8)		-3025		80,833
	ПК2+30			1440(9)				83,018
				1495(10)				82,963
4	ПК3	0647					81,256	80,609
	x ₁	5432	0555		+0092	-2	<u>81,254</u>	80,699
	ПК3+37		5340		+0092	+0090	81,255	
				2370				78,885
5	x ₁	1825				-1		80,699
	РП13	6613	1378		+0447(3)	<u>+0448</u>		81,146
			6165		+0124(6)	+0447		
		$\Sigma Z = 41063$ $\Sigma П = 38756$ $(\Sigma h' + \Sigma h'')/2 = 1153,5$			$\Sigma h_{ср} = 1153$ мм $\Sigma h_{теор} = 1146$ мм			
		$(\Sigma Z - \Sigma П)/2 = 1153,5$			$f_h = 7$ мм			
					$f_{доп} = 30\sqrt{L} = 30\sqrt{0,378} = \pm 18$			
мм								

После этого вычисляют превышения:

$$\begin{aligned} h' &= (1) - (2) \\ h'' &= (5) - (4) \end{aligned} \quad (8.16)$$

Если расхождение превышений больше 5 мм, наблюдения реек повторяют. Результаты повторных наблюдений записывают в новые строки журнала, а неверные записи зачеркивают, но не замазывают. Вычисляют среднее превышение, округляя его по правилу Гаусса до целых миллиметров:

$$h_{\text{ср}} = \frac{h' + h''}{2}. \quad (8.17)$$

Если между задней и передней рейками расположены подлежащие нивелированию промежуточные точки (точки ПК1 + 55, ПК2 + 30 на станции 2), то программа продолжается: заднюю рейку поочередно ставят на промежуточные точки, а соответствующие отсчеты записывают в журнал (табл. 7.3, записи на станции 3).

При перемещении нивелира на каждую следующую станцию меняют местами заднюю и переднюю рейки на связующих точках. Например, нивелир со станции 1 переносят на станцию 2, рейку 2 оставляют на связующей точке ПК0, а рейку 1 переносят на переднюю связующую точку ПК1 (рисунок 8.14, б). При переходе на станцию 3 рейку 2 переносят на переднюю связующую точку ПК3, а после наблюдений на станции 3 задней и передней реек заднюю рейку 1 ставят поочередно на промежуточные точки.

На крутых ровных склонах, где нет необходимости отмечать плюсовые промежуточные точки, рейки приходится ставить на вспомогательные связующие точки (колышки или устойчивые местные предметы), которые называют *переходными точками* и обозначают ПТ1, ПТ2, ... или обозначают x_1, x_2, \dots (называют «икс-точками») (рисунок 8.14, б, станция 4, передняя связующая точка x_1).

Если для нивелирования используются односторонние рейки, то на каждой станции сначала отсчеты берут по задней и передней рейке при одном горизонте прибора, затем меняют высоту нивелира на 3-10 см и по этим рейкам берут отсчеты при втором горизонте. Вычислив превышения h', h'' и $h_{\text{ср}}$, нивелируют промежуточные точки.

Перед уходом с трассы на перерыв в работе необходимо надежно закрепить заднюю и переднюю связующие точки последней станции. После перерыва нивелирование закрепленных точек следует повторить и убедиться, что превышение $h_{\text{ср}}$ не изменилось более чем на 5 мм.

Если ход технического нивелирования прокладывается через пункты съемочного обоснования, то нивелируют только связующие точки, которые в журнале обозначают номером геодезического знака или переходной точки.

1. Обработка журнала технического нивелирования

Вычислительную обработку журнала нивелирования завершают в камеральных условиях. Сначала выполняют *постраничный контроль* вычислений, сделанных в поле: вычисляют и записывают внизу каждой страницы сумму отсчетов по задней рейке ΣZ , по передней рейке $\Sigma П$, сумму вычисленных превышений ($\Sigma h' + \Sigma h''$) и сумму средних превышений $\Sigma h_{\text{ср}}$ (таблица 8.2). Если выполняется равенство

$$\frac{\Sigma Z - \Sigma П}{2} = \frac{\Sigma h' + \Sigma h''}{2} = \Sigma h_{\text{ср}}, \quad (8.18)$$

то превышения h' , h'' и h_{cp} вычислены верно. Допускаются незначительные отклонения в 1-2 мм, так как они вызваны результатом округления средних превышений.

Вычисляют фактическую невязку превышений хода (в мм):

$$f_h = \sum_i^n h_{cpi} - (H_K - H_H) = \sum_i^n h_{cpi} - \sum h_{теор}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (8.19)$$

где H_K и H_H – отметки конечного и начального реперов, выраженные в мм.

Если ход замкнутый, то $H_K = H_H$, поэтому

$$f_h = \sum_i^n h_{cpi}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (8.20)$$

Допустимую невязку превышений $f_{h\text{ доп}}$ (в миллиметрах) хода технического нивелирования вычисляют по формулам, установленным строительными нормами:

$$\begin{aligned} f_{h\text{ доп}} &= \mp 10\sqrt{n} \\ f_{h\text{ доп}} &= \mp 30\sqrt{L} \end{aligned} \quad (8.21)$$

где n – число превышений (станций);

L – длина хода, км, в формуле принимается безразмерной величиной.

При этом если на 1 км хода количество станций $n \geq 25$, то применяется первая из формул (8.21).

Фактическую невязку превышений f_h , если она допустима, распределяют между средними превышениями с условием, чтобы уравненные (увязанные) превышения были числами, не содержащими долей мм. Поэтому предварительную среднюю величину поправок оценивают по формуле:

$$v_{hi} = \frac{-f_h}{n}. \quad (8.22)$$

Согласно формуле (8.22) знак поправки противоположен знаку невязки. Поправки округляют до целых миллиметров.

Проверяют, чтобы сумма поправок равнялась невязке с обратным знаком:

$$\sum v_{hi} = -f_h. \quad (8.23)$$

Вычисляют уравненные превышения:

$$h_i = h_{\text{ср}i} + v_{hi}. \quad (8.24)$$

Отметки связующих точек выражают в метрах и последовательно находят по формуле:

$$H_{i+1} = H_i + h_i, \quad (8.25)$$

где уравниваемое превышение h_i учитывается в метрах.

Для станций, на которых нивелировали промежуточные точки, определяют с контролем горизонт прибора:

$$\begin{aligned} \text{ГП}'_i &= H_{\text{з}i} + \text{З}_i \\ \text{ГП}''_i &= H_{\text{п}i} + \text{П}_i, \\ \text{ГП}_i &= \frac{\text{ГП}'_i + \text{ГП}''_i}{2} \end{aligned} \quad (8.26)$$

где $H_{\text{з}i}$ и $H_{\text{п}i}$ – отметки задней и передней связующих точек;
 З_i и П_i – отсчеты по черной стороне задней и передней реек, выраженные в метрах.

Значения $\text{ГП}'_i$ и $\text{ГП}''_i$ могут различаться до 0,010 м.

Отметки промежуточных точек определяют относительно среднего значения горизонта прибора:

$$H_j = \text{ГП}_i - C_j, \quad (8.27)$$

где C_j – отсчет по черной стороне рейки на промежуточной точке j , выраженный в метрах.

6. Основные источники ошибок геометрического нивелирования

Приборные погрешности возникают вследствие неполной юстировки нивелира, ограниченной точности прибора и реек. Для ослабления их действия нивелирование производят способом из середины, превышение определяют дважды – по разностям отсчетов по черной и красной сторонам реек. Для уменьшения погрешностей нивелирования, вызываемых осадкой штатива, его необходимо устанавливать на устойчивом грунте. Рейки необходимо ставить на устойчивые предметы и удерживать отвесно: при наклоне рейки на угол ε отсчет a сопровождается односторонне действующей положительной погрешностью:

$$+\Delta a = \frac{a}{\cos \varepsilon} - a. \quad (8.28)$$

Погрешности измерения превышений при техническом нивелировании на расстояниях до задней и передней реек до 10-30 м составляют 1-2 мм, а при расстояниях 130-150 м достигают 5-6 мм. Для поддержания требуемой точности определенных видов нивелирных работ предельные расстояния от нивелира до реек ограничивают до 80, 100 или 150 м.

В приземных слоях воздушная среда обладает неоднородными по вертикали температурой и плотностью и, следовательно, переменным коэффициентом преломления световых лучей. В вертикальной плоскости лучи получают траекторию, которая называется рефракционной кривой. Когда температура земной поверхности выше, чем воздуха визирные лучи отклоняются от горизонтальной линии в сторону земной поверхности и по рейкам, поставленным на точки A и B , получают отсчеты a' и b' (рисунок 8.15).

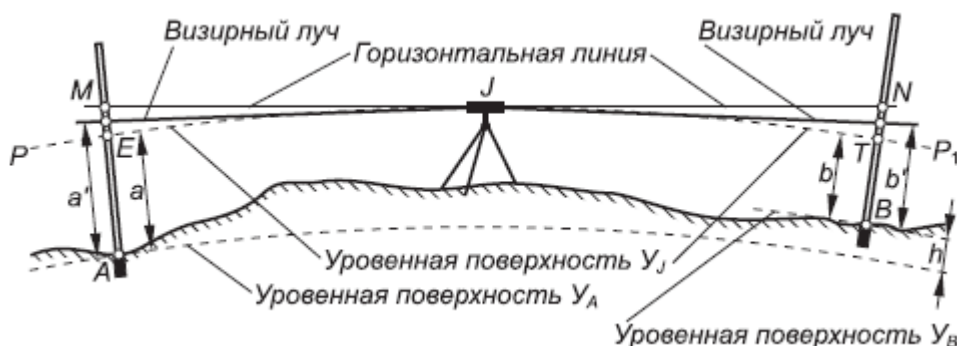


Рисунок 8.15 – Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования

Визирные лучи Ja' и Jb' не совпадают также с уровенной поверхностью визирной оси нивелира $U_J = PJP_1$. Следовательно отсчеты a' и b' по рейкам следует исправить поправками на кривизну Земли.

При проецировании визирных лучей на уровенную поверхность нивелира U_J вычисляют исправленные отсчеты $a = AE$ и $b = BT$, для этого в фактические отсчеты a' и b' вводят совместную поправку f на кривизну Земли и рефракцию, которая вычисляется по эмпирической формуле:

$$f = 0,42 \frac{d^2}{R}, \quad (8.29)$$

где d – расстояние от прибора до рейки;
 R – средний радиус Земли.

При $d = 50, 100, 150, 200, 300$ и 1000 м поправка f соответственно равна 0,16; 0,7; 1,5; 2,6; 6 и 67 мм.

Если расстояния от нивелира до реек одинаковы, то принимается, что рассматриваемые поправки тоже одинаковы, т. е. $f_a = f_b$, тогда

$$h = a - b = (a' + f_a) - (b' + f_b) = a' - b', \quad (8.30)$$

то есть фактор кривизны Земли и рефракции практически компенсируется и не влияет на превышение, измеренное способом из середины.

При нивелировании способом вперед фактор рефракции и кривизны Земли влияет на величину превышения:

$$h = i - (b' + f_b) = (i - b') - f_b, \quad (8.31)$$

но поправка f_b учитывается в зависимости от требуемой точности нивелирования. При максимальной длине луча 150 м технического нивелирования поправка $f_b = 1,5$ мм и по малости не учитывается.

При развитии высотных сетей для топографических съемок с точностью нивелирования III и IV класса и технического, при инженерно-геодезических работах по обеспечению монтажа строительных конструкций гражданских и промышленных зданий и сооружений факторы рефракции и кривизны Земли не учитываются по причине их пренебрегаемо малого влияния на значения превышений при ограниченных (меньших 100 м) расстояниях от нивелира до рейки и отсутствии рефракционных колебаний изображения объектов визирования в зрительной трубе.

7. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование между двумя пунктами А и В включает измерение расстояния и угла наклона между ними (рисунок 8.16) с последующим вычислением превышения h по тригонометрическим формулам.

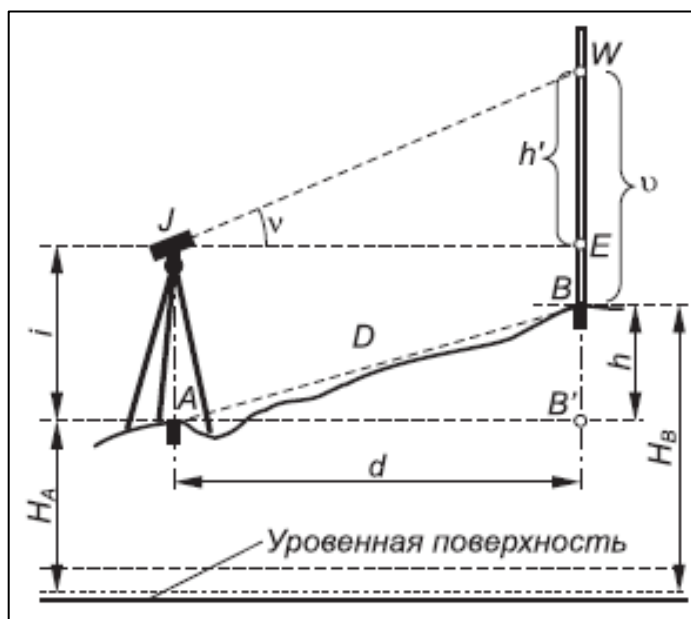


Рисунок 8.16 – Схема тригонометрического нивелирования

Над пунктом А теодолит, на пункт В – рейку или веху. На рейке отмечают точку визирования W измеряют высоту визирования v – превышение WB. Над пунктом А измеряют высоту прибора i (превышение JA). Прибором измеряют угол наклона v линии JW. Наклонное расстояние $JW = D$ определяют, например, оптическим дальномером.

Из треугольника JWE вычисляют неполное превышение $EW = h'$. Вертикальный отрезок WB' можно найти как

$$WB' = h + v = h' + i, \quad (8.32)$$

отсюда искомое полное превышение будет равно:

$$h = h' + i - v. \quad (8.33)$$

При расстояниях $D \geq 200$ м в определяемом превышении h учитывают поправку f на кривизну Земли и рефракцию, которую вычисляют по формуле (8.29):

$$h = h' + i - v. \quad (8.34)$$

Далее будут рассмотрены варианты тригонометрического нивелирования для расстояний $D < 200$ м, когда $f \approx 0$.

На наклонных участках местности, как правило, непосредственно измеряют расстояние $D = AB = JW$ рулеткой (рисунок 8.16). Тогда в треугольнике JWE неполное превышение равно :

$$h' = D \sin v, \quad (8.35)$$

и формула (8.34) примет вид:

$$h = D \sin v + i - v. \quad (8.36)$$

Если известно горизонтальное проложение $AB' = JE = d$, то

$$\begin{aligned} h' &= d \operatorname{tg} v \\ h &= d \operatorname{tg} v + i - v \end{aligned} \quad (8.37)$$

Если наклонное расстояние D измерено нитяным дальномером теодолита, то горизонтальное проложение согласно формуле (6.19) равно

$$d = D \cos^2 v$$

Подставив эту зависимость в выражение (8.37), получим

$$h' = D \cos^2 \nu \operatorname{tg} \nu = \frac{1}{2} D \sin 2\nu, \quad (8.38)$$

а формула тахеометрического нивелирования примет вид:

$$h = \frac{1}{2} D \sin 2\nu + i - v. \quad (8.39)$$

Если при измерении углов наклона ν визировать на рейку в точку W, отмеченную над ее пяткой на высоте прибора i , то в формулах (8.36), (8.37) и (8.39) слагаемые $i - v$ искомое полное превышение будет равно неполному превышению:

$$\begin{aligned} h &= D \sin \nu \\ h &= d \operatorname{tg} \nu \\ h &= \frac{1}{2} D \sin 2\nu \end{aligned} \quad (8.40)$$

При известной высоте (отметке) H_A точки A высоту точки B вычисляют по формуле:

$$H_B = H_A + h. \quad (8.41)$$

Точность тригонометрического нивелирования зависит от погрешностей:

- ΔD – измерения расстояний;
- $\Delta \nu$ – измерения углов наклона;
- Δi – измерения высоты прибора;
- Δv – определения высоты наведения.

В случае тахеометрической съемки с помощью теодолитов Т30 погрешности измерений равны: $\Delta D = 0,3$ м; $\Delta \nu = 0,5'$; $\Delta i = \Delta v = 0,5$ см, тогда при расстоянии $D = 100$ м и углах наклона $\nu < 5^\circ$ погрешность величины h' приблизительно равна $m_{\Delta h} \approx 1,5$ см, а общая погрешность превышения равна:

$$m_h^2 = m_{\Delta h}^2 + m_{\Delta i}^2 + m_{\Delta v}^2. \quad (8.42)$$

Тогда $m_h = 1,7$ см. При углах наклона $\nu > 5^\circ$ погрешность определяемых превышений возрастает.

Тригонометрическое нивелирование без определения высоты прибора (рисунок 8.17) характеризуется повышенной точностью за счет устранения соответствующей погрешности Δi . Согласно рисунку 8.17 на станции Ст. Т измеряют расстояния $D_1 = TM$ и $D_2 = TN$, углы наклона ν_1 и ν_2 , при этом известны высоты v_1 и v_2 визирных целей, поставленных на пункты, закрепленные в земле.

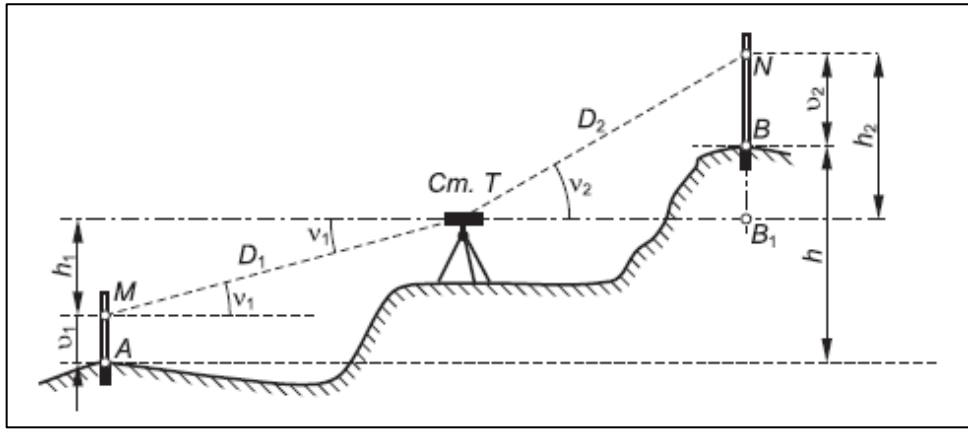


Рисунок 8.17 – Тригонометрическое нивелирование без определения высоты прибора

Превышение между точками А и В вычисляют по формуле:

$$h = v_1 + h_1 + h_2 - v_2 = v_1 + D_1 \sin v_1 + D_2 \sin v_2 - v_2. \quad (8.43)$$

Оценка погрешности превышения h в обоих примерах дается по формуле:

$$m_h^2 = \frac{2m_{\Delta v}^2 + (2D \sin v)^2 + m_v^2}{(\rho'')^2}. \quad (8.44)$$

ТЕМА 9. Вертикальная съемка местности

1. Основные положения вертикальной съемки.
2. Нивелирование по квадратам.

1. Основные положения вертикальной съемки

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

Планово-высотное съемочное обоснование на участке съемки может создаваться теодолитными ходами. Высотные координаты пунктов съемочного обоснования определяют нивелированием IV класса и техническим.

Нивелирование застроенной территории производится после составления контурного плана (например, по данным теодолитной съемки). С плана снимают копию для использования в качестве абриса нивелирования (рисунок 9.1).

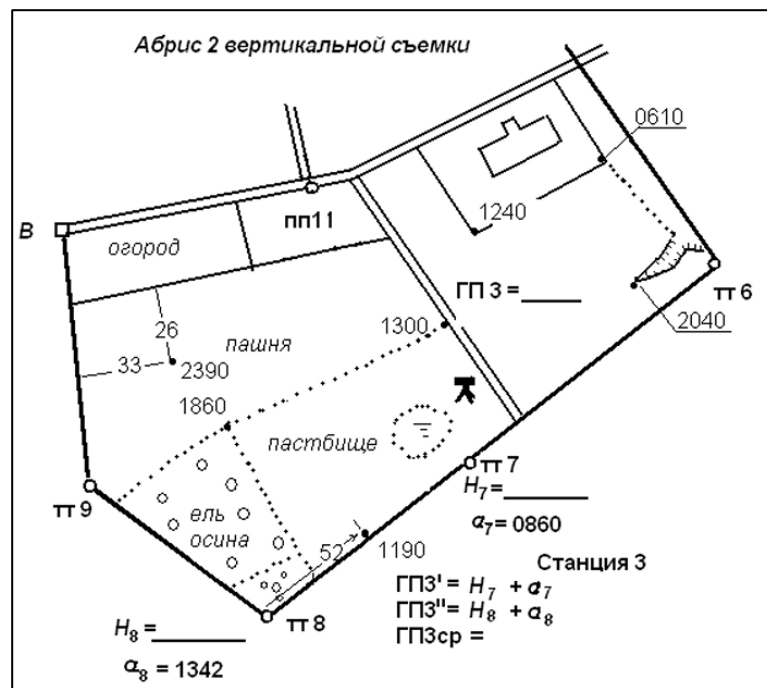


Рисунок 9.1 – абрис вертикальной съемки

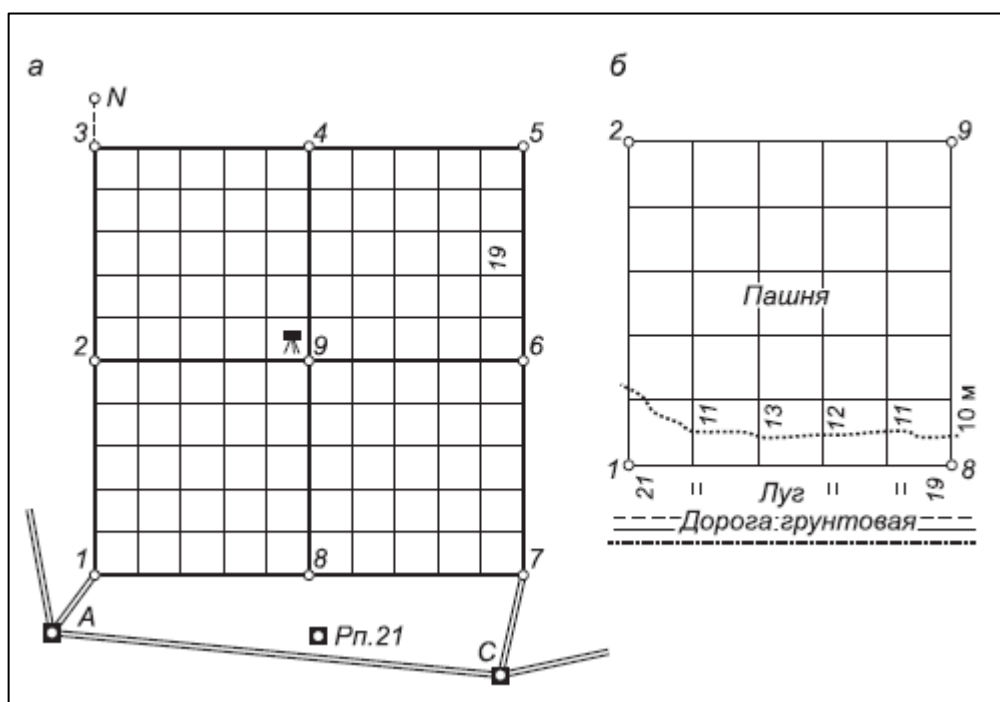
Через участок съемки прокладывают ход технического нивелирования, связующие точки хода выбирают на устойчивых предметах, точки вертикальной съемки нивелируют как промежуточные. Их номера в журнале и на копии плана должны быть одинаковы. Плановое положение точек, не лежащих на контурах, определяют промерами относительно показанных на копии объектов, в пересечении створов и т.п.

В камеральных условиях вычисляют отметки (тема 8, вопрос №5), их значения подписывают на плане и проводят горизонтали.

2. Нивелирование по квадратам

Данный способ применяют на свободной от застройки и зарослей, достаточно ровной местности. Планы, получаемые этим способом, наиболее точны для инженерных расчетов по вертикальной планировке территории и для определения соответствующих объемов земляных масс (земляных работ).

Проект сетки квадратов составляют на плане более мелкого масштаба. Сетка состоит из основных квадратов размером 100×100 , 200×200 или 400×400 м и заполняющих квадратов размером: 20×20 м при съемках масштаба $1:500$ и $1:1000$; 40×40 м или 50×50 при съемках масштаба $1:2000$ и $1:5000$ (рисунок 9.1).



а – схема сетки; б – абрис съемки ситуации

Рисунок 9.1 – Сетка квадратов

Разработанный проект сетки переносят на местность относительно контуров местности, отображенных на плане-проекте сетки. Сначала определяют положение наиболее длинной стороны $1-3$ общего контура сетки, закрепляют кольшком его начальную точку 1 (рисунок 9.1, а) и обозначают вехой N направление стороны $1-3$. Над точкой 1 ставят теодолит и зрительной трубой в створе $1-N$ следят за положением кольшков, которыми через каждые 100 м закрепляют вершины 2 и 3 основных квадратов. Расстояния измеряют рулеткой или светодальномером (лазерной рулеткой). В угловой точке 3 общего контура прямой угол строят теодолитом при двух положениях вертикального круга

способом “от нуля”. Продолжая разбивку, закрепляют точки основных квадратов (4, 5), строят прямой угол в точке 5 и т. д.

В точке 7 производят контрольный вынос точки 1: под прямым углом к стороне 7–5 измеряют расстояние 7–1, равное проектному, и обозначают контрольную точку 1'. Линейная величина несовпадения точек 1' и 1 представляет абсолютную невязку ΔL выполненных построений, ее допустимая величина принимается как $1/2000$ от длины L общего контура, то есть $\Delta L_{\text{доп}} = \Delta L/2000$.

Для точной плановой привязки сетки через вершины основных квадратов прокладывают теодолитный ход $A-1-3-5-7-C$, опирающийся на ближайшие пункты геодезической сети (рисунок 9.1 а).

Нивелированием IV класса или техническим определяют отметки вершин основных квадратов по общему контуру относительно не менее двух ближайших реперов высотной геодезической сети.

Сетка заполняющих квадратов обозначается внутри основных квадратов деревянными сторожками. Их можно вынести в натуру с помощью теодолита и ленты или же при помощи 100-метрового троса, размеченного через 20 м.

Контур местности снимают линейными измерениями относительно вершин сетки квадратов, обозначенных сторожками. Пример абриса дан на рисунке 9.1, б.

При вертикальной съемке длину визирного луча нивелира допускают до 150 м, что позволяет на ровной открытой местности с одной станции нивелировать на площади до 4 га. Для этого нивелир ставят вблизи вершины 9, общей для четырех основных квадратов (рис. 7.12, а), определяют горизонт прибора по отметкам не менее чем двух вершин основных квадратов, через которые проложен нивелирный ход.

При значительных уклонах земной поверхности ее вертикальную съемку выполняют с нескольких установок нивелира, при этом в журнале-схеме нивелирования (рисунок 9.2) проводят соответствующую граничную линию AB . В примере рисунка 9.2 на станции 1 сначала нивелировались точки 21 и 22 с известными отметками, соответствующие отсчеты по черной стороне рейки $a_{21} = 2248$ мм и $a_{22} = 1042$ мм записаны в журнале-схеме.

Вычислены значения горизонта прибора:

$$\begin{aligned} \Gamma\P'_{1} &= H_{21} + a_{21} = 79,990 + 2,248 = 82,238 \text{ м.} \\ \Gamma\P''_{1} &= H_{22} + a_{22} = 81,203 + 1,042 = 82,245 \text{ м.} \\ \Gamma\P_{1} &= \frac{\Gamma\P'_{1} + \Gamma\P''_{1}}{2} = 82,242 \approx 82,24 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расхождение величин $\Gamma\P'_{1}$ и $\Gamma\P''_{1}$ допускается до 0,010 м. Затем в процессе вертикальной съемки в журнал-схему записывались отсчеты по черной стороне рейки, поставленной на землю поочередно у каждой вершины квадратов. Отсчеты целесообразно выражать в метрах с округлением до 0,01 м. Граница нивелирования AB определяется в процессе работы. На второй станции действовали так же, как на первой.

	2,248	2,06	1,79	1,52	1,08	1,042
21	<u>79,90</u>	80,18	80,45	80,72	81,16	<u>81,203</u>
	ГП' ₁ = 82,238			ГП" ₁ = 82,245		
	1,87	1,74	1,51	1,28	0,75	0,22
	80,37	80,50	80,75	80,96	81,9	82,02
	1,48	1,36	1,14	0,69	0,35	1,92
	80,76	80,88	81,10	81,55	81,89	82,50
	0,97	0,86	0,67	0,30	1,97	1,43
	81,27	81,38	81,57	81,94	82,45	82,99
	0,32	0,24	2,20	1,81	1,30	0,90
	84,82	82,00	82,22	82,61	83,12	83,52
A	ГП' ₂ = 84,414			ГП" ₂ = 84,420		
	1,950	1,70	1,42	1,10	0,68	1,340
20	<u>82,464</u>	82,74	83,00	83,32	83,74	<u>84,266</u>

Рисунок 9.2 – Журнал схема нивелирования по квадратам

Отметки поверхности земли вычисляют по правилу: «горизонт прибора (постоянное число для данной станции) минус отсчет по рейке в данной точке». Значения отметок записывают в журнале-схеме при соответствующей вершине квадратов с округлением до 0,01 м (рисунок 9.2).

ТЕМА 10. Состав работ при производстве наземных топографических съемок

1. Общие сведения о топографических съемках, их основные виды.
2. Сущность и применение тахеометрической съемки.
3. Полевые работы и порядок работы на станции при тахеометрической съемке.
4. Камеральная обработка, составление и оформление плана тахеометрической съемки.

1. Общие сведения о топографических съемках, их основные виды

В задачи инженерно-геодезических съемок входят составление топографических карт и планов, необходимых для проектирования объектов строительства, создание планов застроенной территории и специальных планов размещения инженерных сетей (водоснабжения, канализации, электроснабжения и др.).

Топографические съемки производятся относительно пунктов съемочного геодезического обоснования, созданного теодолитно-нивелирными ходами, теодолитно-тахеометрическими ходами, микротриангуляцией, геодезическими засечками.

Топографические карты и планы больших территорий создаются в основном методом аэрофотосъемки, т. е. фотографирования земной поверхности с летательных аппаратов, преимущественно самолетов (воздушные съемки). В настоящее время разрабатываются и внедряются в практику другие методы воздушных съемок – сканирование земной поверхности в оптическом диапазоне, лазерное сканирование с последующей компьютерной обработкой данных. На территориях застройки применяют наземные топографические съемки – теодолитную, тахеометрическую, нивелирование поверхности.

Наземной топографической съемкой называется комплекс работ, выполняемых на местности и в камеральных условиях, по составлению топографической карты или плана.

2. Сущность и применение тахеометрической съемки

Тахеометрической называют топографическую съемку местности, выполняемую с помощью тахеометров, т. е. приборов, сочетающих угломерные устройства и дальномер. К простым оптико-механическим тахеометрам относят теодолит, снабженный нитяным дальномером.

Тахеометрическая съемка производится для составления топографических планов крупного масштаба (1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000) на небольшие по площади участки застроенной и незастроенной территории, а также на полосу местности вдоль протяженных объектов, например подземных и наземных коммуникаций (трассы водопровода, газопровода, канализации), отдельных дорог и др. На топографическом плане рельеф изображается горизонталями и дополняется

отметками отдельных точек, часто используются условные знаки откоса (крепленого и некрепленого), обрыва.

Местоположение пунктов съемочного обоснования выбирается в процессе рекогносцировки с таким расчетом, чтобы весь участок местности был покрыт съемкой без пропусков, при этом учитываются допустимые расстояния до съемочных пикетов, которые назначаются в зависимости от точности применяемого тахеометрического прибора. Выбранные точки закрепляют кольшками или металлическими стержнями. Составляют схему съемочного обоснования и его привязки к опорным пунктам геодезической сети.

В случае использования теодолита плано-высотное обоснование создается теодолитно-нивелирными ходами, т.е. через выбранные и закрепленные на местности пункты прокладывают теодолитный ход и ход технического нивелирования, опирающиеся соответственно на ближайшие плановые и высотные пункты геодезической сети. Вычисляют плановые x , y и высотные H координаты пунктов съемочного обоснования. С таких пунктов и ведется тахеометрическая съемка на достаточно открытой местности.

Теодолитно-тахеометрические ходы могут применяться для создания плано-высотного обоснования съемки масштаба 1:2000 и мельче с высотой сечения рельефа $h_c = 2$ м. В теодолитно-тахеометрических ходах превышения между вершинами определяют тригонометрическим нивелированием при помощи теодолита. Стороны хода измеряют нитяным дальномером теодолита в прямом и обратном направлении с относительной погрешностью 1/400–1/500, при этом длину измеряемых линий ограничивают до 120 м. Стороны длиной от 120 до 240 м можно измерять нитяным дальномером теодолита с той же точностью, если теодолит устанавливать в середине линии и затем суммировать ее измеренные отрезки.

Горизонтальные углы между сторонами хода измеряют двумя полуприемами, вертикальные – при КП и КЛ в прямом и обратном направлении. Превышения вычисляют по формуле тригонометрического нивелирования (8.39),

В камеральных условиях в журнале проверяют записи и сделанные в поле вычисления. Вычисляют углы наклона, их средние значения со знаком вертикального угла в прямом направлении, затем по формуле (8.39) – превышения между точками хода. Суммируют измеренные превышения между начальным и конечным исходными пунктами, вычисляют их фактическую невязку f_h . Допустимая невязка превышений в метрах вычисляется по формуле:

$$f_{h\text{доп}} = \pm \frac{0,04 \sum_i^n D_i}{\sqrt{n}}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (10.1)$$

где $\sum D_i$ – длина хода, в сотнях метров, n – число его сторон.

Фактическую невязку, если она допустима, распределяют с обратным знаком на вычисленные превышения, но не поровну, а пропорционально длинам сторон:

$$v_{hi} = \frac{-f_h D_i}{\sum D_i}, \quad (10.2)$$

где D_i – длина соответствующей стороны.

Отметки вершин хода последовательно рассчитывают по формуле (8.41) с контролем по отметке конечной исходной точки.

Плановые координаты вершин тахеометрического хода вычисляют так же, как и теодолитного, но допустимую угловую невязку определяют по формуле:

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 02' \sqrt{n}, \quad (10.3)$$

а допустимую абсолютную невязку:

$$f_{d_{\text{доп}}} = \frac{\sum D}{400 \sqrt{n}}. \quad (10.4)$$

Для производства съемки электронный тахеометр или теодолит устанавливают над пунктом B съемочного обоснования (рисунок 10.1), а тахеометрическую рейку ставят на характерные точки ситуации и рельефа и относительно стороны BA по тахеометру определяют пространственные полярные координаты съемочных пикетов, например для съемочного пикета 1 – горизонтальный угол β_1 , горизонтальное расстояние d_1 , превышение h_1 . Значения d_1 и h_1 определяют через измерения наклонного расстояния D_1 и его угла наклона v_1 . В процессе съемки заполняется журнал измерений и составляется абрис.

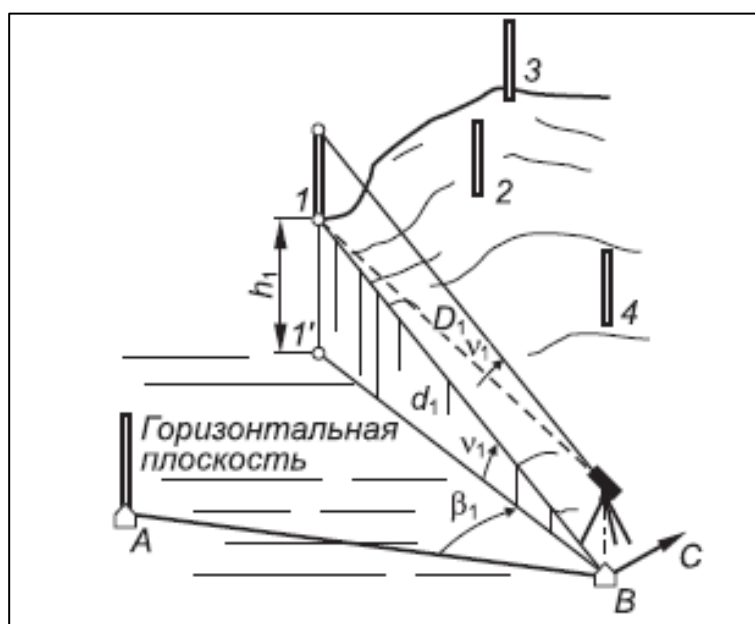


Рисунок 10.1 – Схема тахеометрической съемки

3. Полевые работы и порядок работы на станции при тахеометрической съемке

Тахеометрическая съемка с помощью теодолита выполняется с соблюдением технических требований, указанных в таблице 9.1.

Таблица 10.1 – Технические требования к тахеометрической съемке

Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м	Максимальное расстояние, м			
		от теодолита до рейки при съемке контуров		между пикетами	от теодолита до рейки
		Четких	Нечетких		
1:500	0,5	60	80	15	100
	1	80	80	20	150
1:1000	0,5	80	100	20	150
	1	80	100	50	200
1:2000	0,5	100	150	40	200
	1	100	150	60	250
	2	100	150	60	250

Примечание: в случае применения рейки РНТ (с сантиметровыми делениями) максимальное расстояние от теодолита до рейки ограничивается до 150 м по условиям видимости ее шкалы

Последовательность действий на станции следующая. На стороне AB съемочного обоснования пункт A обозначают вехой, а теодолит (например 2Т30П) центрируют по нитяному отвесу над пунктом B (рисунок 7.8), горизонтируют, измеряют высоту прибора i с точностью до 0,01 м и записывают в журнал тахеометрической съемки (таблица 9.2). На рейке РНТ высоту прибора полезно обозначить временной меткой (резинкой или тесемкой).

Теодолит ставят в положение КЛ, его ориентируют и закрепляют так, чтобы при визировании трубой на соседний пункт A отсчет по горизонтальному кругу был равным $0^\circ 00'$. Производят контрольные измерения:

1) по рейке, поставленной на пункт A , посредством дальномера зрительной трубы отсчитывают расстояние D ;

2) визированием на метку высоты прибора при КЛ и КП определяют величины MO и угла наклона v (таблица 9.2) и вычисляют превышения h .

Оценивают контрольные величины:

1) между дальномерным значением D (или $d = D \cos v$) и измеренной лентой длиной стороны BA допускается расхождение до 0,3 м;

2) между вычисленным превышением h и превышением из технического нивелирования – до 0,03 м.

Завершив подготовительные действия, приступают к съемке. В дополнение к журналу тахеометрической съемки составляют абрис прилегающей местности (рисунок 9.1): на лист плотной бумаги схематически наносят линию BA съемочного обоснования и относительно нее контуры ситуации. Элементы рельефа показывают условными горизонталями и стрелками направления скатов. Абрис дополняют в процессе съемки. Съёмочные пикеты обозначают и

нумеруют на абрисе одновременно с записями номеров точек в журнале тахеометрической съемки.



Рисунок 10.3 – Абрис тахеометрической съемки

Тахеометрические измерения по рейке, поставленной на характерные точки местности, выполняются в такой последовательности:

Первое наведение – определение расстояния: один из дальномерных штрихов зрительной трубы совмещают с метровым делением шкалы (1,00 или 2,00 м), по второму дальномерному штриху берут второй отсчет и по разности отсчетов вычисляют расстояние $D = Kb$ (в метрах), которое записывают в графу 2 журнала (таблица 9.2).

Второе наведение – отсчеты по угломерным кругам: центр визирной сетки наводят на метку высоты прибора $i = v$ (если метка не видна за препятствием, то наводят на деление рейки $v = 2,00$ м или $v = 3,00$ м или же на другое деление) и берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита. В графе 3 журнала указывают величину v , а в графах 4 и 5 – значения отсчетов по кругам теодолита.

Через каждые 8–10 наблюдений реечных точек проверяют ориентацию горизонтального круга контрольным визированием на вежу пункта А: допускается отклонение от отсчета $0^{\circ} 00'$ до $\pm 03'$.

4. Камеральная обработка, составление и оформление плана тахеометрической съемки

Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки включает вычисление углов наклона по формуле $v = \angle Л - \angle МО$, и горизонтального проложения $d = D \cos^2 v$; превышения $h = (1/2) D \sin 2v + i - v$.

При углах наклона $v \leq 4^\circ$ и расстояниях $D \leq 150$ м превышения h' можно вычислять с незначительной погрешностью $\Delta h' \leq 0,025$ м, пользуясь приближенной формулой:

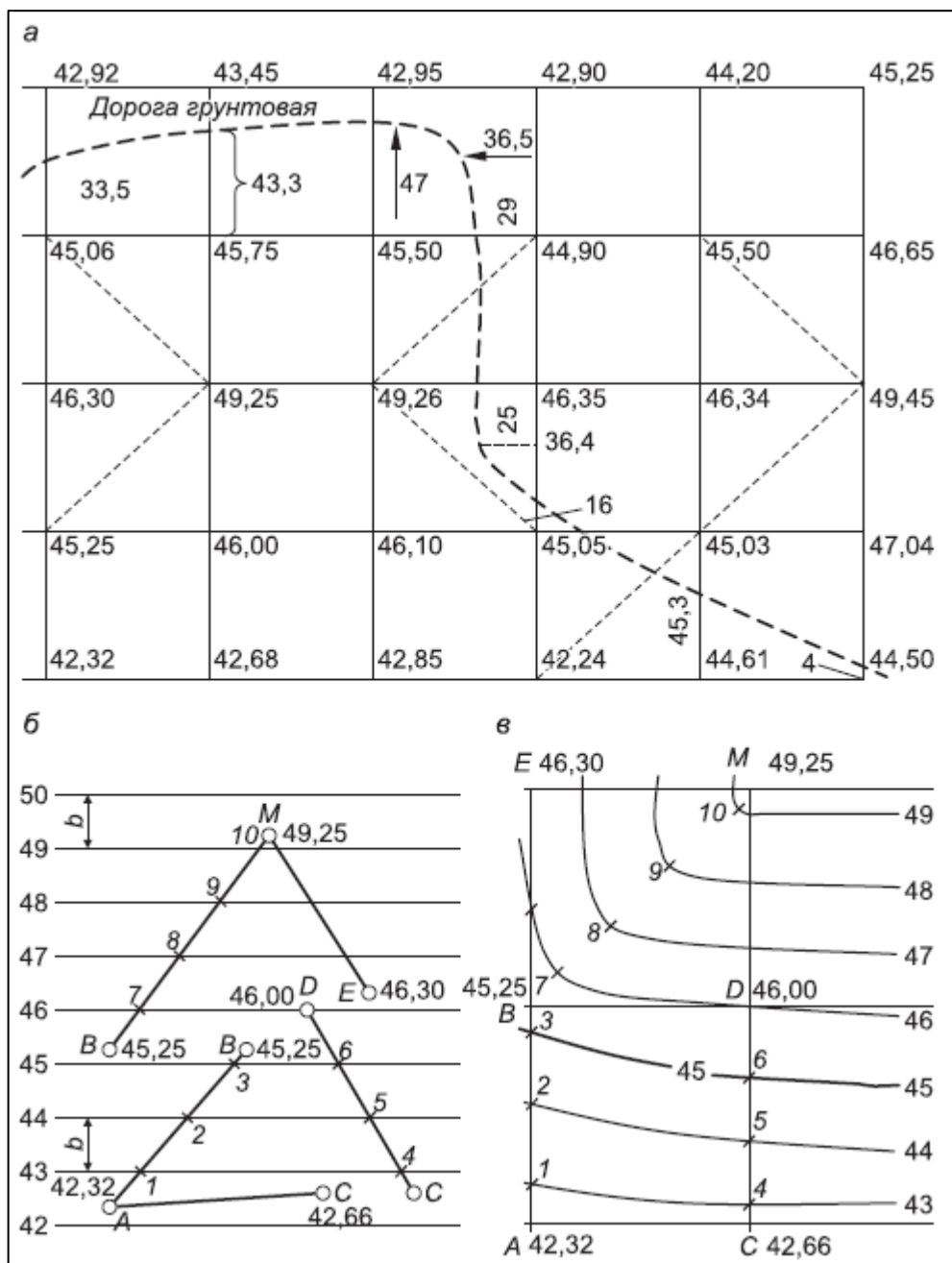
$$h = D \sin v + i - v. \quad (10.5)$$

Составление топографического плана. Как и при подготовке плана по материалам теодолитной съемки на бумажную основу наносят координатную сетку, ее оцифровывают соответственно масштабу плана, наносят пункты съемочного обоснования по их прямоугольным координатам. Затем приступают к нанесению на план съемочных (реечных) точек. При помощи геодезического транспортира и масштабной линейки наносят на план съемочные пикеты по их полярным координатам – горизонтальным углу β_i и расстоянию d_i (рисунок 9.3) с полюсом в точке B и полярным направлением BA . Для нанесения съемочных пикетов предназначен тахеометрический транспортир (рисунок 7.10), который закрепляется на плане иглой через отверстие O в точке B плана и затем ориентируется относительно линии BA .

Ситуацию наносят на план согласно абрису (рисунок 9.3). Рядом с высотными точками подписывают их отметки, используя которые проводят (рисуют) горизонтали.

Горизонтали – линии равных высот служат для изображения рельефа). На крупномасштабных планах их проводят через 1,0; 0,5; иногда 0,25 м. Горизонтали можно наносить на план с помощью прозрачной палетки (рисунок 9.4, б) в виде сетки параллельных линий, прочерченных на листе кальки через равные промежутки величиной b ($b \approx 5-30$ мм), которые должны быть меньше минимального расстояния между горизонталями. Линии палетки подписывают отметками горизонталей для данного участка плана. На рисунке 9.4, в горизонтали проведены относительно точек, расположенных в вершинах сетки квадратов. Подписи линий палетки соответствуют высоте сечения $h_c = 1$ м. Палетку кладут на план (рисунок 9.4, б) так, чтобы точка A расположилась между линиями палетки 42 и 43 пропорционально своей отметке $42,32 \approx 42,3$ м. Прижимают палетку в точке A заостренным предметом (шариковой ручкой без пасты) и поворачивают в положение, при котором точка B располагается между линиями 45 и 46 пропорционально своей отметке 45,25. Точки 1, 2, 3 пересечения отрезка AB линиями палетки переносят на план (рисунок 9.4, в) – через эти точки (следы) затем пройдут горизонтали. Линию 46 палетки на плане совмещают с

точкой D (ее отметка 46 м) и поворачивают вокруг точки D в положение, при котором точка C располагается между линиями 42 и 43 пропорционально своей отметке 42,66. Затем на отрезке CD плана отмечают точки 4, 5, 6 – следы горизонталей.



а – план участка; б – применение палетки;
в – нанесение горизонталей через их следы

Рисунок 10.4 – Нанесение на план горизонталей

Аналогично находят следы горизонталей на линиях ВЕ, ВМ, МЕ и остальных. Затем через равнозначные следы проводят горизонтали – плавные линии, которые местами дополняют подписями их высоты и бергштрихами.

План, составленный карандашом, тщательно проверяют, после чего вычерчивают тушью, соблюдая образцы начертания и размеры топографических условных знаков, пояснительных надписей, оформления рамок и размещения зарамочных надписей. На практике находят применение готовые условные знаки, которые переносят на план с прозрачной основы.

Высоту горизонтали подписывают так, чтобы основание цифр располагалось в сторону понижения местности. Горизонтали дополняются бергштрихами, показывающими направление понижения местности. На картах и планах горизонтали прочерчивают плавными линиями светло-коричневого цвета и некоторые из них утолщают: каждую пятую при $h_c = 1, 2, 5$ и 10 м и каждую четвертую при $h_c = 0,5$ м и $2,5$ м. Отметки высот характерных точек рельефа (вершин повышений, дна понижений) подписывают в количестве до 3–4 отметок на 1 дм^2 плана. На инженерно-топографических планах застроенной территории отметки покрытия дорог, тротуаров, бордюров, люков смотровых колодцев и других наземных инженерных объектов указывают в соответствии с действующими техническими документами.

Пояснительные надписи и цифровые данные располагают параллельно северной (южной) стороне рамки. На топографическом плане, составленном по материалам нивелирования поверхности, не показывают сетку квадратов, за исключением тех случаев, когда эти данные нужны для составления проектов вертикальной планировки территории и подсчетов объемов земляных масс.

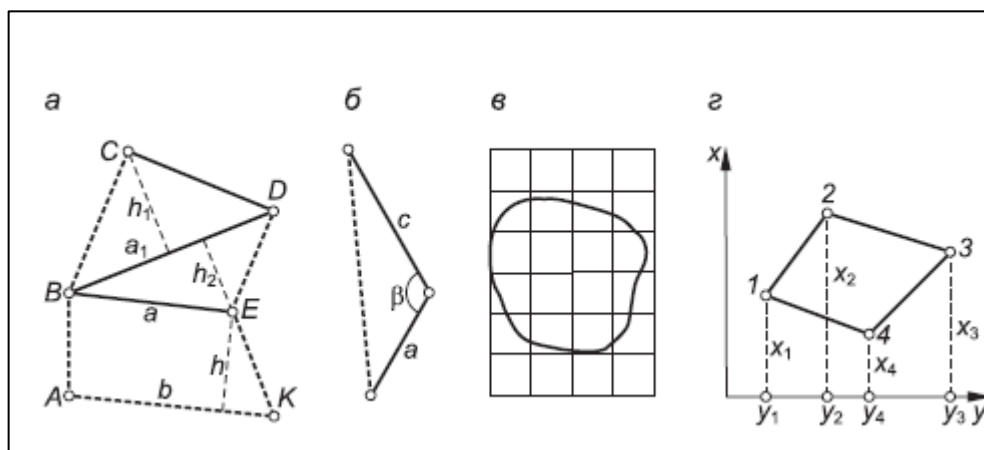
ТЕМА 11. Определение площадей

1. Аналитические и графические способы измерения площадей.
2. Механический способ измерения площадей по карте.

1. Аналитические и графические способы измерения площадей

Площадь участков земной поверхности определяют на местности по топографическим чертежам аналитическим или механическим способами. На местности площадь геометрически простого участка определяют по результатам измерений его размеров. Площади земель определяют также аналитически – по координатам вершин граничного замкнутого многоугольника.

Геометрические способы определения площади применяются для небольших участков. *На местности* (рисунок 11, а) сложный контур $ABCDEK$ разделяют на простые геометрические фигуры, вершины которых обозначают вехами.



а, б – измерением геометрических фигур;
в – палеткой; г – по координатам

Рисунок 11.1 – Геометрические способы определения площадей

В трапеции $ABEK$ измеряют основания a и b , высоту h , а в треугольниках BCD и BDE измеряют основание a_1 , высоты h_1 и h_2 .

Площадь участка будет равна:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = \frac{h(a + b)}{2} + \frac{a_1 h_1}{2} + \frac{a_1 h_2}{2}. \quad (11.1)$$

Если в треугольнике (рисунок 11.1, б) измерить две стороны и угол β между ними, то

$$P = \frac{0.5ac}{\sin\beta}. \quad (11.2)$$

Площадь рассмотренными способами определяется с относительной погрешностью 1/1000 – 1/500.

Аналогичные способы можно применить для *графического определения площади по плану* масштаба 1:М, но с относительной погрешностью 1/50 – 1/1000, зависящей от масштаба и точности плана. С помощью карандаша и линейки контур *ABCDEK* (рисунок 11, а) разграфляют на плане на простые фигуры, а их площади в нашем примере будут вычисляться по формулам (11.1) Линейные величины *a*, *b* и *h* определяются по плану с погрешностями до 0,5 мм за счет неточностей изображения границ общего контура.

Площадь по плану или карте можно определить при помощи *палетки*, представляющей прозрачный лист пластика, на который нанесена сетка равных по площади фигур, например квадратов со стороной от 2 до 10 мм (рисунок 11, в). Палетку кладут на план и подсчитывают внутри фигуры число n_1 целых квадратов и число n_2 равных им квадратов, но составленных на глаз из частей, прилегающих к линии контура. Площадь участка будет равна:

$$P = p(n_1 + n_2), \quad (11.3)$$

где p – площадь одного квадрата в масштабе плана.

Площадь затем определяют второй раз после поворота палетки на 40–50° и выводят среднее из результатов. Относительная погрешность определения площади палеткой составляет 1/50 – 1/200 без учета погрешности, вызванной не точным изображением контура на плане.

Аналитический способ определения площади применяют для замкнутых плоских многоугольников, в которых известны координаты x и y всех вершин (к таким многоугольникам относятся граница населенного пункта, промышленного или сельскохозяйственного предприятия, территории стройплощадки и т.д.).

Площадь замкнутого многоугольника вычисляют по различным формулам аналитической геометрии, наиболее распространены следующие:

$$\begin{aligned} 2P &= \sum_i^n x_i(y_{i+1} - y_{i-1}), \quad i = 1, 2, \dots, n \\ 2P &= \sum_i^n y_i(x_{i-1} - x_{i+1}), \quad i = 1, 2, \dots, n' \end{aligned} \quad (11.4)$$

следовательно удвоенная площадь многоугольника равна сумме произведений каждой абсциссы на разность ординат передней и задней по ходу точек, а также сумме произведений каждой ординаты на разность абсцисс задней и передней по ходу точек. Для многоугольника 1-2-3-4 (рисунок 11.1, з):

$$\begin{cases} 2P = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3) \\ 2P = y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1) \end{cases} \quad (11.5)$$

Площадь вычисляют отдельно по каждой формуле (11.5) с промежуточным контролем разностей координат на условие:

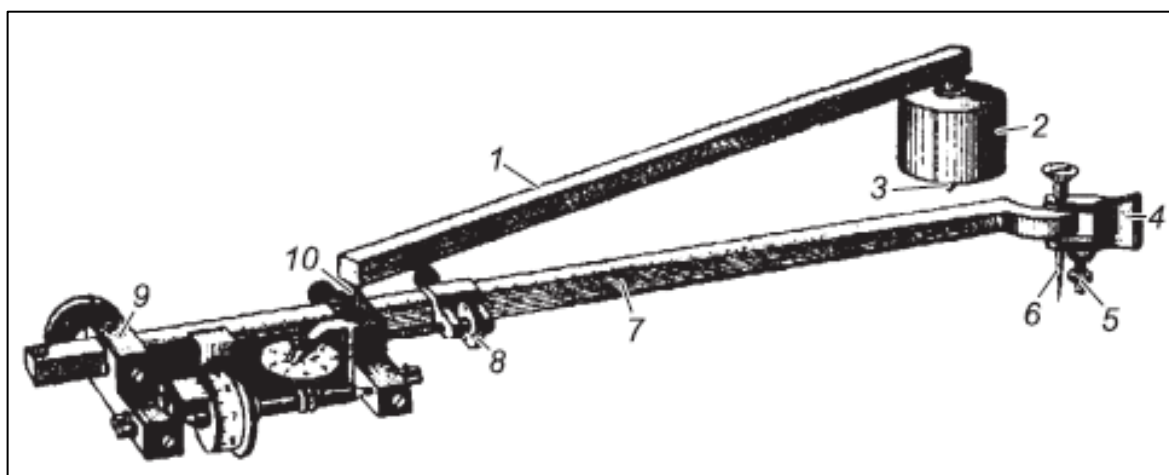
$$\begin{aligned} 2P &= \sum_i^n (y_{i+1} - y_{i-1}), \quad i = 1, 2, \dots, n \\ 2P &= \sum_i^n (x_{i-1} - x_{i+1}), \quad i = 1, 2, \dots, n' \end{aligned} \quad (11.6)$$

Точность расчетов по формулам (11.4) определяется погрешностями координат. Если координаты вершин многоугольника получены теодолитным ходом, то площадь участка получается с относительной погрешностью $1/500 - 1/2000$. В случае неверно записанного значения хотя бы одной из координат x_i или y_i получается ошибочное значение площади при полном совпадении результатов расчетов по формулам (11.4) и (11.6). Такую ошибку можно обнаружить по чрезмерному расхождению между площадью многоугольника и суммой площадей контуров внутри него, нанесенных на план и измеренных планиметром.

2. Механический способ измерения площадей по карте

Механический способ определения площади по чертежу реализуется с помощью полярного планиметра.

Полярный планиметр – это механическое устройство для определения площади фигур на планах и картах, а также на других чертежах (рисунок 11.2).

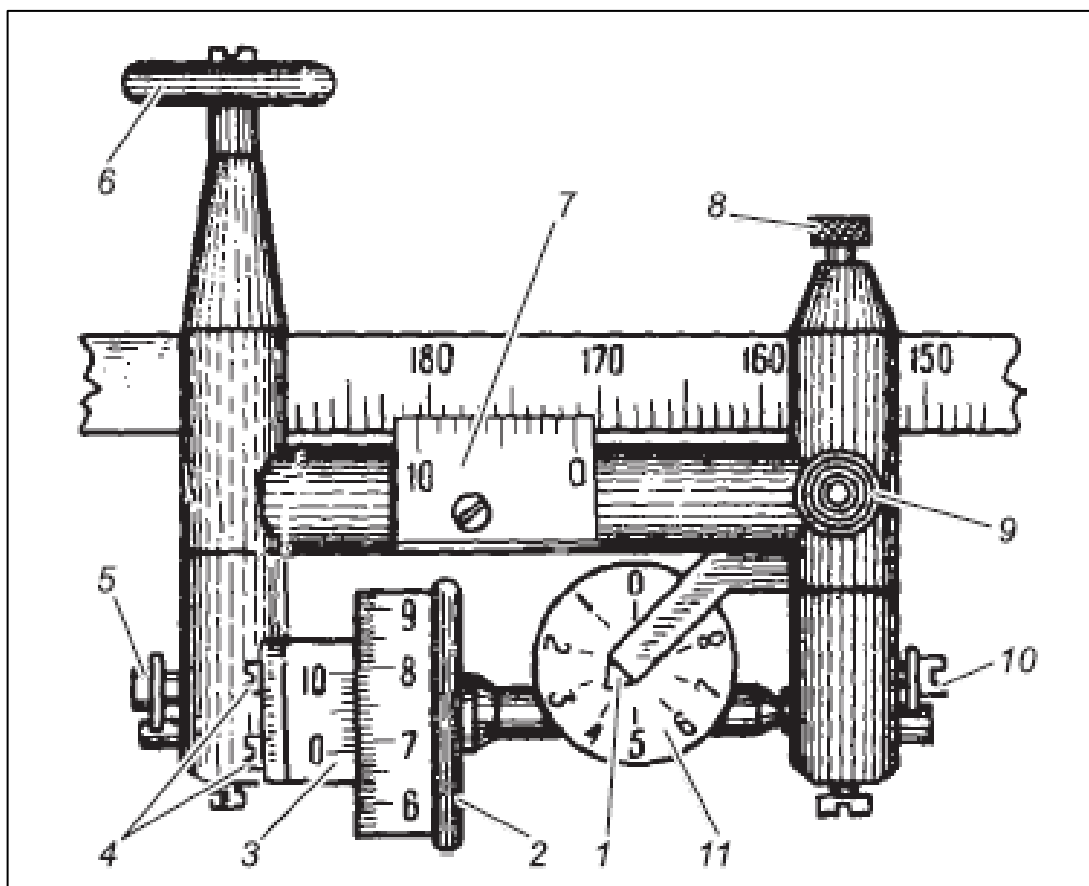


- 1 – полюсный рычаг; 2 – груз; 3 – игла; 4 – ручка; 5 – опорный штифт;
6 – обводный шпиль; 7 – обводный рычаг; 8 – установочный винт;
9 – опора корпуса счетного механизма; 10 – гнездо соединения рычагов

Рисунок 11.2 – Полярный планиметр

На полюсном рычаге 1 планиметра закреплен груз с иглой 3 , представляющей полюс O_n планиметра, вторым концом полюсный рычаг шарнирно входит в гнездо 10 корпуса счетного механизма, установленного на

обводном рычаге. Обводный шпиль *б*, укрепленный на обводном рычаге, представляет обводную точку (марку) *М*. Рабочий радиус *R* обводного рычага равен расстоянию *АМ* между центром шарнира и обводной точкой *М*. Этот радиус можно изменить перемещением корпуса счетного механизма вдоль обводного рычага (рисунок 11.3), а величину радиуса отсчитать по шкале на обводном рычаге и верньере счетного механизма (на рисунке 11.3 $R=1713$).



- 1 – указатель; 2 – счетное колесо;
- 3 – верньер счетного механизма;
- 4 – винты регулировки зазора между верньером и сетным колесом;
- 5, 10 – винты регулировки счетного колеса; 6 – опорный ролик;
- 7 – верньер шкалы радиуса планиметра;
- 8 – закрепительный винт корпуса счетного механизма;
- 9 – гнездо соединения рычагов;
- 11 – циферблат счетчика оборотов счетного колеса

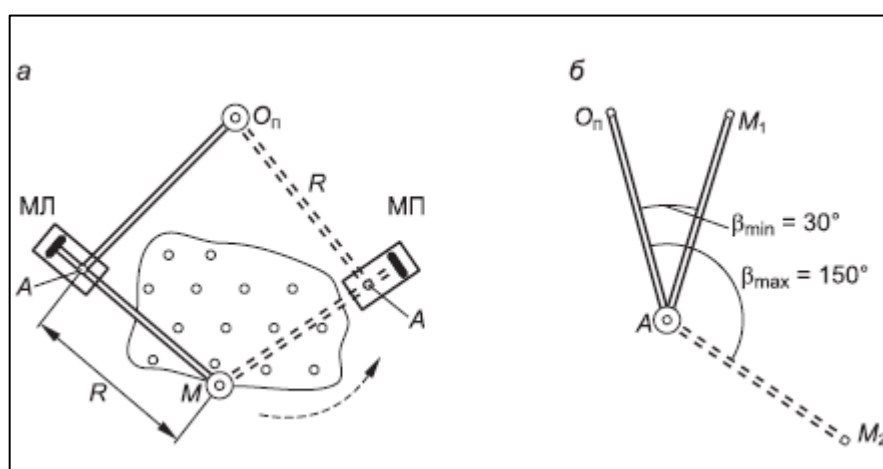
Рисунок 11.3 – Счетный механизм планиметра

Отсчет по шкалам счетного механизма содержит четыре цифры (рисунок 11.3). Здесь отсчет $u = 3684$, где 3 – отсчет по циферблату оборотов счетного колеса; 684 – отсчет по шкале счетного колеса относительно нулевого штриха верньера (68 – номер штриха расположенного ниже нуля верньера; 4 – номер совмещенного штриха верньера).

До начала работ планиметр необходимо проверить на комплектность и устранить обнаруженные механические неисправности, затем выполнить следующие поверки устройства:

1. Счетное колесо должно свободно вращаться при минимальном люфте и с небольшим (0,1–0,2 мм) зазором относительно пластинки верньера. При юстировке вращают два осевых винта 5 и 10 (рис. 11.3), в отверстия которых входят конические концы оси счетного колеса.

2. Ось счетного колеса должна быть параллельна прямой, проходящей через обводный шпиль (или метку) и центр шарнира. Для проверки контур обводят шпилем (маркой M) несколько раз в положении планиметра МЛ «счетный механизм слева от фигуры» (рисунок 11.4, а) и столько же раз в положении МП «счетный механизм справа от фигуры», не меняя точки полюса O .



а – вторая поверка планиметра;
б – допустимые углы между рычагами

Рисунок 11.4 – Положение планиметра

Если средние разности отсчетов $n_{МЛ}$ и $n_{МП}$ различаются в пределах точности измерений планиметром, то условие считается выполненным. Для юстировки исправительным винтом изменяют угол между корпусом счетного механизма и обводным рычагом.

При работе с неотъюстированным на данное условие планиметром каждую фигуру следует обводить при двух положениях планиметра – МП и МЛ и за окончательный результат принимать среднее.

Для измерения площади план кладут на расположенную горизонтально чертежную доску с гладкой поверхностью. Полюс полярного планиметра можно закреплять на плане в положении *вне контура* или в положении *внутри контура*, предпочтительное положение полюса – вне контура. Выбирают положение полюса так, чтобы при обводе контура угол β между рычагами (рисунок 11.4, б) не был меньше 30 и больше 150°. Обводную точку M совмещают с какой-либо точкой K контура. По счетному механизму берут отсчет u_1 (рисунок 7.21, б), затем контур плавно обводят точкой M и завершают обвод в точке K и берут

отсчет u_2 (желательно обводить против часовой стрелки, в этом случае последовательные значения отсчетов u_i уменьшаются и это удобно для вычислений). Разность отсчетов $u_1 - u_2 = n_1$ представляет площадь в делениях планиметра.

Продолжают обводы, берут отсчеты u_i и вычисляют разности отсчетов n_i , которые не должны различаться между собой более чем на две единицы при $n \leq 200$, на четыре при $n \leq 1000$, на шесть при $n \leq 2000$. Вычисляют среднюю площадь n в делениях планиметра. В таблице 11.1 приведена пример схемы записей величин отсчетов и результатов вычислений при определении площади полярным планиметром на плане масштаба 1:1000 с радиусом $R = 2816$ и положением вне контура.

Таблица 11.1 – Схема записи величин и результатов вычислений планиметром

Буквенные обозначения			Численный пример		
отсчетов u_i	Разности отсчетов n_i	средней разности отсчетов n	отсчетов u_i	Разности отсчетов n_i	средней разности отсчетов n
u_1	$u_1 - u_2 = n_1$	n	6949	1015	1013
u_2	$u_2 - u_3 = n_2$		5934	1011	
u_3	$u_3 - u_4 = n_3$		4923	1013	
u_4			3910		

Если полюс расположен вне фигуры, ее площадь в масштабе плана вычисляется по формуле:

$$P = cn, \quad (11.7)$$

где c – цена деления планиметра;

n – разность начального и конечного отсчетов при обводе замкнутого контура.

Если же полюс находится внутри фигуры, то площадь вычисляется по формуле:

$$P = cn + Q, \quad (11.8)$$

где Q – постоянное слагаемое.

Величины c и Q зависят от масштаба плана и радиуса планиметра.

Определение постоянных планиметра c и Q . На плане данного масштаба выбирают простую фигуру с известной площадью P , например квадрат координатной сетки 10×10 см или два таких квадрата и в положении “полюс вне

контура” 4–5 раз обводят планиметром контур, находят среднюю разность n и цену деления планиметра:

$$c = \frac{P}{n}. \quad (11.9)$$

Для определения постоянной Q выбирают фигуру, которую можно обвести с полюсом внутри и вне ее. Площадь, вычисленная двумя способами будет равна:

$$P = cn_1 + Q = cn_2, \quad (11.10)$$

тогда постоянную Q можно вычислить:

$$Q = c(n_2 - n_1).$$

На примере измерений таблицы 11.1 будет определена цена деления планиметра. На плане масштаба 1:000 квадрат 10×10 см соответствует площади $10\,000 \text{ м}^2 = 1$ га. Четырехкратным обводом этого контура с полюсом вне контура получена средняя разность отсчетов $n = 1013$.

Цена деления планиметра $c = 10\,000/1013 = 9,8717 \text{ м}^2/1$ деление или же $1/1013 = 0,0009871$ га/1 деление. Такая “некруглая” цена деления осложняет устные вычисления по формулам (11.7) и (11.8).

Для изменения цены деления планиметра изменяют радиус R обводного рычага до значения R_0 , рассчитанного по формулам:

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{Rc_0}{c} \\ R_0 &= \frac{Rn}{n_0} \end{aligned} \quad (11.11)$$

где n_0 – средняя разность отсчетов, отвечающая значению c_0 .

В данном примере круглое значение $c_0 = 10 \text{ м}^2/1$ деление, ему соответствует радиус $R_0 = 2816 (10 / 9,8717) = 2853$ или $R_0 = 2816 (1013 / 1000) = 2853$. После установки радиуса R_0 проверяют новую цену деления несколькими обводами контура.

Зависимость цены деления планиметра от масштаба плана. Если при многократном обводе контура, например квадрата размером 10×10 см, средняя разность отсчетов $n_{\text{ср}} = 1000 \pm 2$ деления, то практически точные значения цены деления планиметра (формула 11.9) будут равны:

- $c = 0,1$ га/дел. для плана масштаба 1:10 000;
- $c = 10 \text{ м}^2/\text{дел.}$ (0,001 га/дел) для плана масштаба 1:1000;
- $c = 2,5 \text{ м}^2/\text{дел.}$ (0,00025 га/дел) для плана масштаба 1:500.

Если же при обводе указанного квадрата величина $n_{\text{ср}}$ заметно отличается от 1000, то цена деления будет неудобной для устных расчетов. Для коррекции

цены деления в соответствии с формулой (11.11) счетный механизм перемещают на радиус $R_o = Rn_{cp} / 1000$, где R – радиус, при котором получено n_{cp} . Результат коррекции проверяют несколькими обводами фигуры с известной площадью.

ТЕМА 12. Геодезические сети

1. Виды геодезических сетей. Методы построения плановых геодезических сетей.

2. Государственные геодезические сети и их классификация.

1. Сети сгущения и съемочные плановые сети, сети специального назначения.

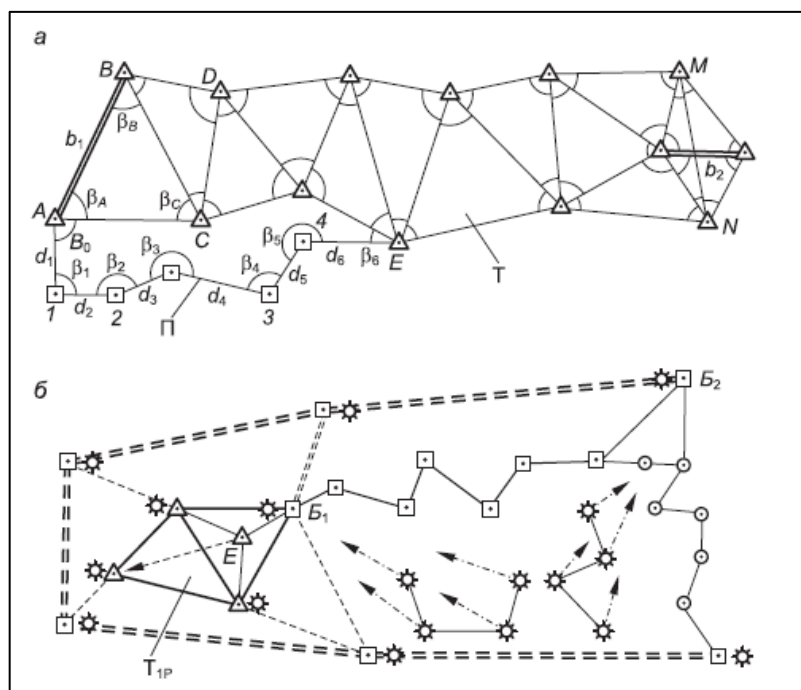
2. Закрепление геодезических сетей на местности.

1. Виды геодезических сетей. Методы построения плановых геодезических сетей.

Геодезическая сеть представляет собой совокупность закрепленных на местности пунктов, для которых в единой системе определены координаты и высоты.

Геодезические сети могут быть *плановыми*, *высотными* или одновременно теми и другими. По назначению геодезические сети подразделяют на четыре вида: *государственные*, *сгущения*, *съемочные* и *специальные*.

Основной принцип построения геодезической сети – от общего к частному. Он заключается в том, что вначале с высокой точностью определяется взаимное положение сравнительно небольшого числа пунктов, расположенных на большой территории. Затем, используя эти пункты, переходят к построению более густой сети меньшей точности (рисунок 12.1).



а – триангуляции (Т) и полигонометрии (П)

б – спутниковые сети

Рисунок 12 – Плановые геодезические сети

Такой метод позволяет быстро распространить единую координатную систему на большие расстояния, производить съемку местности одновременно в разных местах, обеспечивает надежный контроль работ и равномерное распределение ошибок по всей территории.

Плановые координаты пунктов геодезических сетей в прошлом определялись методами триангуляции и полигонометрии, в некоторых случаях методом трилатерации.

При методе триангуляции (рисунок 12.1, а) в треугольниках измеряют все углы и минимум две стороны на разных концах сети (вторая сторона для контроля). Остальные стороны вычисляют, используя теорему синусов. Для вычисления координат всех точек надо знать координаты хотя бы одной точки и дирекционный угол одной линии.

Метод трилатерации отличается от триангуляции тем, что в треугольниках измеряются не углы, а стороны. Для измерения сторон обычно используют электронные дальномеры. Углы вычисляются по измеренным сторонам, например, по теореме косинусов.

Метод полигонометрии (рисунок 12.1, а) заключается в построении сети ходов, в которых измеряются все углы и стороны. Полигонометрические ходы отличаются от теодолитных более высокой точностью измерений.

Высотная сеть строится по методу геометрического нивелирования.

В настоящее время для построения геодезических сетей применяют спутниковые методы измерений.

К концу 80-х годов XX столетия в результате практической реализации большого объема сложных научных и технических разработок в Соединенных Штатах Америки была создана спутниковая глобальная система позиционирования (определения координат или местоопределения) GPS.

В России создана аналогичная система ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система).

Спутники GPS размещены в шести орбитальных плоскостях, наклоненных относительно плоскости экватора на 55° , высота над поверхностью Земли около 20 150 км. На рисунке 12.2 показан пример расположения таких спутников в трех орбитальных плоскостях В, Е и F из 6 существующих.

В настоящее время спутниковые системы, аналогичные GPS и ГЛОНАСС созданы в Западной Европе, Китае и в других странах.

Каждая навигационная спутниковая система состоит из трех сегментов: *космический сегмент* (навигационные спутники), *сегмент управления* (расположенная на земле сеть наземных станций, выполняющих непрерывные наблюдения всех спутников созвездия, передающая им обновленную информацию и управляющая их полетом) и сегмент *пользователей* (аппаратура потребителей). В настоящее время можно выделить четвертый сегмент – *система дифференциальных поправок*.

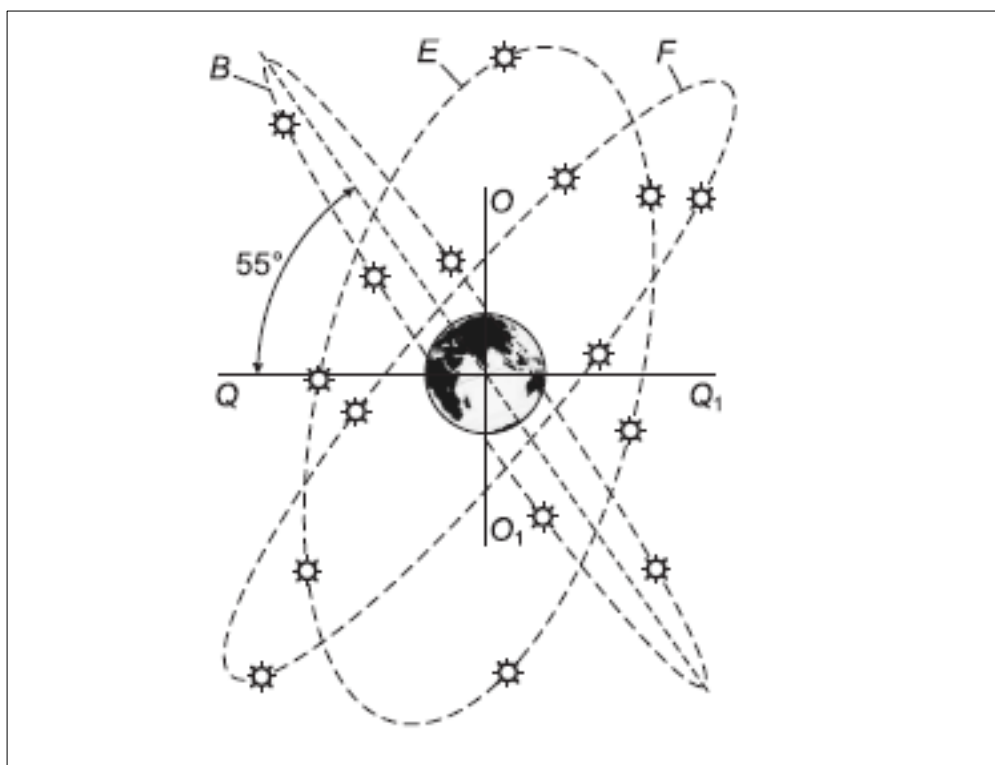


Рисунок 12.2 – Схема части космического сегмента GPS

Сущность спутниковой технологии состоит в использовании глобальной навигационной спутниковой системы и системы вычислительной обработки (компьютера и программного обеспечения) для получения координат и высот точек.

Задача определения координат пунктов в принципе решается следующим образом. Запускаются специальные искусственные спутники с траекториями в разных плоскостях с таким расчетом, чтобы из любой точки земной поверхности одновременно наблюдалось несколько спутников.

На спутниках устанавливаются передатчики электромагнитных колебаний и атомные часы. За спутниками ведется постоянное наблюдение с опорных пунктов.

Если в какой-то момент времени t одновременно измерить расстояние до спутника от нескольких опорных пунктов, то, решив пространственную засечку, можно определить для этого момента времени пространственные координаты спутника. В результате для любого момента времени координаты спутников будут известными.

Для определения координат создаваемого пункта на земной поверхности устанавливают на нем приемник электромагнитных колебаний, с помощью которого одновременно измеряют расстояния до нескольких спутников.

Зная координаты спутников для данного момента времени и расстояния до них, вычисляют координаты определяемого пункта. Затем от пространственных координат переходят к системе координат, принятой в данном государстве.

2. Государственные геодезические сети и их классификация

Государственная геодезическая сеть создается для распространения на всю территорию страны единой системы плановых координат и высот.

Геодезическая основа Республики Беларусь реализована в виде государственной геодезической сети (ГГС), ранее созданной на территории бывшего СССР. Государственная (опорная) геодезическая сеть СССР подразделялась на:

- сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1, 2, 3 и 4 классов;
- нивелирные сети I, II, III, IV классов.

Плановые координаты пунктов государственных геодезических сетей в прошлом определялись методами триангуляции и полигонометрии, в некоторых случаях методом трилатерации. В настоящее время координаты существующих геодезических пунктов уточняются, а новых пунктов определяются при помощи геодезических приборов, основанных на спутниковых системах позиционирования. Применяются также методы триангуляции и полигонометрии и их комбинаций.

Пункты государственных геодезических сетей 1-го и 2-го классов являются исходными для развития геодезических сетей любого назначения на территории государства. Расстояния между ними составляют 7–25 км. Для увеличения плотности исходных геодезических пунктов внутри сетей 1-го и 2-го классов выполняется развитие сетей триангуляции и полигонометрии 3-го и 4-го классов (длины сторон 2–8 км).

Плановые сети в течение многих лет не обновлялись. По своему состоянию и точности они уже не отвечают современным требованиям. Поэтому в России и Республике Беларусь были разработаны программы модернизации ГГС на основе спутниковых методов определения координат.

Для модернизации государственной геодезической сети СССР, созданной методами триангуляции и полигонометрии, ее пункты были заново определены спутниковыми методами в системе ПЗ-90. Погрешности расстояний в 10–15 км между соседними пунктами уменьшились с 10–15 см до 2–4 см.

Спутниковые технологии заложены в основу работ по дальнейшему повышению точности государственных и местных геодезических сетей.

Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь создается в соответствии с нормативными документами: государственными стандартами СТБ 1653-2006 и СТБ 1820-2007, а также техническими кодексами установившейся практики: ТКП 120-2007 (03150 «Порядок создания фундаментальной астрономо-геодезической сети» и ТКП 119-2007 (03150 «Порядок создания спутниковой геодезической сети I класса»). Работы по сгущению сети опорных геодезических пунктов осуществляются спутниковыми методами.

Главной геодезической основой территории Беларуси служит спутниковая ВГС, созданная в 1998 г., координаты ее центрального пункта «Минск» определены также в системе ФАГС Российской Федерации.

В настоящее время ГГС состоит из взаимосвязанных геодезических сетей различных классов точности, создаваемых по принципу от общего к частному и включает:

- *фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС);*
- *высокоточную геодезическую сеть (ВГС);*
- *спутниковую геодезическую сеть 1-го класса (СГС-1);*
- *геодезические сети сгущения (ГСС).*

Высотная координата (отметка) репера в прошлом определялась только наземными способами нивелирования (измерения превышений), которые подразделяются на нивелирование I, II, III и IV классов.

3. Сети сгущения и съемочные плановые сети, сети специального назначения

Сети сгущения необходимы для увеличения количества опорных пунктов на территории города или крупного промышленного предприятия при геодезическом обеспечении съемочных и строительных работ. Сети сгущения создаются относительно пунктов более высокого класса точности методами триангуляции, или полигонометрии, или спутниковыми. Отдельные пункты сетей сгущения могут определяться методами геодезических засечек.

По точности эти сети подразделяются на сети 1-го и 2-го разрядов. Для них в качестве исходных служат геодезические пункты 1-4 классов. Средние квадратические погрешности измерения углов в разрядных сетях составляют 5" и 10" и характеризуются относительной погрешностью сторон не более 1/20 000 и 1/10 000.

Съемочное геодезическое обоснование предназначено для координатной привязки в плане и по высоте материалов топографических съемок, изыскательских и инженерно-геодезических работ. Съемочное обоснование развиваются внутри сетей сгущения. Пункты съемочного обоснования выбирают с учетом технологии предстоящих съемочных и изыскательских работ и их центры закрепляют на местности постоянными или временными знаками (металлическими или деревянными).

Координаты пунктов съемочного обоснования определяют полигонометрией, микротриангуляцией и различными засечками технической точности, при этом углы в треугольных фигурах не должны быть меньше 30 и не больше 150°, а длина их сторон не больше 150–250 м. Полигонометрический ход технической точности называют теодолитным ходом, в нем углы измеряются со средней квадратической погрешностью 30", стороны длиной от 20 до 350 м – с допустимой относительной погрешностью 1/1000 – 1/3000.

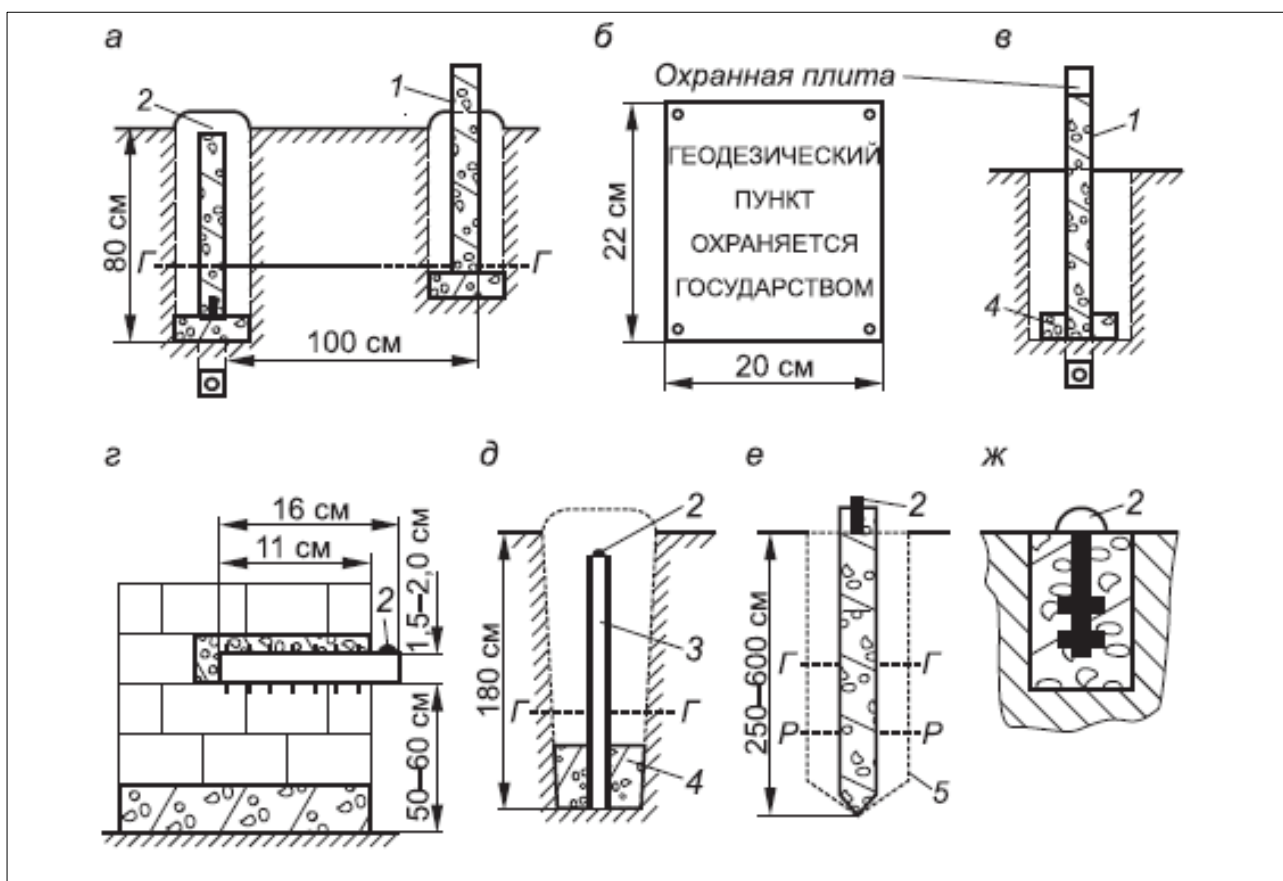
Сети специального назначения создаются для геодезического обеспечения строительства, как правило, уникальных: энергетических, гидротехнических, мелиоративных и др. Методы создания таких сетей могут быть любыми из рассмотренных, но при этом точность определения взаимного положения пунктов может существенно превосходить любые из ранее рассмотренных. Этого добиваются применением специальных методик и приборов для

производства измерений. Для закрепления координированных точек применяют специальные типы центров, обеспечивающие их стабильное пространственное положение на период строительства и эксплуатации объекта.

4. Закрепление геодезических сетей на местности

Точки геодезических сетей закрепляют на местности знаками. По местоположению знаки бывают: грунтовые и стенные, заложенные в стены зданий и сооружений; металлические, железобетонные, деревянные и т.д.; по назначению – постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей, и временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции, наблюдений и т.д.

Постоянные знаки закрепляют подземными знаками – центрами (рисунок 12.3).



а, д – репер грунтовый для зоны сезонного промерзания; б, в – охранная плита и опознавательный столб; г – стенной репер; е – репер свайный для закладки в скважине ниже зоны рыхлых грунтов; ж – репер плитный (цокольный) для закладки в конструкциях сооружений; 1 – опознавательный столб; 2 – носитель высотной координаты (выступ для постановки нивелирной рейки); 3 – труба диаметром 30–50 мм или отрезок рельса; 4 – якорь бетонный; 5 – скважина; Г – граница глубины промерзания грунтов; Р – основание слоя рыхлого грунта

Рисунок 12.3 – Схемы реперов и знаков

Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течение длительного периода времени. Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит, закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которой наносят центр в виде креста или точки. Положению этого центра соответствуют координаты X и Y и во многих случаях отметки H .

Для того чтобы с одного знака был виден другой (смежный), над подземными центрами устанавливают наружные знаки в виде металлических или деревянных трех- или четырехгранных пирамид или сигналов.

Пирамиды или сигналы имеют высоту 3 - 30 м и более. Геодезический сигнал 3 с подземным центром 2 и столиком 5 предназначен для установки измерительных приборов и настила 4 при работе на нем наблюдателя. Верх сигнала или пирамиды заканчивается визирной целью 6, на которую при измерении углов направляют зрительную трубу теодолита. На столик устанавливают также отражатель, если измеряют расстояния между пунктами светодальномером. Для спутниковых измерений сигналы и пирамиды строить нет необходимости.

Как правило, пункты плановых разбивочных сетей и сетей сгущения закрепляют подземными центрами, такими же как и пункты государственных сетей. Так как расстояния между этими пунктами сравнительно небольшие, оформления их наружными знаками не требуется. Иногда над ними устанавливают Г-образные металлические или деревянные вехи. В городах знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий. Знаки могут закладывать в зданиях и сооружениях, в этом случае их называют стенными.

Государственные высотные сети всех классов закрепляют на местности грунтовыми реперами. Стенные реперы закрепляют в фундаментах устойчивых сооружений – водонапорных башен, капитальных зданий, каменных устоев мостов и т. д. В стенных реперах высоту определяют для центра отверстия в сферической головке.

Точки съемочных, а иногда и разбивочных сетей закрепляют временными знаками – деревянными или бетонными столбами, металлическими штырями, отрезками рельсов и т. д. Их закрепляют в земле на глубину до 2 м. В верхней части такого знака крестом, точкой или рискуй отмечают местоположение центра или точки с высотной отметкой.

При продолжительности использования (более полугода) временные знаки закладывают на глубину 0,5 м. При наличии твердого покрытия и отсутствии интенсивного движения транспорта используют штыри из отрезков арматуры и труб, деревянные столбики. В процессе строительства на возведенных конструкциях и близ расположенных зданиях высоты и створы осей фиксируют окрасками.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторное занятие №1 Изучение масштабов топографических карт и планов

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №2.

Задание 1.1 Измерить расстояния по карте при помощи циркуля-измерителя и линейных масштабов

На листе чертежной бумаги формата А4 начертить линейный масштаб с основанием $a = 2$ см (рисунок 2.3). Необходимо оцифровать начерченный линейный масштаб применительно к масштабу топографической карты, полученной для работы.

Взять в раствор циркуля-измерителя не менее пяти отрезков между парами четко выраженных точек на каждой карте и, пользуясь, линейным масштабом, напечатанным внизу карты, определить и записать значения измеренных расстояний в таблицу отчета, составленную по примеру таблицы 2.1.1 Те же измерения повторить, пользуясь своим чертежом линейного масштаба.

Вычислить расхождения результатов, сделать выводы о погрешности полученных значений s и s' по отношению к точности масштаба t согласно формуле (1.1).

Таблица 2.1.1 – Измерения расстояний по карте

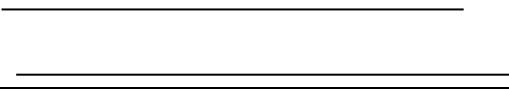
№ измерения	1:М =		
	результат измерения по линейному масштабу, м		расхождение, м
	карты s	чертежа s'	$s - s'$
1			
2			
3			
4			
5			

Задание 1.2. Построить расстояния при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба.

Начертить с максимальной точностью поперечный масштаб согласно рисунку 2.4, а ниже поместите таблицу, формат которой приведен в таблице 2.1.2.

В графе 2 таблицы записать вычисленные значения расстояний на местности, L – число метров, равное номеру варианта. Отрезки s_n на плане масштаба 1:М построить в графе 3 с помощью поперечного масштаба и циркуля-измерителя, как показано для масштаба 1 : 500.

Таблица 2.1.2 – Построение расстояния при помощи поперечного масштаба

Масштаб карты, плана	Расстояние на местности s , м	Чертеж отрезка в масштабе $1:M$ s , мм
1	2	3
1:500	8,3+L/3 21,6-L/4	
1:2000	49,4+2L 62,7+2L	
1:10000	377,5+2L 264,3+2L	
1:25000	1226,7+2L 2054,3+2L	
1:50000	2850,5+4L 4015,3+4L	
15 мм	35 мм	120 мм

Лабораторное занятие № 2
Изучение номенклатуры топографических карт и планов

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №2.

Задание 2.1. Для листа карты, указанного в таблице 2.2.1, необходимо определить численный масштаб по номенклатурному обозначению листа, географические координаты углов карты, номенклатурное обозначение 4-х смежных листов того же масштаба, расположенных к северу, востоку, югу и западу и выполнить разграфку листов начиная от масштаба 1:1000000 до численного масштаба номенклатурного обозначения листа.

Таблица 2.2.1 – Исходные данные для заданий 2.1, 4.1

Вариант	Номенклатура	Вариант	Номенклатура	Вариант	Номенклатура
1	N-33-98-Б-в-2	11	O-36-19-А-г-4	21	M-31-61-А-а-3
2	N-32-91-Б-г-2	12	L-33-120-Б-б-2	22	N-34-33-Б-в-2
3	M-37-13-А-г-4	13	O-31-64-А-г-3	23	M-31-66-А-б-3
4	N-33-08-А-в-2	14	N-35-93-Б-б-2	24	L-34-19-Г-а-3
5	M-37-39-А-в-4	15	K-34-43-А-в-2	25	L-36-48-Г-г-3
6	L-36-86-Г-а-3	16	K-32-85-Б-а-1	26	L-31-05-А-а-1
7	M-37-55-Б-г-4	17	O-36-73-А-а-2	27	O-36-76-Г-а-4
8	L-33-126-Г-а-3	18	N-37-133-Б-в-2	28	M-36-59-А-г-3
9	O-36-1-Г-г-4	19	L-35-49-А-г-4	29	O-34-96-А-а-1
10	L-37-26-Г-б-2	20	K-35-100-Б-г-2	30	L-32-46-Г-г-4

Задание 2.2. По известным географическим координатам φ и λ точки К, указанным в таблице 2.2.2, определить номенклатуру листа топографической карты масштаба 1:10 000, на котором изображена точка К и выполнить разграфку листов начиная от масштаба 1:1000000 до масштаба 1:10000.

Таблица 2.2.2 – Исходные данные для заданий 2.2, 2.3

Вариант	Географические координаты		Вариант	Географические координаты	
	φ	λ		φ	λ
1	52° 18' 41"	12° 17' 42"	16	50° 28' 26"	34° 27' 09"
2	53° 19' 44"	27° 47' 12"	17	53° 52' 49"	20° 42' 13"
3	48° 41' 38"	13° 31' 16"	18	55° 52' 19"	35° 44' 43"
4	49° 11' 31"	28° 39' 10"	19	54° 15' 34"	21° 14' 05"
5	49° 11' 12"	14° 12' 29"	20	50° 25' 39"	36° 34' 05"
6	47° 22' 52"	29° 52' 49"	21	57° 01' 12"	22° 11' 16"
7	55° 21' 54"	15° 22' 14"	22	47° 41' 42"	37° 13' 36"
8	54° 01' 14"	30° 42' 19"	23	50° 40' 10"	23° 44' 16"
9	56° 39' 19"	16° 29' 12"	24	50° 10' 10"	38° 34' 46"
10	55° 29' 16"	31° 49' 42"	25	49° 53' 08"	24° 23' 18"
11	51° 13' 39"	17° 19' 33"	26	49° 17' 08"	39° 29' 53"
12	54° 33' 32"	32° 15' 23"	27	53° 26' 43"	25° 29' 54"

Вариант	Географические координаты		Вариант	Географические координаты	
	φ	λ		φ	λ
13	49° 51' 55"	18° 57' 51"	28	46° 26' 46"	40° 09' 04"
14	51° 51' 51"	33° 51' 55"	29	53° 31' 16"	26° 44' 36"
15	50° 16' 17"	19° 17' 19"	30	54° 44' 14"	41° 24' 31"

Задание 2.3. Определить номенклатурное обозначение топографической карты масштаба 1:5000 и географические координаты ее четырех углов, если данной топографической карте принадлежит точка К, широта φ и долгота λ которой указаны в таблице 2.2. Выполнить разграфку листов начиная от масштаба 1:1000000 до масштаба 1:5000.

Лабораторное занятие № 3

«Изучение изображения ситуации на топографических картах и планах»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №2.

Задание 3.1. Выполнить описание ситуации по карте. Преподаватель назначает студенту по карте маршрут, вдоль которого требуется дать последовательное описание прилегающей и более удаленной ситуации местности, пользуясь содержанием карты, выраженным условными знаками и пояснительными надписями.

Пример описания маршрута по рисунку 2.3.1. Маршрут проходит по асфальтированной шоссейной дороге. Ширина покрытой части дороги предположительно составляет 6 м, между кюветами – 10 м. Начальная точка маршрута располагается напротив юго-западного угла сада фруктового, примыкающего к площадке машинно-тракторной мастерской (МТМ). Вдоль ограды сада и МТМ дорога проходит на насыпи высотой 1 м. В 20 м севернее угла ограды МТМ расположен перекресток дорог, к которому с северо-запада примыкает второстепенная асфальтированная дорога и грунтовая дорога с юго-восточного направления. Далее в 60–80 м к северо-западу от шоссейной дороги расположен участок, заросший кустарником. Затем дорога проходит в земляной выемке глубиной 1 м и длиной 15 метров. Далее слева от маршрута в 100–50 м расположены куртины леса необозначенной породы. Вдоль восточной обочины имеется ряд придорожных деревьев.

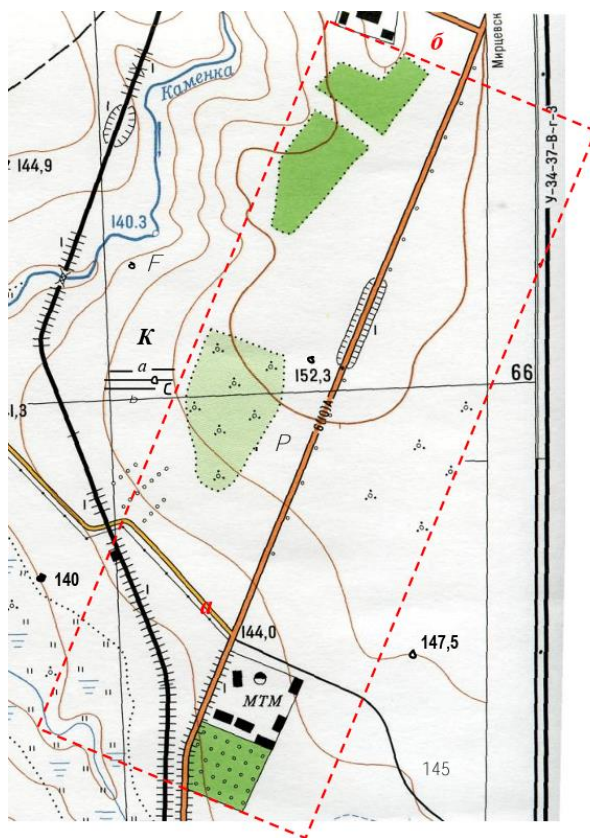


Рисунок 2.3.1 – Обозначенный маршрут

Лабораторное занятие № 4
«Измерение длин линий по топографических картам»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №3.

Преподаватель назначает каждому студенту по карте прямую, ломаную и извилистую линии.

Задание 4.1. Измерить длину прямой линий на карте. Результаты вносятся в таблицу вида таблицы 2.4.1.

Таблица 2.4.1 – Результаты измерения прямой линии

Линия	Результат измерения, м		Разности, м		s _{ср} , м
	s _{пр}	s _{обр}	Δs	Δs _{доп}	
6812–6714	1934	1920	14	20	1927

Задание 4.2. Измерить длину ломанной линий на карте. Результаты вносятся в таблицу вида таблицы 2.4.2.

Таблица 2.4.2 – Результаты измерения ломанной линии

Объект	Результат измерения, м		n	Разности, м		s _{ср} , м
	s _{пр}	s _{обр}		Δs	Δs _{доп}	
ограда	670	680	5	10	22	675

Задание 4.3. Измерить длину извилистой линий на карте. Результаты вносятся в таблицу вида таблицы 2.4.3.

Таблица 2.4.3 – Результаты измерения извилистой линии

Объект	Результат измерения		n _{ср}	Разности, м		L, м
	n _{пр}	n _{обр}		Δn	Δn _{доп}	
Берег озера	37,5	39	38,25	1,5	10	980

Лабораторное занятие № 5
«Определение координат по топографическим картам и планам»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №3.

Преподавателем выдается две точки для определения географических и прямоугольных координат по карте.

Задание 5.1. Определить географические координаты точек по топографической карте. Результаты измерений вносятся в таблицу вида таблицы 2.5.1.

Таблица 2.5.1 – Определение географических координат точек

Точка, объект	φ			λ		
	φ _С (φ _Ю)	Δφ	φ	λ _З (λ _В)	Δλ	λ
А, пасека	54°41'10''	06,5''	54°41'16,5''	18°01'10''	04,0''	18°01'14,0''

Задание 5.2. Определить прямоугольные координаты точек по топографической карте. Результаты измерений вносятся в таблицу вида таблицы 2.5.2.

Таблица 2.5.2 – Определение прямоугольных координат точек

Точка, объект	X, м			Y, м		
	X _С (X _Ю)	ΔX	X	Y _З (Y _В)	ΔY	Y
А, пасека	6066000	465	6066465	4312000	978	4312978

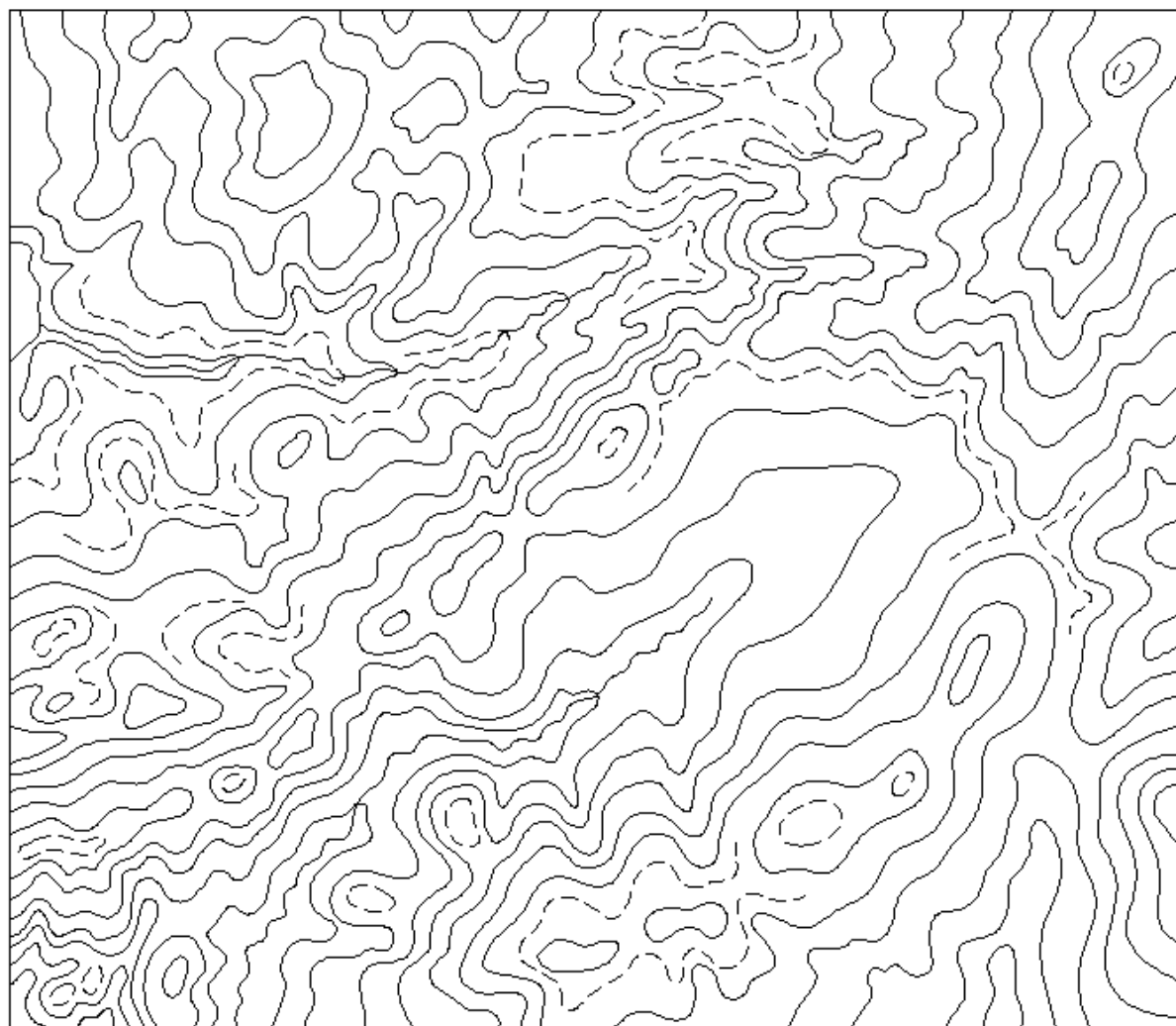
Задание 5.3. Зная прямоугольные координаты точки К, выданные преподавателем, определить объект, который находится в этой точке.

В результате выполнения задания необходимо привести текстовое пояснение: в точке с прямоугольными координатами X_К=6064652 м, Y_К=-188632 м находится церковь.

Лабораторное занятие № 6
«Изучение изображения рельефа на топографических картах и планах»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №2 и теоретические сведения темы №3.

Каждому студенту выдается фрагмент топографической карты, на которой преподавателем указан масштаб карты, высота сечения рельефа отмечены точки А, В, С, D, E, F, дано значение предельного угла наклона, высотная отметка точки А (рисунок 2.6.1).



$H_A =$ _____ м.

$M 1:$ _____

$h_c =$ _____ м.

Рисунок 2.6.1 – Фрагмент топографической карты

Используя фрагмент карты необходимо решить следующие задания:

5.1. Зная, отметку точки А, провести утолщенные горизонтали, проставить бергштрихи, определить отметки точек В, С, D, E, F.

Задание выполняется непосредственно на фрагменте карты.

5.2. Построить графики заложений для уклонов и углов наклона и определить по графикам уклон и угол наклона линии В-С.

Графики для углов наклонов и заложений строятся на миллиметровой бумаге, для построения графиков выполняются расчеты по примеру таблицы 2.6.1.

Таблица 2.6.1 – Расчетные значения заложений для графиков для карты 1:10000

Заложения для углов наклона при высоте сечения $h_c = 2,5$ м			Заложения для уклонов при высоте сечения $h_c = 2,5$ м		
угол ν	на местности, м $a = (h_c / \operatorname{tg} \nu)$	на плане $a_{\text{п}} = a : M$, мм	уклон i	на местности, м $a = h_c / i$	на плане $a_{\text{п}} = a : M$, мм
0°30'	286	28,6	0,010	250	250
1°			0,020		
2°			0,030		
3°			0,040		
4°			0,050		
5°			0,060		
6°			0,080		
7°			0,100		

5.3. Проложить между точками А и F линию с заданным углом наклона
Задание выполняется непосредственно на фрагменте карты.

5.4. Построить профиль местности между точками Е и D и определить видимость между ними.

Профиль местности строится на миллиметровой бумаге формата А4.

Лабораторное занятие № 7
«Изучение элементов ориентирования»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №3.

Задание 7.1. Определить сближение меридианов для листа карты, номенклатура которого указана в таблице 2.2.1. Результаты вычислений представить в виде таблицы 2.7.1

Таблица 2.7.1 – Вычисления сближения меридианов листа карты

Номенклатура	λ	φ	γ
N-35-16-Б-Г-3	$\lambda_3=25^\circ52'30''$ $\lambda_B=25^\circ56'15''$ $\lambda_K=25^\circ54'22,5''$ $\lambda_0=27^\circ$	$\varphi_{Ю}=55^\circ32'30''$ $\varphi_C=55^\circ30'00''$ $\varphi_{ср}=55^\circ31'15''$	$-0^\circ54'06''$

Задание 7.2. Определить по карте ориентирующие углы. По выданным преподавателем четырем направлениям измерить на карте значение румбов, по ним вычислить значения дирекционных углов, азимутов и магнитных азимутов. Результаты представить в виде таблицы 2.7.2.

Таблица 2.7.2 – Измерение ориентирующих углов

Направление	r	α	A	A_M
OA	СВ:24°30'	24°30'	21°55'	15°15'
OB				
OC				
OD				

Задание 7.3. Зная значение ориентирующего угла, значение склонения магнитной стрелки и сближения меридианов, выданных преподавателем, вычислить два других ориентирующих угла. Результаты представить в виде таблицы 2.7.3.

Таблица 2.7.3 – Вычисление ориентирующих углов

Известный ориентирующий угол	δ	γ	Вычисленные ориентирующие углы
$A=73^\circ01,0'$	$0^\circ33,4'$	$-0^\circ36,9'$	$A_M=72^\circ27,6'$ $\alpha=73^\circ37,9'$

Лабораторное занятие № 8
«Оценка точности результатов измерений»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №4.

Значения измерений для выполнения выдается преподавателем.

Задание 8.1 Округлить число до заданного разряда

Необходимо произвести округление чисел по правилу Гаусса.

Задание 8.2 Превышение измерено десять раз. Зная истинное значение превышения, оценить точность этого результата.

Задание 8.3 Горизонтальный угол измерен 10 раз. Определить его вероятнейшее значение и оценить точность этого результата.

Задание 8.4 Длина линии получена пять раз разным количеством измерений. Определить ее вероятнейшее значение и оценить точность этого результата.

В результате выполнения заданий необходимо предоставить отчет с решением заданий и обоснованием выбора формул для их решения.

Лабораторное занятие № 9
«Изучение устройства теодолита 2Т30»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №5.

Задание 9.1. Изучить устройство теодолита 2Т30, записать основные узлы и механизмы, сделать схематический чертеж геометрических осей теодолита.

Задание 9.2. Выполнить горизонтирование прибора.

Задание 9.3. Выполнить визирование на точку, выданную преподавателем, взять отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита, сделать рисунки отсчетного устройства теодолита и изобразить на них отсчеты на точку визирования.

Лабораторное занятие № 10
Поверки теодолита 2Т30

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №5.

Задание 10.1 Выполнить поверки теодолита 2Т30 и определение место нуля вертикального круга теодолита, в отчете указать геометрическое условие, порядок выполнения поверки и юстировки, результат выполнения поверки.

Лабораторное занятие № 11
Измерение углов теодолитом 2Т30

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить теоретические сведения темы №5.

Задание 9.1 По выданным преподавателем направлениям, измерить горизонтальный угол способом отдельного угла, результаты измерений записать в журнал измерения углов (таблица 5.2).

Задание 9.2 По выданным преподавателем направлениям, измерить направления способом круговых приемов, результаты измерений записать в журнал измерения углов (таблица 5.3).

Задание 9.3 Измерить углы наклона на выданные преподавателем точки. Результаты измерений записать в таблицу 2.11.1

Таблица 2.11.1 – Журнал измерения углов наклона теодолитом 2Т30

Станция	Точка	Отсчеты по ВК		Угол наклона v
		КЛ	КП	
1	2	5°33'	-5°31'	5°32'
	3	7°01'	-7°01'	7°01'

Лабораторное занятие № 12

Обработка журнала измерения углов и сторон теодолитного хода

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №7.

В выданных бланках: журнал измерения углов и сторон основного теодолитного хода ([ПРИЛОЖЕНИЕ 1](#)); журнал измерения углов и сторон диагонального теодолитного хода и вспомогательного треугольника, угловая привязка теодолитных ходов к пунктам А и В геодезической опорной сети ([ПРИЛОЖЕНИЕ 2](#)) вычислить горизонтальные углы для каждой станции при двух положениях круга (КП и КЛ) как разности отсчётов при визировании теодолитом на задние и передние пункты наблюдений. Расхождение углов между двумя полуприемами допускается до 01' (графа 4). При допустимом расхождении средние значения углов β записываются в графу 5. Пример вычислений и записи приведен в журнале для станции № 1.

В журнале измерения углов и сторон основного теодолитного хода вычислить фактическую и допустимую угловые невязки хода.

В графу 6 таблиц 1 и 2 записать горизонтальные проложения s сторон хода. Значения s находят с учетом угла наклона стороны хода или ее части:

1) если в графе 7 не указан угол наклона стороны или ее части, то углы наклона не превышают $1,5^\circ$, в таких случаях поправка на наклон линии не учитывается, а за окончательное значение s длины стороны принимают среднее S_{cp} из 2-х промеров;

2) при наличии угла наклона горизонтальное проложение стороны хода вычисляется по формуле (6.7).

Оформить вычисления горизонтального проложения неприступной стороны 5-11 хода (недоступной для непосредственного измерения лентой вследствие препятствия в виде водохранилища).

Определить фактическую угловую невязку f треугольника 5-6-11, ее допустимую величину $f_{доп}$, уравнять углы.

В бланке угловая привязка теодолитных ходов к пунктам геодезической опорной сети записать вычисленные значения горизонтальных углов β_1 , β_2 , β_3 и β_B .

Оформить вычисления исходного дирекционного угла α_{A-B} стороны А-В опорной геодезической сети ([ПРИЛОЖЕНИЕ 3](#)), к которой привязан теодолитный ход. Координаты исходных пунктов А и В выбрать из таблицы 2.12.1 соответственно заданному номеру варианта.

Оформить вычисления дирекционного угла стороны В-1 основного хода ([ПРИЛОЖЕНИЕ 4](#)).

Таблица 2.12.1 – Варианты координат исходных пунктов

Номер варианта	Координаты исходных пунктов полигонометрии, м			
	п.п. <i>A</i>		п.п. <i>B</i>	
	X_A	Y_A	X_B	Y_B
0	4745,69	2255,68	4795,67	2164,86
1	4530,68	2183,79	4481,71	2275,12
2	4534,51	2171,98	4485,49	2263,28
3	4539,30	2177,67	4490,17	2268,91
4	4536,88	2178,55	4487,67	2269,75
5	4728,53	2370,19	4679,21	2461,33
6	4722,95	2375,51	4673,87	2466,78
7	4719,66	2379,07	4670,29	2470,18
8	4715,54	2382,67	4665,64	2473,50
9	4925,11	2568,74	4875,69	2659,83
10	4919,83	2573,67	4870,33	2664,71
11	4910,10	2577,49	4860,49	2668,48
12	4915,42	2588,25	4865,73	2679,19
13	4127,21	2772,49	4077,44	2863,39
14	4125,12	2775,98	4075,28	2866,84
15	4120,33	2777,81	4070,75	2868,81
16	4131,16	2779,98	4081,71	2871,05
17	4120,67	2971,57	4071,57	3063,07
18	4219,61	2976,30	4169,95	3067,26
19	4224,74	2978,46	4174,84	3069,29
20	4227,85	2982,40	4177,87	3073,18
21	4228,75	2469,96	4180,15	2561,49
22	4224,11	2472,28	4175,65	2563,88
23	4225,32	2475,51	4176,96	2567,17
24	4431,41	2477,74	4383,13	2569,44
25	4428,87	2481,39	4380,73	2573,16
26	4419,30	2483,19	4371,29	2575,03
27	4426,10	2273,00	4377,90	2360,59
28	4423,28	2274,04	4373,14	2364,74
29	4527,25	2278,04	4478,36	2369,41
30	4522,50	2278,89	4474,44	2370,70

Лабораторное занятие № 13
Обработка ведомости координат теодолитного хода

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №7.

Заполнить *ведомость вычисления координат вершин основного теодолитного хода* ([ПРИЛОЖЕНИЕ 5](#)) исходными данными:

- в графе 1 через одну строку записать номера вершин хода;
- в графе 2 в строках с номером вершины записать соответствующие значения измеренных правых по ходу углов β' по данным журнала ([ПРИЛОЖЕНИЕ 1](#));

- в графе 4 записать вычисленный по варианту начальный дирекционный угол $\alpha_n = \alpha_{B-1}$ в верхнюю строку между обозначениями пунктов В и 1 и тот же угол записать в нижнюю часть графы между пунктами В и 1 и отметить как конечный угол $\alpha_k = \alpha_{B-1}$;

- в графе 6 ведомости в строках между номерами вершин записать горизонтальные проложения s соответствующих сторон хода по данным графы 6 полевого журнала ([ПРИЛОЖЕНИЕ 1](#));

- в графах 11 и 12 в верхней строке и внизу ведомости записать исходные координаты x_B и y_B пункта В (выбрать по варианту из таблицы 2.12.1).

Проверить и записать сумму внутренних углов теодолитного хода 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, В и указать ее теоретическое значение.

Рассчитать фактическую угловую невязку замкнутого хода по формуле (7.3), указав ее и сравнить ее с допустимой величиной, вычисленной по формуле (7.5).

В случае допустимости фактической невязки вычислить поправки v_{β_i} в углы β'_i с округлением до $0,1'$ (знак поправок противоположен знаку невязки).

проверить равенство суммы поправок величине невязки с обратным знаком и записать их в графе 2 над значениями измеренных углов.

Уравнять измеренные β' , прибавив к ним поправки. Исправленные углы записать в графе 3.

Последовательно вычислить дирекционные углы сторон хода по формуле (7.10), последний результат вычислений должен совпасть с записанным значением $\alpha_k = \alpha_{B-1}$.

В графу 5 записать румбы, соответствующие дирекционным углам сторон хода 2.4.

Вычислить приращения координат (графы 7, 8 координатной ведомости) по формулам (7.17).

Правильность румбов следует проверить по формулам (7.17) подставив их значения вместо дирекционных углов, при этом необходимо учитывать знаки приращений в зависимости от четверти румба.

Рассчитать невязки сумм $\sum \Delta x'_i$ и $\sum \Delta y'_i$ вычисленных приращений координат: f_x – по оси абсцисс и f_y – по оси по формуле (7.19)

Вычислить величину абсолютной невязки f_s по формуле (7.20).

Оценить точность теодолитного хода. Допустимая абсолютная невязка основного (замкнутого) теодолитного хода в задании вычисляется при допустимой относительной невязке $(1 \text{ Т})_{\text{доп}} = 1/1500$ относительной невязки по формуле (7.23).

Уравнять вычисленные приращения координат. Для уравнивания следует вычислить поправки v_{xi} и v_{yi} в приращения $\Delta x'i$ и $\Delta y'i$. по формулам (7.25). Сумма поправок должна быть равна соответствующей невязке, взятой с обратным знаком.

Поправки v_{xi} и v_{yi} следует записать в графах 7 и 8 ведомости над вычисленными приращениям, а в графах 9 и 10 указать уравненные приращения координат.

Последовательно вычислить координаты вершин основного теодолитного хода по формулам (7.28).

Вычислить координаты пункта 11 диагонального теодолитного хода 5-11-В. Ведомость координат представлена в ПРИЛОЖЕНИИ 6. Вычисления проводятся аналогично ведомости координат замкнутого теодолитного хода.

Лабораторное занятие № 14

Построение сетки координат и нанесение точек теодолитного хода

На листе чертежной бумаги формата А1 построить координатную сетку размером 50×50 см со стороной квадрата 10 см. Вид координатной сетки приведен на [рисунке 7.9](#).

Используя координаты пунктов теодолитного хода рассчитать и подписать в рамке плана координаты x и y сетки для размещения контурного плана местности масштаба 1:1000 в пределах восточной части листа – предусмотреть свободное место в западной части плана для нанесения впоследствии ситуации и рельефа по данным тахеометрической съемки (рисунок 2.14.1)

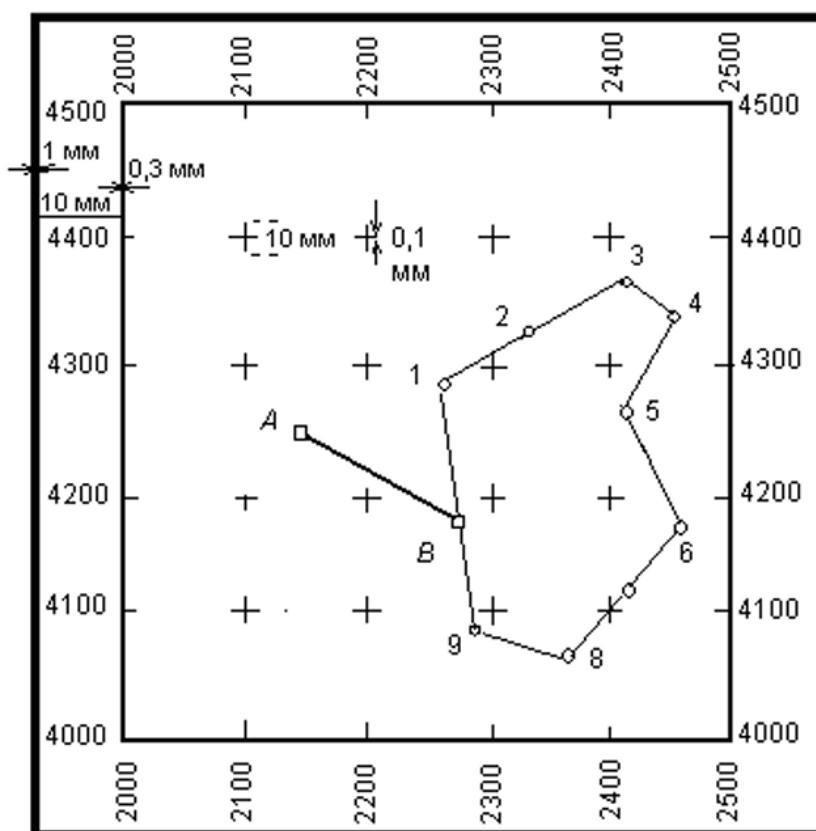


Рисунок 2.14.1 – Схема размещения пунктов

Нанести на план вершины теодолитных ходов по их координатам.

Лабораторное занятие № 15
Нанесение на план результатов теодолитной съемки

Пользуясь абрисами 1–7 (рисунки 2.15.1-2.14.7), нанести на план контуры ситуации.

Вычертить план в условных топографических знаках, руководствуясь правилами и техникой топографического черчения.

Абрис 1. Съемка производственной площадки относительно стороны 11-5 теодолитного хода. Объекты: двухэтажное каменное нежилое здание и асфальтированная площадка, огороженная деревянным забором.

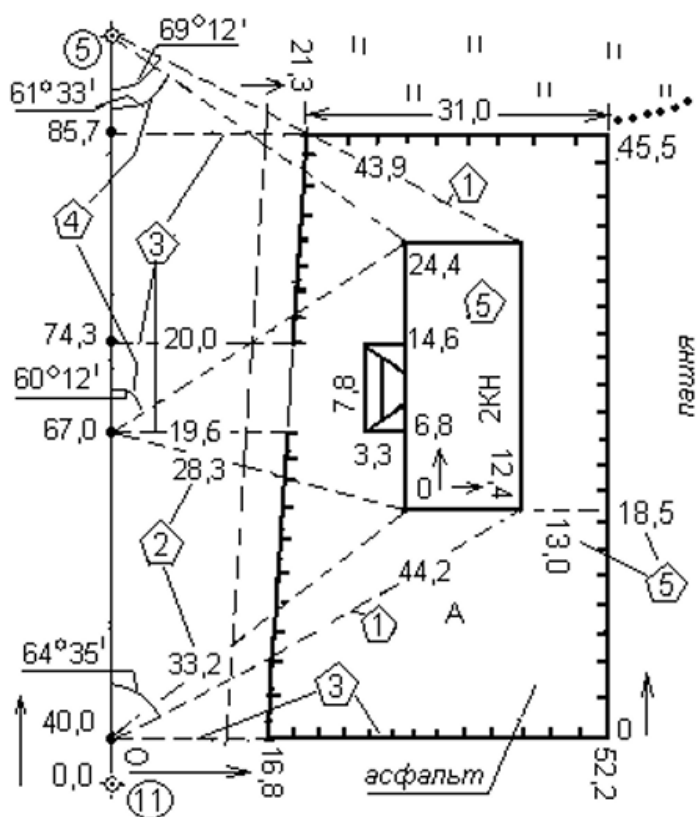
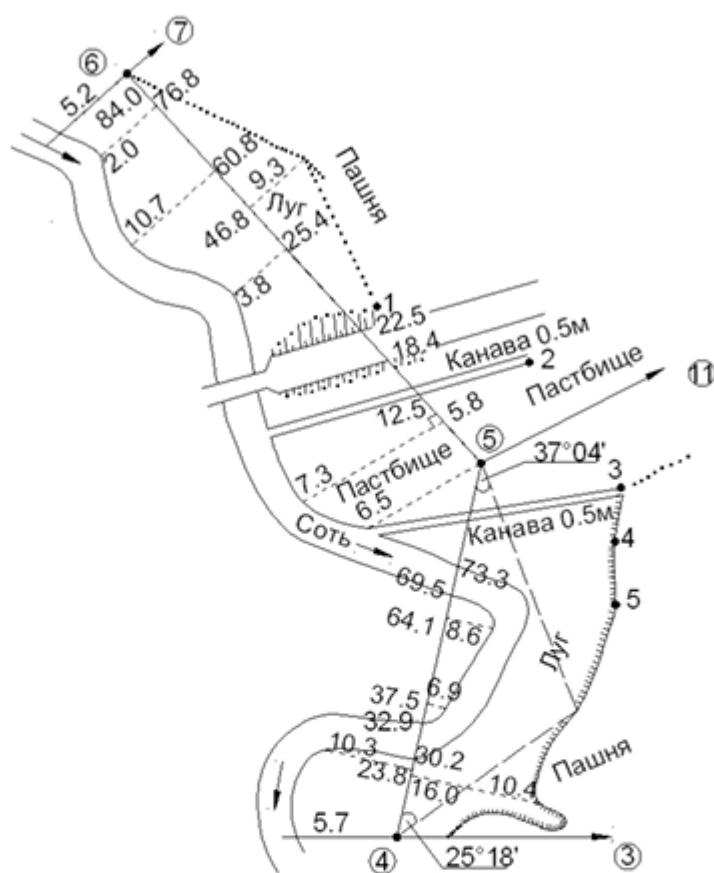


Рисунок 2.15.1 – Абрис 1

Абрис 2. Съемка ситуации способами перпендикуляров и полярным относительно сторон 4-5 и 6-5 и пункта 5 теодолитного хода.



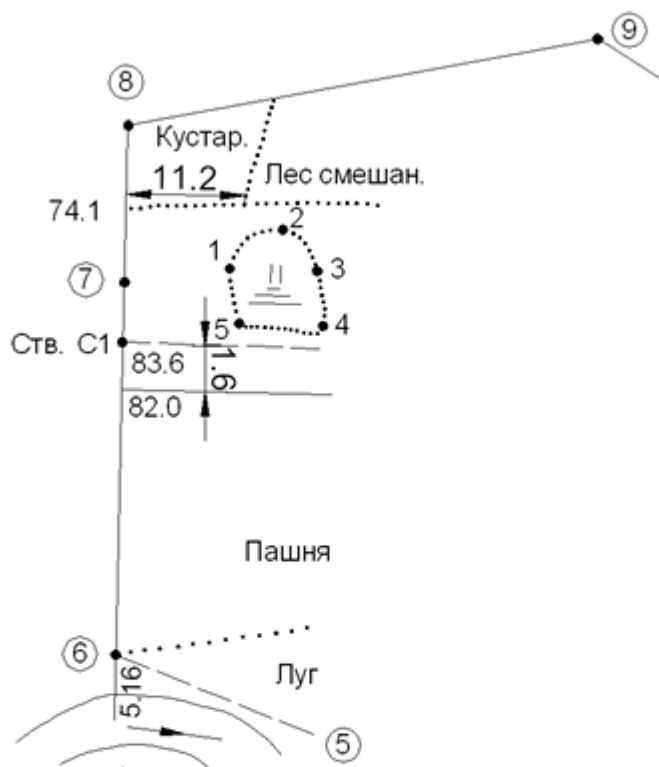
Станция 5. Полярная съемка

№ точки	Угол	Расстояние, м	Объект
11	0° 00'	—	пункт теодол. Хода
1	296° 40'	25,8	пашня, низ откоса
2	341° 25'	30,6	верхн. бровка канавы
3	65° 30'	12,4	-- " --
4	76° 15'	13,2	верхн. бровка обрыва
5	93° 10'	26,2	-- " --
11	359° 58'	—	пункт теодол. Хода

Рисунок 2.15.2 – Абрис 2

Абрис 3. Положение створной точки Ств. С1. Съёмка ситуации относительно сторон 6-7 и 7-8 теодолитного хода.

Съёмка контура болота полярным способом относительно вершины 7 теодолитного хода.



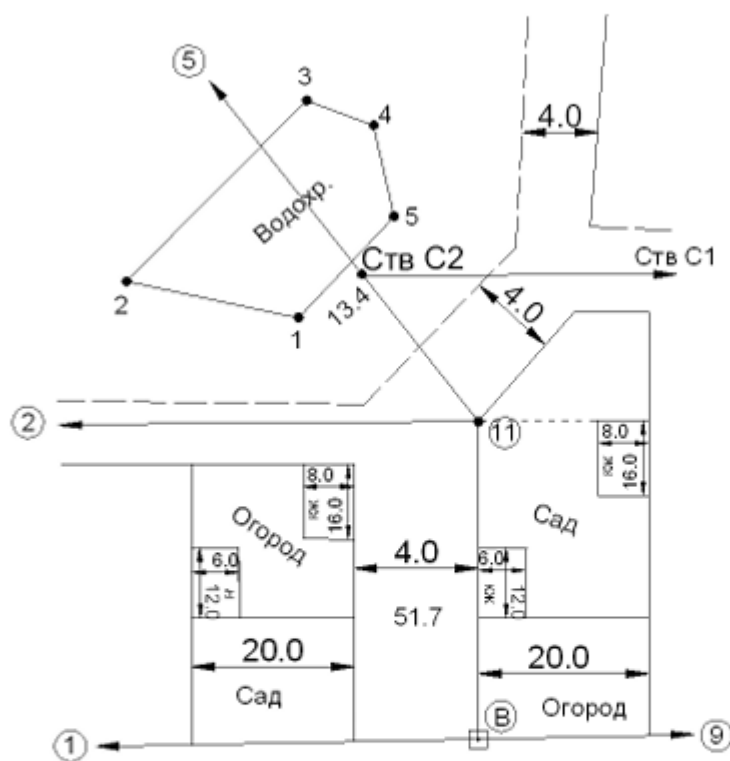
Станция (7). Контур болота проходимого

№ точки	Угол	Расстояние, м
(8)	0° 00'	—
1	20° 45'	13,6
2	48° 40'	24,2
3	72° 50'	23,8
4	105° 10'	19,6
5	133° 05'	15,4
(8)	359° 59'	—

Рисунок 2.15.3 – Абрис 3

Абрис 4. Положение створной точки Ств. С2. Съёмка ситуации на застроенных участках относительно сторон теодолитного хода.

Съёмка контура водохранилища полярным способом со станции (вершины теодолитного хода) 11. Дорога грунтовая шириной 4 м продолжается в направлении 11-2.



Станция 11 Съёмка водохранилища

№ точки	Угол	Расстояние, м
5	0° 00'	—
1	326° 20'	12,4
2	323° 40'	26,8
3	2° 15'	31,0
4	8° 05'	31,2
5	11° 10'	20,2
5	0° 02'	—

Рисунок 2.14.5 – Абрис 4

Абрис 5. Съёмка ситуации относительно стороны 11-2 теодолитного хода и створной линии С1-С2.

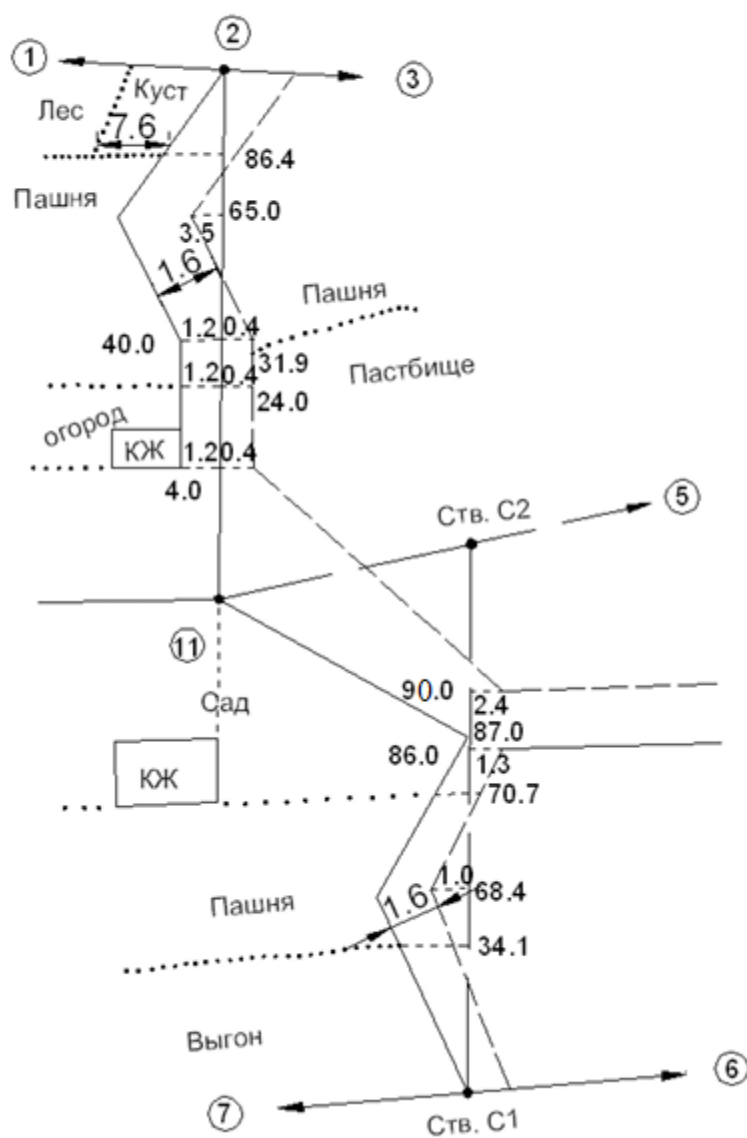


Рисунок 2.14.5 – Абрис 5

Абрис 6. Съёмка ситуации относительно сторон 1-2, 2-3 и 3-4 теодолитного хода. Съёмка контура луга заболоченного перпендикулярами и полярным способом.



Станция (2). Съёмка части контура луга

№ точки	Угол	Расстояние, м
(3)	0° 00'	—
1	29° 40'	29,2
2	52° 05'	30,4
3	86° 15'	24,0
(3)	0° 01'	—

Рисунок 2.15.6 – Абрис 6

Абрис 7. Съёмка ситуации относительно сторон 8-9; 9-В и В-1
теодолитного хода.

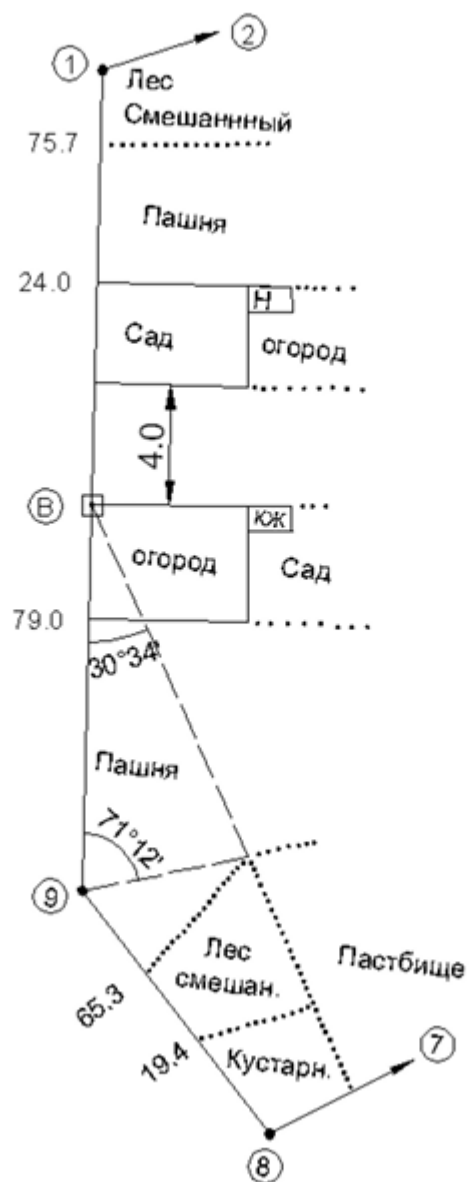


Рисунок 2.15.7 – Абрис 7

Лабораторное занятие № 16
Изучение устройства нивелира Н-10

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №8.

Задание 16.1. Изучить устройство нивелира Н-10, записать основные узлы и механизмы, сделать схематический чертеж геометрических осей нивелира.

Задание 9.2. Привести нивелир в отвесное положение

Задание 9.3. Выполнить наведение на рейку, выданную преподавателем, взять отсчеты черной и красной стороне рейки, сделать рисунки поле зрения трубы нивелира с отсчетом по рейке.

Лабораторное занятие № 17
Поверки нивелира Н-10

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №8.

Задание 17.1 Выполнить поверки нивелира Н-10, в отчете указать геометрическое условие, порядок выполнения поверки и юстировки, результат выполнения поверки.

Лабораторное занятие № 18
Измерение превышений нивелиром Н-10

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №8.

Задание 18.1 По выданным преподавателем точкам, измерить превышения в замкнутом треугольнике, результаты измерений записать в журнал технического нивелирования (таблица 8.2).

Лабораторное занятие № 19
Обработка журнала технического нивелирования

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №8.

Для дополнения контурной части плана изображением рельефа горизонталями на местности проложен ход технического нивелирования ппА–тт1–тт2–тт11–тт7–тт8–ппВ.

На бланке *журнал нивелирования пунктов планового съёмочного обоснования застроенного участка* ([ПРИЛОЖЕНИЕ 7](#)) выполнить вычислительную обработку журнала нивелирного хода.

В графу 9 журнала вписать отметки НА и НВ начальной пп А и конечной пп В точек хода, выбранные согласно варианту из таблицы 2.19.1 отметок исходных пунктов.

Таблица 2.19.1 – Исходные отметки высот

Номер варианта	Высота пункта, м		Номер варианта	Высота пункта, м	
	H_A	H_B		H_A	H_B
0	211,40	213,00	16	194,45	196,05
1	212,41	214,01	17	195,46	197,06
2	213,42	215,02	18	196,47	198,07
3	214,43	216,03	19	197,48	199,08
4	215,44	217,04	20	198,49	200,09
5	216,45	218,05	21	200,50	202,10
6	217,46	219,06	22	201,48	203,08
7	218,47	220,07	23	202,47	204,07
8	219,48	221,08	24	203,46	205,06
9	220,49	222,09	25	204,45	206,05
10	221,50	223,10	26	205,44	207,07
11	223,51	225,11	27	206,43	208,03
12	190,40	192,00	28	207,42	209,02
13	191,42	193,02	29	208,41	210,01
14	192,43	194,03	30	209,40	211,00
15	193,44	195,04	31	203,47	205,07

Для каждой станции вычислить превышения h' из отсчетов Z' и Π' , а также превышение h'' из отсчетов Z'' и Π'' по черной и красной сторонам задней и передней реек по формулам (8.16), найти средние превышения по формуле (8.17);

Произвести контроль выполненных вычислений (называемый постраничным контролем) по формуле (8.18)

Вычислить величину фактической невязки средних превышений в мм f_h по формуле (8.19);

Вычислить допустимое значение невязки в мм по формуле (8.21).

Если фактическая невязка f_h по модулю не превышает допустимое значение, необходимо исправить средние превышения, чтобы сумма уравненных превышений не содержала невязки. (формулы 8.22, 8.23, 8.24).

Вычислить последовательно отметки пунктов нивелирного хода по формуле (8.25). В конце вычислений должна получиться исходная отметка конечного пункта $H_k = H_B$.

Лабораторное занятие № 20
Обработка журнала-схемы нивелирования по квадратам

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №9.

В бланк *журнала-схемы нивелирования по квадратам* ([ПРИЛОЖЕНИЕ 8](#)) внести отметки H_1 и H_B из *журнала нивелирования пунктов планового съемочного обоснования застроенного участка* ([ПРИЛОЖЕНИЕ 7](#)).

Вычислить дважды горизонт прибора в метрах ГП'; ГП" по формулам ([8.5](#))
Допустимое расхождение значений ГП' и ГП" – 0,03 м,

Записать в журнал-схему среднее ГП.

Вычислить отметки H_i по формуле ([8.7](#)). Вычисленные отметки округлить до 0,01 м и записать в журнал схему над отсчетами a_i .

Вычислить высотные отметки точек на абрисах вертикальной съемки. ([ПРИЛОЖЕНИЕ 9](#), [ПРИЛОЖЕНИЕ 10](#)). Вычисления высотных отметок точек аналогичны вычислениям в журнале нивелирования по квадратам.

На составляемый план нанесите контуры ситуации: дорогу, придорожные и другие границы угодий, показанные в журнале-схеме нивелирования по квадратам.

Вычисленные отметки H_i земли записать на составляемом плане у вершин квадратов, как правило, ниже и правее соответствующих точек, если нет нанесенных контуров ситуации.

По абрисам вертикальной съемки подписать отметки высот у точек на участке плана теодолитной съемки.

Лабораторное занятие № 21
Обработка журнала тахеометрической съемки

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №10.

Полевые материалы тахеометрической съемки представлены журналом тахеометрической съемки ([ПРИЛОЖЕНИЕ 11](#), [ПРИЛОЖЕНИЕ 12](#)) и абрисом ([ПРИЛОЖЕНИЕ 13](#)).

В графу 13 журнала записать горизонтальные углы между сторонами теодолитно-тахеометрического хода съёмочного обоснования для станций п.п. А, тт12, тт 3, тт14 и тт1. Углы вычисляются как разность отсчетов по горизонтальному кругу при визировании на заднюю по ходу точку (отсчет аз) и на переднюю (отсчет ап), допустимое расхождение значений угла составляет $\pm 1'$;

Для каждой станции вычислить место нуля (МО) вертикального круга по формуле ([5.4](#)).

В графу 7 журнала на каждой станции для точек визирования внести значения углов наклона, вычисленные по формуле ([5.5](#)).

Если угол наклона превышает $\pm 1,5^\circ$, то в графу 8 записать горизонтальное проложение, вычисленное по формуле ([6.19](#)). При углах наклона менее $\pm 1,5$ в графу 8 можно переписать данные графы 3.

В графу 9 вписать значения тригонометрической части превышений h' , которая вычисляется по формуле ([8.38](#))

Если в графу 2 для данной точки записана высота наведения $v = 3$ м, или $v = 2$ м, или иная, отличная от высоты прибора i на данной станции, то в графе 10 указать величину разности $i - v$.

В графу 11 записать искомое превышение h (сумма 9 и 10 колонок).

Выполнить вычисление отметок вершин теодолитно-тахеометрического хода.

В ведомость вычисления отметок пунктов тт 12, тт 13, тт 14, помещенную в журнал тахеометрической съемки, записать исходные отметки H_A и H_B пунктов пп А и пп В, указанные в таблице 2.19.1 (округленные до 0,01 м соответственно точности тахеометрического нивелирования).

Затем внести вычисленные прямые и обратные превышения, известные по графе 11 журнала тахеометрической съемки.

Вычислите средние превышения h_{cp} по модулям прямого и обратного превышений (значение h_{cp} берется со знаком прямого превышения).

Найти фактическую невязку средних превышений f_h по формуле ([8.19](#)).

Вычислить длину хода, т.е. сумму $\sum D$, м и ее значение в сотнях метров $\sum D_c$, которое учитывается в формуле определения допустимой невязки превышений f_h доп ([10.1](#)).

Исправить средние превышения. Для этого фактическую невязку превышений f_h необходимо разбить на поправки δ_j (округленные до 0,01 м). с обратным знаком по формуле ([10.2](#)). Сумма исправленных превышений должна равняться теоретической.

Отметки H_{cj} станций последовательно вычислить через средние уравниваемые превышения с контролем по значению H_K .

Отметку каждой станции H_{cj} записать в журнал тахеометрической съемки при названиях станций.

Для станций тт 13 и тт 14 вычислить и записать в графе 12 отметки съемочных пикетов, вычисленные по формуле (8.41).

Отметки $H_{p.t}$ речных точек 31-40, полученные геометрическим нивелированием на станции 14 (отсчеты v по рейке соответствуют горизонтальному лучу теодолита). Отметки их высот можно вычислить по формуле (8.7).

Лабораторное занятие № 22
Нанесение на план результатов тахеометрической съемки

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №10.

Необходимо дополнить топографический план результатами тахеометрической съемки.

На план нанесите пункты теодолитно-тахеометрического хода по их координатам с контролем. Подписать их отметки.

Относительно станций тт13 и тт14 при помощи простого карандаша, транспортира и линейки или же тахеометрического транспортира (тахеографа) нанесите на план съемочные пикеты по их полярным координатам, записанным в журнале тахеометрической съемки.

Нулевое полярное направление (ориентирование нуля горизонтального круга) указано в заголовке станции; полярный угол пикета записан в графе 5, полярное расстояние – в графе 3 журнала. Нанесение точек и контуров контролируется сверкой с абрисом ([ПРИЛОЖЕНИЕ 13](#)).

Лабораторное занятие № 23
Построение рельефа на топографическом плане

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №10.

На плане провести горизонтали с высотой сечения $h_c = 0,5$ м. Их интерполяцию следует производить при помощи палетки из параллельных линий. Следы горизонталей нужно отмечать на сторонах квадратов между соседними вершинами, а также на двух диагоналях, показанных в журнале-схеме, между другими точками на сторонах сетки с подписанными отметками.

Провести горизонтали на участке плана теодолитной съемки интерполируя соседние точки с высотными отметками, полученными из абрисов вертикальной съемки.

Провести горизонтали на участке плана тахеометрической съемки.

Горизонтали следует плавно соединить с одноименными горизонталями на всех участках съемки.

Завершить составление общего плана, вычертив его тушью, соблюдая начертания действующих условных топографических знаков. На участке нивелирования по квадратам подписать отметки всех вершин квадратов, нанесите ситуацию, но не вычерчивать сетку квадратов.

Лабораторное занятие № 24
«Определение площадей»

Перед началом выполнения заданий необходимо изучить [теоретические сведения](#) темы №11.

Задание 24.1. Вычислить площадь полигона, ограниченного основным теодолитным ходом, по координатам его вершин. Использовать формулы и ведомость вычисления площади по координатам ([ПРИЛОЖЕНИЕ 15](#)). Площадь вычислить в квадратных метрах и гектарах.

Задание 24.2 Измерить площадь замкнутого теодолитного хода на топографическом плане при помощи полярного планиметра. Результаты измерений записать в таблицу 2.24.1

Таблица 2.24.1 – Вычисление площади полярным планиметром

Отсчеты		Разности отсчетов n_i	Средняя разность отсчетов $n_{ср}$	Цена деления c при радиусе $R=$
u_i	величина			
u_1				$P=$ _____ га
u_2				
u_3				$c=$
u_n				

Задание 24.3 На кальку, перенести контур замкнутого теодолитного хода, разбить его на элементарные фигуры (треугольники, трапеции, квадраты). Вычислить площадь теодолитного хода как сумму вычисленных площадей элементарных фигур.

Сравнить результаты определения площадей тремя способами.

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Экзаменационные вопросы по дисциплине «Геодезия»

1. Понятие о форме и размере Земли.
2. Метод ортогональной проекции.
3. Географические координаты.
4. Геодезические координаты.
5. Зональная система плоских прямоугольных координат.
6. Подразделение карт и планов по характеру искажений картографической проекции.
7. Подразделение карт и планов по способу построения картографической проекции.
8. Подразделение карт и планов по содержанию.
9. Условные знаки топографических карт и планов.
10. Виды масштабов и их точность.
11. Точность масштабов и планов.
12. Определение географических координат по картам и планам.
13. Определение прямоугольных координат по картам и планам.
14. Измерение длин линий с помощью линейного и поперечного масштабов.
15. Измерение длин кривых линий по карте.
16. Разграфка и номенклатура топографических карт.
17. Разграфка и номенклатура топографических планов.
18. Определение номенклатуры планов и карт по координатам точек.
19. Ориентирование линии по географическому меридиану.
20. Вычисление сближения меридианов по формуле и ее вывод.
21. Ориентирование карты по буссоли или компасу.
22. Формы рельефа земной поверхности и их изображение на планах.
23. Высота сечения рельефа, заложение, крутизна ската и их взаимосвязь.
24. Определение высот по горизонталям.
25. Графики заложений, их построение и применение.
26. Определение границы водосборной площади по планам.
27. Виды ошибок и причины их возникновения.
28. Основные задачи теории погрешностей измерений.
29. Абсолютная и относительная погрешности.
30. Правила округления чисел.
31. Многократные измерения и их влияние на точность измерений.
32. Свойства случайных ошибок.
33. Вероятнейшее значение измеряемой величины.
34. Равноточные и неравноточные измерения.
35. Вес измерений.
36. Арифметическое среднее и среднее весовое.
37. Понятие средней квадратической погрешности.

38. Вычисление средней квадратической погрешности равноточных измерений по формуле Гаусса.

39. Вычисление средней квадратической погрешности равноточных измерений по формуле Бесселя.

40. Средняя квадратическая погрешность суммы и разности.

41. Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего.

42. Прямая геодезическая задача.

43. Обратная геодезическая задача.

44. Оптические теодолиты и их основные части.

45. Классификация теодолитов по их точности, принципы измерения горизонтального угла.

46. Цилиндрические уровни, их устройство и применение.

47. Круглые уровни и их применение.

48. Цена деления и чувствительность уровней.

49. Зрительные трубы геодезических приборов и их применение. Разрешающая способность зрительной трубы.

50. Зрительные трубы с внешней фокусировкой.

51. Зрительные трубы с внутренней фокусировкой и их преимущества.

52. Увеличение зрительной трубы и его определение по способу Галилея.

53. Поле зрения зрительной трубы и способы его определения.

54. Отсчетные устройства теодолитов.

55. Штриховой микроскоп и взятие отсчетов по лимбу.

56. Шкаловой микроскоп и взятие отсчетов.

57. Поверки цилиндрического и круглого уровней, их выполнение и юстировка.

58. Поверка коллимационной ошибки, ее выполнение и юстировка.

59. Поверка сетки нитей, ее выполнение и юстировка. Параллакс сетки нитей.

60. Поверка оси вращения зрительной трубы и ее выполнение.

61. Установка теодолита в рабочее положение.

62. Измерение горизонтального угла методом отдельного угла, ведение журнала и его обработка.

63. Измерение горизонтального угла методом круговых приемов.

64. Правила наведения на визирные цели при измерении горизонтальных и вертикальных углов.

65. Устройство вертикального круга.

66. Оцифровка вертикального круга и формулы для определения МО.

67. Измерение вертикальных углов.

68. Поверка и установка МО равного нулю.

69. Измерение длин линий и приведение их к горизонту.

70. Принцип измерений длин линий оптическими дальномерами с постоянным параллактическим углом.

71. Принцип измерений длин линий оптическими дальномерами с постоянной базой.

72. Нитяной дальномер в зрительной трубе с внутренней фокусировкой и его точность.

73. Измерение длин линий мерной лентой и рулеткой.

74. Источники ошибок при измерении длин линий мерной лентой и рулеткой.

72. Принцип измерений длин линий светодальномерами.

73. Сущность и методы нивелирования.

74. Геометрическое нивелирование.

75. Способы геометрического нивелирования.

76. Приборы для геометрического нивелирования.

77. Классификация нивелиров.

78. Поверки нивелиров с уровнем.

79. Поверка главного условия у нивелиров с уровнем.

80. Особенности поверок нивелиров с компенсаторами наклона.

81. Нивелирный ход.

82. Обработка журналов технического нивелирования.

83. Основные положения о построении геодезических высотных сетей.

84. Система высот.

85. Техническое нивелирование.

86. Источники ошибок при геометрическом нивелировании. Ошибка из-за неточности приведения уровня в нуль-пункт.

87. Источники ошибок при геометрическом нивелировании. Ошибка из-за недостаточной разрешающей способности зрительной трубы.

88. Источники ошибок при геометрическом нивелировании. Ошибка за наклон рейки.

89. Источники ошибок при геометрическом нивелировании. Ошибка за наклон визирной оси зрительной трубы вследствие влияния недостаточной юстировки главного условия нивелира.

90. Источники ошибок при геометрическом нивелировании. Ошибка за отклонение метровых интервалов рейки от номинального значения и за прогиб рейки.

91. Точность технического нивелирования.

92. Нивелирование поверхности участка местности по квадратам.

93. Съёмка контуров при нивелировании участка местности по квадратам.

94. Обработка результатов съёмки участка местности по квадратам и подготовка плана.

95. Способы съёмки планового положения контуров. Способ линейной засечки.

96. Способы съёмки планового положения контуров. Способ прямоугольной засечки.

97. Способы съёмки планового положения контуров. Способ прямой угловой засечки.

98. Экер и его применение.

99. Сущность теодолитной съёмки.

100. Организация полевых геодезических работ при проложении теодолитных ходов.
101. Камеральная обработка измерений при проложении теодолитных ходов.
102. Вывод формулы угловой невязки теодолитного хода.
103. Вывод формулы допустимой угловой невязки теодолитного хода.
104. Вычисление дирекционных углов при измерении правых и левых углов теодолитного хода.
105. Вывод формулы невязки приращений координат.
106. Уравнивание приращений координат и вычисление координат теодолитных ходов.
107. Уравнивание замкнутых теодолитных ходов.
108. Определение неприступного расстояния.
109. Полярный метод теодолитной съемки.
110. Тригонометрическое нивелирование.
111. Учет рефракции и кривизны Земли при вычислении превышений при тригонометрическом нивелировании.
112. Допустимое расхождение между значениями превышений, измеренных в прямом и обратном направлениях при тригонометрическом нивелировании.
113. Сущность и применение тахеометрической съемки.
114. Приборы для тахеометрической съемки.
115. Геодезическое обоснование тахеометрической съемки. Теодолитно-нивелирный ход.
116. Геодезическое обоснование тахеометрической съемки. Теодолитно-высотный ход.
117. Геодезическое обоснование тахеометрической съемки. Тахеометрический ход.
118. Порядок работы на станции при тахеометрической съемке.
119. Проложение висячих ходов съёмочного обоснования и выполнение контрольной тахеометрической съемки.
120. Аналитические способы вычисления площадей.
121. Графические способы вычисления площадей.
122. Определение площадей с помощью планиметра.
123. Планиметр, его устройство и цена деления.
124. Поверки планиметра.
125. Правила работы с планиметром.
126. Ориентирование планшета по истинному и магнитному меридианам.
127. Ориентирование планшета по линии и подготовка планшета.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебная программа дисциплины «Геодезия»

Учебная программа по учебной дисциплине «Геодезия» разработана для специальности 6-05-0731-01 «Геодезия».

Целью учебной дисциплины «Геодезия» является формирование у студентов знаний о средствах и методах производства геодезических работ при крупномасштабных топографических съемках. Рассматриваются вопросы создания, корректировки топографических планов и их представление в бумажном и электронном видах, а также использование топографической информации для решения различных инженерных задач.

Основными задачами преподавания учебной дисциплины являются:

- определение круга фундаментальных понятий в области геодезии;
- ознакомление с современными автоматизированными технологиями в области топографии;
- приобретение навыков производства геодезических измерений и их математической обработки для составления топографических планов;
- ознакомление с методами производства топографо-геодезических работ на ограниченных участках земной поверхности.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении разделов дисциплин «Математика»: «Аналитическая геометрия», «Дифференциальное исчисление»; «Физика»: «Механика и геометрическая оптика»; «Вероятностно-статистические методы обработки измерений».

Учебно-исследовательские работы студентов направлены на приобретение студентами навыков и умений в проведении исследования геодезических приборов технической точности, а также оценке точности простейших геодезических измерений.

Для успешного закрепления знаний, полученных в период теоретического обучения и выполнения лабораторных, продолжением учебного процесса является учебная (геодезическая) полевая практика в условиях геодезического полигона.

В результате изучения учебной дисциплины «Геодезия» студент должен:

знать:

- основные геодезические приборы технической точности и методы производства измерений;
- методы производства топографических съемок;
- методы математической обработки геодезических измерений и их этапы;

уметь:

- производить поверки геодезических приборов технической точности;
- работать с геодезическими приборами технической точности;
- производить оценку качества и отбраковку грубых измерений;

иметь навык:

- производства основных видов геодезических измерений технической точности;

- обработки результатов измерений;
- выполнения поверок и исследований основных геодезических приборов.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий.

БПК-7. Владеть методами и средствами создания топографических карт и планов.

БПК-6. Владеть навыками работы с геодезическими приборами технической точности, использовать основные методы математической обработки геодезических измерений.

БПК-11. Выполняют поверки и юстировки геодезических оптических приборов и измерения с их использованием.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной (дневной) формы получения высшего образования всего 392 часа, из них аудиторных 186 часов;

- для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием всего 392 часа, из них аудиторных 18 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Таблица 1.

Очная (дневная) форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч	Лабораторные занятия, ч.	Форма текущей аттестации	Форма промежуточной аттестации
1	1	50	68	отчет о выполнении лабораторных работ	экзамен
1	2	34	34	отчет о выполнении лабораторных работ	экзамен

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием					
Курс	Семестр	Лекции, ч	Лабораторные занятия, ч.	Форма текущей аттестации	Форма промежуточной аттестации
1	2	10	8	отчет о выполнении лабораторных работ	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Общие сведения о геодезии

Предмет геодезии, значение в народном хозяйстве. Развитие геодезической науки. Фигура Земли и ее размеры. Системы координат и высот, применяемые в геодезии. Зональная система плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.

Тема 2. Топографические карты и планы

Понятие о плане и карте, их особенности. Подразделение карт по характеру искажений, по способу построения, по содержанию. Зарамочное оформление топографических карт и планов. Условные знаки топографических карт и планов, их виды и использование. Номенклатура топографических карт и планов. Определение координат по картам и планам. Ориентирование карт и планов на местности. Рельеф. Изображение рельефа на планах и картах.

Тема 3. Задачи, решаемые на топографических картах и планах

Содержание топографических карт и планов. Масштаб и высота сечения рельефа горизонталями. Определение размеров, положения, ориентирования. Задачи проектирования – горизонтальные и наклонные площадки, линии заданного уклона, профиль земной поверхности.

Тема 4. Элементы теории погрешностей измерений

Необходимые и избыточные измерения. Классификация погрешностей измерений и их свойства. Техника геодезических вычислений. Правила округления. Понятие веса измерений. Арифметическое среднее и среднее весовое. Абсолютная и относительная погрешности. Средняя квадратическая погрешность. Простейшая оценка точности результатов равноточных измерений. Средняя квадратическая погрешность суммы и арифметического среднего.

Тема 5. Теодолит. Поверки и исследования.

Производство угловых измерений

Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности. Теодолиты. Классификация и их устройство. Круглый и цилиндрический уровни. Зрительные трубы и отсчетные устройства технических теодолитов. Поверки, исследования и аттестация теодолитов. Теория вертикального круга. Способы измерений горизонтальных углов. Порядок работы при измерении горизонтальных и вертикальных углов. Погрешности угловых измерений. Измерение магнитного азимута.

Тема 6. Приборы и методы производства линейных измерений

Закрепление измеряемых линий на местности. Вешение линий. Приборы для непосредственного измерения линий. Компарирование. Выполнение

измерений. Вычисление длин линий. Источники погрешностей при измерении длин линий мерной лентой и рулеткой. Приведение длин линий к горизонту. Нитяной дальномер. Понятие об измерениях длин линий светодальномерами. Определение неприступных расстояний. Приведение к горизонту измеренных наклонных дальностей.

Тема 7. Определение планового положения точек на местности

Понятие планового положения точек на местности. Понятие о государственной геодезической сети и сетях сгущения. Прямая и обратная геодезические задачи. Определение положения точек засечками. Полярный метод. Метод прямоугольных координат. Методы засечек. Теодолитный ход. Теодолитная съемка. Вывод формул угловой невязки и допустимой угловой невязки теодолитного хода. Формулы приращений координат. Раздельное уравнивание теодолитного хода.

Тема 8. Нивелир. Нивелирные рейки. Поверки и исследования. Производство измерений

Виды нивелирования, сущность и их точность. Геометрическое нивелирование и его методы. Приборы для геометрического нивелирования. Их классификация, устройство, поверки и исследование нивелиров. Нивелирные рейки, поверки реек. Нивелирный ход. Производство нивелирования. Высотная геодезическая основа. Техническое нивелирование. Обработка журнала технического нивелирования. Основные источники ошибок геометрического нивелирования. Тригонометрическое нивелирование. Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования.

Тема 9. Вертикальная съемка местности

Основные положения вертикальной съемки. Нивелирование по квадратам. Полевые и камеральные работы при нивелировании по квадратам.

Тема 10. Состав работ при производстве наземных топографических съемок

Общие сведения о топографических съемках, их основные виды. Создание съемочного обоснования, методы съемки ситуации. Сущность и применение тахеометрической съемки. Приборы для тахеометрической съемки. Полевые работы и порядок работы на станции при тахеометрической съемке. Камеральная обработка, составление и оформление плана тахеометрической съемки.

Тема 11. Определение площадей

Сущность задачи определения площадей. Аналитические и графические способы измерения площадей. Механический способ измерения площадей по карте. Планиметр и его поверки. Допустимая погрешность определения площадей.

Тема 12. Геодезические сети

Системы координат. Необходимость создания сетей и их назначение. Соотношение точности угловых и линейных погрешностей при построении плановых геодезических сетей. Методы и точности построения высотных геодезических сетей. Свободные и несвободные геодезические сети.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы, занятия	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 семестр								
1	Общие сведения о геодезии	6						
2	Топографические карты и планы	8						
	Лабораторное занятие №1 «Изучение масштабов топографических карт и ланов»				2			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 2 «Изучение номенклатуры топографических карт и планов»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 3 «Изучение изображения ситуации на топографических картах и планах»				2			Защита лабораторной работы
3.	Задачи, решаемые на топографических картах и планах	8						
	Лабораторное занятие № 4 «Измерение длин линий по топографическим картам»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 5 «Определение координат по топографическим картам и планам»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 6 «Изучение изображения рельефа на топографических картах и планах»				8			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 7 «Изучение элементов ориентирования»				4			Защита лабораторной работы
4	Элементы теории погрешностей измерений	4						

	Лабораторное занятие № 8 «Оценка точности результатов измерений».				2			Защита лабораторной работы
5	Теодолит. Поверки и исследования. Производство угловых измерений	8						
	Лабораторное занятие № 9 «Изучение устройства теодолита 2Т30»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 10 «Поверки теодолита 2Т30»				6			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 11 «Измерение углов теодолитом 2Т30»				6			Защита лабораторной работы
6	Приборы и методы производства линейных измерений	8						
7	Определение планового положения точек на местности	8						
	Лабораторное занятие № 12 «Обработка журнала измерения углов и сторон теодолитного хода»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 13 «Обработка ведомости координат теодолитного хода»				6			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 14 «Построение сетки координат и нанесение точек теодолитного хода»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 15 «Нанесение на план результатов теодолитной съемки»				8			Защита лабораторной работы
	Итого за семестр	50			68			Экзамен
2 семестр								
8	Нивелир. Нивелирные рейки. Поверки и исследования. Производство измерений	8						
	Лабораторное занятие № 16 «Изучение устройства нивелира Н-10»				2			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 17 «Поверки нивелира Н-10»				6			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 18 «Измерение превышений нивелиром Н-10»				4			Защита лабораторной работы
9	Вертикальная съемка местности	6						
	Лабораторное занятие № 19 «Обработка журнала вертикальной съемки местности»				2			Защита лабораторной работы

	Лабораторное занятие № 20 «Обработка журнала-схемы нивелирования по квадратам»				2			Защита лабораторной работы
10	Состав работ при производстве наземных топографических съемок	8						
	Лабораторное занятие № 21 «Обработка журнала тахеометрической съемки»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 22 «Нанесение на план результатов тахеометрической съемки»				4			Защита лабораторной работы
	Лабораторное занятие № 23 «Построение рельефа на топографическом плане»				6			Защита лабораторной работы
11	Определение площадей	6						
	Лабораторное занятие № 24 «Определение площадей аналитическим и механическим способами»				4			Защита лабораторной работы
12	Геодезические сети	6						
	Итого за семестр	34			34			Экзамен
	Всего аудиторных часов				180			

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск: Высш. шк., 2011. – 463 с.
2. Дегтярев, А. М. Геодезия: учеб.-метод. комплекс в 2 ч. Ч. I / А. М. Дегтярев. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 216 с.
3. Баканова, В. В. Геодезия: учебник для вузов / В. В. Баканова. – М.: Недра, 1980. – 277 с.
4. Маслов, А. В. Геодезия / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М.: Колосс, 2006. – 598 с.
5. Перфилов, В. Ф. Геодезия / В. Ф. Перфилов. – М.: Высш. шк., 2006. – 350 с.
6. Поклад, Г. Г. Геодезия / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – М.: Академический проспект, 2007. – 592 с.
7. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Государственный банк геодезических данных Республики Беларусь. Основные положения: ТКП 046-2006 (03150). – Введ. 28.12.06. – Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2007. – 12 с.
8. Селиханович В. Г. Геодезия: Учебник для вузов, Ч. II – М.: Недра, 1981. – 544 с.
9. Селиханович В.Г., Козлов В.П., Логинова Г.П. Практикум по геодезии: Учебное пособие / Под ред. В.Г. Селиханович. 2-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1978 г. – М.: ООО ИД «Альянс», 2006. – 382 с.
10. Техническая инструкция: ГКНП 01-002-2010. – Введ. 01.04.2010. – Минск: Топографо-геодезическое республиканское унитарное предприятие «Белгеодезия», 2010. – 63 с.
11. Техническая инструкция ГКИНП (ГНТА) 03-010-03. – Введ. 01.02.2004. – Москва: Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии, 2003. – 244 с.
12. Техническая инструкция ГКИНП 02-033-82 – Введ. 01.01.1983. – Москва: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1982. – 160 с.
13. Геодезия: учеб.-метод. комплекс / сост. и общ. ред. Ю. П. Будю. В 2 ч. Ч. II. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 264 с.
14. Инженерная геодезия [Электронный ресурс]. Ч.1. Основные сведения по геодезии. Топографо-геодезические изыскания : учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-70 02 01 "Промышленное и гражданское строительство" / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Инженерная геодезия". – Электрон. дан. – Минск : БНТУ, 2016.–Режим доступа : <http://rep.bntu.by/handle/data/24627>
15. Другаков, П.В. Геодезия. Обработка материалов тахеометрической съемки : методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по специальностям 1-56 01 01 Землеустройство, 1-56 01

02 Земельный кадастр / П. В. Другаков, Т. В. Шулякова ; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадров, Учреждение образования "Белорусская государственная сельскохозяйственная академия", Кафедра геодезии и фотограмметрии. – Горки : БГСХА, 2017. – 15 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1. Журнал измерения углов и сторон основного теодолитного хода
(схема на рис. 1) Теодолит 2Т30П. Рулетка ОПК2-50 АНТ/1.

№ точки, обозначение угла		Отсчёты по горизонтальному кругу	Горизонтальные углы		Длины линий S, м 1-промер, 2-промер; гориз. пролож.	Углы наклона и на какую длину
стояния	наблюдения		КП и КЛ	средние		
1	2	3	4	5	6	7
1 β_1	□B	274° 27'	111° 18'	111° 17,5'	(1-2)	
	2	163° 09'			96,50	
	□B	94° 27'	<u>96,53</u>			
	2	343° 10'	96,52			
2 β_2	1	13° 48'			(2-3)	
	3	193° 48'			91,68	
	1	193° 47'			91,66	
	3	13° 47'				
3 β_3	2	326° 28'			(3-4)	3°20' на всю длину
	4	219° 47'			66,22	
	2	146° 29'			66,19	
	4	39° 47'				
4 β_4	3	30° 20'			(4-5)	
	5	282° 06'			80,20	
	3	210° 20'			80,13	
	5	102° 05'				
5 β_5	4	347° 49'			(5-6)	
	6	106° 20'			89,94	
	4	167° 48'			89,85	
	6	286° 19'				
6 β_6	5	244° 39'			(6-7)	
	7	145° 33'			99,87	
	5	64° 40'			99,84	
	7	325° 33'				
7 β_7	6	138° 46'			(7-8)	
	8	318° 46'			92,21	
	6	318° 46'			92,24	
	8	138° 46'				
8 β_8	7	341° 17'			(8-9)	2°40' на всю длину
	9	237° 47'			76,96	
	7	161° 18'			76,94	
	9	57° 49'				
9 β_9	8	204° 39'			(9-B)	
	□B	74° 56'			99,01	
	8	24° 39'			98,95	
	□B	254° 55'				
□B β_B	9	349° 58'			(B-1)	
	1	169° 57'			96,74	
	9	169° 59'			96,78	
	1	349° 59'				
			$\Sigma\beta_{\text{изм}} =$			
			$\Sigma\beta_{\text{изм}} =$			
			Фактическая угловая невязка $f_{\beta} =$	$f_{\beta} = \pm 1' \sqrt{n} = \pm$		

Вычислил студент _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 2. Журнал измерения углов и сторон диагонального теодолитного хода и вспомогательного треугольника

№ точки, обозначение угла		Отсчёты по горизонтальному кругу	Горизонтальные углы		Длины линий S , м 1-промер 2-промер гориз. пролож.	Углы наклона и на какую длину
			КП и КЛ	Среднее		
стояния	наблюдения		4	5	6	7
5 β''_5	4	55° 19'		β''_5	(5-11) неприступное расстояние	
	11	261° 46'				
	4	235° 19'				
	11	81° 45'				
11 β_{11}	5	248° 51'		β_{11}	(11-В) 86,07 86,05	4°30' на 26 м
	□В	100° 12'				
	5	68° 50'				
	□В	280° 10'				
□В β''_B	11	198° 24'		β''_B		
	1	106° 48'				
	11	18° 25'				
	1	286° 49'				
5 β'_5	11	157° 35'		β'_5	вспомогательный треуголь- ник 5-6-11	
	6	69° 39'				
	11	337° 36'				
	6	249° 40'				
6 β'_6	5	193° 19'		β'_6	вспомогательный треуголь- ник 5-6-11	
	11	144° 39'				
	5	13° 19'				
	11	324° 38'				
11 β'_{11}	6	351° 10'		β'_{11}	вспомогательный треуголь- ник 5-6-11	
	5	307° 48'				
	6	171° 10'				
	5	127° 48'				

Таблица 3. Угловая привязка основного теодолитного хода к пунктам полигонометрии А и В геодезической опорной сети (схема на рис. 4)

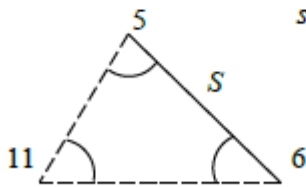
Обозначение				Отсчет по горизонтальному кругу	Формула вычисления горизонтального угла в полуприеме	Значение угла в полуприеме	Среднее значение угла
вершины угла	положения теодолита и номера точки визирования						
□В	КП	1	n_1	250° 26'	$\beta'_1 = n_1 - n_A$		$\beta_1 =$
		А	n_A	198° 14'	$\beta'_2 = n_A - n_9$		$\beta_2 =$
		9	n_9	70° 26'	$\beta'_3 = n_1 - n_9$		$\beta_3 =$
□В	КЛ	1	n_1	70° 27'	$\beta''_1 = n_1 - n_A$		$\beta_1 = (\beta'_1 + \beta''_1)/2$
		А	n_A	18° 15'	$\beta''_2 = n_A - n_9$		
		9	n_9	250° 26'	$\beta''_3 = n_1 - n_9$		

Вычислил студент _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 4. Вычисление длины недоступной стороны 5-11

Горизонтальный угол				Длины сторон треугольника 5-6-11
обозначение	измеренный	поправка	исправленный	
β'_5				Дано $s_{5-6} =$
β'_6				
β'_{11}				Вычисляется по формулам (4) $s_{5-11} =$ $s_{6-11} =$
$\Sigma\beta_{\text{изм}}$				
$\Sigma\beta_{\text{теор}}$				
$f_{\Sigma\beta}$				Контроль по формуле (5) $\text{const} = \underline{\hspace{2cm}} =$ $= \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$.
$f_{\Sigma\beta, \text{доп}}$				



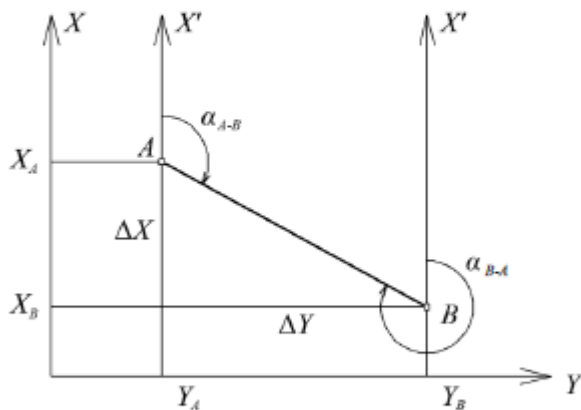
$$s_{5-11} = s_{5-6} \sin(\beta_6) / \sin(\beta_{11}), \quad s_{6-11} = s_{5-6} \sin(\beta_5) / \sin(\beta_{11}). \quad (4)$$

$$s_{5-11} / \sin(\beta_6) = s_{5-6} / \sin(\beta_{11}) = s_{6-11} / \sin(\beta_5) = \text{const}. \quad (5)$$

Расчет _____

Студент: _____

Вычисление исходного дирекционного угла α_{A-B} (вариант № _____)



Дано: $x_B =$ _____, $y_B =$ _____

$x_A =$ _____, $y_A =$ _____

Решение:

$$r = \text{arctg} \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right| = \text{arctg} \underline{\hspace{2cm}} =$$

$\alpha_{A-B} =$

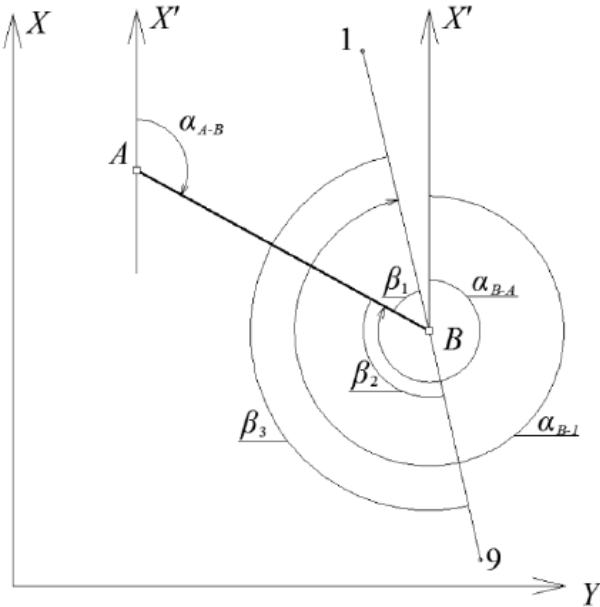
$\alpha_{B-A} =$

$S_{A-B} =$

Студент: _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

**Вычисление начального дирекционного угла стороны B-1
основного теодолитного хода (вариант № _____)**



β_1, β_2 и β_3 из таблицы 3

1) $\alpha_{B-1} = \alpha_{B-A} + \beta_1 =$ _____

2) контроль

$\alpha_{B-1} = \alpha_{B-A} - \beta_2 + \beta_3 =$ _____

Студент: _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода _____ Вариант № _____ Студент _____ 1 к. _____ гр. _____ фак. _____

Номер вер- шины	Горизонтальный угол		Дирекци- онный угол α	Румб, r	Горизон- тальное проло- жение S , м	Приращения координат, м				Координаты, м				Номер вер- шины
	изме- ренный β'	исправ- ленный β				поправки, приращ. вычисленные		исправленные		Координаты, м				
						\pm	$\Delta x'$	\pm	$\Delta y'$	\pm	Δx	\pm	Δy	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
□B	----	----												□B
		$\alpha_n =$												
1														1
2														2
3														3
4														4
5														5
6														6
7														7
8														8
9														9
□B														□B
		$\alpha_k =$			----	----	----	----	----					
1	----	----												1

$\Sigma \beta' =$ $\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180 - \beta_{i \text{ испр}}$ $\Sigma s =$ $\Sigma \Delta x' =$ $\Sigma \Delta y' =$ $\Sigma \Delta x =$ $\Sigma \Delta y =$ $x_k - x_H =$ $y_k - y_H =$
 $\Sigma \beta_{\text{теор}} = 180^\circ(n - 2) =$ $\Sigma \Delta x_i =$ $\Sigma \Delta y_i =$
 $f_\beta =$ $f_x =$ $f_y =$ $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} =$ _____
 $f_\beta \text{ доп} = 1' \sqrt{n} =$ $\Delta x' = S \cos \alpha; \Delta y' = S \sin \alpha.$ $(f_s)_{\text{доп}} = \Sigma s / 1500 =$ _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Ведомость вычисления координат вершин теодолитного хода _____ Вариант № _____ Студент _____ 1 к. _____ гр. _____ фак. _____

Номер вершины	Горизонтальный угол		Дирекционный угол α	Румб, r	Горизонтальное проложение S , м	Приращения координат, м				Координаты, м		Номер вершины	
	измеренный β'	исправленный β				поправки, приращ. вычисленные		исправленные		x	y		
						\pm	$\Delta x'$	\pm	$\Delta y'$				\pm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
4	-----	-----											4
		$\alpha_n =$											
5													5
11													11
$\square B$													$\square B$
		$\alpha_k =$											
1	-----	-----											1

$\Sigma \beta' =$ $\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180 - \beta_{i \text{ испр}}$ $\Sigma s =$ $\Sigma \Delta x' =$ $\Sigma \Delta y' =$ $\Sigma \Delta x =$ $\Sigma \Delta y =$ $x_k - x_n =$ $y_k - y_n =$

$\Sigma \beta_{\text{теор}} = \alpha_n + 180^\circ n - \alpha_k =$ $\Sigma \Delta x_i =$ $\Sigma \Delta y_i =$

$f_\beta =$ $f_x =$ $f_y =$ $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} =$ _____

$f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n} =$ $\Delta x' = S \cos \alpha; \quad \Delta y' = S \sin \alpha.$ $(f_s)_{\text{доп}} = \Sigma s / 1500 =$ _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

**Журнал нивелирования пунктов планового
съемочного обоснования застроенного участка Вариант № _____**
Нивелир НЗ, рейки нивелирные РНТ-3000 *Студент* _____

№ ст.	№ точки	Отсчеты по рейкам, мм		Превышения, мм		По-пр. v , мм	Превышение уравни, h , мм	Отметки, H , м
		задней З	передней П	h' h''	средн h_{cp}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	пцА	2159						_____
	тг 1	6842	1457					_____
			6144					
2	тг 1	2038						_____
	тг 2	6721	1631					_____
			6311					
3	тг 2	2985						_____
	тг11	7668	0804					_____
			5491					
4	тг11	2465						_____
	тг 7	7149	0890					_____
			5573					
5	тг 7	1649						_____
	тг 8	6332	2130					_____
			6811					
6	тг 8	0206						_____
	пцВ	4890	2982					_____
			7663					

$$\Sigma Z = \quad \Sigma П = \quad \Sigma h_{cp} = \quad \Sigma h_{теор} = \quad \text{мм}$$

$$(\Sigma Z - \Sigma П)/2 =$$

Фактическая невязка превышений $f_h = \Sigma h_{cp} - \Sigma h_{теор} = \quad \text{мм}$

Допустимая невязка превышений $f_{h, доп} = 30\sqrt{L} = \pm \quad \text{мм}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

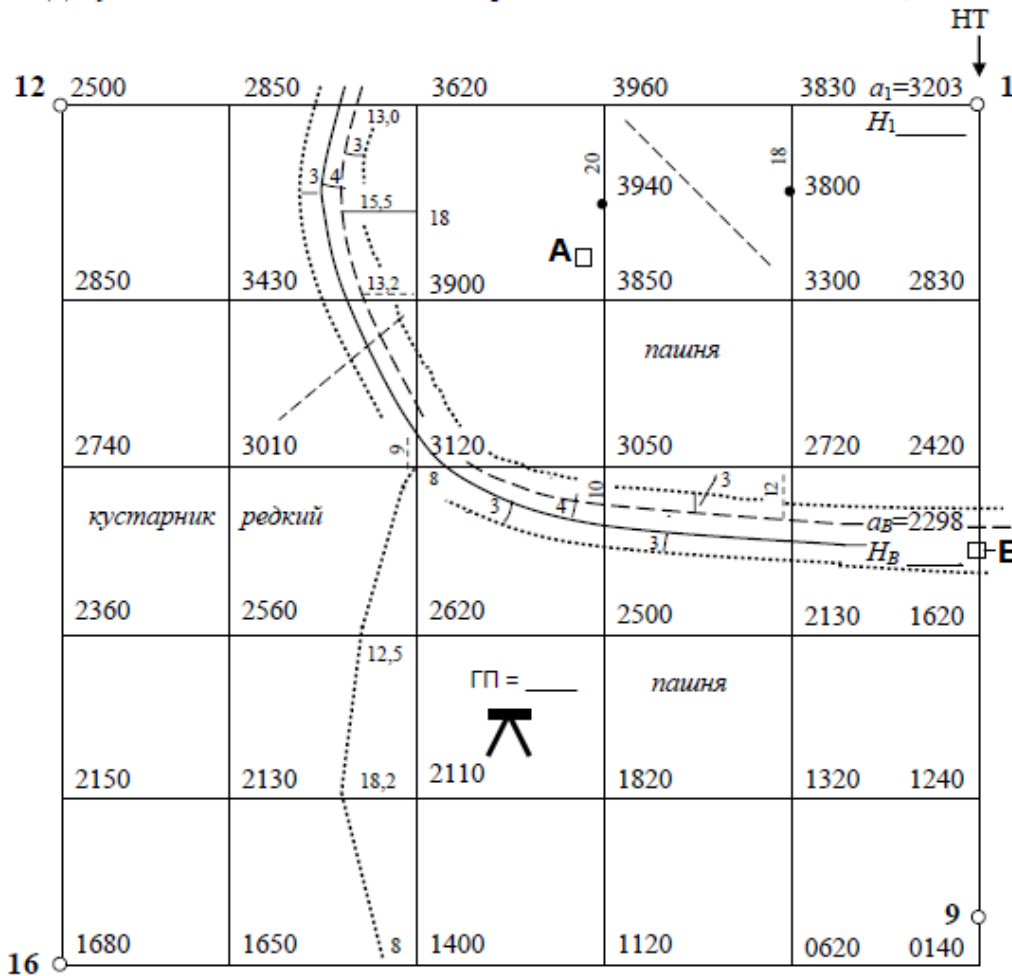
Журнал-схема нивелирования поверхности по квадратам

Размер участка 200×200 м, размер квадрата 40×40 м.

Сетка квадратов привязана к сторонам 1-В, В-9 основного теодолитного хода

Начальная точка сетки НТ совмещена с вершиной 1 теодолитного хода

Допустимое отклонение на плане стороны S_{12-16} от 200 мм составляет 0,3 мм.



Вычисления отметок вершин квадратов.

1. С помощью горизонтального луча нивелира получены отсчеты a_i в мм по нивелирной рейке длиной 3 м, поставленной на землю в вершинах квадратов и на точки 1 и В теодолитного хода.

2. На схему записать отметки H_1 и H_B своего варианта точек 1 и В теодолитного хода, взятые из журнала нивелирования.

3. Вычислить дважды горизонт прибора в метрах: $\Gamma П' = H_1 + a_1 = H_1 + 3,205 = \underline{\hspace{2cm}}$;
 $\Gamma П'' = H_B + a_B = H_B + 2,298 = \underline{\hspace{2cm}}$ и его среднее значение $\Gamma П_{ср.} = \underline{\hspace{2cm}}$ м.
 Величину $\Gamma П$ данной нивелирной станции записать на схеме.

4. Вычислить и записать в журнал-схему (под отсчетами, под чертой) отметки вершин квадратов, выраженные в метрах и округленные до 0,01 м. Правило вычислений: «постоянное значение горизонта прибора минус соответствующий отчет a_i по рейке, выраженный в метрах, например отчет 0620 = 0,62 м., отчет 1680 = 1,68 м.

$$H_{\text{верш. квадрата}} = \Gamma П_{ср.} - a_i.$$

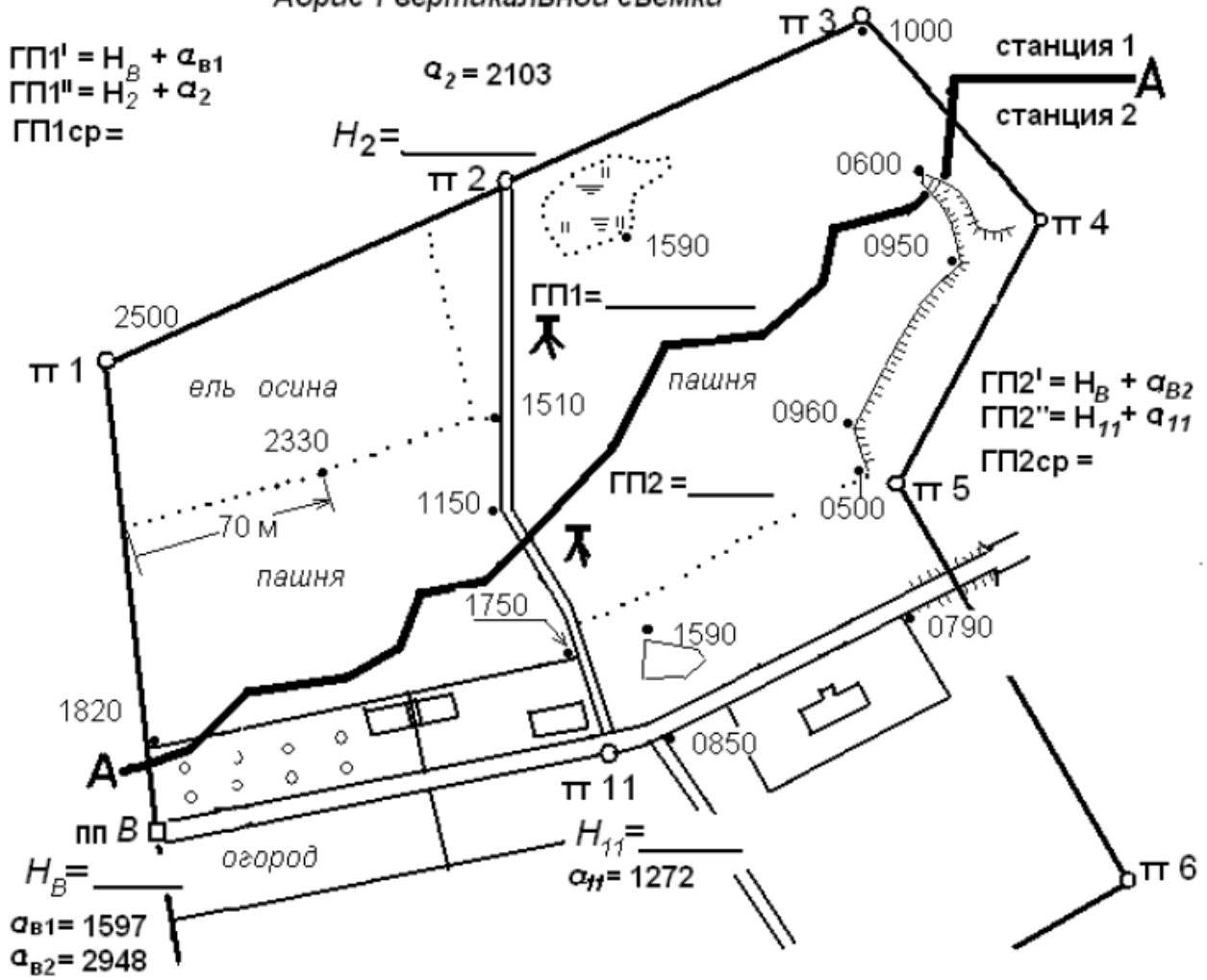
Сетку квадратов нанести на план участка с привязкой к линии 1-В-9 теодолитного хода, затем на план нанести горизонтали с высотой сечения $h_c = 0,5$ м. На абрисе прерывистой линией отмечены диагонали, по которым также следует интерполировать положение горизонталей.

Выполнил студент _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Абрис 1 вертикальной съемки

$$\begin{aligned} \text{ГП1}' &= H_B + \alpha_{B1} \\ \text{ГП1}'' &= H_2 + \alpha_2 \\ \text{ГП1ср} &= \end{aligned}$$



Абрис 1 нивелирования поверхности с использованием плана северной части участка теодолитной съемки; AA – граница вертикальной съемки между станциями 1 и 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Вариант № _____

Студент _____

ЖУРНАЛ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Теодолит 2Т30П,

 $MO = (Л + П) / 2; \quad v = (Л - MO); \quad v = (MO - П);$

№ тчк., станции	Высота наведения v , м	Лента, S , м; даль-номер, D , м	Кру-г	Отсчеты по кругу		Угол наклона $\pm v$	Горизонтальное пролож. $D \cos^2 v = s$, м	Превышение, м			Отметка съёмочного пикета H , м	Горизонтальный угол β ; примечания
				горизонтальному ГК	вертикальному ВК			$\pm h'$	$i - v$	$(h' + i - v) = h$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Станция п.п. В												
$i = 1,35$		$MO =$ _____					$H_B =$ _____ м					
тт 1	1,35	96,76	Л		$-0^\circ 32'$							
тт 1	—		П		$+0^\circ 32'$							
Станция п.п. А												
$i = 1,40$		$MO =$ _____					$H_A =$ _____ м					
пп В	1,40	103,63	Л	$303^\circ 26'$								$\beta' =$
тт 12	—	122,74	Л	$101^\circ 21'$	$+0^\circ 40'$							$\beta'' =$
пп В	—		П	$126^\circ 39'$								$\beta_A =$
тт 12	—		П	$284^\circ 34'$	$-0^\circ 38'$							
Станция тт 12												
$i = 1,42$		$MO =$ _____					$H_{12} =$ _____ м					
пп А	1,42	122,74	Л	$198^\circ 35'$	$-0^\circ 39'$							$\beta' =$
тт 13	—	138,41	Л	$111^\circ 43'$	$-0^\circ 20'$							$\beta'' =$
пп А	—		П	$16^\circ 30'$	$+0^\circ 41'$							$\beta_{12} =$
тт 13	—		П	$289^\circ 38'$	$+0^\circ 22'$							
Станция тт 13 При КЛ нуль горизонтального круга ориентирован на тт 14												
$i = 1,40$		$MO =$ _____					$H_{13} =$ _____ м					
тт 12	1,40		П	$322^\circ 49'$	$-0^\circ 19'$							$\beta' =$
тт 14	—		П	$212^\circ 12'$	$+0^\circ 31'$							$\beta'' =$
тт 12	—	138,41	Л	$110^\circ 36'$	$+0^\circ 21'$							$\beta_{13} =$
тт 14	—	176,53	Л	$0^\circ 00'$	$-0^\circ 29'$							
1		104,5	Л	$9^\circ 00'$	-	-	-	-	-	-	-	Ограда
2	3,00	104,8	Л	$15^\circ 02'$	$+0^\circ 12'$							
3	3,00	46,0	Л	$20^\circ 26'$	$+1^\circ 34'$							
4	2,00	110,0	Л	$30^\circ 30'$	$-0^\circ 12'$							
5		56,8	Л	$51^\circ 00'$	-	-	-	-	-	-	-	Дорога
6	1,40	148,1	Л	$47^\circ 48'$	$-0^\circ 21'$							высотн.
7	—	115,0	Л	$53^\circ 33'$	$-0^\circ 15'$							
8	—	178,5	Л	$39^\circ 06'$	$-0^\circ 10'$							
9	—	98,0	Л	$71^\circ 07'$	$0^\circ 00'$							
10	—	95,8	Л	$114^\circ 31'$	$+0^\circ 30'$							
11	—	44,0	Л	$138^\circ 24'$	$+0^\circ 46'$							
12	—	26,6	Л	$177^\circ 54'$	$+1^\circ 03'$							
13		31,7	Л	$296^\circ 36'$	-	-	-	-	-	-	-	Угол здн
14	1,40	79,5	Л	$288^\circ 03'$	$-0^\circ 27'$							
15	—	90,6	Л	$264^\circ 15'$	$-0^\circ 12'$							Забор
16	—	98,6	Л	$318^\circ 54'$	$-0^\circ 35'$							
17	—	65,7	Л	$344^\circ 50'$	$-0^\circ 37'$							Угол здн
Станция тт 14												
$i = 1,36$		$MO =$ _____					$H_{14} =$ _____ м					
тт 13	1,36		П	$339^\circ 39'$	$-0^\circ 28'$							$\beta' =$
тт 1	—		П	$260^\circ 11'$	$-0^\circ 37'$							$\beta'' =$
тт 13	—	176,53	Л	$0^\circ 00'$	$+0^\circ 30'$							$\beta_{14} =$
тт 1	—	138,07	Л	$280^\circ 31'$	$+0^\circ 39'$							

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

№	v, м	D, м	Кр.	ГК	ВК	$\pm v$	s, м	$\pm h'$	i - v	$\pm h$	H, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Продолжение. Станция тт 14. При КП нуль горизонтального круга ориентирован на тт 13												
$i = 1,36$		МО =		ГП ₁₄ = H ₁₄ + i =				H ₁₄ = м				
18	3,00	103,6	Л	40°15'	+0°53'							Забор
19	3,00	82,4	Л	44°05'	+0°36'							Ограда
20	3,00	60,5	Л	66°02'	+0°34'							
21		44,6	Л	118°16'	-	-	-	-	-	-	-	Уг. огр.
22	3,00	52,6	Л	123°32'	+1°46'							Уг. заб.
23	1,36	111,1	Л	167°24'	+0°30'							Дорога
24	-"-	161,4	Л	176°36'	+0°32'							Высотн
25	-"-	68,5	Л	182°24'	+0°37'							
26		13,0	Л	226°36'	-	-	-	-	-	-	-	Уг огр
27		21,4	Л	221°50'	-	-	-	-	-	-	-	Уг заб
28	1,36	40,5	Л	229°31'	+0°51'							Дорога
29	-"-	95,2	Л	228°07'	+0°52'							Высотн
30	-"-	157,3	Л	205°12'	+0°44'							
31	0,22	91,7	Л	264°26'	Геометрическое нивелирование H _{р.т.} = ГП ₁₄ - v							
32		45,1	Л	276°12'		-	-	-	-	-	-	Дорога
33	1,34	27,5	Л	290°00'	Геометрическое нивелирование							
34		22,6	Л	303°30'		-	-	-	-	-	-	
35	1,50	54,7	Л	326°50'	Геометрическое нивелирование						Забор д	
36	1,30	68,5	Л	313°34'	Геометрическое нивелирование						Дорога	
37	0,89	101,5	Л	307°37'	Геометрическое нивелирование							
38		50,5	Л	333°33'		-	-	-	-	-	-	Ограда
39	1,43	78,7	Л	22°15'	Геометрическое нивелирование						высотн.	
40	1,91	36,9	Л	36°54'	Геометрическое нивелирование						высотн.	
Станция тт 1												
$i = 1,33$		МО =		H ₁ = м								
тт14	1,33	138,07	Л	19°56'	-0°38'							$\beta' =$
ппВ	-"-	96,76	Л	191°11'	+0°33'							$\beta'' =$
тт14	-"-		П	204°49'	+0°40'							$\beta_1 =$
ппВ	-"-		П	16°04'	-0°31'							

Ведомость вычисления отметок пунктов тт 12, тт 13, тт 14 теодолитно-тахеометрического хода

№ п-та	Даль-номер D, м	Превышение $\pm h$, м			По-прав-вкн δ , м	Пре-выш. уравни. $\pm h$, м	Отметка пункта (станции) H _c , м	Схема теодолитно-тахеометрического хода съёмочного обоснования.
		прямое h _{пр}	обратн. h _{обр}	среднее h _{ср}				
пп А						H _н		
	122,7							
тт 12								
	138,4							
тт 13								
	176,5							
тт 14								
	138,0							
тт 1								
	96,8							
пп В						H _к		

$\Sigma D =$ $\Sigma h_{ср} =$ Невязка превышений фактическая $f_h = \Sigma h_{ср} - \Sigma h_{теор} =$ _____
 $\Sigma D_c =$ $\Sigma h_{теор} = H_k - H_n =$ Невязка превышений допустимая $f_{h доп} = 0,04 \Sigma D_c / \sqrt{n} =$ _____

Вычислил студент _____

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Абрис тахеометрической съемки участка местности относительно пунктов тт 13 и тт 14 теодолитно-тахеометрического хода

