

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тверской государственный университет»

И.И. ГАВРИЛОВА

ОСНОВЫ ТОПОГРАФИИ

Учебное пособие

Тверь 2005

УДК 528.4(075.8)
ББК Д12я73-1
Г 12

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
В.Я. Степанов
Кандидат технических наук, доцент
О.А. Козин

И.И. Гаврилова
Г 12 Основы топографии: Учебное пособие. – Тверь: Твер.гос.ун-т.
2005. - 132 с.

Изложены основы топографии, рассмотрено устройство геодезических приборов, приведены способы обработки полевых геодезических измерений с целью создания топографических карт и планов. Предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения географических факультетов вузов.

Печатается по решению учебно-методического совета ТвГУ.

УДК 528.4(075.8)
ББК Д12я73-1

Гаврилова И.И., 2005
Тверской государственный
университет, 2005

Оглавление

Раздел 1. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ.....	5
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.1. Предмет топография и её связь с другими науками.....	5
1.2. Историческая справка.....	6
Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	7
2.1. Форма и размеры земли.....	7
2.2. Элементы измерения на местности.....	9
2.3. Абсолютные и относительные отметки точек местности и превышения.....	10
Глава 3. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ.....	11
3.1. Карта, план.....	11
3.2. Системы координат топографических карт.....	11
3.3. Номенклатура топографических карт.....	15
3.4. Классификация карт по содержанию.....	19
3.5. Масштабы топографических карт.....	21
3.6. Оформление топографических карт.....	21
3.7. Содержание топографических карт.....	23
3.8. Рельеф и его изображение на карте.....	23
3.9. Построение продольного профиля местности по карте.....	26
Глава 4. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ.....	28
4.1. Азимуты, дирекционные углы, румбы.....	28
4.2. Измерение дирекционных углов и азимутов на карте.....	31
4.3. Прямая и обратная геодезические задачи, приращение координат.....	32
4.4. Передача дирекционного угла на линию.....	33
Раздел 2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ.....	34
Глава 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ.....	34
5.1. Погрешности и их виды.....	34
5.2. Свойства случайных погрешностей.....	35
5.3. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности.....	36
5.4. Оценка точности результатов измерений.....	38
Глава 6 . ПОНЯТИЕ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ДЛИН ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ.....	38
6.1. Приборы, используемые при измерении длин линий местности.....	38
6.2. Устройство штриховой ленты.....	39
6.3. Измерение длин линий местности при помощи штриховой ленты.....	39
6.4. Оптические дальномеры.....	40
6.5. Светодальномеры.....	41
6.6. Радиодальномеры.....	42
Глава 7. ТЕОДОЛИТЫ И ТЕОДОЛИТНЫЕ ХОДЫ.....	42
7.1. Теодолитные ходы.....	43
7.2. Теодолиты, их устройство, поверки.....	43
7.3. Измерение горизонтальных углов.....	48
7.4. Измерение теодолитом магнитного азимута.....	51
7.5. Измерение вертикальных углов.....	52
7.6. Измерение превышений точек местности при помощи теодолита.....	53
7.7. Проложение теодолитных ходов.....	54
7.8. Погрешности измерения горизонтальных углов.....	56
7.9. Обработка материалов теодолитных ходов и вычисление координат вершин замкнутого полигона.....	57

7.10. Основные сведения о лазерных геодезических приборах.....	59
Глава 8. НИВЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ.....	61
8.1. Способы нивелирования местности.....	61
8.2. Виды геометрического нивелирования местности.....	61
8.3. Нивелирные ходы.....	62
8.4. Виды нивелиров, их поверки.....	64
8.5. Нивелирные рейки НР-3.....	68
8.6. Погрешности нивелирования.....	69
8.7. Техническое нивелирование местности.....	70
8.8. Обработка журналов технического нивелирования.....	71
8.9. Общие сведения о лазерных нивелирах.....	73
8.10. Нивелирование в школьных условиях.....	74
Глава 9. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	75
9.1. Классификация государственных геодезических сетей.....	75
9.2. Построение государственных геодезических сетей методом триангуляции.....	76
9.3. Построение государственных геодезических сетей методом полигонометрии и трилатерации.....	77
9.4. Государственная нивелирная сеть.....	78
9.5. Геодезические сети сгущения и съёмочные сети.....	79
9.6. Закрепление на местности пунктов государственных геодезических сетей.....	80
Раздел 3. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ.....	81
Глава 10. НАЗЕМНЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ.....	81
10.1. Виды топографических съёмки местности.....	81
10.2. Тахеометрическая съёмка местности.....	83
10.2.1. Приборы, применяемые при тахеометрической съёмке.....	84
10.2.2. Проложение тахеометрических ходов.....	85
10.2.3. Виды тахеометрических съёмки.....	86
10.2.4. Порядок работ при выполнении тахеометрической съёмки.....	87
10.2.5. Вычисление ведомости тахеометрической съёмки и построение плана местности.....	88
10.2.6. Автоматизация тахеометрической съёмки.....	90
10.3. Мензуральная съёмка и проложение мензуральных ходов.....	90
10.3.1. Приборы, используемые при мензуральной съёмке, их устройство, поверки.....	93
10.3.2. Выполнение съёмочных работ.....	96
10.4. Комплекс работ, выполняемых при создании топографических карт и планов местности.....	98
10.5. Виды глазомерных съёмки местности.....	99
10.5.1. Маршрутная глазомерная съёмка местности методом разбивки базиса.....	99
10.5.2. Площадная глазомерная съёмка местности полярным методом при помощи визирной линейки.....	101
10.5.3. Площадная съёмка местности полярным методом при помощи буссоли.....	102
10.5.4. Площадная съёмка местности методом «обхода участка».....	103
Глава 11. ДИСТАНЦИОННЫЕ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ.....	104
11.1. Дистанционные съёмки местности.....	104
11.2. Аэрофотосъёмка местности.....	104
11.3. Планово-высотная привязка аэрофотоснимков.....	105
11.4. Фотограмметрическое сгущение опорной сети и трансформирование аэрофотоснимков.....	106

11.5. Монтаж фотопланов.....	107
11.6. Дешифрирование аэрофотоснимков и фотопланов	108
11.7. Аэрофототопографическая съёмка местности	111
11.8. Комбинированная аэрофототопографическая съёмка местности	111
11.9. Стереотопографическая съёмка местности	113
11.10. Создание топографических карт дифференцированным методом	113
11.11. Создание топографических карт на универсальных приборах	115
11.12. Методы автоматизации аэрофототопографической съёмки местности	117
11.13. Применение космической съёмки	119
Глава 12. НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МЕСТНОСТИ.....	120
12.1. Глобальные системы определения местоположения ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS.....	120
12.2.Режимы наблюдений.....	122
12.3. Приёмники GPS.....	123
12.4. Организация геодезических работ с использованием базовых станций DGPS.....	125
12.5. Наземно-космические топографические съёмки местности.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
Список рекомендуемой литературы.....	130

Раздел 1. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

Глава 1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Предмет топография и её связь с другими науками

ТОПОГРАФИЯ—наука, изучающая земную поверхность. Её целью данной науки является создание топографических карт местности (топо - место, графия – описание).

В задачу топографии входят:

1. Измерение длин линий, углов на поверхности земли, под землёй, над землёй.
2. Вычислительная обработка результатов измерений.
3. Графическое построение и оформление карт, планов.
4. Использование результатов измерений, графических построений при решении задач промышленности, сельского хозяйства, строительства, научных исследований.

Карты, планы, профили необходимы при проектировании границ земельных участков, при строительстве водоёмов, дорог, в проведении государственного земельного кадастра. Карта нужна для ведения боевых операций.

Топография тесно связана с геодезией, которая включает задачи определения формы и размеров Земли как планеты, изучение горизонтальных и вертикальных движений земной коры, составление карт больших районов, областей, стран и всего мира.

Топография и геодезия опираются на математику, физику; применяются в географии, геологии, геоморфологии, почвоведении, геоботанике, землеустроительном проектировании, экономике сельского хозяйства, ме-

лиорации, дорожном строительстве, астрономии, геофизике, картографии, фотограмметрии, вычислительной технике.

1.2. Историческая справка

Необходимость проведения геодезических работ возникла у человечества в глубокой древности. Народы Индии, Греции, Египта вели геодезические работы в целях строительства каналов, возведения сооружений, деления земли на участки за несколько тысячелетий до нашей эры. *Геодезия* в переводе с греческого—землеразделение.

В VI в. до н.э. халдейские жрецы пришли к выводу о шарообразности Земли (по лунным затмениям). Пифагор и Аристотель подтвердили и определили длину окружности Земли. Эратосфен (276—194 г до н.э.) получил подтверждение размеров земного шара и вычислил $R=6320$ км.

В XVIII в. Ньютон доказал, что Земля сплюснута и представляет эллипсоид вращения. В 1792-1797 гг. Законодательное собрание Франции постановило определить длину дуги меридиана Дюнкерн-Амьен-Париж-Родес с целью установить новую меру длины, исходя из окружности Земли. Такая мера была названа МЕТР $=1/40000000$ парижского меридиана и служит основанием для метрической системы мер. В качестве эталона МЕТРА принято расстояние между штрихами на платиновом стержне, хранящемся в Международном бюро мер и весов в Париже. Для стран мира изготовлена 31 копия эталона метра. В качестве эталона более высокой точности в настоящее время служит метр, определённый как длина пути, пройденного светом за $1/299792548$ доли секунды. В XIX в. доказано, что Земля не имеет формы правильного эллипсоида вращения, а постоянно изменяется в связи с перераспределением земных масс внутри земли, что связано со скоростью вращения и наклоном оси вращения Земли.

В России геодезические работы зафиксированы в 1068 г., когда князь Глеб измерил расстояние в 27 км между Керчью и Таманью по льду через Керченский залив. Об этом свидетельствует Тмутараканский камень, найденный в 1792 г. у города Тамань (в настоящее время хранится в Санкт-Петербурге в Эрмитаже). Геодезия возникла в связи с необходимостью разделения земли. Линейными мерными приборами были верёвки. Площади определялись по четвертям высеваемого зерна, по копнам скашиваемого сена.

Мероприятия Петра I по составлению карты России и генеральному межеванию производились на новой геодезической основе: верёвки были заменены цепями, а для измерения углов стали применять астролябии. В 1739 г. был учрежден Географический департамент Петербургской академии наук, занимавшийся работами по составлению карт страны. В 1758-1763 гг. им руководил М.В.Ломоносов. В 1822 г. основан Корпус военных топографов, выполняющий геодезические, топографические, картографические работы военного и общегосударственного назначения. В XIX в. гео-

дезические работы проводились под руководством русских учёных-геодезистов К.Н.Теннера, В.Я.Струве, Ф.Ф. Шуберта и др.

В 1919 г. издан декрет об учреждении Высшего геодезического управления, который руководил всеми топогеодезическими работами в стране. С 1927 г. быстро развивается аэрофотосъёмка и начинаются планомерные работы по картографированию нашей территории. В 1928 г. был создан Государственный институт геодезии и картографии / ЦНИИГАиК /. Директор этого института профессор Ф.Н. Красовский предложил программу построения государственной триангуляционной сети в целях введения единой системы координат на всю территорию страны.

В 1932 г. профессор Ф.Н. Дробышев изобрел стереометр, который позволил закончить картографирование страны в 50-х гг. XX в. в масштабе 1:100000.

В 1938 г. был реконструирован завод «Аэрогеоприбор», выпускающий высокоточные теодолиты, нивелиры, рейки, АФА.

В 1942 г. профессора Красовский и Изотов определили размеры референц-эллипсоида применительно к нашей стране (эллипсоид Красовского), а в 1946 г. введена единая система координат и высот на всю нашу территорию. Во время Великой Отечественной войны проводилось картографирование Казахстана, Средней Азии, Сибири.

В настоящее время завершено уравнивание астрономо-геодезической сети страны, картографирование страны в масштабе 1:25000, обновлены карты масштаба 1:50000—1:1000000. Выполняется топографическая съёмка шельфа, рельефа дна морей, озёр, водохранилищ. Развивается космическая геодезия, выполняется тематическое картографирование некоторых территорий по материалам космических съёмок. Продолжаются теоретические работы по уточнению фигуры, размеров и гравитационного поля Земли, изучение во времени её геофизических параметров.

Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Форма и размеры земли

Для решения геодезических задач надо знать форму и размеры Земли. Земля является геометрическим телом сложной формы, которую нельзя выразить математической формулой. Поэтому введено понятие *уровенная поверхность*.

Уровенной поверхностью называется выпуклая поверхность, перпендикулярная к направлению силы тяжести в каждой точке. Её можно провести через любую точку на физической поверхности земли, под землёй, над землёй (рис. 1).

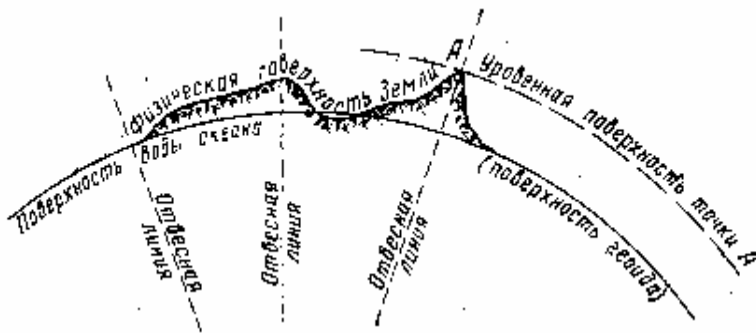


Рис. 1

За земную поверхность принята форма Земли, названная *геоидом* (уровенная поверхность, которая в каждой точке нормальна к направлению силы тяжести, или горизонтальна в каждой своей точке), т.е. поверхность мирового океана, мысленно продолженная под сушей. Поверхность геоида сложная и не выражается математической поверхностью, её нельзя выразить и математической формулой.

Исследования Земли показали, что она сплюснута у полюсов, поэтому за математическую поверхность принимается поверхность эллипсоида вращения, т.е. тела, получающегося от вращения эллипса вокруг его малой оси (рис. 2), который по форме подходит к форме геоида.

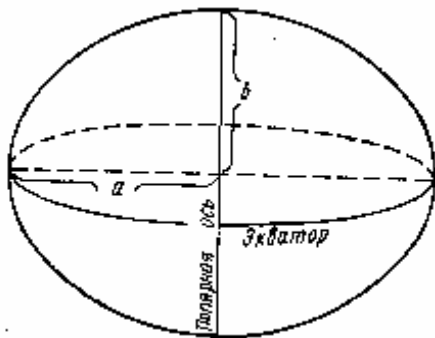


Рис. 2

Референц - эллипсоид - это эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и определения геодезических координат. Для картографических работ для нашей страны принят референц - эллипсоид, названный эллипсоидом Красовского, размеры которого подтвердили наши и американские ученые при наблюдении за движением искусственных спутников Земли.

Размеры эллипсоида вращения характеризуются длиной большой полуоси a , малой полуоси b и «сжатием» α , где $\alpha = (a-b)/a$.

Изучение фигуры математической поверхности Земли сводится к определению размеров a, b, α эллипсоида вращения, который наиболее подходит к геоиду и определённым образом ориентирован в теле Земли. Такой эллипсоид называется *референц - эллипсоидом*.

Таблица 1

Исследователь	Год	a	b	α
Деламбр	1800	6375653	6356564	1:334,0
Вальбек	1819	6376896	6355833	1:302,8

Бессель	1841	6377397	6356079	1:299,2
Кларк	1880	6378249	6356615	1:293,5
Жданов	1893	6377717	6356433	1:299,6
Хейфорд	1909	6378388	6356912	1:297,0
Красовский	1940	6378245	6356863	1:298,3

Для каждой страны принят свой эллипсоид вращения, характеризующийся своими данными a , b , α . Принятые для нашей страны формы Земли - эллипсоид Красовского и геоид - отличаются по размерам друг от друга не более чем на 100—150 метров.

Для приближенных расчётов поверхность Земли принимается за сферу /шар/ со средним радиусом 6371 км (или его округляют до 6400 км).

2.2. Элементы измерения на местности

На местности измеряются: длины линий, горизонтальные углы, углы наклона, превышения точек местности.

Взаимное положение точек местности определяют путём измерения линий /расстояний/ между точками и углов между направлениями линий, соединяющих эти точки. При выполнении геодезических работ на небольшой территории часть урвненной поверхности можно принять за плоскость, т.е. не учитывать кривизну Земли (рис. 3).



Рис. 3

Тогда линию АВ можно спроектировать ортогонально на горизонтальную плоскость. В проекции получится линия $ab=S$ - горизонтальное проложение линии АВ местности. Горизонтальным проложением называется проекция линии местности на горизонтальную плоскость. Горизонтальное проложение используют для составления плана местности.

Когда говорят об измерении углов на местности, то имеют в виду горизонтальные углы и углы наклона местности (рис. 4).

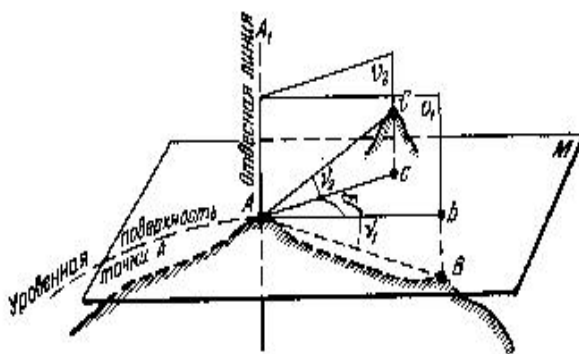


Рис. 4

Через точку А местности проведена горизонтальная плоскость, касательная к урвненной поверхности Авс. Через точку А и точку С проведена вертикальная плоскость, перпендикулярная плоскости Авс. Через точку А и точку В проведена вертикальная плоскость, перпендикулярная плоскости Авс, ac будет являться горизонтальным проложением линии местности АС,

ав будет являться горизонтальным проложением линии местности АВ.

$\angle\beta$ - горизонтальный угол. Следовательно, горизонтальным углом называется угол, заключённый между проекциями линий местности на горизонтальную плоскость.

$\angle v_1$ и $\angle v_2$ - углы наклона, следовательно, углами наклона называются углы, заключённые между линией местности и горизонтальной плоскостью.

$\angle v_2$ расположен ниже горизонтальной плоскости и называется углом понижения, имеет знак минус (-).

$\angle v_1$ расположен выше горизонтальной плоскости и называется углом повышения, имеет знак плюс (+).

После измерения на местности $AB=D$ и $\angle v$ (рис.3) горизонтальное проложение *ав* вычисляется по формуле $S=D\cos v$ или $S=D-\Delta D$, где ΔD — поправка за наклон к линии горизонта. $\Delta D= 2D\sin^2(v/2)$. ΔD -вычисляется или выбирается из таблиц. Если $-3^\circ \geq v \leq +3^\circ$, то $S=D$.

2.3. Абсолютные и относительные отметки точек местности и превышения

Высотой точки местности называется отрезок отвесной линии от этой точки до урovenной поверхности, принятой за начало отсчёта. Числовое значение высоты называется отметкой точки местности (рис. 5). Если отметку точки местности определяют относительно урovenной поверхности

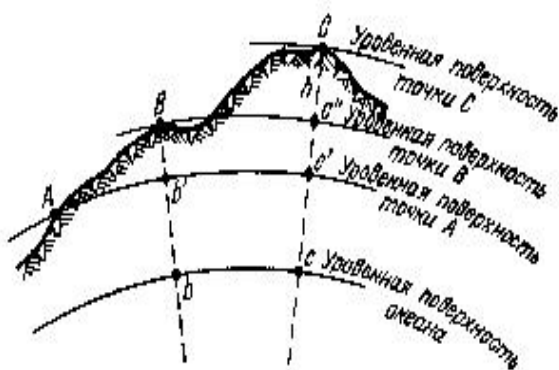


Рис. 5

океана, то эта отметка называется абсолютной. Если отметку точки местности определяют относительно любой урovenной поверхности, проходящей через любую точку местности, то эта отметка называется относительной или условной. Отметки точек называются коротко высотами и обозначаются Н.

Разность между отметками точек местности называется превышением и обозначается *h*. Оно бывает положительное (+*h*) и отрицательное (-*h*).

Абсолютные отметки точек местности обычно положительные, так как определяются относительно урovenной поверхности океана, только в Прикаспийской низменности—отрицательные (до -28 м). В России началом отсчёта абсолютных отметок служит нуль Кронштадского футштока, на котором отмечен средний уровень воды в Финском заливе. Он при помощи геодезических измерений передан на репер, находящийся в Пулковской обсерватории (Санкт-Петербург).

Если для точек А и В уровенную поверхность принять за плоскость (рис.5), то $h=Stgv$. Зная H_A , найдём $H_B=H_A+h=H_A+Stgv$. Эта формула читается так: отметка последующей точки равна отметке данной точки плюс соответствующее превышение между ними

Глава 3. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ

3.1. Карта, план

Карта—это уменьшенное и искажённое вследствие кривизны Земли изображение горизонтальной проекции либо всей земной поверхности, либо значительной её части со всеми находящимися на ней объектами. При составлении карт строят сетку меридианов и параллелей, а также километровую сетку, стороны которой параллельны осям абсцисс и ординат.

Планом называется уменьшенное и подобное изображение на горизонтальной плоскости проекции небольшого участка земной поверхности, в пределах которого кривизной Земли можно пренебречь.

На плане длины линий, углы и площади участков местности не искажаются, а степень уменьшения её линейных элементов постоянна для всех частей плана. При составлении плана строится километровая сетка, где вершины углов плана имеют координаты, кратные целому числу километров.

По картам и планам решают различные задачи: определяют расстояния между отдельными точками местности, высоты точек местности, выполняют ориентирование линий местности, находят углы между заданными направлениями, выполняют проектирование инженерных сооружений: дорог, мостов, промышленных объектов, подземных коммуникаций и т.д.

3.2. Системы координат топографических карт

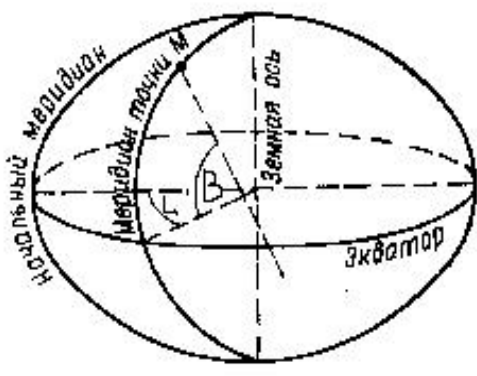
Положение точек земной поверхности может быть определено в различных системах координат

Система *географических* координат является единой для всех точек Земли. При этом уровенная поверхность принимается за сферу, координаты φ и λ определяются с помощью астрономических наблюдений.

Система *геодезических* координат определяет положение точек на поверхности эллипсоида вращения - геодезические координаты B и L (рис. 6).

Геодезической широтой B точки местности называется угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора. Геодезические широты бывают северные и южные и измеряются по дуге меридиана от 0° на экваторе до 90° на полюсе

Геодезической долготой L точки местности называется двугранный угол



между плоскостью геодезического меридиана данной точки и плоскостью начального геодезического меридиана. Геодезические долготы бывают восточные и западные и измеряются по дуге экватора от 0° на восток и на запад до 180° . Линии, проходящие через точки с одинаковыми широтами, называются параллелями, а линии, проходящие через точки с одинаковыми долготами, называются меридианами. При составлении карт на большую территорию строится географическая сетка меридианов и параллелей, но для решения геодезических задач необходимо знать прямоугольные координаты точек местности.

Рис. 6

ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ

Положение точки местности определяется координатами X и Y , знаки которых зависят от четверти, в которой находится точка (рис. 7). Четверти системы координат в геодезии пронумерованы по ходу часовой стрелки.

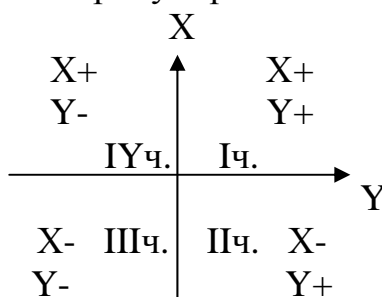


Рис. 7

ПОСТРОЕНИЕ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ НА ТОПОКАРТАХ

Любая проекция даёт искажение земной поверхности на плоскости. Но искажения имеют различный характер. Для составления карт в России принята поперечная цилиндрическая конформная проекция Гаусса (зональная система прямоугольных координат). В этой проекции всю Землю делят меридианами на шести- и трёхградусные зоны, каждая зона проектируется на поверхность своего цилиндра, касающегося шара по среднему (осевому) меридиану. Деление земной поверхности на зоны вызвано тем, что при большом удалении от осевого меридиана получаются большие искажения на карте. Выбор зоны в 3° или в 6° зависит от масштаба карты. Для карт масштаба 1:10000 и мельче—зоны в 6° , для масштаба карт 1:5000 и крупнее—зоны в 3° .

Шестиградусные зоны соответствуют карте масштаба 1:1000000 и располагаются колоннами, отсчитываемыми от Гринвичского меридиана на восток и пронумерованными 1, 2, 3,...и т.д. до 60. Долготы осевых зон -

3°, 9°, 15°, 21°, 27°... и т.д. Они вычисляются по формуле $L=6^\circ N-3^\circ$, где N - номер заданной зоны.

Трёхградусные зоны располагаются так, что все осевые и граничные меридианы шестиградусных зон являются граничными меридианами трёхградусных зон, т.е. долготы осевых меридианов этих зон кратны $1,5^\circ$.

Спроектировав зону на поверхность цилиндра и развернув эту поверхность в плоскость, получим изображение зоны в проекции Гаусса (рис. 8).

В проекции Гаусса-Крюгера осевой меридиан и экватор изображаются взаимно - перпендикулярными линиями, остальные меридианы – кривыми, сходящимися у полюсов и параллелями, симметричными относительно осевого меридиана, обращёнными своими выпуклостями к экватору (рис. 9).

На плоскости в проекции Гаусса применяется как наиболее простая прямоугольная система координат, причём в каждой зоне своя система координат: за ось абсцисс принимается осевой меридиан зоны, за ось ординат—экватор (рис. 10,а). X, Y —координаты Гаусса—Крюгера.

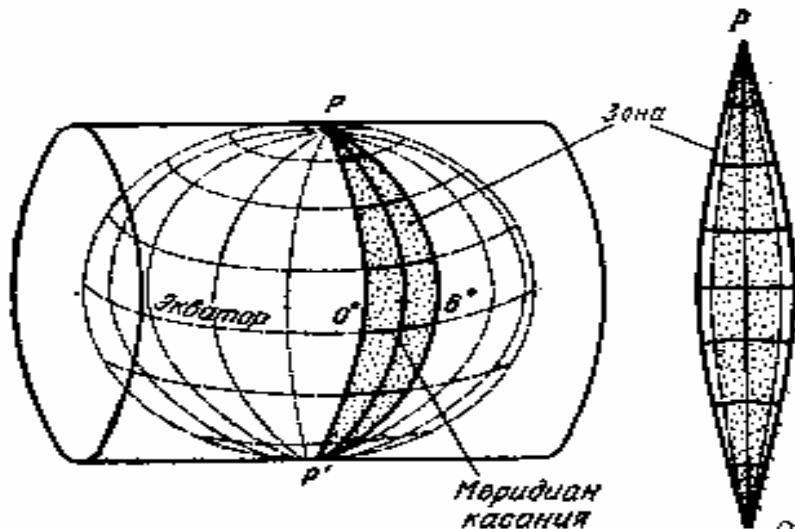
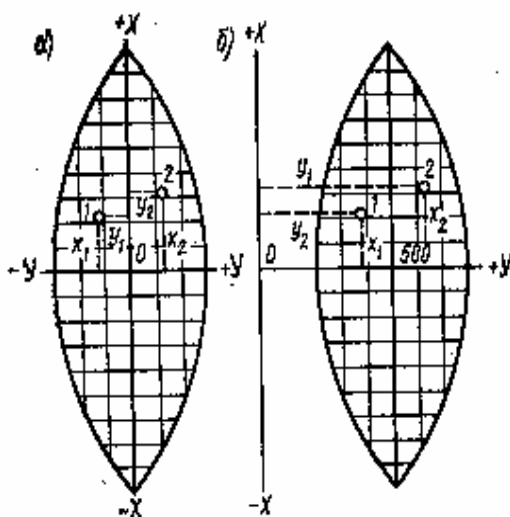


Рис. 8

Рис. 9

Помимо осей координат в каждой зоне строится координатная сетка, т.е. проводятся линии, параллельные осям координат, через 0,5 км, 1 км, 2 км и т.д. Координатная сетка необходима для определения координат точек местности.



На территории России все значения X положительные, а для точек, находящихся в западной части зоны, значения Y отрицательные. Поэтому было предложено перенести начало координат из каждой зоны к западу на 500 км (рис. 10,б). Положение точек местности обозначаются преобразованными ординатами, т.е. если

$Y = -194$ км, то Упреобр.= $-194+500=306$ км. Если значения $Y < 500$, то точки находятся в западной части зоны, если значения $Y > 500$, то точки находятся в восточ-

Рис. 10 ной части зоны. Зон—60, чтобы определить номер зоны, он добавляется перед ординатой Y , т.е. Упреобр.=7 306 км, где 7 - номер зоны. На стыке зон введена полоса перекрытия в 4° (2° - по востоку и 2° - по западу). На всех листах карт, расположенных в этой зоне, дают выходы километровой сетки соседней с ней зоны. По ним можно строить координатную сетку и пользоваться единой системой координат на смежных листах, принадлежащих к разным зонам.

Топографические карты имеют и географические и координатные сетки, которые подписываются по углам карты. Существуют формулы перерасчёта географических координат в прямоугольные и обратно.

Для небольших участков топографических съёмок местности система координат может иметь начало в любом месте участка. Такая система координат называется условной.

ВЫСОТЫ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ.

Положение точки местности характеризуется ещё одной координатой—высотой точки местности, которую определяют относительно условной поверхности, принятой за начало отсчёта. Числовое значение высоты точки местности (отметки) подписываются на планах и картах.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА КАРТЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ

I. Определение прямоугольных координат объектов местности

Нахождение прямоугольных координат (X , Y) рассмотрим на следующем примере: пусть на карте задан объект A

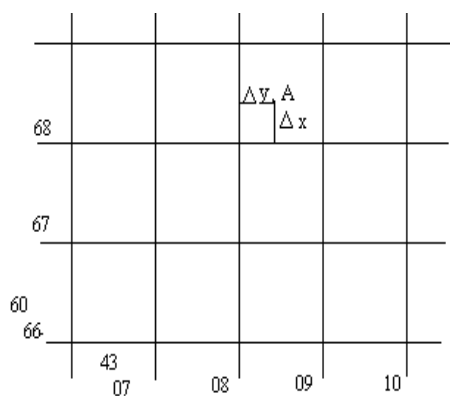


Рис. 11

на карте задан объект A (рис. 11).

Из точки A опускаем перпендикуляры (желательно) на южную (ю.л.) и западную (з.л.) координатные линии. Эти отрезки обозначаем Δx и Δy – они являются приращениями координат

$$\left. \begin{aligned} X_A &= X_{\text{ю.л.}} + \Delta x \\ Y_A &= Y_{\text{з.л.}} + \Delta y \end{aligned} \right\},$$

где $X_{\text{ю.л.}} = 6068000$ м, $Y_{\text{з.л.}} = 4308000$ м.

Приращения координат Δx , затем Δy при помощи измерителя определяем по линейному масштабу в метрах, например, $\Delta x = 350$ м, $\Delta y = 750$ м, и вычисляем координаты точки A : $X_A = 6068000+350 = 6068350$ м, $Y_A = 4308000+750 = 4308750$ м.

II. Определение прямоугольных координат объектов в смежной зоне

Для определения координат в смежной зоне строим на карте новую координатную сетку, соединив одинаковые выходы координат за внешней рамкой (рис. 12). Из точки А опускаем перпендикуляры на новые координатные линии и аналогично находим координаты точки А.

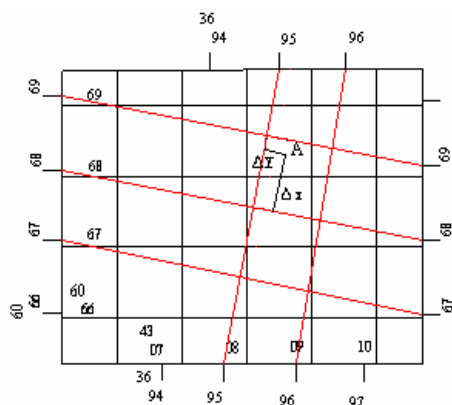


Рис. 12

$X_A = 6068000 + \Delta x$
 $Y_A = 3695000 + \Delta y$, где Δx и Δy измеряем измерителем на карте или определяем по линейному масштабу.

III. Определение геодезических координат точек местности

Для определения геодезических координат (рис. 13) соединяем минутные выходы (на минутной рамке), ближайšie к заданному объекту.

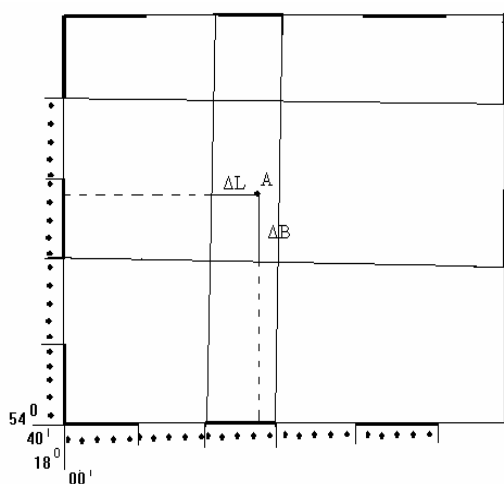


Рис. 13

Через заданную точку проводим до этих линий линии, им параллельные, и обозначаем их ΔB и ΔL . Эти величины измеряются в секундах и определяются по минутной рамке по формулам

$$B_A = B_{\text{ю.л.}} + \Delta B,$$

$$L_A = L_{\text{з.л.}} + \Delta L.$$

3.3. Номенклатура топографических карт

Для удобства пользования многolistными картами, ограниченными меридианами и параллелями, их объединяют единой системой разграфки и номенклатуры.

Номенклатурой карт называется система обозначения (нумерации) отдельных листов карт разных масштабов. Она определяет на земной поверхности положение каждого участка, изображённого на том или ином листе карты в соответствии с принятой системой разграфки.

В основу номенклатуры карт различных масштабов в нашей стране положена номенклатура карт масштаба 1:1000000, названная международной

картой. Листы этой карты ограничены параллелями в 4° к северу и югу от экватора, и меридианами в 6° от Гринвичского меридиана.

От деления земной поверхности параллелями получают пояса, которые обозначаются заглавными буквами к северу и югу от экватора: А, В, С,.....Z, по 22 пояса в каждом полушарии. В настоящее время пояса предложено обозначать цифрами 1, 2, 3,.....22.

От деления земной поверхности меридианами получают 60 колонн, счёт которых ведут от меридиана 180° , противоположному Гринвичскому меридиану, с запада на восток.

Таким образом, номенклатура карт масштаба 1:1000000 складывается из номера пояса и номера колонны. Пример: N-37. Далее, чтобы получить номенклатуру карт, карту масштаба 1:1000000 делят на следующие части (табл. 2):

Таблица 2

Масштаб карт	Число листов карт в одном листе карты 1:1000000	Разность широт листа карты	Разность долгот листа карты	Номенклатура листа карты
1:1000000	--	4°	6°	N—37
1:500000	4	2°	3°	N—37—Г
1:300000	9	$1^\circ 20'$	2°	УП—N—37
1:200000	36	$40'$	1°	N—37—УІ
1:100000	144	$20'$	$30'$	N—37--25

В основу номенклатуры карт более крупного масштаба положен лист карты масштаба 1:100000, который делят на следующие части (табл.3):

Таблица 3

Масштаб карт	Число листов карт в одном листе карты 1:100000		Разность широт листа карты	Разность долгот листа карты	Номенклатура листа карты
	1:100000	Предыдущего м-ба			
1:100000	--	--	$20'$	$30'$	N—37—25
1:50000	4	4	$10'$	$15'$	N-37-25-A
1:25000	16	4	$5'$	$7'30''$	N-37-25-A-г
1:10000	64	4	$2'30''$	$3'45''$	N-37-25-B-б-3
1:5000	256	---	$1'15''$	$1'52'',5$	N-37-25-(240)
1:2000	2304	9	$25''$	$37'',5$	N-37-25-(240-Г)

По известной номенклатуре можно определить географические координаты углов листа карты, а по географическим координатам можно определить номенклатуру листа карты. На севере размеры листа карты по долготу малы, поэтому севернее 60° листы карт сдваиваются, а севернее 76° - четверяются.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ КАРТ

I. Определить номенклатуру карты по геодезическим координатам:

$B = 62^\circ 57' 00''$ с.ш. $L = 75^\circ 53' 00''$ в.д.

1. Из таблицы номенклатуры карт по $B = 62^\circ$ находим номер пояса – это пояс Р. По $L = 75^\circ$ находим номер колонны – это колонна 43.

2. На листе бумаги строим миллионный лист с обозначением его широт и долгот и делим его на 144 части (рис. 14).

3. Рассчитываем градусы и минуты по B и L (рис. 14).

4. Находим лист карты 1:100 000 масштаба, его номер – 44.

5. Находим лист карты 1:50 000 масштаба, для этого строим схему 44 листа карты 1:100 000 масштаба (рис. 15) и делим ее на 4 части. Каждую часть обозначаем буквами и рассчитываем градусы и минуты. Буква, соответствующая заданной широте и долготе, – Б. Номенклатура листа карты масштаба 1:50000 – Р—43—44—Б.

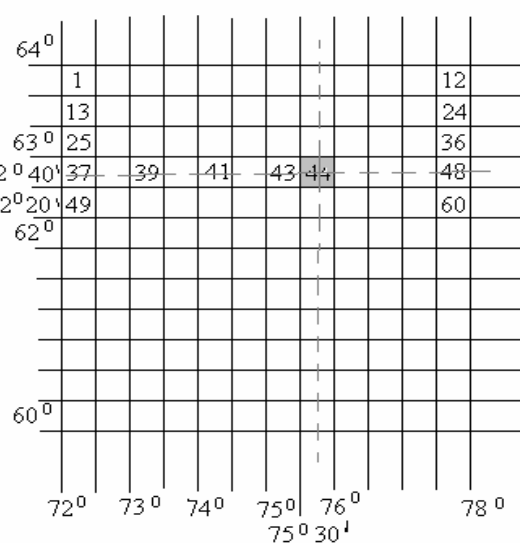
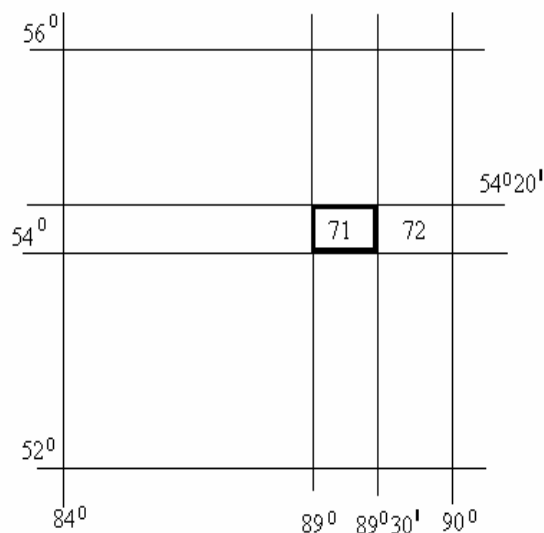


Рис. 14

Номенклатура листа карты масштаба 1:10 000 – Р-43-44-Б-б-3.

6. Находим лист карты масштаба 1:25 000, для этого лист масштаба 1:50 000 делим на 4 части, их обозначаем буквами и рассчитываем градусы, минуты, секунды (рис. 15). Буква, соответствующая заданной широте и долготе, – б. Номенклатура листа карты масштаба 1:25 000 – Р-43-44-Б-б.

7. Находим лист карты масштаба 1:10000, для этого лист масштаба 1:25000 делим на 4 части, их обозначаем цифрами и рассчитываем градусы, минуты, секунды (рис. 15). Цифра, соответствующая заданной широте и долготе, – 3.



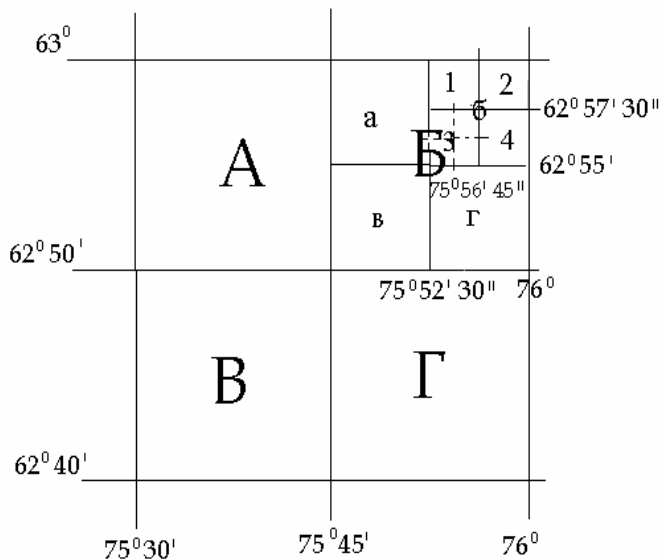


Рис. 15

Рис. 16

II. Определить геодезические координаты рамок листа карты по заданной номенклатуре: N-45-71-A- в-2

1. Из таблицы номенклатуры карт по номеру пояса N и номеру колонны 45 находим В и L листа карты масштаба 1:1 000 000 (рис. 16).

2. На миллионном листе карты находим 71 лист масштаба 1:100 000, разделив миллионный лист на 144 части и рассчитав широту и долготу

штаба 1:100 000, разделив миллионный лист на 144 части и рассчитав широту и долготу

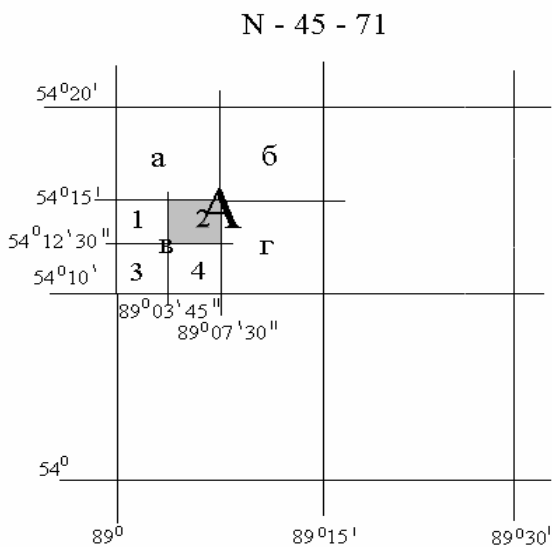


Рис. 18

листа, составляем схему масштаба 1:100 000 и находим лист масштаба 1:50000 под буквой А (рис. 17).

3. Для масштаба 1:25 000 делим лист карты масштаба 1:50 000 на 4 части и рассчитываем широту и долготу для буквы в (рис. 17). Для масштаба 1:10 000 делим лист карты масштаба 1:25 000 на 4 части и рассчитываем широту и долготу для цифры 2 (рис. 17).

4. Географические координаты рамок листа карты показаны на рис. 18.

III. Определить номенклатуру смежных листов карты

Задание выполняется аналогично предыдущим заданиям, но без расчета широты и долготы. Пример: 0-35-72-Г-г-2 (рис. 19).

О-35-72-Г-б-3 | О-35-72-Г-б-4 | О-36-61-В-а-3

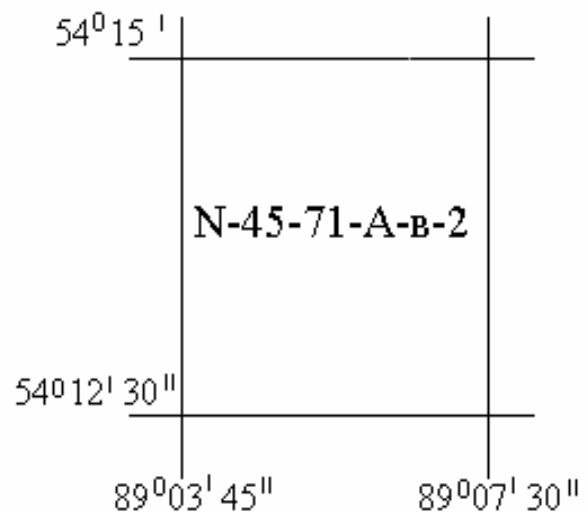


Рис.

17

О-35-72-Г-г-1	О-35-72-Г-г-2	О-36-61-В-в-1
О-35-72-Г-г-3	О-35-72-Г-г-4	О-36-61-В-в-3

Рис. 19

3.4. Классификация карт по содержанию

В этой классификации выделяют три большие группы:

- 1) общегеографические карты;
- 2) тематические карты;
- 3) специальные карты.

1. Общегеографические карты. Эти карты отображают совокупность элементов местности, имеют универсальное многоцелевое применение при изучении территории, ориентировании на ней, решении научно-практических задач. На общегеографических картах изображают все объекты, видимые на местности, и всем элементам как бы уделяется равное внимание. Дальнейшая классификация общегеографических карт совпадает с их делением по масштабу:

- а) топографические — в масштабах 1:100 000 и крупнее;
- б) обзорно-топографические — в масштабах 1:200 000— 1:1 000 000;
- в) обзорные — мельче 1:1 000 000.

2. Тематические карты. Это наиболее обширная и разнообразная категория карт природных и общественных (социальных и экономических) явлений, их сочетаний и комплексов. Содержание карт определяется той или иной конкретной темой.

Группа карт природы охватывает карты литосферы, гидросферы, атмосферы, педосферы и биосферы. Они подразделяются на следующие крупные блоки:

Карты геологические, геофизические, рельефа земной поверхности и дна океанов, метеорологические и климатические, гидрологические (вод суши), океанологические (вод морей и океанов), почвенные, ботанические, зоогеографические, медико-географические, общие физико-географические.

Карты общественных явлений охватывают социосферу и техносферу. Их тематика отличается большим разнообразием: население, экономика и хозяйство, наука, образование и культура, обслуживание и здравоохранение, общественные движения, религия и политика, археология и история развития общества и многое другое. Эта группа карт постоянно расширяется за счет все новых и новых тем, характеризующих общество со всеми прогрессивными и негативными аспектами его развития. Примерная классификация карт общественных явлений выглядит следующим образом: карты населения, карты хозяйства, карты науки и культуры, карты обслуживания населения и здравоохранения, карты политические и политико-административные, карты исторические.

Приведенные классификационные перечни можно значительно пополнить и детализировать, например, выделить среди геологических десятки карт различных эпох, периодов, ярусов; среди климатических — карты отдельных элементов погоды; в разделе населения — карты уровня благосостояния населения, политической ориентации, преступности и т.п. Каждая строчка перечня включает множество карт разного содержания скажем, «карты термического режима» объединяют карты температуры воздуха на уровне моря, на разных высотных уровнях атмосферы, почв, вод океана, а также карты суточных, месячных, сезонных, годовых, средних многолетних температур и многие другие.

Особую сложность для классификации представляют явления, которые не могут быть целиком отнесены к одной какой-либо сфере, они принадлежат сразу к двум или нескольким сферам. Наиболее очевидна необходимость выделения особой природно-общественной сферы (гиперсферы), характеризующей взаимодействие природы, населения и хозяйства. Можно назвать наиболее яркие примеры карт, относящихся к гиперсфере: эколого - географические (геоэкологические), т.е. карты факторов воздействия на окружающую среду в целом и на отдельные ее компоненты; состояния окружающей среды и ее компонентов; результатов и последствий воздействия на среду; условий жизни населения; защиты среды и обеспечения экологической безопасности, карты природно-технические.

Строго говоря, названные выше карты загрязнения вод, воздуха, почв, растительного покрова тоже можно отнести к картам эколого-географическим (иногда их называют геоэкологическими). Тенденция развития новых научных направлений на стыках разных отраслей, расширение комплексных межнаучных, междисциплинарных исследований — характерная черта развития современной науки, и тематическая картография чутко улавливает эту тенденцию, разрабатывая все новые и новые пограничные разделы. Удельный вес тематических карт, находящихся на стыке разных сфер, неуклонно возрастает. Это сильно затрудняет классификацию.

3. Специальные карты. Карты этой группы предназначены для решения определенного круга задач или рассчитаны на определенные круги пользователей. Чаще всего это карты технического назначения: навигационные, т.е. карты аэро- и космические навигационные; морские навигационные; лоцманские; дорожные, в том числе автодорожные; кадастровые, т.е. карты земельного, водного, городского, лесного кадастра и др.; технические, проектные.

Ввиду объективных трудностей эта классификация не отличается строгостью. К числу специальных можно, например, отнести карты учебные, агитационно-просветительные, экскурсионные, спортивные и некоторые другие. Иногда в основание классификации кладут назначение карт. Однако не всегда легко провести границу между картами разного назна-

чения и картами тематическими и общегеографическими, которые благодаря своей многофункциональности могут использоваться в качестве учебных или, скажем, экскурсионных. Особую группу составляют специальные *тактильные (осязательные) карты* для слепых и слабовидящих.

3.5. Масштабы топографических карт

Топографические карты подразделяются по масштабу:

а) мелкомасштабные (1:1000000 и мельче), используются для изучения местности при генеральном проектировании народного хозяйства, учёта ресурсов поверхности Земли;

б) среднемасштабные (1:1000000—1:100000), используются для детального проектирования дорог, ЛЭП, планировки городов и т.д.;

в) крупномасштабные (1:50000—1:1000), используются для точного детального проектирования, разработки генеральных планов городов, инженерных сетей, коммуникаций и т.д.

Для составления планов и карт результаты измерений линий уменьшают в несколько сотен или тысяч раз в зависимости от размеров участка.

Степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане или карте называется масштабом. Масштаб карты выражают отношением $1:m = l:S$, где l —отрезок на плане, S —горизонтальное проложение соответствующей линии местности.

На картах указывают масштабы: численный, именованный, линейный. Измерение расстояний на плане выполняют при помощи поперечного масштаба.

Каждый вид масштаба имеет свою предельную точность. Предельной точностью масштаба называется наименьшая длина горизонтального проложения линии местности, меньше которой нельзя различить отрезок на карте невооруженным глазом. Практически невооруженным глазом можно различить отрезок на карте 0,01 см. Для определения предельной точности масштаба знаменатель численного масштаба надо разделить на 10 000 (1 метр содержит 10 000 отрезков по 0,01 см).

Пример: масштаб карты 1:25 000 - точность масштаба равна 2,5 м;

масштаб карты 1: 100 000 – точность масштаба равна 10 м;

задана точность масштаба 0,5 м – масштаб карты: 1:5000;

задана точность масштаба 100 м – масштаб карты: 1:1000000.

Точность масштаба позволяет решать следующие задачи:

1) определять размеры местных объектов, которые могут быть изображены в данном масштабе, и объектов которые в данном масштабе не изображаются;

2) устанавливать масштаб, в котором следует составлять план или карту, чтобы на ней изобразились нужные нам объекты местности.

3.6. Оформление топографических карт

1. Лист топографической карты масштаба 1:25000 ограничен тремя видами рамок:

а) *внутренняя рамка*, имеющая форму трапеции, образована отрезками меридианов и параллелей, непосредственно ограничивающими картографическое изображение. На выходах этих линий в углах внутренней рамки указаны соответствующие значения широты и долготы. Например: юго-западный угол карты имеет широту $B = 54^{\circ}40'$ и долготу $L = 18^{\circ}00'$;

б) *минутная рамка* обозначена определенными интервалами (утолщенными и неутолщенными) широт и долгот. Каждый интервал равен $1'$ и разделен десятисекундными интервалами – точками;

в) *внешняя сплошная рамка* ограничивает лист карты. В разрывах внешней рамки выписаны номенклатуры смежных листов карт.

2. Внутри листа карты имеется система взаимно-перпендикулярных линий, которая образует координатную (километровую) сетку карты. Между внутренней и минутной рамками выписаны ординаты и абсциссы выходов линий координатной сетки.

Например, подпись юго-западного угла:

абсциссы: $^{60}67$, далее 67, 68 и т. д. (60 – не подписывается, чтобы не загружать карту);

ординаты: $^{43}07$, далее 08, 09 и т.д. Первая цифра в значении ординат обозначает номер зоны (в данном случае зона 4), а ординаты (307) отсчитываются от осевого меридиана зоны, увеличенного на 500 км, т.е. ордината имеет значение – 193 км и т.д. За внешней рамкой показаны выходы координат смежной зоны.

3. Над северной стороной внешней рамки обозначают номенклатуру листа карты. Пример: У-34 – 37 – В—в.

Слева от номенклатуры указывается система координат, которая может быть условной (для крупных планов), или координаты 1942 г. (для карт общегосударственного значения).

Справа от номенклатуры указывается шифр карты: учебная, ДСП, секретная, весьма секретная.

Под южной рамкой указываются *численный масштаб* карты - 1:25 000, *именованный масштаб* - в 1 сантиметре 250 метров и *линейный масштаб*, представленный в виде линейного графика. Линейный масштаб необходим для определения расстояний и координат. «0» на графике - в середине, левая часть графика разбита на интервалы, цена деления которых 25 м. Измерив расстояние по карте измерителем, одну ножку ставим на «0» и определяем расстояние по второй ножке измерителя, поставив ее на левую часть графика.

Далее указаны высота сечения рельефа: «Сплошные горизонтали проведены через 5 метров» и система высот: «Балтийская система высот». Если система высот условная, то дается запись: «Условная система высот».

Слева от масштабов даются сведения о склонении магнитной стрелки и среднем сближении меридианов и схема взаимного расположения меридианов относительно линий координатной сетки.

Справа от масштабов помещен график заложений для определения крутизны ската.

На карте обязательно указывается год издания карты.

3.7. Содержание топографических карт

Содержание карты подразделяется на ситуацию и рельеф:

а) ситуация представлена условными знаками, которые могут быть:

- внемасштабными, площади которых не выражаются в масштабе карты (колодцы, столбы, памятники и т.д.);

- линейными (дорожная сеть, канавы, реки и т.д.);

- площадными (заполнение площадей объектов).

На картах имеются также пояснительные знаки (стрелки, деревья и т.д.) и подписи – буквенные и цифровые обозначения объектов;

б) рельеф представлен на карте горизонталями коричневого цвета; для чтения рельефа горизонтали подписываются, утолщаются и на них показываются бергштрихи.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИЗОБРАЖЕНИЮ МЕСТНОСТИ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

Топографическая карта должна правильно изображать местность со всеми географическими особенностями и характерными чертами, а именно:

1) должна быть достоверной, т.е. условные обозначения должны соответствовать объектам;

2) полной и ясной, но не загруженной второстепенными деталями;

3) должна иметь определённую точность, которая характеризуется погрешностями изображения предметов и контуров относительно ближайших точек, определённых геодезическими измерениями. Точность в плановом положении контуров—0,5мм. Точность в изображении рельефа—1/4 высоты сечения рельефа. В залесённых районах допустимая точность увеличивается в 1,5 раза.

3.8. Рельеф и его изображение на карте

Способы изображения рельефа на картах: штрихами, отмывкой, цифрами, горизонталями. Способ изображения рельефа горизонталями впервые был применён во Франции в 1771 г.

К изображению рельефа предъявляют следующие требования:

1) оно должно давать возможность определять высоты точек местности и превышения между ними;

2) должно правильно определять направление склонов и их крутизну;

3) должно давать ясное и пространственное представление о рельефе местности, о взаимном расположении отдельных его форм.

Рельеф изображается горизонталями, но может сочетаться с условными знаками промоин, обрывов, скал, курганов. Горизонталью называется кривая линия, соединяющая точки местности, имеющие одинаковую высоту.

Для наглядного изображения, горизонтали утолщают, ставят бергштрихи, подписывают характерные высотные отметки местности.

Горизонтالي имеют следующие свойства:

- 1) все точки, лежащие на одной горизонтали имеют одинаковые отметки высот, кратные принятой высоте сечения рельефа;
- 2) все горизонтали - непрерывные замыкающиеся линии;
- 3) горизонтали не могут пересекаться;
- 4) расстояние между горизонталями характеризует крутизну ската;
- 5) водораздельные линии и оси лощин горизонтали пересекаются под прямым углом.

Высота сечения рельефа зависит от назначения и масштаба карты.

На картах применяют следующие горизонтали:

- 1) основные (сплошные горизонтали);
- 2) дополнительные:
 - а) полугоризонтالي (прерывистые линии);
 - б) четвертьгоризонтالي (прерывистые линии);
 - в) вспомогательные горизонтали (проводятся на произвольной высоте сечения рельефа).

Расстояние между горизонталями на карте или плане называется заложением рельефа и обозначается d , оно характеризует крутизну ската. Зная высоту сечения рельефа и угол наклона, крутизну линии местности можно вычислить по формуле $d=hctgv$ или определить по графику заложений, находящемуся на полях карты. Уклоном линии называется отношение превышения между точками местности к горизонтальному проложению между ними, которое и вычисляется так: $i=h/S=ctgv$. Уклон линии местности бывает положительный и отрицательный.

По изображению рельефа на карте выделяют пять основных форм.

1. ГОРА - местность во все стороны от вершины понижается (рис. 20). Боковые стороны называются скатами, нижняя часть – подошвой.

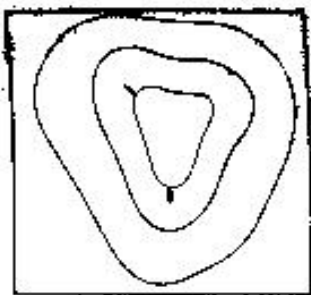
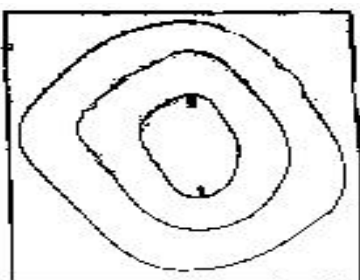


Рис. 20

Остроконечная часть горы называется пиком. Гора высотой менее 200 м. над окружающей местностью называется холмом.



2. КОТЛОВИНА - местность во все стороны повышается. Самая низкая точка называется дном, боковые стороны – скатами, они заканчиваются бровкой или краем. Небольшие котловины с крутыми скатами называются воронками (рис. 21).

Рис. 21

3. ХРЕБЕТ - возвышение удлинённой формы (рис. 22). Линия, проходящая вдоль хребта по самым высоким точкам, называется водоразделом, а бока—скатами. Если смотреть вниз по водоразделу, то в три стороны идёт понижение, а в одну—повышение.

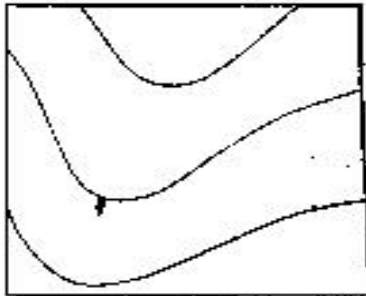


Рис. 22

4. ЛОЩИНА - углубление удлинённой формы (рис. 23). Линия, проходящая по самым низким точкам лощины, называется водостоком или тальвегом, бока называются скатами, которые заканчиваются бровкой. Если смотреть вниз по водотоку, то в три стороны идёт повышение, в одну—понижение. Широкие лощины с пологими склонами называются—долинами, а с крутыми - ущельями. Лощины в виде глубоких промоин в долинах, образующихся действием текучих вод, называются оврагами. С течением времени обрывы оврагов зарастают

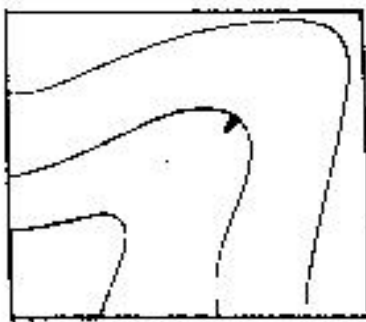


Рис. 23

травой, древесной растительностью и образуют балки.

5. СЕДЛОВИНА - имеет форму седла и представляет собой сочетание двух хребтов со сходящимися водоразделами и двух лощин с расходящимися от этой точки водотоками.

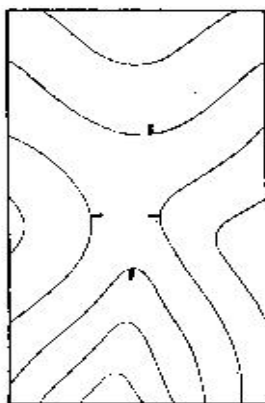


Рис. 24

Разновидностями основных форм рельефа являются:

- а) террасы—крутой склон прерывается полой площадкой;
- б) гребни—острые части хребта по водоразделу;
- в) перевалы—понижающаяся часть хребта у водоразделов.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПО КАРТЕ

I. Проектирование водоёма на карте

Пусть для сооружения водоёма на ручье задана точка подпора С и задано поднять уровень воды на 11 м (рис. 25). Необходимо найти:

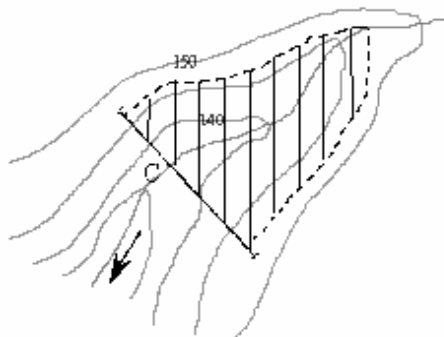


Рис. 25

- 1) отметку точки подпора С (по горизонталям) до целого метра $H_c = 136$ м;
- 2) уровень воды $H_v = 136 \text{ м} + 11 \text{ м} = 147$ м;
- 3) отметку высоты плотины с учетом, что плотина выше уровня воды на 1 м,
 $H_{пл} = 147 \text{ м} + 1 \text{ м} = 148$ м.

При проектировании водоёма по вычисленным данным строят:

- 1) ось плотины (перпендикулярно руслу ручья) по отметкам 148 м (рис. 25);
- 2) по отметке 147 м проводят уровень воды (интерполируя отметку 147 м между горизонталями). Заштрихованная площадь представляет зону затопления будущего водоёма (рис.25).

II. Проектирование водосборной площади ручья

На карте задаются ручей или река, для которых надо определить водосборную площадь. Проведение на карте линии заданного уклона

При решении данной задачи по самым высоким точкам местности – горам и хребтам – проводится линия водораздела.

III. Проведение на карте линии заданного уклона

Линии заданного уклона проектируются на карте при сооружении железных и автомобильных дорог. Пусть задан уклон 2° .

1. Измерителем по графику заложений определяем величину заложения, соответствующую 2° . Для этого одну ножку измерителя ставим на горизонтальную прямую с подписью 2° , а другую - на кривую графика (вертикально). Работаем далее с этим раствором измерителя.

2. Одну ножку измерителя ставим в заданную точку, другой находим точку пересечения со смежной горизонталью. Задача имеет два решения, выбираем оптимальный вариант.

3. Аналогично находим точку пересечения со следующей смежной горизонталью и т.д. Полученные точки соединяем плавной линией.

3.9. Построение продольного профиля местности по карте

Профилем местности называется изображенное в уменьшенном виде сечение вертикальной плоскостью поверхности Земли по заданному направлению. Профиль строится в виде ломаной линии, поворотные точки представляют собой характерные точки местности (самые низкие и самые высокие), отметки которых определяются по карте.

Пусть на карте масштаба 1:25 000 задана линия местности, по которой необходимо построить профиль местности масштаба 1:10 000.

1. Построение профиля местности выполняется на миллиметровой бумаге, для чего выбираются оси: горизонтальная – ось расстояний, вертикальная – ось отметок земной поверхности, причем масштаб по вертикальной оси в 10 раз крупнее масштаба по горизонтальной оси (рис. 26).

2. Построение самого профиля начинается с заполнения нижней части графика, для чего на заданной линии выбираются самые низкие и самые высокие точки, которые нумеруются как пикеты ПК-1, ПК-2 и т.д.

3. На карте вдоль заданной линии измерителем при помощи линейного масштаба измеряются расстояния между пикетами 1-2, 2-3, 3-4 и т.д. и переводятся в масштаб 1:10 000.

4. Измеренные расстояния в масштабе 1:10 000 откладываются на горизонтальной оси; расстояния и номера пикетов подписываются во второй и первой строчках под графиком. Например, если в масштабе 1:10 000 расстояние 1-2 равно 300 м, тогда по горизонтальной оси откладываем 3 см, проводим через все нижние строчки вертикальную линию и заполняем две строчки. Пусть расстояние между пикетами 2-3 равно 400 м, тогда по горизонтальной оси откладываем 4,0 см и т.д. (рис. 26).

5. Определяются по карте отметки земли выбранных пикетов (отметки земли можно определить до целых метров) и записываются в третью строчку графика (рис. 26). Например: $H_1 = 128$ м, $H_2 = 148$ м и т.д.

6. В четвертой строчке показывается условной линией направление уклона местности и подписывается уклон местности в тысячных долях единицы, вычисленный по формуле

$$i_1 = \frac{H_1 - H_2}{S_1} = \frac{128 - 148}{300} = 0,066;$$

$$i_2 = \frac{H_2 - H_3}{S_2} = \frac{148 - 131}{400} = 0,0425 \text{ и т.д. (рис. 26).}$$

7. В пятой строчке показывается план местности (ситуация) на расстоянии 1 см по обеим сторонам заданной линии (рис. 26).

8. Построение профиля начинают с выбора условного горизонта (уровневой поверхности), в данном случае условный горизонт выбирается ниже самой низкой отметки земной поверхности, т.е. 120 м. На графике проводится линия условного горизонта и подписывается (рис.26). Вертикальная ось оцифровывается.

9. По отметкам земной поверхности (строчка 3) строятся пикеты точек 1, 2, 3 и т.д. (рис. 26), которые затем соединяются прямыми линиями.

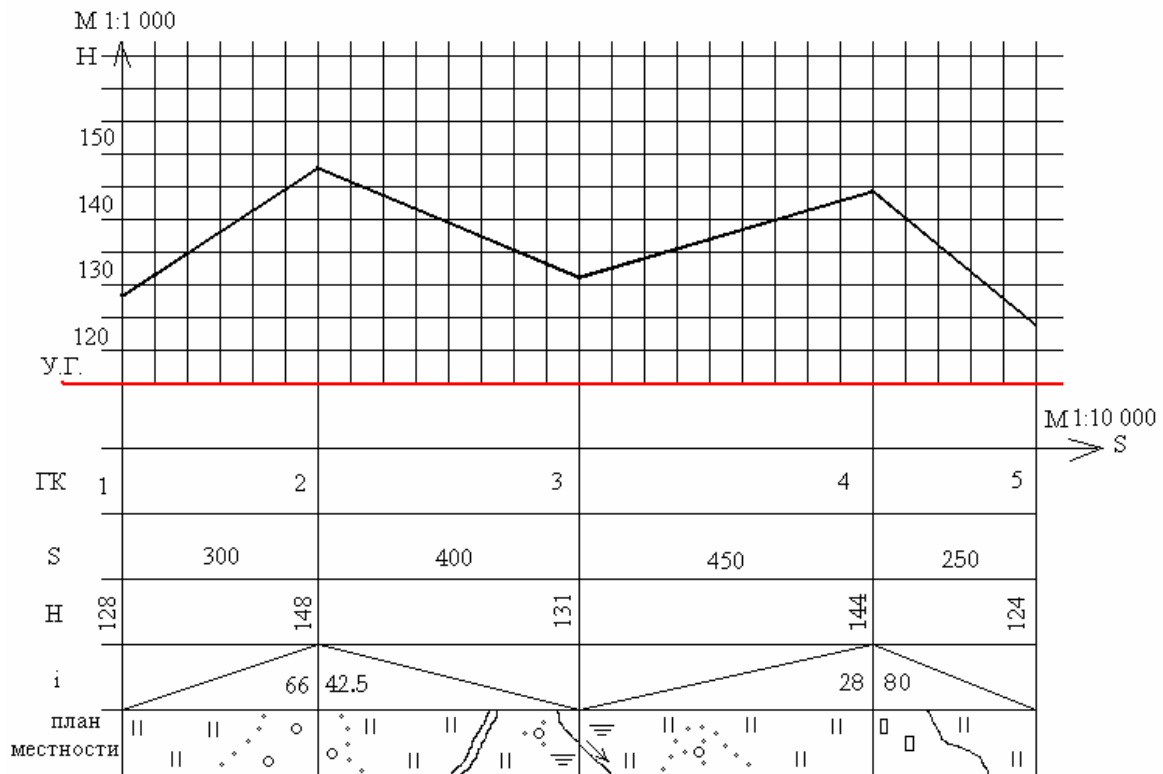


Рис. 26

По построенному профилю можно решить следующую задачу: на какой точке профиля, начальной или конечной, и какой высоты необходимо построить геодезический сигнал, чтобы обеспечить взаимную видимость между начальной и конечной точками?

Глава 4. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ

4.1. Азимуты, дирекционные углы, румбы

При проектных работах требуется знать расположение объектов по отношению к сторонам света. Карты и планы составляются так, что верхние края являются северными. Для этого на местности линии ориентируют по географическому меридиану.

Географическим или истинным меридианом называют линию пересечения плоскости, проходящей через земную ось, с земной поверхностью. Направление географического меридиана определяется из астрономических наблюдений.

При составлении плана на небольшой участок его можно ориентировать по магнитному меридиану. Магнитным меридианом называют линию, получающуюся при пересечении отвесной плоскости, проходящей через полюсы магнитной стрелки, с горизонтальной плоскостью. Географический и магнитный меридианы не совпадают (рис. 27).

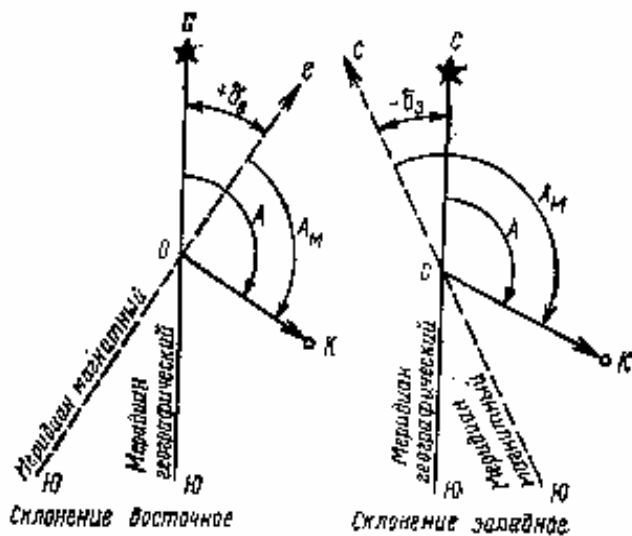


Рис. 27

изменение склонения магнитной стрелки называется вековым. Годовое изменение склонения магнитной стрелки - 5' (сейчас увеличивается восточное склонение магнитной стрелки). Суточное изменение склонения магнитной стрелки - 15' (летом больше, чем зимой). Склонение магнитной стрелки изменяется под воздействием магнитных возмущений и магнитных бурь, связанных с северным сиянием и солнечными пятнами. Отклонение склонения магнитной стрелки от средних величин называется магнитными аномалиями.

Для ориентирования линий местности относительно меридианов служат азимуты и румбы. Азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до направления заданной линии.

В зависимости от того, от какого меридиана отсчитывается азимут, так его и называют, географический или истинный азимут A_g , магнитный азимут A_m . Разность между $A_g - A_m = \delta$ называется склонением магнитной стрелки. $A_g = A_m + \delta$, азимуты изменяются от 0° до 360° .

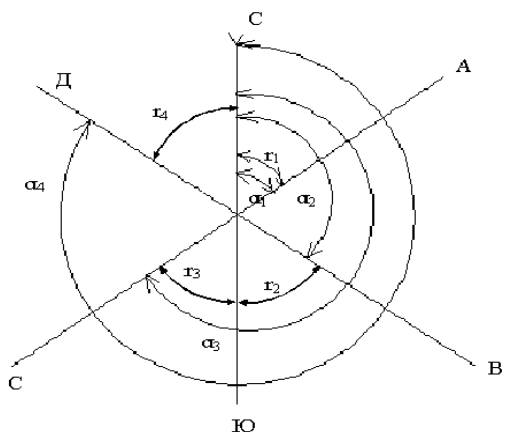
Румбом называется горизонтальный угол не более 90° , отсчитываемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до направления данной линии (рис. 28).

Если румб отсчитывается от географического меридиана, то он называется географическим румбом. Магнитный румб отсчитывается от магнитного меридиана. Румбы записываются так: СЗ; СВ; ЮЗ; ЮВ. Зная румб, можно вычислить азимут и наоборот:

$$A_1 = СВ : r_1; \quad A_1 = r_1; \quad r_1 = A_1;$$

Горизонтальный угол, образуемый направлениями географического и магнитного меридианов, называется склонением магнитной стрелки и обозначается - δ .

Склонение магнитной стрелки бывает восточным «+» и западным «-». Оно изменяется в зависимости от местности от $+30^\circ$ до -14° . В одной точке земли происходит изменение склонения магнитной стрелки. Полный период изменения склонения совершается в течении четырёх веков. Это изменение



$$A_2 = \text{ЮВ} : r_2; \quad A_2 = 180^\circ - r_2, \quad r_2 = 180^\circ - A_2;$$

$$A_3 = \text{ЮЗ} : r_3, \quad A_3 = 180^\circ + r_3, \quad r_3 = A_3 - 180^\circ;$$

$$A_4 = \text{СЗ} : r_4, \quad A_4 = 360^\circ - r_4, \quad r_4 = 360 - A_4.$$

Рис. 28

Линия имеет два направления - прямое и обратное. Поэтому различают прямые и обратные азимуты и румбы (рис. 29).

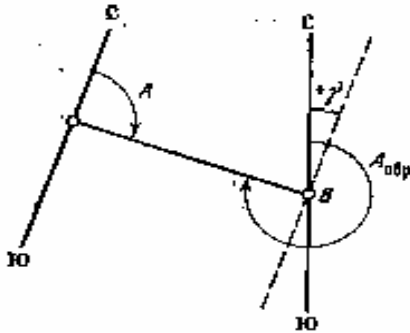


Рис. 29

Для линии BC—Апр.—прямой азимут;
 Rпр.—прямой румб;
 Аобр.—обратный азимут;
 Rобр.—обратный румб.

Аобр.=Апр. $\pm 180^\circ + \gamma$, где γ - сближение меридианов, т.е. прямой и обратный азимуты и румбы различаются не ровно на 180° из-за непараллельности меридианов.

Для упрощения вычислений используют дирекционный угол. Отсчёт дирекционного угла идёт от осевого меридиана, который совпадает с осью XX.

Дирекционным углом называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления линии, параллельной осевому меридиану, по ходу часовой стрелки до направления данной линии. Дирекционные углы изменяются от 0° до 360° . Величина дирекционного угла прямой линии есть величина постоянная. Прямой дирекционный угол отличается от обратного ровно на 180° (рис. 31), т.е. $\alpha_{\text{пр.}} = \alpha_{\text{обр.}} \pm 180^\circ$, $r_{\text{пр.}} = r_{\text{обр.}}$.

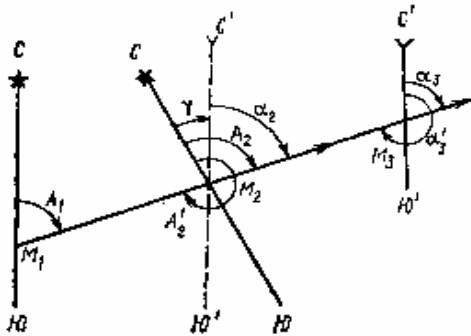


Рис. 30

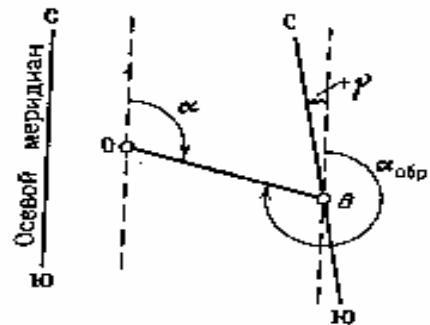


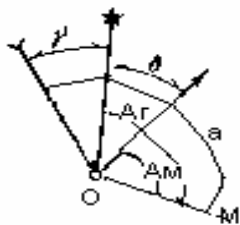
Рис. 31

Разность между азимутом и дирекционным углом называется сближением меридианов, обозначается γ (рис. 30). $\gamma = A_2 - \alpha_2$, тогда $A_2 = \alpha_2 + \gamma$, $\alpha_2 = A_2 - \gamma$, для точек, расположенных восточнее осевого меридиана.

Сближение меридианов - это горизонтальный угол между направлением меридиана в данной точке и линией, параллельной осевому меридиану. Сближение меридианов положительное - для точек, находящихся к востоку от осевого меридиана, и отрицательное для точек, находящихся к западу от осевого меридиана. Зная азимут линии и сближение меридианов, можно вычислить дирекционный угол $\alpha = A - \gamma$.

$\gamma = 0$ для точек, лежащих на осевом меридиане или экваторе, тогда $\alpha = A$. Для других точек $\gamma = \Delta\lambda \sin\varphi$, где $\Delta\lambda$ - разность долгот осевого меридиана и меридиана, проходящего через данную точку, φ - широта точки местности. Румбы, вычисленные по дирекционным углам, называются просто румбы.

Зависимость между азимутом и дирекционным углом



Через точку O проведём географический, магнитный, осевой меридианы (рис. 32). OM – это направление на объект, для этого направления определим $A_M = \alpha - \delta - (-\gamma)$, или $A_M = \alpha - \delta + \gamma$, или $A_M = \alpha - (\delta - \gamma)$, где $(\delta - \gamma)$ - поправка направления.

$$\alpha = A_M + \delta + (-\gamma), \text{ или } \alpha = A_M + \delta - \gamma.$$

Рис. 32

4.2. Измерение дирекционных углов и азимутов на карте

I. Измерение прямых и обратных дирекционных углов заданной линии

Пусть задана линия AB . Измерить прямой и обратный дирекционный углы линии (рис. 33).

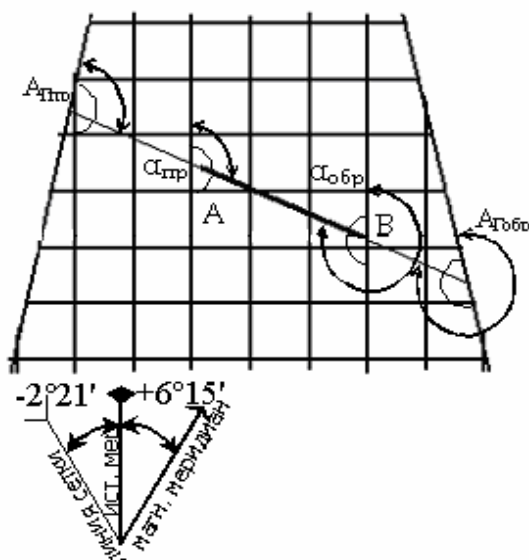
Дирекционный угол α линии измеряется транспортиром, при этом используются вертикальные оси координат, так как они параллельны осевому меридиану зоны. Дирекционный угол измеряется по ходу часовой стрелки от северного направления вертикальной линии до направления заданной линии. Измерение истинного (географического) азимута заданной линии)

1. При измерении $\alpha_{пр}$ транспортир прикладывается серединой к точке пересечения вертикальной оси и заданной линии, а «0» - к вертикальной

линии. Измерение $\alpha_{обр}$ - см. на рис. 33.

2. Прямой и обратный дирекционные углы одной и той же линии отличаются между собой ровно на 180° .

II. Измерение истинного (географического) азимута заданной линии



Истинный азимут измеряют по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана, проходящего через начальную точку заданной линии (рис. 33).

1. Для измерения $A_{г. пр.}$ заданную линию продолжают до внутренней рамки карты.

2. Транспортир прикладывают серединой к точке пересечения западного меридиана с заданной линией, а «0» прикладывают к западному меридиану.

3. Измерение $A_{г. см.}$ на рис. 33.

Рис. 33

4. Измерения $A_{г. пр.}$ и $A_{г. обр.}$ отличаются между собой на 180° и величину γ (сближение меридианов) с учетом знака \pm , что можно проверить по карте на схеме меридианов (рис. 33).

5. Прямой дирекционный угол и прямой истинный азимут отличаются друг от друга на величину γ (с учетом ее знака).

III. Вычисление магнитного азимута заданной линии

Магнитный азимут линии вычисляется по формуле

$$A_m = \alpha - \delta + \gamma, \text{ где}$$

α - дирекционный угол измеренный по карте;

δ - склонение магнитной стрелки (берут с графика меридианов на карте с учетом знака ($+6^\circ 15'$));

γ - сближение меридианов (берут с карты с учетом знака ($-2^\circ 21'$)).

Пример: $\alpha = 105^\circ 30'$, $\delta = +6^\circ 15'$, $\gamma = -2^\circ 21'$.

$$A_m = 105^\circ 30' - (+6^\circ 15') + (-2^\circ 21') = 105^\circ 30' - 6^\circ 15' - 2^\circ 21' = 96^\circ 54'.$$

IV. ПЕРЕВОД ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ В РУМБЫ И НАОБОРОТ

Румбом называют горизонтальный угол не более 90° , отсчитываемый от ближайшего направления меридиана до направления заданной линии.

Формулы перевода дирекционных углов в румбы и наоборот (рис. 28)

$\alpha_1 = СВ: r_1$	$\alpha_1 = r_1$	$r_1 = \alpha_1$
$\alpha_2 = ЮВ: r_2$	$\alpha_2 = 180^\circ - r_2$	$r_2 = 180^\circ - \alpha_2$
$\alpha_3 = ЮЗ: r_3$	$\alpha_3 = 180^\circ + r_3$	$r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$
$\alpha_4 = СЗ: r_4$	$\alpha_4 = 360^\circ - r_4$	$r_4 = 360^\circ - \alpha_4$

Перевод дирекционных углов в румбы и наоборот выполняется по формулам перевода азимутов в румбы.

4.3. Прямая и обратная геодезические задачи, приращение координат

1. Прямая геодезическая задача состоит в том, что по координатам одного конца линии X_a, Y_a , по её дирекционному углу α , и горизонтальному проложению линии S_{AB} вычислить координаты X_b, Y_b другого конца этой линии.

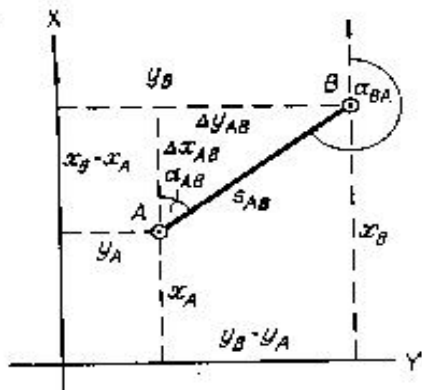


Рис. 34

Пусть задана линия АВ.С концов этой линии опустим перпендикуляры на оси координат, обозначим полученные отрезки через координаты и запишем зависимости между координатами конца и начала заданной линии: $X_B = X_A + (X_B - X_A)$ $Y_B = Y_A + (Y_B - Y_A)$ (рис. 34), но значения $(X_B - X_A)$ принято обозначать через Δx , а $(Y_B - Y_A)$ принято обозначать через Δy , т.е.

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{AB} &= X_B - X_A \\ \Delta y_{AB} &= Y_B - Y_A \end{aligned} \right\} \text{ - приращения координат.}$$

Приращениями координат называются ортогональные проекции горизонтального проложения этой линии на оси координат. Тогда:

$X_B = X_A + \Delta x_{AB}$; $Y_B = Y_A + \Delta y_{AB}$. Координата последующей точки равна координате данной плюс соответствующее приращение координат.

Но Δx_{AB} , Δy_{AB} можно вычислить через α , и через горизонтальное проложение S_{AB} , из прямоугольного треугольника, где катеты вычисляются по формуле $\Delta x_{AB} = S_{AB} \cos \alpha$, $\Delta y_{AB} = S_{AB} \sin \alpha$, тогда координаты последующей точки равны $X_B = X_A + S_{AB} \cos \alpha$, $Y_B = Y_A + S_{AB} \sin \alpha$.

2. Обратная геодезическая задача состоит в том, что по координатам концов линии X_A , X_B , Y_A , Y_B вычислить дирекционный угол α и горизонтальное проложение линии S_{AB} .

Для решения обратной геодезической задачи рассмотрим рис. 34. Запишем формулы приращения координат:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{AB} &= X_B - X_A, \\ \Delta y_{AB} &= Y_B - Y_A. \end{aligned} \right\}$$

Возьмём отношение $\Delta y_{AB} / \Delta x_{AB} = \operatorname{tg} \alpha$, α определим по таблицам Брадиса. Из формул $\Delta x_{AB} = S_{AB} \cos \alpha$, $\Delta y_{AB} = S_{AB} \sin \alpha$, найдём величину S_{AB} : $\Delta x_{AB} / \cos \alpha = S_{AB}$ и $\Delta y_{AB} / \sin \alpha = S_{AB}$. Вычисление S_{AB} контролируется из решения этих равенств. Но S_{AB} можно найти и по теореме Пифагора: $AB = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.

4.4. Передача дирекционного угла на линию

Дирекционный угол можно получить:

- из астрономических наблюдений (при наблюдении за небесными светилами);
- при измерении магнитного азимута по буссоли, с введением поправки за склонение магнитной стрелки и сближение меридианов;
- путём передачи дирекционного угла линии между двумя пунктами А и В, закреплёнными на местности и имеющими координаты, на заданную линию, дирекционный угол которой надо определить. Эти измерения называются привязкой к пунктам геодезической сети (рис. 35).

Известный дирекционный угол α_{AB} линии АВ называется исходным. Для вычисления дирекционного угла α_{1-2} линии 1-2 надо измерить углы β_B и β_1 в точках В и 1, которые расположены вправо по ходу часовой стрелки и называются правыми. Угол β_B называется примычным. Продолжив линии А-В и В-1 и проведя через точки А, В, 1 линии, параллельные осевому меридиану, перенесём угол α_{AB} в точку В. Из построенного чертежа видно, что дирекционный угол $\alpha_{B1} = \alpha_{AB} - 180^\circ - \beta_B$, аналогично, $\alpha_{12} = \alpha_{B1} + 180^\circ - \beta_1$ и т.д.

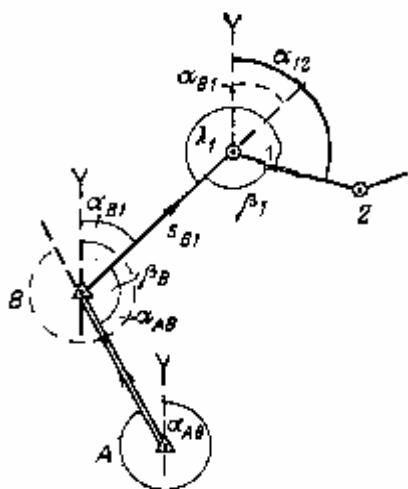


Рис. 35

формулу $\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2$.

Если измеряются левые углы λ_1 , то $\beta_1 = 360^\circ - \lambda_1$, тогда $\alpha_{12} = \alpha_{B1} + 180^\circ - (360^\circ - \lambda_1)$, или $\alpha_{12} = \alpha_{B1} - 180^\circ + \lambda_1$, и т.д. Дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс левый угол и минус 180° .

Раздел 2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ

Глава 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. Погрешности и их виды

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. Значение отклонения характеризует точность измерений. Если обозначить истинное значение измеряемой величины X , а результат измерения l , то истинная погрешность измерения $\Delta = l - X$.

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 проведения 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 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, называют *систематическими*. Влияние систематических погрешностей стремятся исключить из результатов измерений или ослабить тщательной проверкой измерительных приборов, применением соответствующей методики измерений, а также введением 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 случайные погрешности подчинены определенным вероятностным закономерностям, изучение которых дает возможность получить наиболее надежный результат и оценить его точность.

По источнику происхождения различают внешние и личные погрешности приборов. Погрешности *приборов* обусловлены несоблюдением положения соответствующих осей приборов.

Внешние погрешности происходят из-за влияния внешней среды.

Личные погрешности связаны с особенностями наблюдателя.

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.

5.2. Свойства 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. Это свойство, называемое *свойством компенсации*, можно математически записать так: $\lim([\Delta]/n) = 0$, где $[\Delta]$ — знак суммы, т.е. $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n$; где n — число измерений.

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. Таким результатом является среднее арифметическое из n измеренных значений данной величины. При бесконечно большом числе измерений $\lim([l]/n) = X$.

При конечном числе измерений арифметическая середина $x = [l]/n$ содержит остаточную случайную погрешность, однако от точного значения X измеряемой величины она отличается меньше, чем любой результат l непосредственного измерения. Это позволяет при любом числе измерений, если $n > 1$, принимать арифметическую середину за окончательное значение измеренной величины. Точность окончательного результата тем выше, чем больше n .

5.3. 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 сле-

дующей формуле:
$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + U + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}},$$

где n — число 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 середину. Для этого случая средняя

квадратическая погрешность одного измерения подсчитывается по формуле Бесселя $m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}$,

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

$$M = m/\sqrt{n},$$

где m — средняя квадратическая погрешность одного измерения.

Часто в практике для контроля и повышения точности определяемую величину измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях, например длину линий, превышения между точками. Из двух полученных значений за окончательное принимается среднее из них. В этом случае средняя квадратическая погрешность одного измерения $m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}$,

а среднего результата из двух измерений $M = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}$,

где d — разность двукратно измеренных величин; n — число разностей (двойных измерений).

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*.

Теорией погрешностей измерений доказывается, что абсолютное большинство случайных погрешностей (68,3%) данного ряда измерений находится в интервале от 0 до $\pm m$; в интервал от 0 до $\pm 2m$ попадает 95,4 %, а от 0 до $\pm 3m$ — 99,7 % погрешностей. Таким образом, из 100 погрешностей данного ряда измерений лишь пять могут оказаться больше или равны $2m$, а из 1000 погрешностей только три будут больше или равны $3m$. На основании этого в качестве предельной погрешности $\Delta_{\text{пр}}$ для данного ряда измерений принимается утроенная средняя квадратическая погрешность, т. е. $\Delta_{\text{пр}} = 3m$. На практике во многих работах для повышения требований точности измерений принимают $\Delta_{\text{пр}} = 2m$. 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. Например, относительная средняя квадратическая погрешность измерения линии длиной $l = 110$ м при $m_l = 2$ см равна $m_l/l = 1/5500$, а относительная предельная погрешность при $\Delta_{пр} = 3m = 6$ см, $\Delta_{пр}/l = 1/1800$.

5.4. Оценка точности результатов измерений

Точность результатов многократных измерений одной и той же величины оценивают в такой последовательности.

1. Находят вероятнейшее (наиболее точное для данных условий) значение измеренной величины по формуле арифметической середины $x = [l]/n$.

2. Вычисляют отклонения $\delta_i = l_i - x$ каждого значения измеренной величины l_1, l_2, \dots, l_n от значения арифметической середины. Контроль вычислений: $[\delta] = 0$.

3. По формуле Бесселя вычисляют среднюю квадратическую погрешность одного измерения.

4. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность арифметической середины.

5. Если измеряют линейную величину, то подсчитывают относительную среднюю квадратическую погрешность каждого измерения и арифметической середины.

6. При необходимости подсчитывают предельную погрешность одного измерения, которая может служить допустимым значением погрешностей аналогичных измерений.

В настоящее время при геодезических вычислениях используют вычислительную технику (ЭВМ), однако находят применение и различного рода таблицы и вычислительные номограммы.

Глава 6 . ПОНЯТИЕ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ДЛИН ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

6.1. Приборы, используемые при измерении длин линий местности

Измерением длин линий называют процесс сравнения её с некоторой эталонной величиной. Измерить длину линии на местности можно разными способами, выбор которых зависит от применяемых приборов, требуемой точности измерений, условий местности.

Для измерения расстояний применяются следующие приборы:

- 1) стальные и тесьмяные рулетки;

- 2) стальные, штриховые и шкаловые ленты;
- 3) стальные и инварные проволоки;
- 4) дальномеры оптические;
- 5) светодальномеры и радиодальномеры.

6.2. Устройство штриховой ленты

Наиболее распространены стальные 20-метровые штриховые ленты ЛЗ, изготовленные из ленточной стали шириной 10-12 см, толщиной 0,4-0,5мм. Концы пластины заправлены в пластины с выступами для установки шпилек. В комплект входят 5 или 10 шпилек из толстой проволоки длиной 30-40 см. Лента разбита на метры и дециметры. Для хранения ленту наматывают на кольцо диаметром 20 см (рис. 36).

Длина ленты равна расстоянию между штрихами, нанесённому на концах, когда она уложена на плоскость и натянута с силой $=98,1\text{Н}$ (10 кг силы).

Шкаловая лента отличается от штриховой тем, что её концы разбиты на см и мм.

ПОВЕРКА МЕРНЫХ ЛЕНТ (КОМПАРИРОВАНИЕ)

Длина изготовленной ленты отличается от номинальной длины ленты L_0 , поэтому её надо проверить, определить поправку к длине ленты Δl . Фактическая длина рабочей ленты $L_p = L_0 + \Delta l$ при $L_0 = 20$ м, а Δl - поправка к длине ленты.

Определение поправки Δl к номинальной длине ленты называется компарированием ленты. Компарирование выполняется на полевом компараторе, длина которого известна или измерена при помощи нормальной ленты L_n . Длину нормальной ленты L_n определяют в лаборатории. Полевой компаратор фиксирован на местности бетонными монолитами с металлическими пластинами или чугунными марками в верхней грани. Полевой компаратор измеряется рабочей лентой 4 раза (в прямом и обратном направлениях). Длину рабочей ленты вычисляют по формуле

$L_p / 20 = L_{п.к.} / L_{ср. зн. изм. р.}$, где L_p - длина рабочей ленты, $L_{п.к.}$ - длина полевого компаратора, $L_{ср. зн. изм. р.}$ - среднее значение измеренного расстояния лентой (из 4 измерений).

6.3. Измерение длин линий местности при помощи штриховой ленты

Перед измерением длин линий местности устранить все, что может помешать точности измерения: скосить траву, убрать камни и т.д.

Лента укладывается в створе измеряемой линии (между исходной точкой и объектом). Створом линии называется след отвесной плоскости на местности, проходящий через конечные её точки.

Измерение выполняют два человека. Длина измеренной линии при 20-метровой ленте с 10 шпильками выражается формулой $D_1 = 200n + 20m + r$,

где- n - число передач шпилек,

m - число шпилек, собранных после последней передачи,

r - остаток отсчета на ленте (определяется на глаз или линейкой).

При введении в измеренную длину поправок длина выразится формулой

$$D = D_1 \pm K \times \Delta l,$$

где $K = \frac{D_1}{20}$ - число лент в измеряемой линии;

Δl – поправка к длине линии, определяемая компарированием лент.

Линия измеряется два раза в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение измерения должно быть не больше 5 см на каждые 100 м.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ:

- а) отклонения линии от створа не должно превышать 30 см;
- б) провес ленты должен быть не более 14 см;
- в) шпильки ставят перпендикулярно поверхности земли;
- г) точность отсчета по ленте до 1 см.

В ИЗМЕРЕННУЮ ЛИНИЮ ВВОДЯТСЯ ПОПРАВКИ:

- а) за угол наклона местности (если $-1,5^0 \geq \nu \leq +1,5^0$, поправку можно не вводить);

$$t_{изм}^0 - t_k^0 \leq 8^0$$

- б) за влияние температуры, но если где $t_{изм}^0$ - температура измерения линии, а t_k^0 - температура компарирования ленты, то поправку за температуру можно не вводить.

УСТРОЙСТВО ШТРИХОВОЙ МЕРНОЙ ЛЕНТЫ СМ. НА РИС. 36:

- | | |
|--|-----------------------|
| 1-пластины, | 5-держатель |
| 2-ручка ленты, | для укрепления ленты, |
| 3-начало отсчёта и место установки шпилек, | 6-винт, |
| 4-кольцо, | 7-шпилька. |

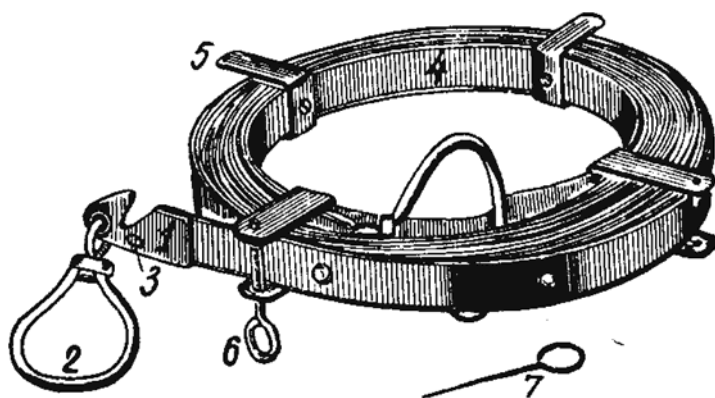


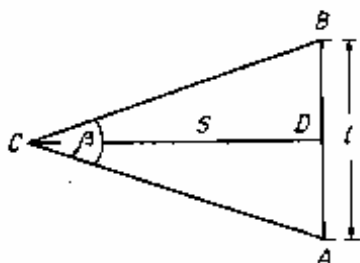
Рис. 36

При коротких расстояниях менее 100 м целесообразно пользоваться шкаловыми лентами ЛЗШ.

6.4. Оптические дальномеры

Принцип измерения расстояний при помощи оптического дальномера основан на решении равнобедренного треугольника ABC , в котором измеряемая линия $S=CD$ является высотой, базис $AB=l$ – основанием, C - вершиной параллактического угла (рис. 37).

β -параллактический угол.



$$S=(l/2)*ctg\beta/2,$$

если базис l известен, то надо измерить параллактический угол β .

Рис. 37

ОПТИЧЕСКИЕ ДАЛЬНОМЕРЫ БЫВАЮТ:

- 1) с переменным параллактическим углом и постоянным базисом;
- 2) с постоянным параллактическим углом и переменным базисом;
- 3) комбинированные (в конструкции сочетаются оба принципа).

ДАЛЬНОМЕРЫ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ ПО РАСПОЛОЖЕНИЮ БАЗИСА:

- а) дальномеры с базисом внутри прибора,
- б) дальномеры с базисом вне прибора (наиболее распространены).

В настоящее время применяются дальномерные комплекты ДН-4, ДН-10, ДН-8, ДНР-5. Это дальномеры двойного изображения, т.е. изображения концов базиса смещены и видны в поле зрения зрительной трубы. Наиболее распространенными являются дальномерные насадки на теодолит ДН – 8, которые представляют собой дальномерные насадки двойного изображения с постоянным базисом и переменным параллактическим углом. В комплект измерений входят две горизонтальные рейки.

Горизонтальное проложение вычисляется по формуле

$$S=K/\beta+C+\Delta t+\Delta v,$$

где K —коэффициент дальномера, равный 21000 для крайних марок или $K=11350$ для средних марок; $C=0,10$ —постоянная прибора; Δt - поправка за температуру, Δv - поправка за наклон линии (Δt и Δv выбираются из таблиц), β - параллактический угол, который измеряется для определения горизонтального проложения местности.

Линии измеряются в прямом и обратном направлениях. При длине до 400 м, их измеряют в каждом направлении 4 раза, при большей длине линии измеряют 6 раз.

Расхождения между средними значениями параллактических углов, полученных в прямом и обратном направлениях, не должны превышать 1:500 среднего значения угла.

6.5. Светодальномеры

Светодальномеры подразделяются на измеряющие короткие расстояния до 5 км (СТ - 62М, NASM – 8) и длинные расстояния до 40 км (ЭОД-1, КВАРЦ, СВВ-1).

Светодальномеры позволяют вычислять расстояние по времени распространения светового луча вдоль измеряемой линии туда и обратно.

$$D=1/2 C\tau+K,$$

где K —постоянная светодальномера, выбирается из таблиц, C - скорость света, τ - время прохождения светового луча туда и обратно.

В измеренное расстояние вводится поправка за температурный коэффициент, за наклон линии к горизонту и за давление воздуха.

Светодалномер КВАРЦ предназначен для измерения базисных сторон триангуляции и сторон полигонометрии всех классов. Может быть также использован для выполнения инженерно-геодезических работ. Применение в качестве источника света газового оптического квантового генератора позволяет проводить измерения в светлое время суток, что важно для северных районов страны. Конструкция светодалномера позволяет производить измерения как со столика геодезических знаков, так и со штативов. В приборе применена радиоэлектронная схема с преобразованием частоты, содержащая 15 различных радиоламп.

Работа светодалномера основана на прохождении сигнала от генератора до отражателя и возвращении его в приёмную трубу генератора. В модуляторе идёт сравнение фаз опорного сигнала и сигнала, прошедшего расстояние. На индикаторе определяется разность фаз между опорным и отраженным сигналами. Перевод расстояний в линейную меру осуществляется с помощью таблиц, прилагаемых к светодалномеру.

6.6. Радиодальномеры

Радиодальномеры позволяют вычислять расстояние по времени распространения звуковой волны вдоль измеряемой линии в прямом и обратном направлении. Наиболее распространенным является самолетный радиодальномер РДС, который позволяет определять расстояния до 500 км в любую погоду. Самолётный радиодальномер РДС обеспечивает высокоточное измерение расстояний между самолётом и двумя наземными станциями в пределах прямой видимости. Аппаратура по точности, габаритам, весу, потребляемой энергии и эксплуатационным данным значительно лучше других самолётных радиодальномерных систем. Самолётная станция имеет простую антенну в виде короткого штыря, что позволяет вести измерения как с самолёта, так и с ветролёта.

Радиодальномер предназначен для определения координат центров проектирования снимков при аэрофотосъёмке, измерения расстояний в пределах прямой видимости, определения координат точек, закреплённых на местности и т.д.

В комплект радиодальномера входят одна самолётная станция и три наземных. Допустимая скорость самолёта - до 500 км/ч, используемый диапазон волн - дециметровый, направленность антенн - круговая, способ индикации показаний - с помощью электронно-лучевой трубки, регистрация показаний - на фотоплёнке шириной 35 мм, ёмкость кассеты - 60 м.

Глава 7. ТЕОДОЛИТЫ И ТЕОДОЛИТНЫЕ ХОДЫ

7.1. Теодолитные ходы

Имеющиеся пункты государственных геодезических сетей и сетей сгущения недостаточны для выполнения топографических съёмок, поэтому создаётся съёмочное обоснование для определённого масштаба, отличающееся от государственного обоснования точностью и закреплением на местности. Для создания съёмочного обоснования при мензуральной, тахеометрической, аэрофототопографической съёмках прокладываются теодолитные ходы. Они представляют собой многоугольники на местности, в которых должны быть измерены все стороны и углы между ними. Стороны измеряются мерными лентами или оптическими дальномерами, а углы измеряются теодолитами.

Теодолитные ходы допускаются:

а) замкнутые, с одним исходным репером:

масштаб создаваемой карты	длина хода
1:5000	1 км
1:10000	2 км
1:25000	5 км

б) разомкнутые, с двумя исходными реперами:

масштаб создаваемой карты	длина хода
1:5000	3 - 6 км
1:10000	8 - 10 км
1:25000	20 - 25 км

в) висячие хода допускаются как исключение. Число линий в висячих теодолитных ходах на застроенной территории не должно превышать четырёх, а на незастроенной территории—трёх.

Теодолитные ходы должны прокладываться на местности, обеспечивающей хороший обзор для проведения съёмки и видимости предшествующей и последующей точек местности. Теодолитные ходы прокладываются при помощи приборов теодолитов или тахеометров.

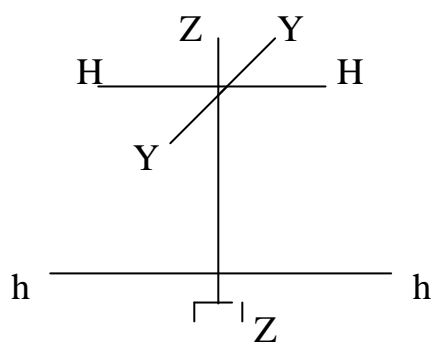
7.2. Теодолиты, их устройство, поверки

Теодолит - это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов местности, азимута, для определения расстояний по дальномеру и для определения превышений точек местности. В настоящее время выпускаются только оптические теодолиты или электронные тахеометры, в которых соблюдается постоянство геометрических условий, малые габариты и большая точность измерений.

ПО ТОЧНОСТИ ТЕОДОЛИТЫ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ:

- а) высокоточные Т-1;
- б) точные Т-2, Т-5;
- в) технические Т-15, Т-30, 2Т-30П.

СХЕМА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОСЕЙ ТЕОДОЛИТА



ZZ—ось вращения теодолита;
 HH—ось вращения зрительной трубы прибора;
 YY — визирная ось зрительной трубы;
 hh—ось цилиндрического уровня.

Рис. 38

В ТЕОДОЛИТЕ ДОЛЖНЫ ВЫПОЛНЯТЬСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ:

1. Вертикальная ось теодолита должна быть в отвесном положении и проходить через вершину измеряемого угла.
2. Плоскость горизонтального круга должна быть горизонтальна.
3. Коллимационная плоскость при любых поворотах алидады должна быть отвесна. Визирная ось зрительной трубы, вращаясь, должна образовывать отвесную коллимационную плоскость, положение которой фиксирует алидада на лимбе горизонтального круга ($YY \perp HH$, $HH \perp ZZ$).
4. Сетка нитей должна быть расположена так, чтобы вертикальный штрих лежал в коллимационной плоскости.
5. Центры вращения горизонтального круга алидады и лимба должны совпадать (чтобы не было эксцентриситета).

ТЕОДОЛИТ 2Т30П

Название теодолита 2Т30П расшифровывается следующим образом: Т – теодолит, $2 \times 30'' = 60'' = 1'$ – точность измерения горизонтального угла, П – труба теодолита, дает прямое изображение. Устройство теодолита приведено на рис. 42, 43.

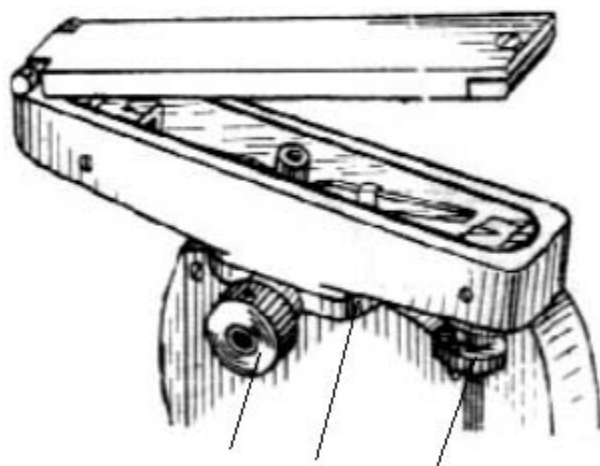
Теодолит укрепляется на штативе неподвижно при помощи станкового винта. При наблюдении за цилиндрическим уровнем, при помощи трёх подъемных винтов теодолит горизонтируется следующим образом:

- а) цилиндрический уровень устанавливается в плоскости двух подъемных винтов;
- б) при вращении двух подъемных винтов пузырек уровня приводится в нуль-пункт;
- в) теодолит поворачивается на 90^0 и при вращении третьего подъемного винта, пузырек уровня опять приводится в нуль-пункт;
- г) для контроля теодолит поворачивают на 180^0 . Если пузырек уровня находится в нуль-пункте, то горизонтирование считается выполненным. В противном случае перечисленные действия повторяют еще раз.

На треугольной подставке теодолита имеется закрепительный винт и наводящий винт лимба теодолита. Выше подставки укреплен круг, закрытый металлическим чехлом. Этот оптический стеклянный горизонтальный круг, оцифрованный через 1° от 0° до 359° , называется лимбом. Часть теодолита, расположенная выше горизонтального круга, называется алидадой. Под цилиндрическим уровнем находится закрепительный винт алидады. При ослаблении закрепительных винтов лимба или алидады теодолит вращается вокруг своей вертикальной оси. От горизонтального круга вверх идут две несущие колонки, между которыми находится зрительная труба. На одной из колонок находятся кремальерный (фокусирующий) винт зрительной трубы, наводящий винт зрительной трубы по вертикали, наводящий винт алидады по горизонтали и закрепительный винт зрительной трубы. На другой колонке находятся паз для установки буссоли (рис. 39), вертикальный оптический стеклянный круг, оцифрованный через 1° от 0° до 75° и от 0° до -75° и закрытый металлическим кожухом. Ниже находится зеркало подсветки. Поворотом и наклоном зеркала достигают оптимального освещения поля зрения, т.е. горизонтального и вертикального кругов.

При выполнении измерений, вместе с теодолитом используется ориентир-буссоль, устройство которой изображено на рис. 39:

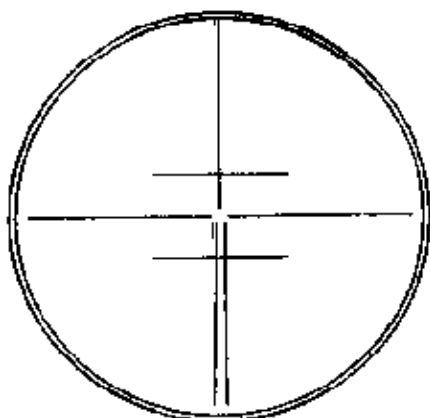
- 1 - закрепительный винт,
- 2 - кронштейн,
- 3 - закрепительный винт магнитной стрелки (винт арретира).



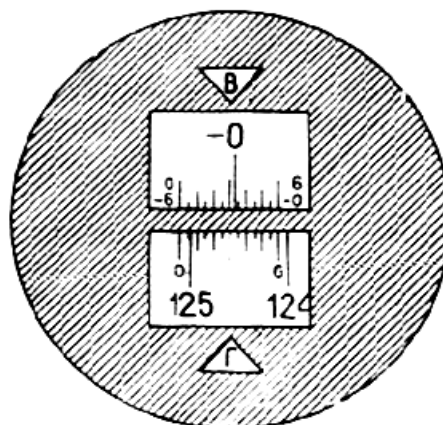
1 2 3

Рис. 39

ПОЛЕ ЗРЕНИЯ ОБЪЕКТИВА ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ И МИКРОСКОПА



45



Зрительная труба теодолита имеет объектив и окуляр с диоптрийным колечком, поворотом которого наводится резкость на сетку нитей (рис. 40).

С одной стороны зрительной трубы находится оптический визир, необходимый для грубого наведения на объект, с другой стороны – цилиндрический уровень, позволяющий при необходимости выполнять геометрическое нивелирование местности. Зрительная труба при незафиксированном закрепительном винте на колонке теодолита может вращаться вокруг горизонтальной оси. Это действие называется переведением зрительной трубы теодолита через зенит. Зрительная труба теодолита дает увеличение 20^x , имеет поле зрения 2^0 .

Около окуляра зрительной трубы находится окуляр оптического микроскопа, куда выведены изображения горизонтального и вертикального кругов. В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, обозначенной буквой В, видны штрихи вертикального круга; в нижней части, обозначенной буквой Г, – штрихи лимба горизонтального круга (рис. 41).

Отсчет производится по шкалам, цена деления которых составляет $5'$. Нижняя шкала оцифрована от 0 до 6 (это $60'$). Верхняя шкала имеет двойную оцифровку от 0 до 6 и от -6 до -0 . Если угол наклона отрицательный, то на вертикальном круге показания цифр имеют знак “-” и минуты отсчитываются справа от -0 налево (рис. 41). Если угол наклона положительный, то на вертикальном круге показания цифр имеют знак “+”, минуты отсчитываются слева от 0 направо. На рис. 41 отсчет по шкале вертикального круга $-0^026'$, по шкале горизонтального круга $125^006'$.

УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТА 2Т30П (рис. 42, 43)

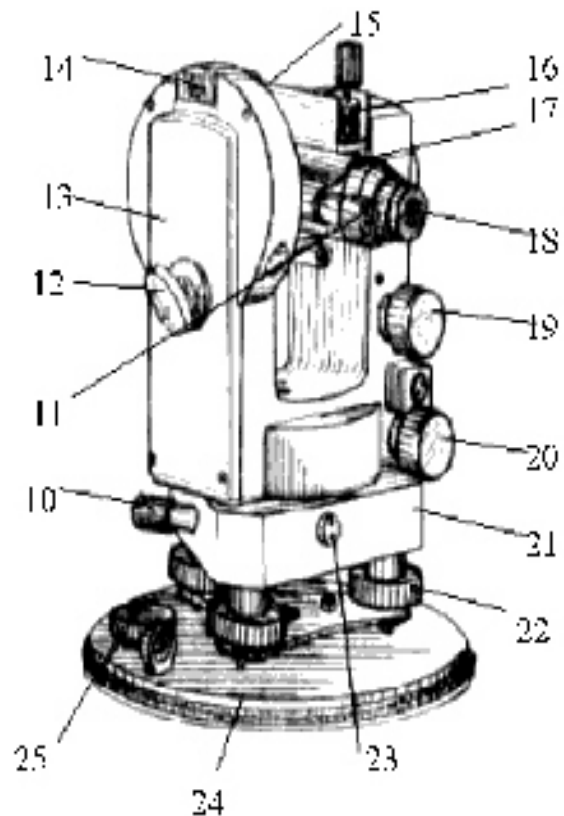
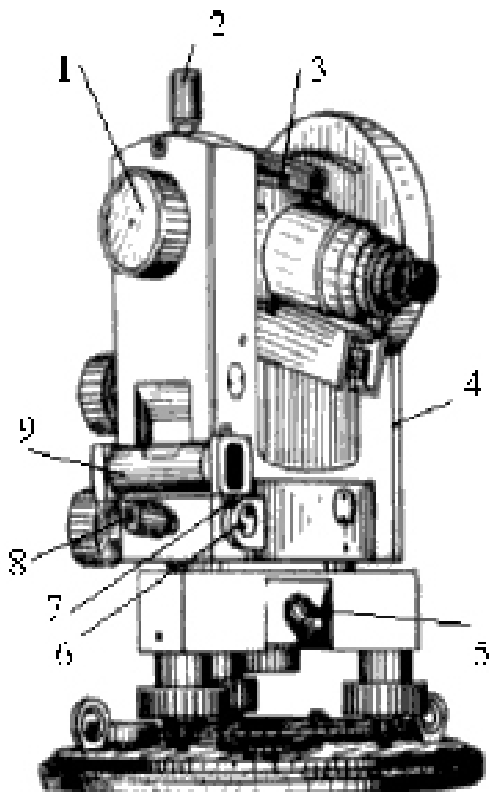


Рис. 42

Рис. 43

1 – кремальерный винт;
2 – закрепительный винт зрительной трубы;

- 3 - оптический визир;
- 4 – колонка;
- 5 - закрепительный винт горизонтального круга (лимба);
- 6 - горизонтальный круг;
- 7 - юстировочный винт;
- 8 - закрепительный винт алидады;
- 9 - цилиндрический уровень при алидаде;
- 10 - наводящий винт горизонтального круга;
- 11 - окуляр микроскопа;
- 12 - зеркало подсветки;
- 13 - боковая колонка;
- 14 - паз, для ориентир-буссоли;
- 15 - вертикальный круг;
- 16 - юстировочная гайка;
- 17 - зрительная труба прибора;
- 18 - диоптрийное колечко окуляра;
- 19 - наводящий винт зрительной трубы;
- 20 - наводящий винт алидады;
- 21 - треугольная подставка;
- 22 - подъёмные винты;
- 23 – втулка;
- 24 – основание;
- 25 - крышка.

ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТОВ

Перед проведением поверок нужно провести общий осмотр теодолита:

- а) оптическая система зрительной трубы должна быть чистой и давать отчётливое изображение;
- б) вращение прибора должно быть лёгким и плавным;
- в) подъёмные, закрепительные, наводящие, юстировочные винты должны быть исправны;
- г) отсчётные системы должны быть видны в микроскоп хорошо и чётко.

После общего осмотра теодолита выполняются его поверки:

1. Поверка вращения подъёмных винтов. Они должны вращаться легко и плавно.

2. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси прибора. Для этого уровень при алидаде горизонтального круга приводят в нуль-пункт подъёмными винтами. Поворачивают прибор на 180° , если пузырёк уровня отклонился от нуль-пункта более одного деления, то его положение исправляют исправительным винтом на $\frac{1}{2}$ отклонения.

3. Вертикальный штрих сетки нитей должен лежать в коллимационной плоскости зрительной трубы. Для этого наводят вертикальный штрих сетки нитей на хорошо видимую точку. Наводящим устройством вращают

зрительную трубу вокруг горизонтальной оси. Если точка смещается с вертикальной оси, то, ослабив юстировочные винты сетки нитей, поворачивают окуляр вместе с сеткой нитей. Поверку повторяют.

4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы. Отклонение от перпендикулярного направления вызывает коллимационную погрешность «с». Обычно измеряют величину $2с$. Для этого наводят зрительную трубу на удалённый предмет и снимают отсчёты при $КЛ_1$ и $КП_1$. Теодолит поворачивают на 180° , наводят на этот же предмет и берут отсчёты при $КЛ_2$ и $КП_2$.

$2с$ вычисляют по формуле $2с = [(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 + КП_2 \pm 180^\circ)] / 2$. $2с$ должно быть меньше утроенной точности измерения угла. Для устранения коллимационной погрешности устанавливают отсчёт, вычисленный по формуле $КЛ = КЛ_2 - с$ или $КП = КП_2 + с$. Юстируют сетку нитей до совмещения с предметом. Поверку повторяют.

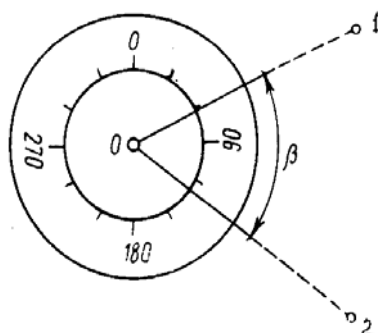
5. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита. Выбирают хорошо видимую точку на высоте 40° и на уровне высоты прибора. Зрительную трубу переводят через зенит и наводят на эту же точку. Если отмеченные внизу точки совпадут, то наклон трубы допустим, если нет, то перпендикулярность осей исправляют только в мастерских.

6. Место нуля (МО) вертикального круга должно быть постоянным и близким к 0° . МО — отсчёт по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и при положении пузырька уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункте. Для определения МО визируют при двух положениях вертикального круга на выбранную точку и снимают отсчёты. Для прибора 2Т30П МО вычисляется по формуле $МО = (КЛ + КП) / 2$. МО определяют визированием на различные цели 3—4 раза. За окончательное значение берут среднее арифметическое значение из всех измерений. Расхождение между значениями МО не должны превышать утроенной точности теодолита. Правильность вычисления МО проверяют вычислением v по формулам $v = КЛ - МО$; $v = КП - МО$, $v = 0,5(КЛ - КП)$. Величины v должны быть равны.

7.3. Измерение горизонтальных углов

Способ приёмов

В теодолитных ходах горизонтальные углы измеряются способом приёмов, который состоит из двух полуприёмов, т.е. при двух положениях вертикального круга. Если при наблюдении в окуляр зрительной трубы



вертикальный круг находится по левую руку наблюдателя, это положение теодолита называют круг-лево ($КЛ$). Если при наблюдении в окуляр зрительной трубы вертикальный круг находится по правую руку наблюдателя, это положение теодолита называют круг-право ($КП$).

При измерении углов желательно поворачивать теодолит по ходу часовой стрелки.

β -измеряемый угол (рис. 44), а 1,2—отсчёты,

Рис. 44 снятые при наблюдении на точки 1,2 при КЛ, и КП, тогда угол β вычисляется по формулам

$$\beta(1)=2-1 \text{ при КЛ и } \beta(2)=2-1 \text{ при КП,}$$

но $\beta(1)$ и $\beta(2)$ не должны отличаться друг от друга более $4'$, если этот контроль выполнен, то вычисляется угол β по формуле

$$\beta=0,5\{\beta(1)+\beta(2)\}.$$

Измерение горизонтальных углов.

Теодолит устанавливается на штативе, горизонтируется тремя подъемными винтами при наблюдении за цилиндрическим уровнем.

Измерение углов начинается при *КЛ*. Зрительная труба поворотом теодолита вокруг своей оси наводится на первую точку, при этом закрепительный винт лимба закреплен, а закрепительный винт алидады не закреплен. После наведения зрительной трубы на первую точку закрепительный винт алидады фиксируется. Наведение на точку подправляется наводящими винтами зрительной трубы.

По шкале горизонтального круга при наблюдении в оптический микроскоп снимается отсчет и записывается в журнал измерения углов (табл. 4). Пример: $78^{\circ}31'$.

Ослабив закрепительный винт алидады, зрительную трубу поворачивают по ходу часовой стрелки на вторую точку. Закрепительный винт алидады фиксируется.

По шкале горизонтального круга при наблюдении в оптический микроскоп снимается и записывается отсчет. Пример: $108^{\circ}35'$.

Зрительная труба теодолита переводится через зенит.

При *КП* аналогично повторяются все действия. Отсчеты записываются в таблицу. Примеры: отсчёт на первую точку $258^{\circ}32'$, на вторую точку – $288^{\circ}35'$.

В ведомости вычисляется горизонтальный угол $\beta_{1,1}$ при КЛ и $\beta_{1,2}$ при КП по формулам

$$\beta_{1,1} = (2)_{\text{КЛ}} - (1)_{\text{КЛ}}, \quad \beta_{1,2} = (2)_{\text{КП}} - (1)_{\text{КП}}.$$

Таким образом, $\beta_{1,1} = 108^{\circ}35' - 78^{\circ}31' = 30^{\circ}04'$; $\beta_{1,2} = 288^{\circ}35' - 258^{\circ}32' = 30^{\circ}03'$. Наибольшее допустимое расхождение между $\beta_{1,1}$ и $\beta_{1,2}$ составляет $4'$. В противном случае измерение повторяется. Если значение (2) меньше значения (1), то к нему прибавляют 360° .

Вычисляется горизонтальный угол $\beta_{\text{ср}}$ по формуле

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{\beta_{1,1} + \beta_{1,2}}{2}.$$

Угол вычисляется до целых минут. В нашем примере $\beta_{\text{ср}} = 30^{\circ}04'$.

Предельно допустимые расхождения между значениями углов, по-

лученных в полуприемах, приведены ниже:

теодолит ТТ-4..... 45";
 ТЗО 2';
 Т15 1';
 Т5, Т5К. 2Т5А 30".

Таблица 4

N ст	N точки визир.	Отсчет по гор. кругу		$\beta_{1,1}$ $\beta_{1,2}$	β_{cp}	Ф. И. О. исполнителя
		КЛ	КП			
1	1	78 ⁰ 31' (1)		30 ⁰ 04'	30 ⁰ 04'	
	2	108 ⁰ 35' (2)				
	1		258 ⁰ 32' (1)	30 ⁰ 03'		
	2		288 ⁰ 35' (2)			
2	3	2 ⁰ 22'		344 ⁰ 23'	344 ⁰ 22'	
	4	346 ⁰ 45'				
	3		182 ⁰ 23'	344 ⁰ 21'		
	4		166 ⁰ 44'			

Способ круговых приёмов

Этим способом углы измеряют двумя приемами с перестановкой горизонтального круга между приемами на 90°. Направления в этом способе измеряют в следующей последовательности.

1. Одно из направлений, которое нужно наблюдать, принимают за начальное. За начальное направление выбирают направление на достаточно удаленный пункт с постоянной хорошей видимостью.

2. Наблюдения начинают при КЛ. При ориентированном и закрепленном горизонтальном круге наводят перекрестие основных штрихов сетки нитей зрительной трубы на начальный пункт (объектами визирования служат на сигналах и пирамидах середины болванок, на вехах — низ вехи, насколько возможно ближе к ее основанию). Производят и записывают отсчет.

3. Ослабив закрепительные устройства алидады и зрительной трубы, наводят трубу последовательно на все другие наблюдаемые пункты. Производят и записывают отсчеты. Алидада при выполнении первого полуприема должна вращаться только по направлению часовой стрелки. Горизонтальный круг во время исполнения всего приема должен оставаться неподвижным.

4. Полуприем заканчивают повторным наведением и отсчетом на начальный пункт. Сходимость отсчетов при наведении на начальный пункт в начале и конце полуприема, так называемое замыкание горизонта, является полевым контролем. Внизу страницы журна-

ла указывают полученную погрешность Δ при замыкании горизонта.

5. Переходят ко второму полуприему. Ослабив закрепительные устройства алидады и трубы, переводят трубу через зенит и, вращая алидаду против хода часовой стрелки, наводят на начальный предмет. Производят и записывают отсчет.

6. Наблюдают остальные пункты, но в обратном порядке, вращая алидаду только против хода часовой стрелки. Запись в журнале проводят поэтому снизу вверх. Второй прием также заканчивают повторным наведением на начальный пункт. Внизу страницы журнала снова выписывают полученную погрешность Δ замыкания горизонта.

7. Кроме контроля по замыканию горизонта прием контролируют еще колебаниями отсчетов при различных кругах на один и тот же пункт (двойной коллимационной погрешностью 2 с).

Данные измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов записывают в журнал. Из двух значений направлений на начальный пункт в начале и конце приема выводят среднее, которое записывают. Затем, вычитая это среднее из всех полученных направлений, получают окончательные, приведенные к нулю горизонтальные направления приема.

Второй прием выполняется так же. Если в приеме один из контролей (замыкание горизонта и колебание отсчетов при разных кругах) превышает допустимую величину, то прием полностью переделывается при той же ориентировке горизонтального круга.

Сходимость направлений из приемов является третьим контролем. Если сходимость направлений в пределах допустимости, то вычисляют и записывают на отдельной странице журнала средние значения направлений из двух приемов.

Допустимые значения при измерении направлений способом круговых приемов приведены в табл. 5.

Таблица 5.

Теодолит	Колебание разности отсчетов между КЛ и КП	Замыкание в полуприемах	Колебание направлений из отдельных приемов
ТТ-4	1' 0"	30"	30"
ТЗО	2,0'	1,5'	1,5'
Т15	1,0'	0,8'	0,8'
Т5, Т5К,	0,8'	0,3'	0,3'

7.4. Измерение теодолитом магнитного азимута

Измерение магнитного азимута (A_m) выполняется при *КЛ*.

При измерении A_M на местности теодолит обязательно центрируется над забитым колышком следующим образом:

- 1) к станковому винту на длинной нити прикрепляется грузик;
- 2) теодолит со штативом устанавливается таким образом, чтобы грузик был на середине забитого колышка. Допустимое отклонение от центра колышка ± 5 мм;
- 3) теодолит горизонтируется подъёмными винтами при наблюдении за цилиндрическим уровнем;
- 4) в паз на колонке теодолита устанавливается ориентир-буссоль;
- 5) открепив алидаду, совмещаем нули лимба и алидады (наблюдая в оптический микроскоп и поворачивая теодолит вокруг вертикальной оси);
- 6) закрепив алидаду, открепляем лимб и поворачиваем теодолит вокруг вертикальной оси до тех пор, пока стрелка ориентир-буссоли не покажет север. Проверяем совмещение нулей лимба и алидады, после чего закрепляем лимб;
- 7) открепляем алидаду и по ходу часовой стрелки поворачиваем зрительную трубу теодолита на заданный объект;
- 8) снимаем и записываем отсчет по горизонтальному кругу. Это и будет A_M . Зная A_M , вычисляем дирекционный угол по формуле $\alpha = A_M + \delta - \gamma$.

7.5. Измерение вертикальных углов

При измерении вертикальных углов сначала выполняется измерение места нуля (M_0) теодолита, которое определяется по шкале вертикального круга при $KЛ$ и $KП$ следующим образом (табл. 6):

1. После центрирования и горизонтирования прибора зрительную трубу при $KЛ$ наводим на выбранную точку (открепляется только алидада).
2. Снимаем и записываем отсчет по шкале вертикального круга при $KЛ$ (пример: $4^{\circ}26'$).
3. Переводим зрительную трубу через зенит.
4. Наводим зрительную трубу на эту же точку при $KП$.
5. По шкале вертикального круга снимаем и записываем отсчет (пример: $-4^{\circ}28'$).
6. Вычисляем M_0 по формуле

$$M_0 = \frac{KЛ + KП}{2}.$$

Пример: $M_0 = \frac{4^{\circ}26' + (-4^{\circ}27')}{2} = -0^{\circ}00'30''.$

Вышеперечисленные действия необходимо повторить несколько раз, используя наведение на разные точки, и определить $M_{0\text{ср}}$.

Таблица 6

N п/п	Отсчет по вертикальному кругу		M0	Ф. И. О. исполнителя
	<i>KЛ</i>	<i>KП</i>		
1	$4^{\circ}26'$	$-4^{\circ}28'$	$-0^{\circ}01'$	
2	$10^{\circ}04'$	$-10^{\circ}06'$	$-0^{\circ}01'$	

3	$6^{\circ}55'$	$-6^{\circ}57'$	$-0^{\circ}01'$	
$MO_{cp} = -0^{\circ}01'$				

Определив МО теодолита, вычисляют вертикальные углы по формулам
 $v = \text{КЛ} - \text{МО}$, КЛ—отсчёт по вертикальному кругу при КЛ на точку;
 $v = \text{МО} - \text{КП}$, КП—отсчёт по вертикальному кругу при КП на эту же точку;
 $v = 0,5(\text{КЛ} - \text{КП})$.

Значение вертикального угла, вычисленного по всем формулам, должно быть одинаковое, что является контролем измерения вертикальных углов.

Вертикальные углы измеряются для определения превышений при проложении теодолитных ходов одним приёмом – визированием на рейку при двух положениях вертикального круга в прямом и обратном направлении. При выполнении тахеометрической съёмки местности визирование выполняется на рейку только при круге – лево (КЛ).

7.6. Измерение превышений точек местности при помощи теодолита

При помощи теодолита превышения точек местности можно измерять геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

1. Геометрическое нивелирование теодолитом выполняется при приведении цилиндрического уровня на зрительной трубе в нуль-пункт. Нивелирование выполняется на равнинных участках методом из середины и методом вперёд, принцип выполнения действий, как с нивелиром. Превышения соответственно вычисляются по формулам

$$h = z - \text{П}, \quad h = i - \text{П}.$$

2. Тригонометрическое нивелирование теодолитом выполняется в горных и высокогорных районах методом вперёд. Тригонометрическое нивелирование выполняется в прямом и обратном направлениях. Для определения превышения необходимо знать высоту прибора i и высоту наведения v зрительной трубы на рейку.

Расхождение между прямым и обратным превышением не должно превышать 4 с. на каждые 100 м длины хода. Прямое и обратное превышение отличаются между собой знаком «+» или «-».

В теодолитных ходах превышение вычисляется по формуле $h = \text{Stg}v + i - v + f$.

В тахеометрических ходах превышение вычисляется по формуле $h = 1/2 D \sin 2v + i - v + f$, где

S- горизонтальное проложение линии местности;

v- угол наклона, вертикальный угол;

i- высота прибора;

v- высота наведения зрительной трубы на рейку;

D- дальномерное расстояние;

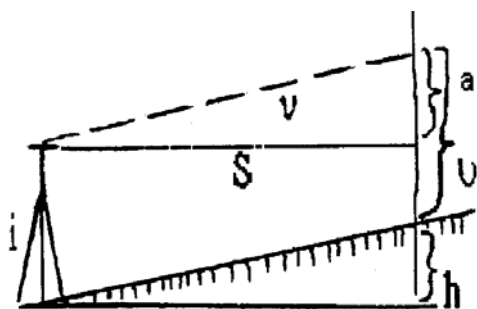
f - поправка за совместное влияние кривизны Земли и рефракцию, которая вводится при $D > 275$ м.

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ

Чтобы определить превышение h между теодолитом и рейкой, необходимо измерить следующие величины:

i - высоту теодолита,

a - отсчёт по рейке,



u - высоту наведения (отсчёт по рейке),

v - вертикальный угол наклона,

S - горизонтальное проложение линии местности (рис. 45).

Из построенного чертежа запишем равенство $h+u=a+i$, тогда $h=a+i-u$,

но из прямоугольного треугольника -

$a=Stg v$, тогда $h=Stg v+i-u$. При $i=u$, $h=Stg v$.

Рис. 45

Превышение измеряется два раза, в прямом и обратном направлении. Контролем является равенство $h_{пр} = -h_{обр}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЛОЖЕНИЙ ЛИНИЙ МЕСТНОСТИ ПО ДАЛЬНОМЕРУ

Горизонтальные проложения линий местности вычисляются по формуле $S=Kl \cos v$ при $v > \pm 3^\circ$, $S=Kl$ при $v < \pm 3^\circ$.

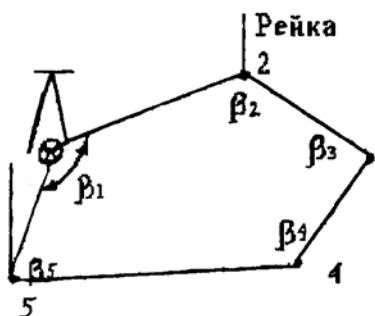
$K=100$ – коэффициент теодолита,

v - вертикальный угол наклона,

l - разность отсчётов по верхнему и по нижнему дальномерному штриху сетки нитей. Пример: отсчёт по верхнему дальномерному штриху равен 1821; отсчёт по нижнему дальномерному штриху равен 0721, тогда $l=1821-0721=1100$, полученное число переводим в метры $=1,100$ м и при $v < \pm 3^\circ$ вычисляем $S=100*1,100=110,0$ м.

7.7. Проложение теодолитных ходов

После выбора вершин съёмочного обоснования, которые закрепляются на местности колышками, на исходной вершине устанавливается теодолит, а на смежных вершинах устанавливаются вешки (рис. 46):



1-я вершина—исходная, т.е. известны координаты X, Y, H ;

1,2,3,4,5-я - вершины полигона;

$\beta_1, \beta_2 \dots \beta_5$ - внутренние углы полигона.

Закончив измерения на первой вершине полигона, теодолит переставляют на вторую вершину полигона, а рейки –на первую и третью вершины и т.д.

Рис.46

ПРИ ПРОЛОЖЕНИИ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ ЖЕЛАТЕЛЬНО:

- а) движение выполнять по ходу часовой стрелки;
- б) измерять правые углы, внутренние углы полигона;
- в) при измерении горизонтальных углов теодолит поворачивать по ходу часовой стрелки.

При измерении горизонтальных углов визирную ось зрительной трубы наводят на самую нижнюю часть вехи. Горизонтальные углы измеряются одним приёмом, состоящим из двух полуприёмов. Измерив первый угол, теодолит переставляют на вторую вершину, а рейки – на смежные вершины и т.д. Сумма всех измеренных углов замкнутого полигона не должна отличаться от величины, вычисленной по формуле $\Sigma\beta=180^\circ(n-2)$, где n — число углов полигона, более чем допустимая угловая невязка хода равная, $f_{\text{доп.}}=\pm 1,5'\sqrt{n}$ (примерно: 3' - 4').

ПОРЯДОК РАБОТ ПРИ ПРОЛОЖЕНИИ ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

1. Теодолит устанавливается на первую вершину полигона и приводится в рабочее положение следующим образом:

а) теодолит *центрируется*, т.е. вертикальная ось прибора устанавливается над вершиной измеряемого угла. Центрирование выполняется при помощи отвеса, укрепленного на середине станкового винта или при помощи оптического центрира. При установке штатива отвес должен быть на середине забитого в землю колышка с точностью до 5 мм. Для этого теодолит со штативом несколько раз переставляется;

б) теодолит *горизонтируется*, т.е. вертикальная ось прибора приводится в отвесное положение. Горизонтирование выполняется при помощи трёх подъёмных винтов при наблюдении за цилиндрическим уровнем (см. выше);

в) теодолит *ориентируется* по магнитному меридиану, т.е. устанавливается в такое положение, когда «0» лимба и алидады горизонтального круга совпадают с направлением магнитной стрелки ориентир-буссоли. Работа с ориентированным теодолитом даёт возможность контролировать результаты измерения углов.

2. Установка вешек на смежных вершинах (можно использовать нивелирные рейки, повернув их к теодолиту ребром).

3. Установка на теодолит ориентир-буссоли.

4. Измерение магнитного азимута линии 1-2 (см. выше). Магнитный азимут в замкнутых теодолитных ходах измеряется только один раз на исходной вершине полигона.

5. Измерение горизонтальных углов. Зрительная труба прибора при КЛ наводится сначала на переднюю веку, потом на заднюю. Переведя зрительную трубу через зенит, при КП её опять наводят на переднюю веку,

потом на заднюю. Вычисленные углы $\beta_{1,1}$ и $\beta_{1,2}$ не должны отличаться более чем на $4'$, далее вычисляется среднее значение β_1 .

Порядок измерения горизонтальных углов см. в табл. 6.

6. Теодолит переставляется на следующую вершину полигона и выполняются все действия пунктов 1,2,5.

7. Вычисляется сумма измеренных углов замкнутого полигона и сравнивается с теоретической суммой углов этого же полигона. Если $\Sigma\beta_{\text{пр.}} < \pm \Sigma\beta_{\text{т}}$, то измерение горизонтальных углов считается выполненным и тогда вычисляются координаты вершин замкнутого полигона.

7.8. Погрешности измерения горизонтальных углов

Точность измерения горизонтальных углов зависит от точности самого прибора, от методики наблюдения, от влияния внешней среды и от ошибок самого исполнителя.

Основные источники ошибок:

1. Погрешности прибора:

а) влияние неперпендикулярности визирной оси зрительной трубы к оси вращения зрительной трубы;

б) влияние неперпендикулярности визирной оси зрительной трубы к оси вращения прибора;

в) влияние смещения положения визирной оси зрительной трубы при фокусировке.

Эти погрешности устраняются при измерении углов при двух положениях вертикального круга (КЛ и КП), берётся среднее значение из двух отсчётов на одну и ту же точку.

2. Погрешности центрирования теодолита и редукции вешек:

а) центрировать теодолит необходимо как можно точнее;

б) ошибка редукции - ошибка установки вешек. Вешку следует устанавливать за забитым колышком по линии визирования. Визировать следует при измерении угла на самую нижнюю часть вехи. Вехи должны быть как можно тоньше.

3. Погрешности измерения угла:

а) ошибка отсчёта. Чтобы её исключить, отсчёт по горизонтальному кругу берут два раза, т.е. отсчёт равен среднему арифметическому из двух измерений $a = (a_1 + a_2) / 2$;

б) ошибка визирования. Чтобы её исключить, надо наводить зрительную трубу на более удалённые точки.

4. Погрешности от влияния внешней среды.

Они зависят от колебания изображения, от нагрева инструмента, рефракции, других условий. Чтобы исключить эти ошибки, необходимо при работе прибор накрывать зонтом, не производить измерение вертикальных углов при восходе и закате солнца.

5. При работе следует соблюдать следующие правила:

а) штатив должен быть устойчив;

- б) в процессе наблюдений зрительную трубу вращать плавно;
- в) наводящими винтами работать на средних оборотах. Точное наведение заканчивать ввинчиванием наводящих устройств.

7.9. Обработка материалов теодолитных ходов и вычисление координат вершин замкнутого полигона

1. В ведомость вычисления координат вершин замкнутого хода выписываются:

- а) средние значения измеренных углов полигона $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и т.д.;
- б) горизонтальные проложения длин линий S;
- в) координаты X, Y исходной точки;
- г) дирекционный угол α линии 1-2, вычисленный по формуле

$$\alpha_1 = A_M + \delta - \gamma,$$

где A_M – измеренный магнитный азимут линии 1-2;

δ - склонение магнитной стрелки;

γ - среднее сближение меридианов.

2. Находится сумма измеренных углов $\sum \beta_{np}$ путем сложения значений измеренных углов β .

3. Вычисляется угловая невязка $f\beta = \sum \beta_{np} - \sum \beta_{теор}$, где $\sum \beta_{теор} = 180(n - 2)$, n – число углов замкнутого полигона. $f\beta$ сравнивается с допустимой $f\beta_{доп} = 1,5\sqrt{n}$ (пример: $n=5$, $\sum \beta_{теор} = 540^000'$, $f\beta = 0^002'$, $f\beta_{доп} = 0^003'$).

4. Если $f\beta \leq f\beta_{доп}$, то находится величина поправки в каждый угол $\delta\beta = \frac{f\beta}{n}$ до 1', которая с обратным знаком вводится в измеренные углы.

Контроль: $\sum \delta\beta = -f\beta$.

5. Вычисляются исправленные углы по формуле

$$\beta_{испр} = \beta_{изм} + \delta\beta, \text{ учитывая знак } \delta\beta. \text{ Контроль: } \sum \beta_{испр} = \sum \beta_{теор}.$$

6. Вычисляются дирекционные углы длин линий α по формулам

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^0 - \beta_2 \text{ (для измеренных правых углов);}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 - 180^0 + \beta_2 \text{ (для измеренных левых углов).}$$

Если углы правые, то: $\alpha_3 = \alpha_2 + 180^0 - \beta_3$;

$$\alpha_4 = \alpha_3 + 180^0 - \beta_4$$

.....

$$\alpha_1 = \alpha_5 + 180^0 - \beta_1.$$

Контролем является равенство дирекционных углов исходной точки (первой), т.е. $\alpha_1 = \alpha_1$.

7. Дирекционные углы переводятся в румбы по следующим формулам:

$$r_I : CB = \alpha_I;$$

$$r_{II} : ЮВ = 180^0 - \alpha_{II};$$

$$r_{III} : ЮЗ = \alpha_{III} - 180^{\circ};$$

$$r_{IV} : СЗ = 360^{\circ} - \alpha_{IV}.$$

8. Определяются значения \cos и \sin вычисленных румбов.

9. Вычисляются приращения координат по формулам

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

Перед ΔX и ΔY ставим знаки "+" или "-" в зависимости от вычисленного румба (рис. 47).

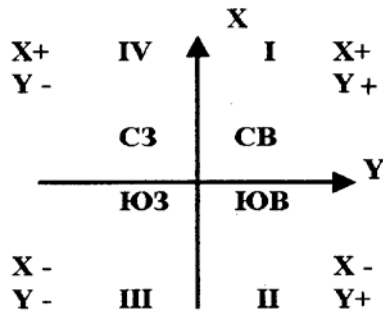


Рис. 47

10. Находится сумма приращений координат $\sum \Delta X$ и $\sum \Delta Y$, которые сравниваются с абсолютной и относительной невязкой хода, пользуясь формулами

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad \text{и} \quad f_{omn} = \frac{f_{abc}}{P}, \quad \text{где } P \text{ – периметр полигона.}$$

$$\text{Контроль} \quad \frac{f_{abc}}{P} \leq \frac{1}{1500}.$$

Линейные невязки f_x и f_y находятся по формулам

$$f_x = \sum \Delta X \text{ - линейная невязка по X;}$$

$$f_y = \sum \Delta Y \text{ - линейная невязка по Y.}$$

11. Если невязки приращений координат f_x и f_y допустимы, то находятся поправки по формулам

$$\delta_x = \frac{f_x}{p} s, \quad \delta_y = \frac{f_y}{p} s,$$

где p – периметр полигона, s – горизонтальные проложения длин линий хода. δ_x и δ_y вводятся с обратным знаком в ΔX и ΔY пропорционально длинам сторон полигона.

12. Вычисляются $\Delta X_{исп}$ и $\Delta Y_{исп}$ по формулам

$$\Delta X_{исп} = \Delta X_{выч} + \delta_x,$$

$$\Delta Y_{исп} = \Delta Y_{выч} + \delta_y,$$

где δ_x и δ_y берутся с учётом знака "+" или "-".

13. Далее находится $\sum \Delta X_{исп}$ и $\sum \Delta Y_{исп}$. Для замкнутого полигона $\sum \Delta X_{исп} = 0$, $\sum \Delta Y_{исп} = 0$. Соблюдение этих условий является контролем.

14. Далее вычисляются координаты вершин полигона по формулам
 $X_2 = X_1 + \Delta X_{1учн}; \quad Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1учн};$
 $X_3 = X_2 + \Delta X_{2учн}; \quad Y_3 = Y_2 + \Delta Y_{2учн}$ и т.д.

Здесь X_1 и Y_1 заданы, значения $\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta Y_1, \Delta Y_2$ - вычислены. Контролем является равенство координат исходной точки, т.е. $X_1 = X_1, \quad Y_1 = Y_1$.

15. После вычисления координат вершин замкнутого полигона на листе бумаги вычерчивается схема теодолитного хода, на которой указываются длины линий сторон полигона и измеренные углы.

16. На ватмане при помощи линейки ЛБЛ строится координатная сетка, которая оцифровывается в соответствии с вычисленными координатами и с заданным масштабом. По вычисленным координатам на ватман наносятся вершины полигона.

7.10. Основные сведения о лазерных геодезических приборах

В лазерных геодезических приборах в качестве излучателя светового потока используют оптические квантовые генераторы (лазеры).

Лазеры бывают твердотельные, газовые, жидкостные и полупроводниковые. В геодезических приборах используют газовые и полупроводниковые лазеры. Полупроводниковые лазеры применяют в основном в приборах для измерения расстояний — светодальномерах. Газовые же лазеры - в приборах, задающих положение вертикальной или опорной линии: лазерных нивелирах, указателях направлений, лазерных центрирах и других приборах различного назначения. В практике геодезического обеспечения строительства используют газовые гелий-неоновые лазеры непрерывного излучения, работающие в видимой части светового диапазона и излучающие узконаправленный пурпурно-красный пучок света.

Лазерные геодезические приборы конструируют таким образом, чтобы лазер был установлен параллельно визирной оси прибора, на котором он смонтирован, или лазерный пучок направлялся через зрительную трубу прибора. Как правило, при измерениях используют визуальную или фотоэлектрическую индикацию лазерного пучка. При визуальной индикации для отсчетов по лучу применяют экран в виде сетки квадратов или концентрических окружностей, а также нивелирную рейку. При более точной фотоэлектрической индикации используют специальные фотоприемные устройства с фотоэлементами.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕОДОЛИТЫ И ТАХЕОМЕТРЫ

К современным высокоточным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. Применение ЭВМ пятого поколения предполагает интеллектуализацию компьютеров, т.е. возможность работать с ними непрофессиональному пользователю на естественном языке, в том числе в речевой форме. Речевой ввод топографо-

геодезической информации в полевых условиях обеспечивает улучшение условий труда и уменьшение числа ошибок наблюдателя.

Для автоматизации полевых измерений при производстве топографической съемки и других видов инженерно-геодезических работ созданы высокоточные электронные тахеометры. Электронный тахеометр содержит угломерную часть, сконструированную на базе кодового теодолита, светодальномер и встроенную ЭВМ. С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные углы, светодальномера — расстояния, а ЭВМ решает различные геодезические задачи, обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение.

Примером может служить отечественный электронный тахеометр ТаЗМ, с помощью которого можно определить: горизонтальные углы с погрешностью 4"; зенитные расстояния с погрешностью 5"; наклонные дальности с погрешностью 10 мм; горизонтальные проложения; превышения или высоты точек визирования; приращения координат или координаты точек визирования.

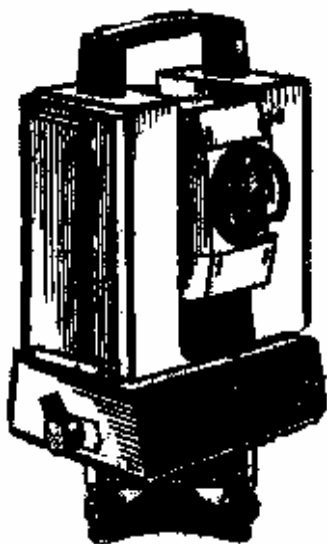


Рис. 48.

штативы, источники питания, разрядно-зарядное устройство, принадлежности для юстировки прибора и ухода за ним.

Тахеометр ТаЗМ (рис. 48) снабжен электрооборудованием для работы ночью. Выдаваемая на цифровое табло оперативная информация может быть выведена в память тахеометра или внешний накопитель.

Выпускаемый отечественной промышленностью электронный тахеометр ЗТа5 решает те же задачи, что и ТаЗМ, но имеет иные технические характеристики: погрешность измерения горизонтального угла 5"; погрешность измерения зенитного расстояния 7"; погрешность измерения наклонной дальности $(5 + 3D \text{ км})$ мм.

Зарубежные фирмы (США, Германии, Швеции, Японии и др.) выпускают электронные тахеометры, различные по точности измерения углов от 0,5" до 20", расстояний от 2 до 10 км и с внутренней памятью, размещающей результаты наблюдений до 10000 точек.

Существуют роботизированные электронные тахеометры, например,

«Геодиметр 640» фирмы «Геотроникс» (Швеция), который по заданной программе сам находит положение отражателей, измеряет расстояние до них, горизонтальные и вертикальные углы и вычисляет координаты каждого отражателя. В карьерах с помощью такого прибора определяют деформации бортов карьера.

Глава 8. НИВЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНОСТИ

8.1. Способы нивелирования местности

Геодезические измерения, в результате которых получают превышения и отметки точек земной поверхности называются нивелированием. Отметки служат основой для топографических съёмок всех масштабов и для решения инженерных задач. На местности определяется превышение одной точки над другой, и зная высоту одной точки, вычисляют высоты остальных точек.

Нивелирование подразделяется на следующие виды:

1. Геометрическое нивелирование - превышения получают горизонтальным визирным лучом при помощи приборов - нивелиров, теодолитов и кипрегелей.

Геометрическое нивелирование бывает I, II, III, IV классов + техническое нивелирование местности. Нивелирование I и II классов нужно для установления на территории страны единой системы высот и для решения научных задач. Нивелирование III и IV классов является высотной основой топографических съёмок всех масштабов и применяется для решения инженерных задач. Техническое нивелирование необходимо для выполнения топографических съёмок крупных масштабов 1:5000 - 1:500 и для целей проектирования.

2. Тригонометрическое нивелирование выполняют наклонным визирным лучом, т.е. используют значения вертикальных углов, полученных при помощи теодолитов и кипрегелей. Тригонометрическое нивелирование применяют для обеспечения топографических съёмок горных и высокогорных районов с высотой сечения рельефа 5 м и более.

3. Физическое нивелирование: гидростатическое, барометрическое, аэрорадиомеханическое и другие виды нивелирования.

8.2. Виды геометрического нивелирования местности

1. Из середины (рис. 49)

Нивелирные рейки ставят на одинаковом расстоянии от нивелира.

Визирную ось нивелира приводят в горизонтальное положение и берут отсчеты по задней (З) и по передней (П) рейкам, превышение вычисляется по формуле $h=З-П$, тогда $Hв=Hа+h$.

Такой вид нивелирования используется при проложении нивелирных ходов.

2. Нивелирование вперёд (рис. 50)

Нивелир устанавливают над исходной точкой. Рейку ставят перед нивелиром. Визирную ось зрительной трубы нивелира приводят в горизонтальное положение. Измерив высоту прибора i , берут отсчет по рейке и вычисляют превышение $h=i-P$, тогда $H_B=H_A+h$.

Нивелирование вперёд используется при поверках прибора.

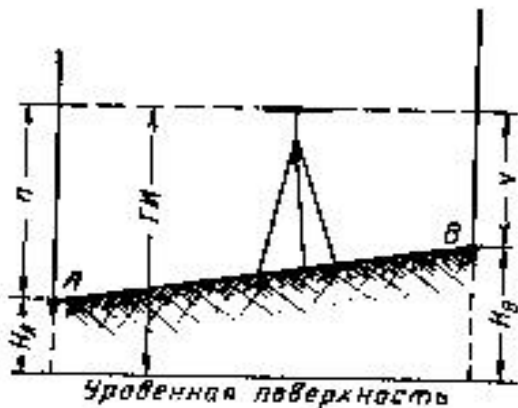


Рис. 49



Рис. 50

3. Вычисление отметки земной поверхности через горизонт инструмента

Горизонтом инструмента называется расстояние по отвесной линии от визирной оси нивелира до уровенной поверхности, принятой за начало отсчета. Горизонт инструмента ГИ равен отметке точки, на которой установлена рейка + взгляд на рейку.

$ГИ=H_A+i$ или $ГИ=H_B+P$ (рис. 49).

ГИ используется для вычисления отметок точек земной поверхности при нивелировании с одной станции по формуле $H_B=ГИ-P$, т.е. отметка точки, на которой установлена рейка равна горизонту инструмента минус взгляд на эту рейку. При нивелировании вперёд $ГИ=H_A+i$, т.е. горизонт инструмента равен отметке земли плюс высота прибора. Этот вид нивелирования используется при строительных работах.

8.3. Нивелирные ходы

На местности нивелирные ходы бывают:

- а) замкнутые—имеющие один исходный репер с известными координатами (рис. 51);

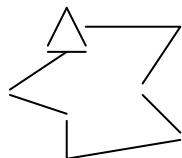


Рис. 51

б) разомкнутые— имеющие два исходных репера с известными координатами (рис. 52);

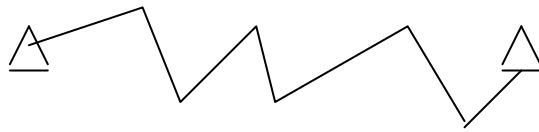


Рис. 52

в) висячие —имеющие один исходный репер с известными координатами. Такие хода имеют не более двух точек поворота (рис. 53).

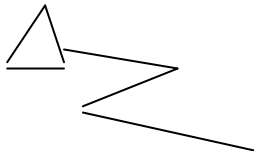


Рис. 53

НИВЕЛИРНЫЙ ХОД (СЛОЖНОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ)

Нивелирование местности выполняется следующим образом: на заданном участке местности в землю забиваются колышки, на которые будут устанавливаться нивелирные рейки. Это пикетные точки местности. Нивелир устанавливается в середине между рейками (рис. 54).

Точки 1, 2, 3, 4, 5, 6 называются пикетными или связующими. Точки +75, +10, +20, +30—плюсовыми, или промежуточными, или иксовыми. Речник переставляет рейку через точку, т.е. с 1 на 3, с 3 на 5, с 5 на 7 и т.д. Аналогично переставляется другая рейка—со 2 на 4, с 4 на 6 и т.д. Если плюсовые точки обозначают перегибы местности, их нивелируют после связующих (+75).

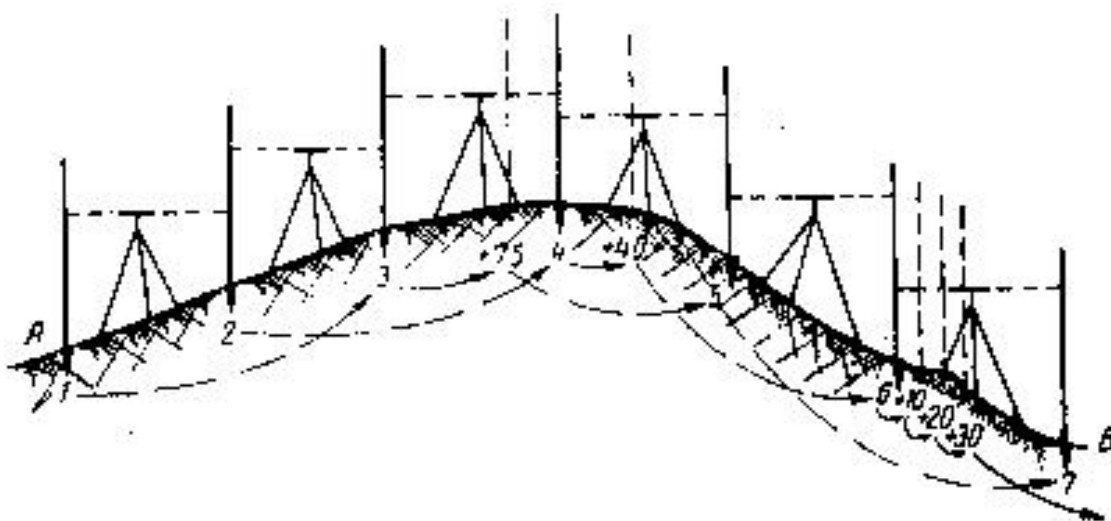


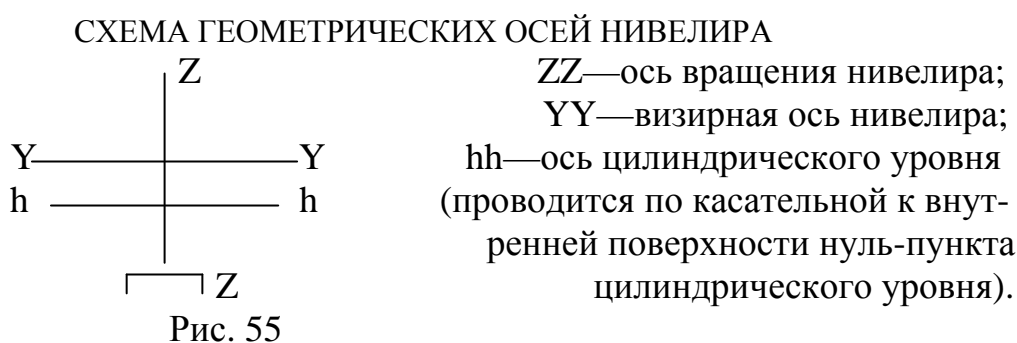
Рис. 54

8.4. Виды нивелиров, их поверки

Нивелиром называется инструмент, дающий возможность построить в пространстве горизонтальную визирную линию. При помощи нивелира определяются превышения между точками земной поверхности.

В нивелире должны быть соблюдены следующие условия:

- 1) вертикальная ось нивелира ZZ должна быть отвесна. Это достигается при помощи подъёмных винтов и наблюдением за круглым уровнем;
- 2) визирная ось зрительной трубы нивелира должна быть горизонтальна. Это достигается приведением цилиндрического уровня в нуль-пункт элевационным винтом;
- 3) сетка нитей должна быть расположена так, чтобы её вертикальный штрих был параллелен оси вращения прибора, а горизонтальный штрих - перпендикулярен к этой оси (рис. 55).



ТИПЫ НИВЕЛИРОВ

1. С цилиндрическим уровнем:

а) глухие (нельзя разделить визирную ось зрительной трубы и ось цилиндрического уровня. Например: Н—3, НГ, Н—10, и др.);

б) с перекидными трубами (цилиндрический уровень может изменять своё положение независимо от положения зрительной трубы).

2. С самоустанавливающейся линией визирования - у таких приборов нет цилиндрического уровня, но имеется внутри зрительной трубы компенсатор, который автоматически устанавливает зрительную трубу горизонтально.

3. С наклонной линией визирования - такие нивелиры имеют вертикальный круг, с их помощью выполняется тригонометрическое нивелирование.

НИВЕЛИРЫ ПО ТОЧНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ:

1) на высокоточные - Н-0,5, Н-2, используются при нивелировании I, II классов;

2) точные - Н-3, НС-4, используются при нивелировании III, IV классов;

3) технические - НГ, Н-10, НТ, используются для технического нивелирования.

Цифры после Н указывают точность нивелирования (средняя квадратическая погрешность на 1 км двойного хода).

ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКА НИВЕЛИРОВ

Поверки нивелира – это совокупность действий, направленных на выявление несоответствия расположения осей прибора.

1. Поверка вращения подъёмных винтов. Подъёмные винты должны вращаться легко и плавно при плотно завинченном станом винте. Работа выполняется на средних оборотах винтов.

2. Поверка плавности вращения прибора вокруг вертикальной оси. Если прибор вращается туго, то необходимо сделать смазку техническим маслом.

3. Поверка круглого установочного уровня прибора. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора. Для соблюдения этого условия приводят пузырёк круглого уровня в нуль-пункт при помощи подъёмных винтов. Поворачивают нивелир на 180° , если пузырёк отклонился от нуль-пункта, его приводят в нуль-пункт вращением на $\frac{1}{2}$ отклонения подъёмными винтами и на $\frac{1}{2}$ отклонения – исправительными винтами круглого уровня.

4. Поверка сетки нитей. Сетка нитей должна быть расположена так, чтобы её вертикальный штрих был параллелен оси вращения прибора, а горизонтальный штрих – перпендикулярен к этой оси. Для выполнения этой поверки выбирается хорошо видимая точка, на которую наводится горизонтальный штрих зрительной трубы. Вращая зрительную трубу в горизонтальной плоскости, проверяем, не сходит ли горизонтальный штрих с наблюдаемой точки. Если смещение более 1 мм, то сетку нитей надо исправить. Для этого снимают окуляр и поворачивают секторную пластину. Поверку повторяют ещё раз.

5. Проекция осей цилиндрического уровня и визирной оси зрительной трубы на отвесную плоскость должны быть параллельны. Данная поверка осуществляется двойным нивелированием вперед на расстоянии 75 м (рис. 56).

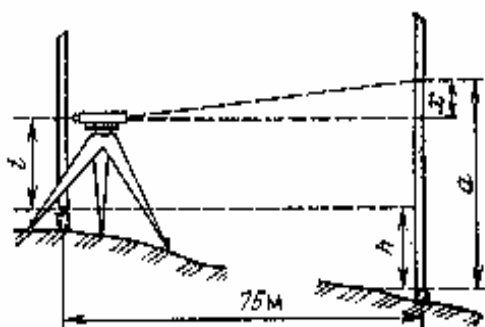


Рис. 56

Сняв отсчет по рейке «a1» и определив высоту прибора «i1», рейку и нивелир меняют местами. Снимают отсчёты «a2» и «i2». Вычисляют величину «x» — отклонение визирного луча от горизонтального направления: $X = (i1 + i2) / 2 - (a1 + a2) / 2$. Величина «x» не должна быть более 4 мм. на 75 м длины. Если величина «x» больше 4 мм, то необходимо юстировать цилиндрический уровень. Для этого горизонтальный штрих сетки нитей наводят элевационным винтом на отсчет по рейке, равный $a = a2 + x_{ср}$.

Изображения концов уровня разойдутся. Вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня точно совместить изображе-

ние концов уровня, следя за отсчетом по рейке. Поверку повторяют ещё раз.

6. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента. Для выполнения этой поверки ось цилиндрического уровня устанавливают по направлению двух подъёмных винтов и приводят ими пузырёк уровня в нуль-пункт. Зрительную трубу поворачивают на 180° . Если контакт концов пузырька уровня нарушился, то исправительным винтом уменьшают расхождение изображения концов уровня на $\frac{1}{2}$. Поверку выполняют ещё раз.

УСТРОЙСТВО НИВЕЛИРА Н-3 (рис. 57)

Нивелир Н-3 – прибор, при помощи которого выполняется нивелирование местности. Нивелир Н-3 относится к точным приборам; по типу - к приборам с цилиндрическим уровнем. Увеличение зрительной трубы составляет 31^x , поле зрения – $1^\circ 20'$. Масса нивелира – 1,8 кг.

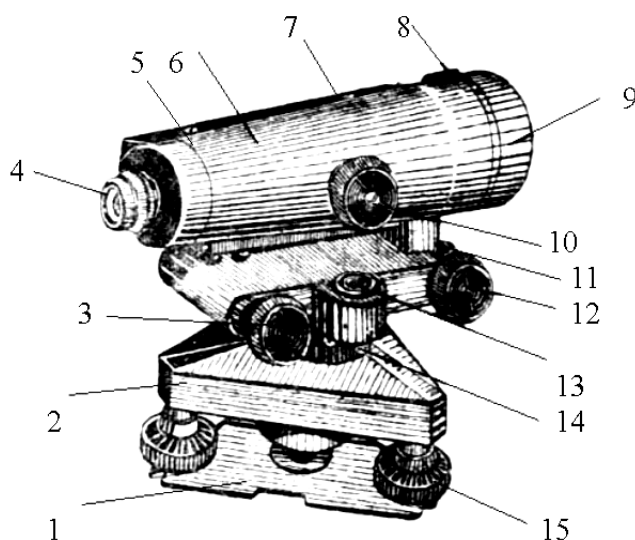


Рис. 57

- 1 - пружинящая пластина со втулкой;
- 2 - подставка;
- 3 - элевационный винт;
- 4 - окуляр;
- 5 - целик;
- 6 - корпус зрительной трубы;
- 7 - коробка цилиндрического контактного уровня;
- 8 - механический визир (мушка);
- 9 - объектив;
- 10 - кремальберный винт (головка трибки);
- 11 - закрепительный винт;
- 12 - наводящий винт;
- 13 - установочный круглый уровень;
- 14 - исправительный винт установочного уровня;

15 - подъемный винт.

На штативе нивелир закрепляется неподвижно при помощи станового винта. Горизонтирование прибора выполняется с использованием трёх подъемных винтов и круглого уровня (рис. 57, 58) следующим образом:

а) круглый уровень прибора устанавливается по направлению двух подъемных винтов, которые вращаются одновременно на себя или от себя и приводят пузырек уровня в среднее положение (рис. 58);

б) при помощи третьего подъемного винта пузырек уровня приводится в нуль-пункт;

в) после этого прибор поворачивают на 180° , и если при этом пузырек уровня остается в нуль-пункте, то можно начинать работу.

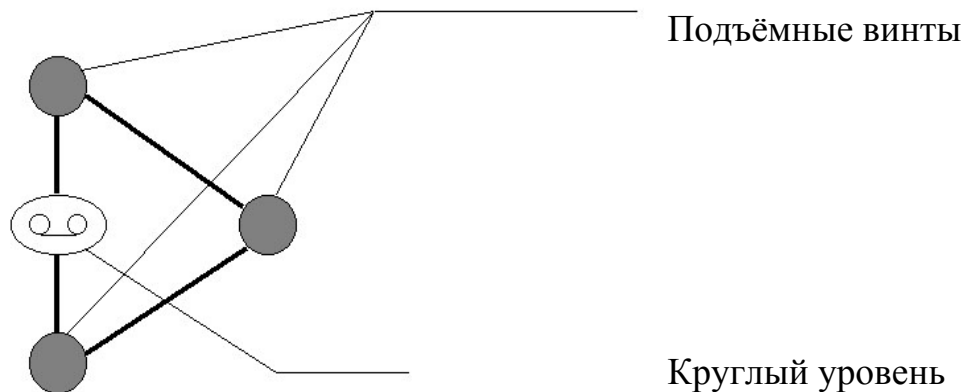


Рис. 58

Зрительная труба прибора имеет объектив и окуляр с окулярным колечком. В окуляре находится сетка нитей (рис. 60), при помощи которой выполняются измерения. Резкость на сетку нитей наводит окулярное колечко. Сверху зрительной трубы имеется визир – для грубого наведения на объект. Под объективом находится закрепительный винт зрительной трубы, рядом с ним – наводящий винт зрительной трубы (по горизонтали) для точного наведения на объект.

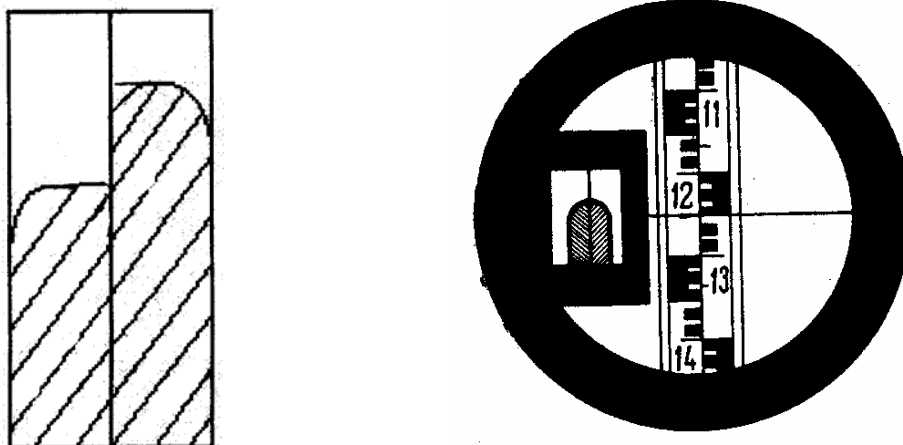


Рис. 59

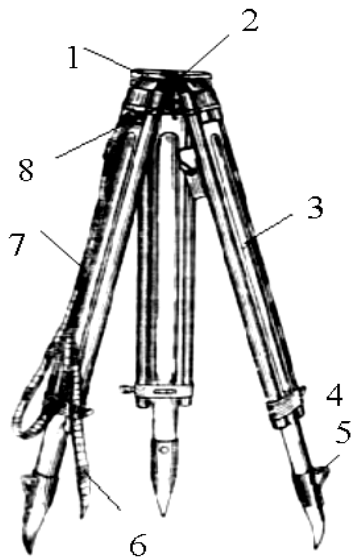
С одной стороны зрительной трубы имеется кремальерный винт, наводящий резкость на объект. С другой стороны к зрительной трубе наглухо прикреплен контактный цилиндрический уровень.

Около окуляра находится элевационный винт, приводящий цилиндрический уровень в нуль-пункт. Изображение цилиндрического уровня выведено в зрительную трубу и его можно наблюдать в окуляре (рис. 59, 60). Когда цилиндрический уровень находится в нуль-пункте (рис. 60), с нивелирной рейки снимаются отсчеты.

Зрительная труба нивелира дает перевернутое изображение, поэтому цифры на рейках нарисованы в перевернутом виде.

УСТРОЙСТВО ШТАТИВА

Штатив может устанавливаться на разной высоте, так как имеет выдвижные ножки, на концах которых имеются металлические пятки для закрепления их в земле (рис. 61):



- 1 – головка;
- 2 – болт;
- 3 – ножка;
- 4 – винт;
- 5 – пятка;
- 6,7 – ремни;
- 8 – становой винт.

Рис. 61

8.5. Нивелирные рейки НР-3

Чаще всего используются двухсторонние, складные, трёх метровые рейки. Верхний и нижний концы рейки имеют металлическую оправу. Нижний конец называется пяткой. Рейки имеют сантиметровые деления, с одной стороны – черные, с другой – красные:

0 черной стороны совпадает с пяткой (0000-2900);

0 красной стороны смещен и оцифрован от 4700 до 7600 или от 4800 до 7700.

Использование черной и красной сторон рейки с различной оцифровкой необходимо для контроля измерений. Рейки имеют круглый уровень или отвес для установки в вертикальное положение.

При снятии отсчета шашечки считаются сверху вниз, и отсчет снимается с точностью до 1 мм (рис. 59).

ПОВЕРКИ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

1. Поверка установочного круглого уровня на рейках. Ось уровня должна быть параллельна оси рейки. Данная поверка выполняется при помощи отвеса или нивелира.

2. Определение прогиба рейки. Рейку кладут горизонтально на ребро и натягивают тонкую нить. При помощи линейки измеряют отклонение от прямой на отсчетах 1(a_1)—15(a_2)—29(a_3) по черной стороне рейки и по красной стороне рейки на отсчетах 48—63—76. Величину прогиба вычисляют по формуле $f = a_1 - (a_2 + a_3) / 2$. Величина прогиба должна быть меньше 10 мм.

3. Определение разности высот нулей реек. Вычисляют разность высот нулей реек по черным и красным сторонам реек. Значения разности не должны различаться более чем на 3 мм. Для исключения данной ошибки при нивелировании используют пару реек с разными пятками.

4. Определение средней длины метра пары реек. Поверка выполняется при помощи контрольной линейки с лупами.

8.6. Погрешности нивелирования

На точность нивелирования влияют личные погрешности, погрешности приборов, внешняя среда.

1. Ошибки взгляда: установка контактного уровня, увеличение зрительной трубы, ошибка снятия отсчета по рейке.

2. Непараллельность визирной оси зрительной трубы и оси цилиндрического уровня. Если величина «х» более 4 мм, погрешность в определении превышения - до 0,5 м.

3. Изменения средней длины метра комплекта реек (могут достигать 1 мм на 1 м рейки).

4. Неравенство высот нулей реек. Можно исключить, если правильно чередовать рейки.

5 Прогиб рейки f не должен превышать 10 мм, для этого необходимо правильно хранить рейку.

6. Неточная установка рейки в вертикальном положении.

7. Влияние температуры на величину «х». Необходимо предохранять нивелир от солнца, т.е. необходимо работать под зонтом.

8. Оседание или выпучивание штатива с нивелиром из земли.

9. Колебание изображений, вызванное токами воздуха. Амплитуда колебаний отсчета по рейке при $S=50$ м – 1 мм. С увеличением S амплитуда колебаний отсчетов увеличивается.

10. Влияние вертикальной рефракции, которая пропорциональна квадрату расстояния. Сказывается на склонах.

11. Необходимость строгого соблюдения последовательности отсчетов.

8.7. Техническое нивелирование местности

Длина хода технического нивелирования зависит от высоты сечения рельефа. Если $h=0,5$ м, то длина хода - от 4 до 8 км. Если $h=1$ м, то длина хода - от 8 до 16 км.

Нивелирование выполняется в одном направлении. Отсчёты берутся только по средней нити. Средняя длина визирного луча 120 м, следовательно, расстояние между рейками не более 240 м. Расхождение в превышении h , вычисленном по чёрным и красным сторонам реек, не должно превышать 5 мм. Последовательность отсчётов - ЗчЗкПчПк.

ПОРЯДОК РАБОТЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

1. Нивелир горизонтируют (подъемными винтами, приводя круглый уровень в нуль-пункт).

2. Зрительную трубу прибора наводят на заднюю нивелирную рейку, затем наводят резкость.

3. Элевационным винтом приводят цилиндрический уровень в нуль-пункт (наблюдая в окуляр).

4. По черной стороне задней нивелирной рейки снимают отсчет и записывают в журнал. Пример: 1581(1).

5. Заднюю рейку поворачивают к прибору красной стороной, проверяют цилиндрический уровень и снимают отсчет, который записывают в журнал. Пример: 6282 (2).

6. Находят пятку рейки: $(2) - (1) = (5)$, т.е. $6282-1581=4701$. Полученное число от пятки 4700 не должно отличаться более чем на ± 5 мм. Если отличается более чем на ± 5 мм, измерение по задней рейке повторяют.

7. Зрительную трубу прибора наводят на переднюю рейку на черную сторону.

8. Элевационным винтом приводят цилиндрический уровень в нуль-пункт и снимают отсчет. Пример: 1408 (3).

9. Переднюю рейку поворачивают к прибору красной стороной, проверяют цилиндрический уровень и снимают отсчет. Пример: 6208 (4).

10. Находят величину пятки рейки $(4) - (3) = (6)$, т.е. $6208 - 1408 = 4800$ (допуски см. пункт 6).

11. Далее в журнале вычисляют превышение по черным и красным сторонам реек:

$(1) - (3) = (7)$, т.е. $1581-1408=0173$ (основное превышение),

$(2) - (4) = (8)$, т.е. $6282-6208=0074$.

12. Определяется превышение (9). Рейки имеют разные пятки, поэтому вычисленные превышения (7) и (8) отличаются на 100 единиц. За основное превышение берется превышение по черным сторонам рейки (7), т.е. число 0173, но берется также среднее арифметическое из последних цифр, т.е. окончательное превышение будет равно 0173 (9). Допустимое расхождение вычисленных превышений (7) и (8) - 100 ± 5 мм.

После завершения полевых работ на всех станциях, выполняется обработка журналов технического нивелирования.

8.8. Обработка журналов технического нивелирования

1. Сумма превышений замкнутого нивелирного хода должна быть равна «0», т.е. $\sum h_z = 0$. Однако за счёт ряда погрешностей $\sum h_z \neq 0$. Число, отличное от «0», является высотной невязкой хода и обозначается f_h . Высотную невязку хода необходимо распределить по секциям.

2. Сумма превышений разомкнутого хода равна разности отметок конечной и начальной точек хода. $\sum h_p = H_k - H_n$, тогда $f_{hp} = \sum h - (H_k - H_n)$.

После вычисления высотной невязки вычисляют допустимую невязку, $f_{h\text{доп.}} < \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — длина нивелирного хода в км, и сравнивают её с f_h , т.е. если $f_h < f_{h\text{доп.}}$, то f_h — допустима и она распределяется по станциям с обратным знаком пропорционально расстояниям, т.е. находим поправку к вычисленному превышению $\delta h = f_h/n$, где n — число постановок нивелира. Контролем является $\sum \delta h = -f_h$. Исправленные превышения вычисляем: $h_{\text{исп.}} = h_{\text{ср}} + \delta h$, если $\sum h_{\text{исп.}} = 0$ (для замкнутого хода), отметки высот хода вычисляют по формуле $H_{i+1} = H_i + h_{i+1}$. При вычислении журналов нивелирования выполняется постраничный контроль. Вычисление журнала нивелирования показано в табл. 7.

ПОРЯДОК ВЫЧИСЛЕНИЯ ЖУРНАЛА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОГО ХОДА

После полевых измерений в таблице заполнены данные отсчётов по задней и передней рейкам под номерами (1),(2),(3),(4) и отметка земли исходного пункта (табл.7).

В первой колонке табл.7 дан номер установки нивелира.

Во второй колонке - номер пикета (забитого в землю колышка).

В третьей колонке вычисляется величина под номером (5).

(5) = (2) – (1), т.е. проверяется пятка рейки (см. выше).

В четвертой колонке вычисляется величина под номером (6).

(6) = (4) – (3), т.е. проверяется пятка рейки (см. выше).

В пятой колонке вычисляется величина h под номером (7) и (8).

(7) = (1) – (3), (8) = (2) – (4). Эти величины могут отличаться друг от друга при разных пятках нивелирных реек не более чем на 100 ± 5 мм.

В шестой колонке вычисляется величина $h_{\text{ср}}$ под номером (9). (9) = (7) и среднему арифметическому значению из последних двух цифр (см. выше).

Далее выполняется *постраничный контроль* измерений, т.е. находят $\sum_1, \sum_2, \sum_3, \sum_4, \sum_5$:

а) в третьей колонке вычисляется $\sum_1 = (1) + (2)$, т.е. сверху вниз по всем станциям складываются все значения под номерами (1) и (2);

б) в четвертой колонке вычисляется $\sum_2 = (3) + (4)$, т.е. сверху вниз складываются все значения по всем станциям под номерами (3) и (4);

в) в пятой колонке вычисляется $\sum_3 = (7) + (8)$, т.е. сверху вниз складываются все значения по всем станциям под номерами (7) и (8), учитывая знак + или -;

г) в шестой колонке вычисляется $\sum_4 = \sum_9$ (9), т.е. складываются все значения под номером (9), учитывая знак + или -;

д) находится $\sum_5 = \sum_1 - \sum_2$. Контролем является:

$\sum_5 = \sum_3$ и $\sum_4 = \frac{1}{2}\sum_3$. В последнем случае допускается отклонение на ± 2 мм.

Таблица 7

N ст	N ПК	Отсчеты по рейке		h	h _{ср}	h _{испр}	H	Примеч.
		Задняя	Передняя					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	11	1581 (1) 6282 (2) 4701 (5)	1408 (3) 6208 (4) 4800 (6)	0173 (7)	-4 (10) 0173 (9)	0,169 (11)	200,500	
	12			0074 (8)			200,669 (12)	
2	12	0150 (1) 4950 (2) 4800 (5)	1390 (3) 6090 (4) 4700 (6)	-1240 (7)	-4 (10)	-1,244 (11)	200,669	
	13			-1140 (8)	-1240 (9)		199,425 (12)	
3	13	1620 (1) 6321 (2) 4701 (5)	0483 (3) 5281 (4) 4798 (6)	1137 (7)	-4 (10)	1135 (11)	199,425	
	14			1040 (8)	1139 (9)		200,560 (12)	
4	14	0470 (1) 5270 (2) 4800 (5)	1251 (3) 5950 (4) 4699 (6)	-0781 (7)	-4 (10)	-0,784 (11)	200,560	
	15			-0680 (8)	-0780 (9)		199,776 (12)	
5	15	1749 (1) 6449 (2) 4700 (5)	0692 (3)	1057 (7)	-4 (10)	1,054	199,776	

	16		5491 (4) 4799 (6)	0958 (8)		(11)	200,830 (12)	
6	16	2174 (1) 6975 (2) 4801 (5)		-0326 (7)	-4 (10)		200,830	
	11		2500 (3) 7201 (4) 4701 (6)	-0226 (8)	-0326 (9)	-0,330 (11)	200,500 (12)	
		$\sum_1=43991$ $\sum_5=0046$	$\sum_2=43945$	$\sum_3=004$ 6	$\sum_4=0024$	$\sum_6=0$		

$\sum_4 = \sum h_{cp}$ сравнивается с допустимой высотной невязкой хода, вычисленной по формуле

$$fh_{дон} \leq \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$$

где L - длина замкнутого нивелирного хода в км.

Контролем является $\sum_4 \leq fh_{дон}$.

Если предыдущие контроли выдержаны, то вычисляем в шестой колонке высотную поправку δ_h под номером (10). $(10) = \delta_h = \frac{\sum_4}{n}$, где n - число станций нивелира. δ_h округляем до целого числа. Полученную величину под номером (10) = δ_h с обратным знаком вводим в каждое среднее превышение h_{cp} . Контролем является $\sum \delta_h = -\sum_4$.

В седьмой колонке вычисляем значение исправленного превышения $h_{испр}$ под номером (11) по формуле $h_{испр} = h_{cp} + \delta_h$, т.е. (11) = (9) + (10), учитывая знаки и h_{cp} и δ_h .

Вычисляем \sum_6 , т.е. в седьмой колонке складываем все значения под номером (11) сверху вниз с учетом знака + или -. $\sum_6 = \sum (11)$. Контролем является то, что в замкнутом полигоне $\sum h_{испр} = 0$, т.е. \sum_6 должна быть равна 0.

Если этот контроль выдержан, то в седьмой колонке все значения под номером (11) переводятся в метры (пример: значение 0169=0,169 м).

В восьмой колонке под номером (12) вычисляются отметки высот пикетов нивелирного хода $(12) = H_1 + (11)$ первой станции, $(12') = (12) + (11)$ - второй станции и т.д.

Контролем для замкнутого хода является отметка земли исходной точки, т.е. $H_1 = H_1$.

8.9. Общие сведения о лазерных нивелирах

В настоящее время при топографо-геодезических работах используются лазерные нивелиры, которые предназначены для измерения превышений и передачи высотных отметок. Нивелир излучает видимый пучок

света, относительно которого производят измерения превышений. В одних приборах пучок лазерного излучения направляют по оптической оси зрительной трубы, в других — зрительная труба соединена параллельно с излучателем ОКГ.

В нивелирах с уровнем ось пучка приводят в горизонтальное положение цилиндрическим уровнем, в нивелирах-автоматах — компенсатором. По условиям геометрического нивелирования оси лазерного пучка и цилиндрического уровня должны быть параллельны.

Лазерные нивелиры выпускаются в основном с автоматически горизонтирующимся пучком излучения, вращающимся лазерным пучком и другими особенностями.

Примером может служить лазерный нивелир LNA2L фирмы «Вильд», задающий вращающуюся световую горизонтальную плоскость (рис. 62 а - общий вид; б - отсчёт по рейке; в - положение для развёртки вертикальной плоскости). Положение этой плоскости фиксируется на специальной рейке или на стенах зданий. Нивелир может быть установлен так, чтобы описывалась вертикальная световая плоскость. Он снабжен вычислительным устройством, выполняющим автоматическое вычисление высот. Кроме того, с помощью этого нивелира по рейке можно определять расстояния до 100 м.

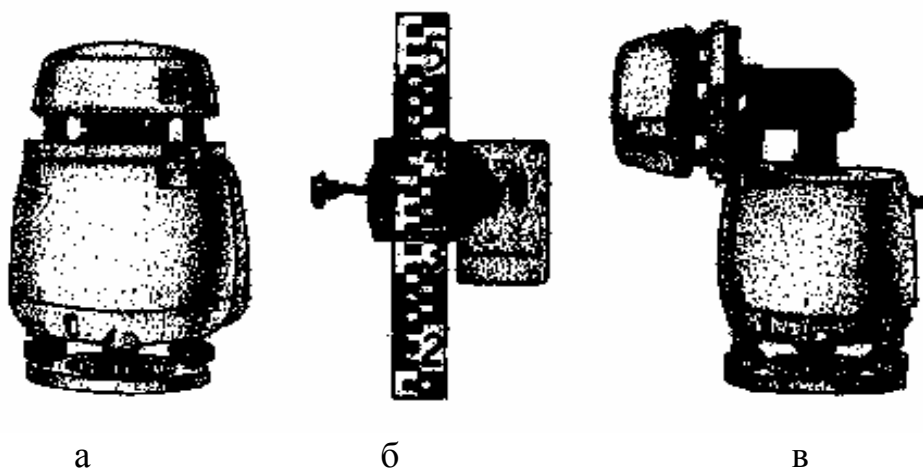
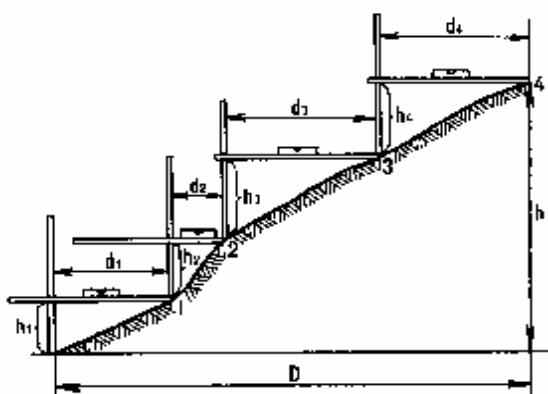


Рис. 62

8.10. Нивелирование в школьных условиях

На занятиях по географии в школе предлагаются практические работы на улице, в том числе выполнение нивелирования крутых склонов. Рассмотрим возможность выполнения данного задания со школьниками.

1. Ватерпасовка (ватерпас - уровень). Для выполнения нивелирования этим способом необходимо иметь две рейки, одна из которых разделена на дециметры, а на другой укреплен цилиндрический уровень. Длина реек—



1,5 - 2,0 м (рис. 63). Ватерпасовкой выполняется нивелирование крутых склонов. Рейка, разделённая на дециметры, устанавливается вертикально у подножия склона, а рейка с уровнем укладывается горизонтально, так чтобы один край касался земли, а другой - вертикальной рейки, по которой определяется превышение одной точки над другой, h_1 - превышение точки 1 над точкой 0 и т.д. Превышение точки 4 над точкой 0 вычисляется по формуле $h = \Sigma(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$, тогда $H_4 = H_0 + h$, а расстояние равно $D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$.

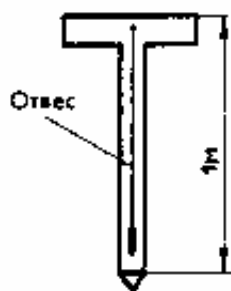


Рис. 64

2. Нивелирование вперёд. Из двух реек длиной 1 м сколачивается школьный нивелир (рис. 64), на котором имеется кронштейн для установки отвеса. Нивелир устанавливается вертикально по отвесу. По ребру верхней рейки визируют на землю и замечают место, где визирный луч пересечёт землю. В этой точке превышение будет равно 1 м относительно точки стояния нивелира. Таким способом нивелируют холмистые участки местности.

3. Нивелирование из середины. Для этого вида нивелирования используется сколоченный школьный нивелир (рис. 64) и две рейки, разделённые на дециметры. Нивелир устанавливается между рейками (рис. 49). По рейкам снимаются отсчёты и вычисляется превышение по формулам $h = 3 - П$ и $H_B = H_A + h$. Таким способом нивелируются равнинные участки местности.

Глава 9. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЯХ

9.1. Классификация государственных геодезических сетей

Топографические съёмки должны выполняться на основе опорных геодезических пунктов, координаты которых известны и даны в единой системе координат, отнесенной к референц-эллипсоиду, принятому в данной стране. Опорные геодезические пункты на территории страны представляют геодезическую сеть.

Геодезической сетью называется система точек земной поверхности, геометрически связанных между собой и отмеченных на поверхности земли специальными знаками.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ

I. На *государственные геодезические сети* - это сети триангуляции, полигонометрии, трилатерации 1, 2, 3, 4-го классов и нивелирные сети I, II, III, IV классов. Они являются главной геодезической основой и служат опорой для местных и съёмочных сетей. Геодезические работы, выполняе-

мые для построения государственных геодезических сетей, называются *основными геодезическими работами*.

Государственные геодезические сети позволяют:

- а) иметь наиболее экономичную организацию работ по топографической съёмке значительных территорий;
- б) привести все планы топографических съёмок в единую систему;
- в) контролировать качество топогеодезических работ.

II. *Геодезические сети местного значения* – это сети:

- а) аналитические 1,2-го разряда;
- б) полигонометрические 1,2 разряда;
- в) сети технического нивелирования.

Геодезические сети местного значения строят для обоснования крупномасштабных топографических съёмок (1:5000 - 1:500).

III. *Съёмочные сети* являются основой для производства топографических съёмок крупных масштабов.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

- а) плановые - создаются прямыми и обратными засечками, проложением теодолитных и мензульных ходов (для всех точек определяются координаты в принятой системе координат);
- б) высотные - создаются проложением нивелирных ходов, горизонтальным или наклонным лучом (определяют высоты точек земной поверхности относительно принятой начальной уровенной поверхности отсчета).

Исходный пункт государственной геодезической сети нашей страны находится в центре Круглого зала Пулковской обсерватории (Санкт-Петербург).

Рассмотрим построение плановых государственных геодезических сетей, которое выполняется методами: триангуляции, полигонометрии, трилатерации.

9.2. Построение государственных геодезических сетей методом триангуляции

Триангуляционная сеть состоит из треугольников, вершинами которой являются опорные пункты. В каждом треугольнике измеряются три угла и длина исходной (базисной) стороны. Триангуляция 1-го класса строится в виде треугольников, образующих замкнутые полигоны периметром, приблизительно равным 800-1000 км, вдоль параллелей и меридианов (рис. 65).

Расстояние между смежными рядами приблизительно равны 200 км (от 8 до 12 треугольников). В пересечении рядов находятся *базисные стороны*, на которых расположены *пункты Лапласа*, где измеряются астрономические широта, долгота и азимут базисной стороны (рис. 66).

Длины сторон треугольников триангуляционной сети 1-го класса - от 20 до 30 км.

Государственная геодезическая сеть 2-го класса строится *сплошной* внутри сети 1-го класса. Длины сторон треугольников - от 8 до 20 км.

Государственная геодезическая сеть 3-го класса строится *сплошной* внутри сети 2-го класса. Длины сторон треугольников - от 5 до 8 км.

Государственная геодезическая сеть 4-го класса строится *сплошной* внутри сети 3-го класса. Длины сторон треугольников - от 2 до 5 км (рис. 65).

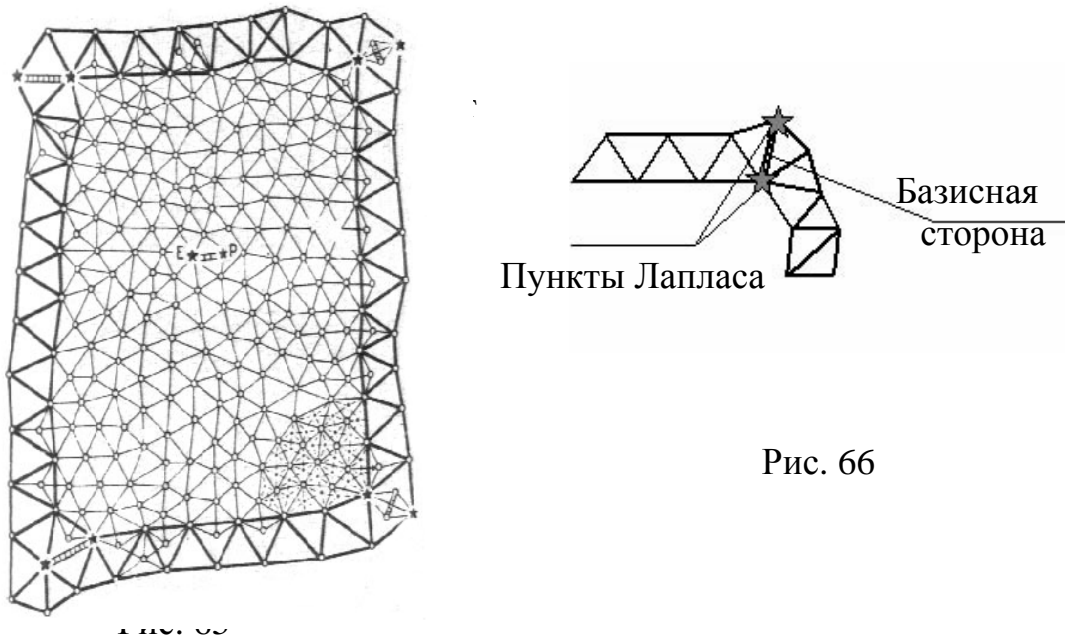


Рис. 66

9.3. Построение государственных геодезических сетей методом полигонометрии и трилатерации

На узких участках местности триангуляция 1-го класса может заменяться полигонометрическими ходами 1-го класса. Звено полигонометрии 1-го класса, его длина составляет приблизительно 200 км, состоит из 8-10 сторон длиной от 20 до 25 км, на концах звена определяют пункты Лапласа. Звено полигонометрии 2-го класса опирается на звено 1-го класса и имеет не более двух точек поворота хода. Длины сторон составляют от 7 до 20 км. Звено полигонометрии 3-го класса опирается на звено 2-го класса и имеет не более двух точек поворота хода. Длины сторон составляют не менее 3 км. Звено полигонометрии 4-го класса опирается на звено 3-го класса и имеет не более двух точек поворота хода. Длины сторон составляют не менее 2 км.

Полигонометрические сети по точности равнозначны триангуляционным сетям, но имеют недостатки:

- а) слабый контроль результатов измерений длин линий и углов;
- б) полигонометрическим ходом обеспечена узкая полоса местности;
- в) сложнее развитие съёмочного обоснования.

Измерение длин линий полигонометрических ходов выполняется светодальномерами.

Построение государственной геодезической сети методом трилатерации выполняется так же, как и построение триангуляции.

Отличие: при триангуляции в построенных треугольниках измеряются теодолитом углы, а при трилатерации измеряются длины сторон треугольников светодальномерами. Метод трилатерации используется в малообжитых и труднодоступных районах.

9.4. Государственная нивелирная сеть

Высоты пунктов государственной нивелирной сети определяют методом геометрического нивелирования. По точности и назначению государственная нивелирная сеть разделяется на сети I, II, III и IV классов. Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая (Балтийская) система высот по всей территории и решаются научные задачи: изучение вертикальных движений земной коры, определения уровня воды в морях и океанах и т. п. Линии нивелирования I и II классов прокладываются по заранее разработанным направлениям. Не реже чем через каждые 25 лет линии I и частично II классов нивелируются повторно. Во всех случаях линии нивелирования I и II классов прокладываются по трассам с наиболее благоприятными грунтовыми условиями и наименее сложным профилем.

Нивелирная сеть I класса состоит из ходов, образующих сомкнутые полигоны периметром около 2000 км. Нивелирование I класса выполняется с наивысшей точностью, достигаемой применением наиболее совершенных приборов и методов наблюдений: средняя квадратическая случайная погрешность определения превышения $m = 0,5$ мм на 1 км хода.

Нивелирная сеть II класса составлена из ходов, опирающихся на пункты нивелирования I класса и образующих полигоны с периметром в 500—600 км. Средняя квадратическая погрешность определения превышения в нивелирных ходах II класса не должна превышать $m = 0,8$ мм на 1 км хода.

Нивелирные сети III класса прокладываются внутри полигонов нивелирования I и II классов в виде систем и отдельных ходов, делящих полигон II класса на 6—9 полигонов периметром 150—200 км (средняя квадратическая погрешность определения превышения - $m = 1,6$ мм на 1 км хода).

Дальнейшее сгущение нивелирной сети III класса выполняется построением систем ходов нивелирования IV класса, опирающихся на пункты нивелирования высших классов. Ходы нивелирования IV класса являются непосредственной высотной основой топографических съёмок; гус-

тота их прокладки обуславливается масштабами съемок и характером рельефа местности.

Линии нивелирования всех классов в среднем через каждые 5 км закрепляются на местности постоянными реперами и марками.

9.5. Геодезические сети сгущения и съёмочные сети

Геодезические сети сгущения развиваются на основе государственной геодезической сети и служат для обоснования крупномасштабных съемок, а также инженерно-геодезических и маркшейдерских работ, выполняемых в городах и поселках, на строительных площадках крупных промышленных объектов, на территориях горных отводов и т.д.

Плановые геодезические сети сгущения создаются в виде триангуляции (триангуляционные сети) и полигонометрии 1-го и 2-го разрядов. Триангуляция 1-го разряда развивается в виде сетей и цепочек треугольников со стороной 1—5 км, а также путем вставок отдельных пунктов в сеть высшего класса. Углы измеряются со средней квадратической погрешностью - не более 5", относительная погрешность выходных сторон — не более 1:50 000.

Триангуляция 2-го разряда строится так же, как триангуляция 1-го разряда; кроме того, положение пунктов 2-го разряда может определяться прямыми, обратными и комбинированными геодезическими засечками. Длины сторон треугольников в сетях 2-го разряда принимаются от 0,5 до 3 км, средняя квадратическая погрешность измерения углов—10", относительная погрешность выходных сторон — не более 1 : 20 000.

Полигонометрия 1-го и 2-го разрядов создается в виде одиночных ходов или систем с узловыми точками, длины сторон которых принимаются в среднем равными, соответственно, 0,3 и 0,2 км. Средняя квадратическая погрешность измерения углов в ходах полигонометрии 1-го разряда — 5", относительная погрешность измерения длин—1:10000. В полигонометрии 2-го разряда точность угловых и линейных измерений в два раза ниже по сравнению с полигонометрией 1-го разряда.

На все пункты геодезических сетей сгущения должны быть переданы отметки нивелированием IV класса или техническим нивелированием. В горной местности допускается передача отметок точек тригонометрическим нивелированием.

Съемочные геодезические сети (геодезическое съемочное обоснование) создаются для сгущения геодезической сети до плотности, обеспечивающей выполнение топографической съемки. Плотность съемочных сетей определяется масштабом съемки, характером рельефа местности, а также необходимостью обеспечения инженерно-геодезических, маркшейдерских и других работ для целей изыскания, строительства и эксплуатации сооружений.

Съемочное обоснование развивается от пунктов государственных геодезических сетей и геодезических сетей сгущения. Съемочные сети созда-

ются построением съёмочных триангуляционных сетей, продолжением теодолитных, тахеометрических и мензульных ходов, прямыми, обратными и комбинированными засечками. При развитии съёмочного обоснования одновременно определяется, как правило, плановое и высотное положение точек. Высоты точек съёмочных сетей определяются тригонометрическим или геометрическим нивелированием горизонтальным лучом с помощью нивелира, а также теодолита либо кипрегеля с уровнем при трубе.

9.6. Закрепление на местности пунктов государственных геодезических сетей

Пункты государственных геодезических сетей и сетей местного значения закрепляются на местности долговременными знаками (опознаками): в землю закапывается репер, а над землёй строится геодезический знак. Долговременные опознаки представляют собой железобетонные столбы диаметром 10—12 см и длиной 100 см. На одном основании приварена квадратная металлическая пластина. Закладываются реперы в пробуренные скважины, глубиной 80 см, которые до половины заливаются бетоном, а затем в них опускаются железобетонные столбы, которые закапываются землёй. Опознаки окапываются канавой диаметром 1 м, а над опознаком делается курган. На боковых стенках опознака заранее даются надписи: название организации, заложившей опознак, и его номер (ГУГК ОП 95). Над заложенным опознаком строятся геодезические деревянные сигналы высотой от 5 до 39 м (рис. 67,а) или металлические пирамиды высотой от 6 до 12 м (рис. 67,б). На верш пирамиды или геодезического сигнала находится цилиндр на одной вертикальной прямой с заложенным опознаком.

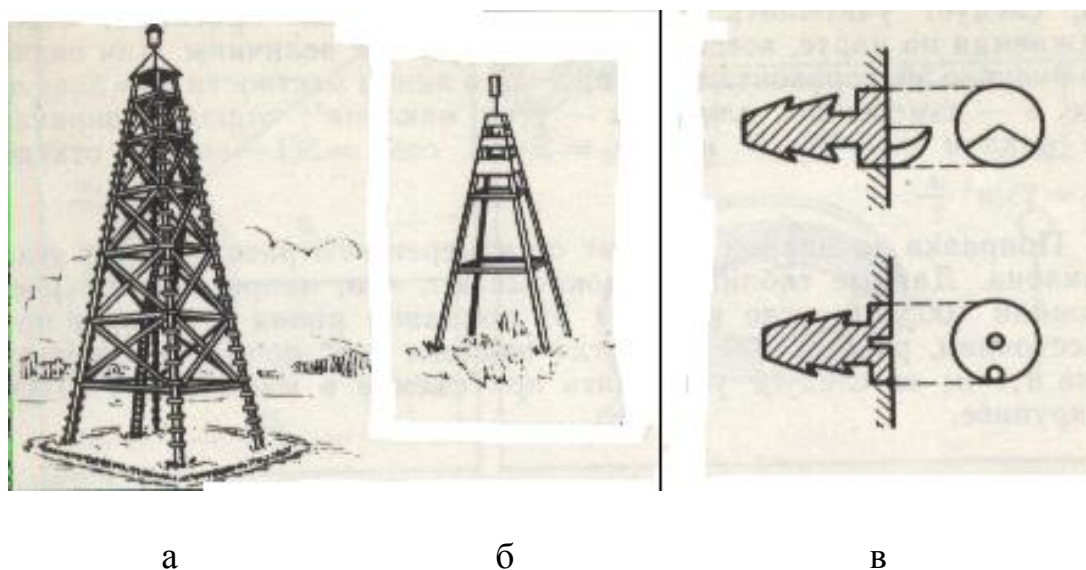


Рис. 67

Съёмочные сети на местности закрепляются временными реперами, в качестве которых используются деревянные колышки или обрезки труб,

вбиваемые в землю. Длина колышка зависит от почвы (примерно длина равна 20 см.). Для нахождения временных реперов около них делают окопку, а рядом ставят вехи длиной от 2 до 5 м, окрашенные полосами в красный и белый цвет. В населенных пунктах закладывают стенные марки (рис. 67,в) или реперы, выполненные в виде металлических башмаков.

После закладки опознаков выполняются измерительные геодезические работы с целью определения координат опознаков.

Раздел 3. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ

Глава 10. НАЗЕМНЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ

10.1. Виды топографических съёмки местности

Под съёмкой понимают совокупность работ, выполняемых с целью создания планов и карт. Съёмки подразделяют на наземные, включающие геометрические измерения непосредственно на поверхности Земли, и аэрокосмические (дистанционные), проводимые путём регистрации электромагнитного излучения земной поверхности, обработку полученных материалов и графические построения.

1. Наземными методами создаются планы и карты небольших участков местности и при решении инженерных задач: строительство крупных сооружений, каналов и т.п.

2. При дистанционных съёмках съёмочные системы удалены от земной поверхности на значительное расстояние. Приёмниками информации служат фотографические и телевизионные камеры, установленные на летательных аппаратах. Съёмка, производимая с самолёта, называется аэросъёмкой. Съёмка аппаратурой, находящейся за пределами земной атмосферы (на искусственном спутнике Земли, космическом корабле), называется космической съёмкой. Материалы космической съёмки используют в целях изучения природных ресурсов Земли, для создания карт малоизученных и труднодоступных районов.

Для картографирования земной поверхности широко применяется фотосъёмка, материалы которой содержат большой объём информации и по ряду свойств близки к картам (обзорность, наглядность). Главным методом создания топографических планов и карт служит аэрофототопографическая съёмка, включающая получение фотографических изображений местности с самолёта и их обработку.

Наземные виды съёмки подразделяются:

1. На плановые—получают планы местности без высотного обоснования. Плановые съёмки подразделяются на угломерные и углоначертательные.

2. Высотные—получают рельефный план местности, без ситуации. Высотные съёмки подразделяются на геометрические, тригонометрические, барометрические и т.д.

3. Планово-высотные—получают планы местности, имеющие и плановое и высотное обоснование. Они подразделяются на тахеометрические, мензульные, фототеодолитные съёмки местности.

Дистанционные съёмки местности подразделяются:

1. На аэросъёмку, которая производится с самолёта, вертолётa и бывает фотографической и нефототрафической.

2. Космическую съёмку местности, которая производится с космического корабля или искусственного спутника Земли и бывает фотографической и нефототрафической.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЪЁМОК

1. Наземные, плановые, угломерные съёмки местности можно выполнять при помощи теодолита или тахеометра, в результате получается контурный план местности.

2. Наземные, плановые углоначертательные съёмки местности выполняются при помощи мензулы и кипрегеля, в результате получается контурный план местности, если не надо давать высотное обоснование местности.

3. Наземные, высотные съёмки местности выполняются нивелированием местности при помощи нивелира или теодолита:

а) геометрические съёмки выполняются горизонтальным визирным лучом при помощи нивелира;

б) тригонометрические съёмки выполняются наклонным визирным лучом при помощи теодолита;

в) давления с изменением высоты над уровнем моря, которое определяется по барометрам.

4. Тахеометрическая съёмка выполняется теодолитом или тахеометром, в результате съёмки получают план местности с изображением горизонталей.

5. Мензульная съёмка выполняется при помощи мензулы и кипрегеля, в результате съёмки получают план местности с изображением горизонталей.

6. Фототеодолитная съёмка выполняется фототеодолитом (теодолит + фотокамера). Участок местности фотографируется с двух разных точек, после обработки снимков можно получить план местности с изображением горизонталей.

7. Аэрофотосъёмка (фотографическая аэросъёмка) выполняется при помощи аэрофотоаппарата с самолёта или вертолётa. В результате получают аэрофотоснимки, по которым создаются топографические карты. Аэ-

рофотосъёмка производится в сочетании с геодезическими измерениями на поверхности земли.

8. Космическая съёмка местности производится с космического корабля или искусственного спутника Земли. По материалам космических съёмок создаются специальные карты.

Выбор съёмки зависит от характера снимаемой местности, от целей съёмки, от экономических и технических требований.

10.2. Тахеометрическая съёмка местности

Тахеометрическая съёмка—это съёмка, при которой быстро и с заданной точностью получают необходимые данные для составления топографического плана с изображением как предметов и контуров местности в горизонтальной плоскости, так и рельефа.

Слово *тахеометрия* в переводе с греческого языка означает «быстрое измерение». Быстрота при этой съёмке достигается тем, что одним наведением трубы инструмента на рейку получают плановое и высотное положение определяемой точки, т. е. расстояние, горизонтальное направление по лимбу и превышение, отсчитываемое по рейке или вычисляемое по углу наклона.

Тахеометрическая съёмка производится обычно на небольших участках для получения плана в крупном масштабе для различных инженерных изысканий под строительство, планировку, благоустройство населенных мест и т. д. Широкое распространение тахеометрия имеет также при маршрутной съёмке, т.е. при съёмке узкой, но достаточно вытянутой полосы местности для изыскания трасс дорог, каналов, линий высоковольтных передач и т.п.

Отличие тахеометрической съёмки от теодолитной состоит в том, что здесь, кроме съёмки контуров предметов местности, производят также съёмку рельефа. Поэтому точки стояния инструмента – станции должны иметь отметки.

По способу определения положения точек местности тахеометрическая съёмка довольно близка к мензульной, но существенное отличие ее заключается в том, что план местности при тахеометрической съёмке получают не в поле, а в камеральных условиях. Вследствие этого полевую работу при тахеометрической съёмке можно выполнить в более короткие сроки и она в меньшей степени зависит от погоды. Кроме того, тахеометрическая съёмка позволяет выполнять полевые и камеральные работы разными исполнителями. Однако при тахеометрической съёмке по сравнению с мензульной значительно возрастает количество полевых записей из-за составления плана в камеральных условиях, т.е. в отрыве от местности, возникает необходимость увеличивать количество пикетов (в 1,5—2 раза), что, однако, не избавляет от возникновения ошибок обобщения, особенно при изображении рельефа горизонталями. Поэтому после составления пла-

на рекомендуется произвести инструментальный, а в отдельных случаях - визуальный контроль.

Съёмку выполняют тахеометром (современные теодолиты тоже являются тахеометрами) при одном наведении зрительной трубы на рейку при КЛ. План местности составляется камерально.

10.2.1. Приборы, применяемые при тахеометрической съёмке

Для производства тахеометрической съёмки применяют инструменты двух основных типов: круговые тахеометры и тахеометры-автоматы. До настоящего времени наибольшее применение имели круговые тахеометры. Однако теперь все большее распространение получают тахеометры-автоматы (ТА-2, ТА, Дальта 020, Редта 002 и др.), позволяющие без дополнительных вычислений получать горизонтальные приложения линий и превышения или отметки точек.

При проложении тахеометрических ходов для повышения точности определения расстояний применяют оптические дальномеры двойного изображения - ДНР-06 (ДД-3), ДН-08 (ДНТ-2), ДН-10 (ДД-5) и др. - в виде насадок к теодолитам или дальномер ОДГ с вертикальной или горизонтальной рейками. В случае применения нитяного дальномера с вертикальной рейкой его коэффициент K должен быть определен с ошибкой не более 0,05 (при $K = 100$).

Круговые тахеометры представляют собой теодолиты типа ТТ-50, ТТ-5, ТЗО и др., называемые теодолитами-тахеометрами, имеющие горизонтальный и вертикальный круги примерно одинаковой точности, дальномер и буссоль. Вертикальный круг тахеометра снабжен уровнем с ценой деления 30—40". При проверках такого инструмента особое внимание обращают на постоянство места нуля. Его определяют для всех трех нитей из наблюдений на 3—4 точки. Разность значений места нуля для дальномерных нитей должна быть 34,4', тогда коэффициент дальномера будет близок к 100.

Для обеспечения быстроты съёмки круговым тахеометром и рейкой с началом счета делений вверху рекомендуется приводить место нуля к нулю для нижней нити сетки при круге лево, при котором обычно производят съёмку. В этом случае при одном наведении трубы нижней нитью на верх рейки делают отсчеты по дальномеру и вертикальному кругу без дополнительных перемещений трубы, которое необходимо, если место нуля установлено для средней нити. Производительность труда при этом несколько повышается.

Широкое применение при съёмке находит тахеометр-автомат ТА-2, позволяющий автоматически получать превышения и расстояния до пикетов по специальной вертикальной рейке с выдвижной пяткой. Кривые расстояний и высот построены здесь аналогично тому, как и в кипрегеле КА-2. Им можно также работать как круговым тахеометром с обычной дальномерной рейкой. Перед работой с тахеометром-автоматом надо убе-

даться, что коэффициенты дальномера соответствуют номинальным ($K = 100$, $K_h = 10, 20, 100$).

В зависимости от системы дальномера при тахеометрических работах применяют вертикальные или горизонтальные рейки с соответствующей системой делений или с марками.

При работе круговым тахеометром применяются, как правило, вертикальные рейки. Такие рейки изготовляют из сухой еловой или сосновой доски (бруса) толщиной 2 см, шириной 10—8 см и длиной 2,5—3,5 м в зависимости от масштаба съемки. Верхнюю часть бруса иногда делают уже для лучшей сопротивляемости ветру.

При приложении тахеометрических ходов с целью контроля и повышения точности измерения расстояний обратную сторону рейки рекомендуется размечать на более крупные деления с таким расчетом, чтобы 10 таких делений соответствовали 11 делениям на основной стороне рейки. Деления на обратной стороне рейки раскрашивают другим цветом. Для получения расстояния по обратной стороне рейки нужно к отсчету по ней прибавить $1/10$ этого отсчета.

10.2.2. Проложение тахеометрических ходов

Исходными пунктами служат пункты государственной сети и сетей сгущения, но плотность их недостаточна, поэтому прокладывают теодолитные или тахеометрические ходы. Тахеометрическая съёмка местности может выполняться одновременно с проложением ходов, что обеспечивает быстроту выполнения работ.

Тахеометрические ходы прокладывают для планового и высотного обоснования при производстве тахеометрической съемки. Они могут также применяться при создании съемочного обоснования для топографических мензульных съемок и для привязки аэроснимков.

При привязке тахеометрических ходов к реперам и маркам, не имеющим координат, а также при передаче отметок на высотные опознаки аэроснимков прокладывают высотные теодолитные ходы, т. е. тахеометрические ходы без измерения горизонтальных углов.

Перед проложением тахеометрических ходов по имеющейся карте наиболее крупного масштаба составляют проект ходов, руководствуясь при этом приведенными ниже общими требованиями.

Тахеометрические ходы могут прокладываться в виде одиночных замкнутых (полигонов) и разомкнутых ходов или в виде систем ходов узловыми точками. Они должны опираться на пункты с координатами и отметками, полученными из более точных измерений. Длина сторон в тахеометрических ходах должна быть в пределах до 200—250 м. Так как расстояния в ходах измеряются, как правило, дальномерами, то ходы можно прокладывать по пересеченной местности.

Предельная длина тахеометрического хода зависит от масштаба съемки, от принятой высоты сечения рельефа. Так, при масштабе 1:5000 и вы-

соте сечения рельефа 1 м, длину тахеометрического хода не следует принимать более 3 км.

Проект ходов и положение пунктов уточняют при полевой рекогносцировке и закрепляют кольями длиной 30—40 см и толщиной 4—6 см с забитым в верхний торец каждого кола гвоздем. При необходимости обеспечения сохранности пунктов на 2—4 года их закрепляют деревянными столбами длиной 1,5—2,0 м и диаметром 15—20 см; в верхний торец столба забивают гвоздь, служащий центром.

Горизонтальные углы и углы наклона в тахеометрических ходах измеряют тахеометром одним полным приемом; стороны ходов измеряют, как правило, дальномером в прямом и обратном направлениях, а в некоторых случаях — лентой в одном направлении с контролем по дальномеру. При измерении сторон насадками ДНР-06, ДН-08 и др. или нитяным дальномером линии более 200 м следует измерять по частям; для чего примерно в середине линий в створе закрепляют кольями дополнительные точки для установки в них теодолита и реек. Это позволяет повысить точность измерения расстояний и передачи отметок.

Измерение углов наклона контролируют постоянством места нуля МО, колебание которого допускается в пределах 1,5'.

Высоту инструмента на станции измеряют как сумму двух частей:

1) от оси вращения трубы до нижней поверхности головки штатива — постоянная часть (или изменяющаяся в небольших пределах, в зависимости от положения подъемных винтов в треножнике);

2) от нижней поверхности головки штатива до точки, над которой центрируют тахеометр — переменная часть, изменяющаяся в зависимости от положения штатива над точкой.

Превышения между точками вычисляют в прямом и обратном направлениях с допустимым расхождением между ними 4 см на каждые 100 м расстояния.

10.2.3. Виды тахеометрических съёмок

Тахеометрическая съёмка бывает:

1. Маршрутная - вдоль узких полос трассы.
2. Площадная - съёмка небольших участков, когда другие виды съёмок невыгодны.
3. Вертикальная- на застроенных территориях населённых пунктов.

Недостатком тахеометрической съёмки является составление плана местности камерально, так как могут быть пропущены детали местности.

Минимальное число съёмочных точек на 1 км²:

масштаб создаваемой карты	чёткие контуры	нечёткие контуры
1:2000	50	20
1:1000	80	36
1:500	142	64

Рейку переставляют на съёмочном участке в зависимости от высоты сечения рельефа:

масштаб	сечение рельефа	расстояние между пикетами
1:500	0,5	15
	1,0	15
1:000	0,5	20
	1,0	30
2:000	0,5	40
	1,0	40
	2,0	50

Съёмка выполняется полярным методом набором пикетов на характерных точках местности. Съёмка выполняется при КЛ, по черной стороне нивелирной рейки. По рейке определяются расстояния, высота наблюдения, в оптическом микроскопе снимаются значения горизонтальных углов и снимаются значения с вертикального круга. Одновременно со съёмкой местности выполняется абрис местности в произвольном масштабе, но на нём показываються все объекты местности.

10.2.4. Порядок работ при выполнении тахеометрической съёмки

Теодолит устанавливают на вершине полигона, его центрируют по отвесу и измеряют высоту установки прибора до 1 см. Затем горизонтируют и определяют МО прибора. Установленный теодолит ориентируют по предшествующей или по последующей точке. Для этого совмещают нули лимба и алидады горизонтального круга и, закрепив алидаду, но открепив лимб, наводят зрительную трубу на ориентирную точку (на следующую вершину полигона). Лимб теодолита закрепляют.

На рейке отмечают высоту прибора, привязав к рейке верёвочку, и устанавливают её на выбранный пикет местности. Открепив алидаду, зрительную трубу наводят на рейку. Снимают отсчеты:

а) по дальномерным нитям и вычисляют расстояние от теодолита до нивелирной рейки. Полученную величину переводят в метры и записывают в ведомость;

б) высоты наведения прибора (V) и записывают в ведомость;

в) по шкалам горизонтального и вертикального кругов и записывают в ведомость.

Обязательно записывают объект, на который наводилась зрительная труба теодолита. Рейку переставляют на следующий пикет и выполняют действия пунктов а), б), в) и т.д.

Контролем работы является наведение зрительной трубы на ориентирную точку и снятие отсчёта с горизонтального круга. Величина отсчёта не должна отличаться от 0° более чем на $\pm 1,5'$.

Переставив теодолит на следующую вершину полигона, съёмку местности выполняют в том же порядке.

После выполнения тахеометрической съёмки местности на всех вершинах полигона выполняется обработка ведомостей тахеометрической съёмки. В каждой ведомости обязательно указана точка стояния теодолита и точка, на которую был ориентирован теодолит, а также указаны высота и МО прибора.

10.2.5. Вычисление ведомости тахеометрической съёмки и построение плана местности

1. Угол наклона ν вычисляется по формуле

$$\nu = \text{KL} - \text{MO}_{cp} .$$

2. S вычисляется по формуле

$$S = L \cos^2 \nu, \text{ если } \nu > \pm 3^0 ,$$

$$S = L, \text{ если } \nu < \pm 3^0 ,$$

где L – расстояние по рейке.

3. Превышение h вычисляется по формуле

$$h = S \operatorname{tg} \nu + i - V .$$

4. В ведомость выписывается отметка точки стояния H_0 . Остальные отметки пикетов вычисляются по формуле

$$H_i = H_0 + h_i .$$

После вычисления ведомости тахеометрической съёмки выполняется построение плана местности.

ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА МЕСТНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ

Нанесение пикетных точек выполняют по данным полевого журнала и абриса при помощи транспорта и масштабной линейки.

1. Берётся ватман с построенной координатной сеткой и с нанесёнными по координатам вершинами полигона.

2. Из ведомости геометрического нивелирования выписываются отметки земли вершин полигона.

3. Построение плана местности выполняется следующим образом:

а) прикладываем транспорт серединой к заданной точке стояния, нулем к ориентирной точке;

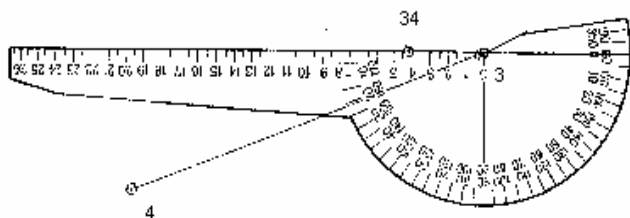
б) откладываем горизонтальный угол первого пикета;

в) по этому направлению в масштабе откладываем исправленное расстояние S ;

г) в полученной точке по условному знаку изображаем объект и подписываем его отметку.

Накладку пикетов можно облегчить, если использовать для этого тахеограф (рис. 68). Тахеограф — прозрачный прибор, соединяющий в себе транспорт и линейку. Транспорт разбит на $0,5^0$ - деления, линейка — на миллиметровые деления.

Центр транспорта, совпадающий с началом счета линейки, имеет круглое отверстие для



иголки, острие которой при накладке совмещают с тахеометрической станцией. На рис.68 градусные и полуградусные деления на транспортире тахеографа и миллиметровые деления на его линейке не показаны.

Тахеограф на станции (т. 3) был ориентирован по точке 4 (рис. 68).

Тахеографом наложен пикет 34, на котором измерены горизонтальный угол, равный $20^{\circ}58'$, и горизонтальное проложение, равное 218,4 м (масштаб съемки 1:5000). Когда пикет наколот, тахеограф поворачивают вокруг иголки и по углу и горизонтальному проложению накладывают следующий пикет. Выписка отметок пикетов проводится одновременно с их нанесением;

д) аналогично наносятся остальные пикеты, набранные вокруг этой вершина полигона;

е) после нанесения всех пикетных точек методом линейной интерполяции проводятся горизонтали при заданной высоте сечения рельефа.

4. Аналогично наносятся пикеты вокруг остальных вершин полигона и проводятся горизонтали. При необходимости проводятся полугоризонталы (если расстояние между основными горизонталями более 2,5 см). На горизонталях расставляются бергштрихи. Горизонталы подписываются (на 1дм^2 - одна подпись горизонтали). Горизонталы, кратные высоте сечения рельефа утолщаются (через 4-5 горизонталей).

5. Составляется калька высот, т.е. на вычерченный план накладывается калька, на которую переносятся все отметки высот.

6. Вычерченный план проверяется и контролируется в поле. План сравнивают с местностью, чтобы не было пропусков объектов, проверяют положения контуров ситуации и горизонталей на плане, руководствуясь допускаемыми расхождениями, предусмотренными инструкциями и наставлениями для соответствующих масштабов съемки.

7. Построенный план местности вычерчивается тушью в следующей последовательности:

- вычерчивается внутренняя рамка плана;
- вычерчивается гидрография;
- вычерчиваются линейные объекты (дороги, ЛЭП и т.д.);
- вычерчиваются населённые пункты;
- на плане даются подписи объектов;
- подписываются характеристики объектов;
- подписываются отметки пикетов;
- вычерчиваются горизонталы, овраги, промоины и их характеристики;
- контуры заполняются условными знаками;
- выполняется зарамочное оформление плана.

На вычерченном плане горизонтали не должны пересекать объекты, подписанные отметки высот и другие характеристики объектов. В одном контуре не должно быть сочетания более трёх условных знаков.

8. При составлении плана местности используются следующие цвета:

- зелёный—вычерчивается гидрография;
- коричневый—вычерчивается рельеф, овраги, промоины их характеристики;
- чёрный—вычерчиваются все объекты и их характеристики;
- голубой—подкрашиваются водные пространства;
- розовый—подкрашиваются дороги, имеющие покрытие.

Построенный план местности ещё раз проверяется.

10.2.6. Автоматизация тахеометрической съёмки

С появлением электронных тахеометров стала возможна частичная или полная автоматизация тахеометрической съёмки.

При съёмке электронный тахеометр устанавливается на съёмочных точках, а на пикетных точках—специальные вешки с отражателями, входящими в комплект тахеометра. При наведении на отражатели в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, а также расстояния до смежных съёмочных и пикетных точек. С помощью микроЭВМ тахеометра производят обработку результатов измерений и в итоге получают приращения Δx и Δy координат и превышения h на смежные съёмочные и пикетные точки. При этом автоматически учитываются все поправки в измеряемые расстояния и в измеряемые углы. Результаты измерений могут быть введены в специальное запоминающее устройство (накопитель информации) или переписаны на магнитную кассету. В дальнейшем из накопителя или с магнитной кассеты информация поступает в ЭВМ, которая по специальной программе производит окончательную обработку результатов измерений, включающую вычисление координат съёмочных и пикетных точек, уравнивание съёмочного хода и другие вычисления, необходимые для графического построения топографического плана или цифровой модели местности. Графическое построение топографического плана осуществляется графопостроителем, соединённым с ЭВМ.

10.3. Мензуральная съёмка и проложение мензуральных ходов

Мензуральная съёмка местности—это наземный метод съёмки, при котором топографический план местности составляется непосредственно на местности.

В основу съёмки положено графическое определение на планшете взаимного расположения точек местности, а горизонтальные проекции углов между точками местности строятся графически. Мензуральная съёмка применяется на небольших участках местности. Достоинством мензуральной съёмки является её наглядность. С точек, с которых производится мензуральная съёмка, всё снимаемое пространство хорошо обзревается. Зарисовка контуров и предметов местности, рисовка рельефа выполняются в

полевых условиях. Мензульная съёмка более точна по сравнению с тахеометрической.

Однако мензульная съёмка имеет недостатки:

- 1) большая затрата времени на полевые работы;
- 2) зависимость от метеорологических условий;
- 3) отсутствие возможности разделения труда.

Мензульную съёмку местности можно выполнять на вершинах теодолитного хода или на вершинах мензульного хода. Они могут быть замкнутые, разомкнутые.

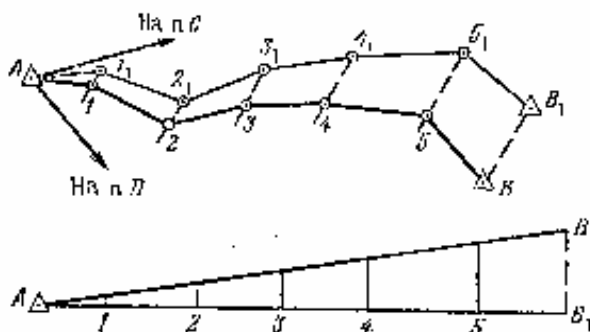
Мензульные ходы прокладывают по дорогам, просекам, речным долинам, оврагам, стремясь к наименьшему числу точек поворота. Мензульные ходы можно прокладывать как между двумя пунктами, так и опирающимися на один пункт.

Работы на точке мензульного хода выполняют в такой последовательности: мензулу центрируют, приводят в горизонтальное положение, ориентируют, измеряют высоту горизонтальной оси кипрегеля, наводят кипрегель на рейку, установленную на последующей точке, прочерчивают на нее по линейке направление, определяют дважды расстояние по дальномеру, измеряют вертикальный угол одним полным приемом и измеряют высоту точки визирования. Далее переходят на следующую точку и делают измерение в той же последовательности. Длину сторон мензульного хода и вертикальные углы измеряют дважды—в прямом и обратном направлениях.

Расхождение между прямым и обратным значениями длин линий хода не должно превышать точности 1:200 (0,5 м на 100 м длины линии). Расхождение между прямым и обратным превышениями не должно быть более 10 см при длине линии до 250 м и 4 см на каждые 100 м при больших расстояниях. Вычисленное горизонтальное проложение (среднее из прямого и обратного измерений) откладывают в масштабе по прочерченной линии. Так получают первую точку хода. На последней точке хода визируют на конечный пункт B (рис. 69), прочерчивают на него направление, на направлении откладывают расстояние и накалывают точку B_1 . Как правило, эта точка накола не совпадает с пунктом B на планшете. Расстояние между точками B_1 и B является линейной невязкой хода, которая не должна превышать 0,8 мм на плане. Относительная невязка хода должна быть не более 1:300 (0,33 м на 100 м длины).

Если невязки в допуске, то приступают к увязке хода способом параллельных линий. Этот способ заключается в следующем: через все точки хода проводят линии, параллельные направлению линейной невязки $B_1 B$. На этих

линиях откладывают отрезки, пропорциональные расстояниям точек хода от начальной точки хода A . Длины этих про-



порциональных отрезков получают из построения вспомогательного прямоугольного треугольника ABB_1 (рис. 69). В этом прямоугольнике одним из катетов служит длина всего хода AB_1 , а вторым — линейная невязка B_1B (в масштабе плана), на катете AB_1 откладывают отрезки, равные длинам линий хода. Перпендикуляры в этих точках

Рис. 69

(до гипотенузы) и есть эти поправочные отрезки. Их и откладывают от всех точек хода по линиям, проведенным параллельно линейной невязке. В результате будет получено исправленное положение точек мензульного хода.

Допустимая высотная невязка в мензульных ходах не должна превышать:

0,08 м при высоте сечения рельефа	0,25 м;
0,15 м	0,5 м;
0,20 м	1,0 м;
0,50 м	2,0 м;
1,00 м	5,0 м.

Высотная невязка хода распределяется с обратным знаком на каждое превышение пропорционально длинам сторон хода. Только после увязки точек мензульного хода в плане и по высоте они могут быть использованы для съемки.

Съемку отдельных участков, которые не представляется возможным заснять с исходных пунктов, точек сети съемочного обоснования, теодолитных и мензульных ходов, проводят с отдельных точек, называемых *переходными*. Переходные точки завершают создание съемочной сети, доводя ее густоту до предусмотренных норм. Переходные точки определяют как по исходным пунктам геодезического планового обоснования, так и по точкам съемочного обоснования. Переходные точки могут определяться графически прямыми, обратными и комбинированными засечками и промерами (рекомендуется стальная лента или стальная рулетка) в створе между двумя пунктами, уже нанесенными на планшет.

При определении переходных точек методом засечек длины визирных лучей не должны превышать удвоенной максимальной длины линий в мензульных ходах.

Разрешается определение висячих переходных точек только в закрытой местности, с любой точки съемочного обоснования, число их не должно быть более двух. Все точки съемочного обоснования должны обязательно иметь отметки. Положение по высоте определяют одновременно с определением положения точек в плане.

Высоты точек съемочного обоснования получают нивелированием горизонтальным лучом (нивелиром) при съемке с высотой сечения рельефа 0,5; 1 и 2 м, при помощи кипрегеля с уровнем при трубе при съемке с высотой сечения рельефа 1 и 2 м и тригонометрическим нивелированием

ем при съемке всхолмленных и горных районов с высотой сечения рельефа 2 и 5 м.

Густота точек съёмочной сети зависит от масштаба создаваемой карты:

Масштаб	1:10000	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
Число точек на 1 км ²	3—4	12—22	22—50	48—80	80—140

Наименьшее число точек предусмотрено для участков с несложной ситуацией и рельефом, наибольшее—для участков со сложной ситуацией или сложным рельефом.

10.3.1. Приборы, используемые при мензурной съёмке, их устройство, проверки

При выполнении мензурной съёмки используются следующие приборы: кипрегель, мензула со штативом и мензурная рейка.

УСТРОЙСТВО КИПРЕГЕЛЯ КН (рис. 70)

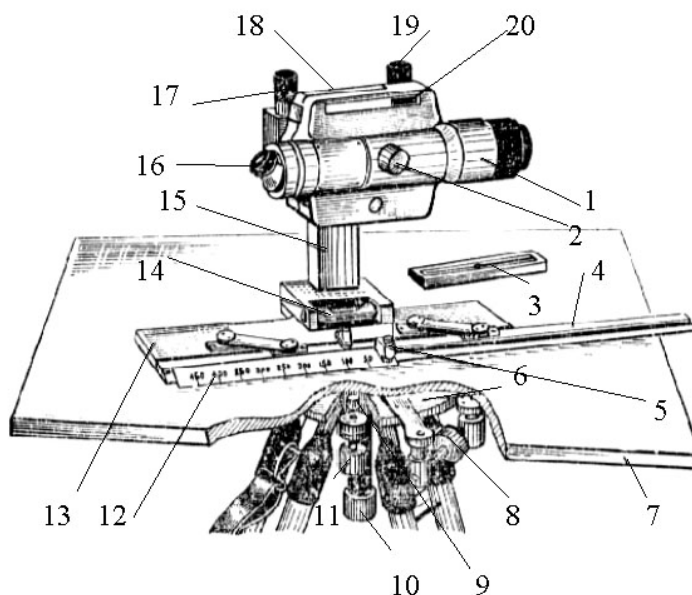


Рис. 70

- 1 - зрительная труба;
- 2 - винт фокусировки на объект;
- 3 - буссоль;
- 4 - дополнительная линейка (подвижная);
- 5 - штифт наколочный;
- 6 - подставка;
- 7 - мензурная доска;
- 8 - наводящий винт мензурной доски;
- 9 - закрепительные винты мензурной доски;
- 10 - становой винт мензурной доски;
- 11 - подъемные винты мензурной доски;
- 12 - масштабная линейка;
- 13 - основание кипрегеля (широкая линейка);

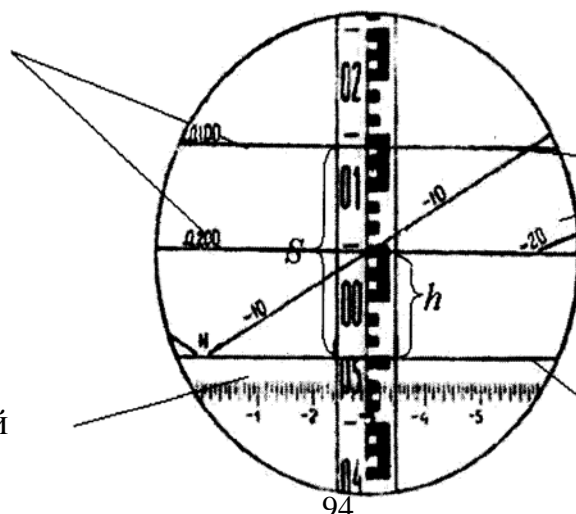
- 14 - цилиндрический уровень;
- 15 - колонка кипрегеля;
- 16 – окуляр;
- 17 - закрепительный и наводящий винты зрительной трубы;
- 18 - цилиндрический уровень на колонке кипрегеля;
- 19 - винт, приводящий цилиндрический уровень 18 в нуль-пункт;
- 20 - цилиндрический уровень на вертикальном круге кипрегеля.

Кипрегель дает возможность измерять расстояния и превышения и откладывать направления на объект. Основанием кипрегеля является широкая линейка, на которой находится цилиндрический уровень. К широкой линейке крепится подвижная линейка, на которой укрепляется масштабная линейка. К широкой линейке крепится колонка, на которой укреплена зрительная труба с вертикальным кругом и цилиндрическим уровнем. Зрительная труба имеет объектив и окуляр “Г”-образной формы с диоптрийным колечком, дающим возможность наводить резкость на номограмму кипрегеля. На трубе имеется винт фокусировки для наведения резкости на объект. Около окуляра зрительной трубы имеются закрепительный и наводящий винты зрительной трубы. Около объектива находится винт, приводящий цилиндрический уровень в нуль-пункт. Второй цилиндрический уровень на вертикальном круге позволяет выполнять кипрегелем нивелирование местности. Увеличение зрительной трубы – $25,4^x$, поле зрения – $1^{\circ}20'$. Зрительная труба кипрегеля может поворачиваться через зенит. Оцифровка вертикального круга от 0° до $+45^{\circ}$ и от 0° до -45° выведена в окуляр зрительной трубы. Поле зрения зрительной трубы кипрегеля представлено на рис. 71. Кипрегель КН— К-кипрегель, Н- номограммный, так как линии, видимые в поле зрения, называются номограммами.

Мензула (рис. 70) состоит из доски-планшета, подставки и штатива. Планшет сделан из липового дерева размером 60х60 см. На планшете укрепляется лист ватмана. Подставка соединяет штатив с планшетом, на ней имеются: наводящий винт, становой винт, три подъемных винта (для горизонтирования мензулы) и три закрепительных винта, с помощью которых мензула крепится к штативу.

Номограмма
расстояний

Вертикальный
круг



Номограмма
превышений

Начальная
окружность

Рис. 71

Мензурная рейка—односторонняя, выдвигная, оцифрована через 1 см. Отсчет снимается с точностью до 1 мм.

В комплект мензулы входят: ориентир-буссоль и центрировочная вилка, которая используется для центрирования мензулы на съёмочной точке стояния.

ПОВЕРКИ МЕНЗУЛЫ

1. Мензула должна быть устойчива, не пружинить. Для этого зрительную трубу кипрегеля наводят на выбранную точку и нажимают на край мензулы, затем отпускают, если точка смещается, то мензулу надо переставить.

2. Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью, т.е. расстояние между линейкой и плоскостью планшета не более 0,5 мм.

3. Верхняя поверхность планшета должна быть перпендикулярна оси вращения прибора. Для этого после горизонтирования мензулы её поворачивают вокруг вертикальной оси, отклонение уровня на линейке кипрегеля не должно превышать двух делений.

ПОВЕРКИ КИПРЕГЕЛЯ

1. Скошенные края линеек должны быть прямыми линиями. Для этого по краю линейки два раза проводят линию, повернув кипрегель на 180°. Допустимое расхождение между прочерченными линиями 0,2мм.

2. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки. Для этого кипрегель устанавливаем по направлению двух подъёмных винтов, ими приводим уровень в нуль-пункт. Переставляем кипрегель на 180°, если пузырёк сместился, исправляем его на ½ смещения подъёмными и исправительными винтами. Ставим кипрегель по направлению третьего подъёмного винта и приводим уровень в нуль-пункт.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы. Для этого кипрегель визируют на удалённую точку и вдоль линейки проводят линию. Кипрегель переставляют на 180°, переводят трубу через зенит и опять визируют на ту же точку. Вдоль линейки проводят линию. Если линии не совпадают и получается угол, проводится биссектриса угла, к которой прикладывается линейка кипрегеля. Сетка нитей сместится с наблюдаемой точки. Исправительными винтами совмещают её с изображением наблюдаемой точки.

4. Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки. Гарантируется заводом-изготовителем.

5. Вертикальная нить номограммы должна быть перпендикулярна к нижней плоскости линейки, так как должна лежать в коллимационной

плоскости. Для этого наводят зрительную трубу на точку. Наводящим винтом поднимают и опускают трубу. Если изображение наблюдаемой точки сходит с вертикального штриха, то исправительными винтами исправляют положение вертикального штриха.

6. Место нуля (МО) кипрегеля должно быть постоянно и близко нулю. Поверка выполняется так же, как и у теодолита. Для кипрегеля КН, МО вычисляется по формуле $МО=0,5(КП-КЛ)$.

Углы наклона вычисляются по формулам

$$v=МО+КЛ, \quad v=КП-МО, \quad v=0,5(КП+КЛ).$$

Место нуля прибора определяют несколько раз и за основное значение берут среднее значение из всех измерений. Место нуля не должно отличаться от 0° более чем на $1'$.

10.3.2. Выполнение съёмочных работ

Съёмка контуров и рельефа при мензульной съёмке производится полярным методом. По мензульной рейке определяется расстояние и превышение. Расстояние в масштабе откладывается на планшете и вычерчивается условный знак. Около условного знака подписывается вычисленная отметка земной поверхности, и горизонтали вычерчиваются методом интерполяции. Урезы вод определяются через 10-12 см в плане, независимо от масштаба. Определяют все характеристики объектов. В зависимости от масштаба съёмки и принятой высоты сечения рельефа расстояние от мензулы до пикетов должно быть следующим (табл. 8):

Таблица 8

Масштаб создаваемого плана	Высота сечения рельефа м	Мах расст. между пк м	Мах расст. до пк м	Мах расст. на чётких контурах м	Мах расст. на нечётких контурах м
1:500	0,5	20	100	60	80
	1,0	20	150	80	80
1:1000	0,5	30	150	80	100
	1,0	40	200	80	100
1:2000	0,5	50	200	100	150
	1,0	50	250	100	150
1:5000	0,5	75	250	150	200

ПОРЯДОК РАБОТЫ НА СЪЁМОЧНОЙ ТОЧКЕ

1. Мензула с кипрегелем устанавливается на вершине полигона. На мензулу укрепляется лист ватмана с координатной сеткой, где по координатам нанесены вершины полигона.

2. Мензула центрируется при помощи центрировочной вилки следующим образом:

а) один конец вилки устанавливается на вершине, нанесенной на ватмане, другой конец с отвесом должен показать центр забитого колышка;

б) чтобы добиться такого положения, мензула несколько раз переставляется.

3. Мензула горизонтируется следующим образом:

а) кипрегель устанавливают по направлению двух подъемных винтов подставки и, вращая их, приводят цилиндрический уровень на линейке в нуль-пункт;

б) кипрегель поворачивают на 90^0 и, вращая третий подъемный винт, цилиндрический уровень опять приводят в нуль-пункт;

в) кипрегель поворачивают на 180^0 , если пузырек уровня в нуль-пункте, продолжают работу дальше, в противном случае горизонтирование повторяется.

4. Мензула ориентируется по линиям местности следующим образом:

а) кипрегель основной линейкой ставят вдоль линии, соединяющей вершины точки стояния и последующей точки;

б) смотря в окуляр зрительной трубы, поворачивают мензулу до тех пор, пока не увидят в объективе последующую вершину (на ней установлена вешка или рейка), мензулу закрепляют;

в) кипрегель переставляют по линии, соединяющей вершины точки стояния и предыдущей точки;

г) в окуляр должна быть видна предыдущая вершина, если она не видна, то рукой переставляют кипрегель, пока не станет видна предыдущая вершина. Проводят новую линию между этими вершинами. На ватмане проводят биссектрису полученного угла. Вдоль нее ставят кипрегель и поворачивают мензулу до видимости предыдущей вершины.

5. Измеряют высоту прибора i (не более 1 м) и эту величину устанавливают на выдвижном конце мензульной рейки.

6. Мензульную рейку ставят на выбранную точку.

7. Зрительную трубу наводят на мензульную рейку начальной окружностью на выдвижную пятку (на металлическую оправу с красными цифрами 00).

8. Цилиндрический уровень на колонке кипрегеля приводится в нуль-пункт.

9. Определяется S по номограмме расстояний по формуле $S = C \times L$, где C – коэффициент номограммы расстояний, имеет значения 100 или 200; L – отсчет по мензульной рейке в см, который берется по номограмме расстояний.

10. Определяют превышение h по формуле $h = K_h \times L$, где K_h – коэффициент номограммы превышения, имеет значения ± 10 , ± 20 ; L – отсчет по мензульной рейке в см, который берется по номограмме превышений.

Если при мензульной съёмке используются нивелирные рейки, то превышение вычисляется по формуле $h = K_h(L - H) + i - H$, где

K_h – коэффициент номограммы превышения,

L—отсчёт по рейке по номограмме h,

H—отсчёт по рейке с помощью начальной окружности,

i—высота прибора.

11. Определяют отметку пикетной точки, где установлена рейка по формуле $H_i = H_0 + h_i$, где H_0 —отметка точки поверхности земли, где установлена мензула; h_i — превышение, определенное по мензурной рейке, от точки, где установлена мензула, до пикетной точки.

12. В заданном масштабе и по масштабной линейке накалывают измеренное расстояние на ватман.

13. В полученной точке изображают по условному знаку объект и подписывают его отметку.

14. Аналогично наносят остальные пикетные точки, переставляя мензурную рейку на характерные точки местности.

15. Методом интерполяции проводят горизонтали.

16. Далее мензулу и кипрегель переставляют на следующую вершину полигона и аналогично наносят пикетные точки вокруг этой вершины (см. пункты 1-16).

СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА МЕСТНОСТИ

В процессе мензурной съёмки ежедневно результаты съёмки переносятся на кальку контуров и кальку высот. Кальку контуров составляют, чтобы не потерять детали ситуации. Кальку высот составляют, чтобы быстро находить точки съёмочного обоснования и пикеты. При небольшой загруженности можно обе кальки совмещать, кальки вычерчиваются тушью.

При составлении плана на планшете делается отбор подписей пикетов (на 1дм^2 подписывается 10—15 пикетов). Далее карандашный план местности вычерчивается тушью и оформляется. При этом используются такие же цвета, что и при тахеометрической съёмке местности и в той же последовательности.

10.4. Комплекс работ, выполняемых при создании топографических карт и планов местности

1 Рекогносцировка местности (обследование заданного участка местности).

2. Планово-высотное обоснование местности (закрепление вершин полигона реперами или деревянными колышками).

3. Измерение расстояний между вершинами полигона (расстояния измеряются мерными лентами в прямом и обратном направлении).

4. Прокладка нивелирного хода (методом из середины, сложное нивелирование).

5. Прокладка теодолитного хода (измерение горизонтальных углов полигона).

6. Обработка материалов нивелирных и теодолитных ходов:

а) вычисление ведомости геометрического нивелирования;

б) вычисление ведомости координат вершин полигона;
в) построение на ватмане координатной сетки и нанесение на неё по координатам вершин полигона.

7. Тахеометрическая или мензульная съёмка местности:

а) тахеометрическая съёмка местности:

- выполнение съёмочных работ при тахеометрической съёмке местности,

- вычисление ведомости тахеометрической съёмки,

- построение плана местности;

б) мензульная съёмка местности и построение плана.

8. Оформление и вычерчивание плана местности.

10.5. Виды глазомерных съёмок местности

Глазомерная съёмка местности применяется в тех случаях, когда требуется быстро получить наглядный план местности в крупном масштабе. Приёмы глазомерной съёмки используются также при работе с топографической картой на местности для её дополнения при географических, геологических и других исследованиях территории.

Глазомерная съёмка производится с помощью простейших приспособлений, однако её выполнение требует большого внимания и аккуратности. При выполнении глазомерной съёмки развивается глазомер и умение ориентироваться на местности.

Глазомерная съёмка подразделяются на маршрутные и площадные.

Маршрутные съёмки выполняются вдоль какого - либо объекта (дороги) узкой полосой методом разбивки «базиса», способами: 1) перпендикуляров, 2) засечек: а) линейными, б) угловыми, 3) створов.

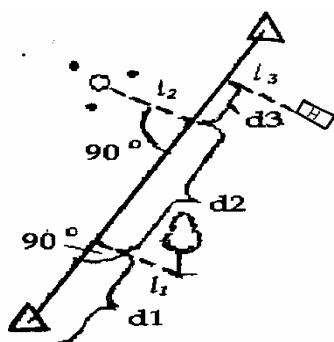
Площадные съёмки—это съёмки участка местности, которые выполняются: 1) полярным методом (на открытых участках местности); 2) методом «обхода участка» (на закрытых участках местности).

Площадные съёмки полярным методом выполняются с использованием 1) визирной линейки или визирного уровня, 2) компаса, буссоли или астролябии.

Площадные съёмки методом «обхода участка» выполняются способами: перпендикуляров, засечек, створов.

10.5.1. Маршрутная глазомерная съёмка местности методом разбивки базиса

На местности задается участок (маршрут), план которого надо составить. Например: снять участок длиной 100 м и шириной 60 м (рис. 72).



На местности разбивается «базис» - прямая линия длиной 100 м, концы которой закрепляются на местности кольшками или каким-либо другим способом. На листе бумаги в

заданном масштабе проводится прямая линия «базис».

Рис. 72

1. Съёмка способом *перпендикуляров* выполняется следующим образом:

а) двигаясь по линии «базиса», определяем перпендикулярное направление на объект (экером) и измеряем шагами расстояния (рис. 72):

d_1, d_2, d_3 – расстояние между направлениями на объект,

l_1, l_2, l_3 – расстояние от «базиса» до объекта;

б) измеренные расстояния d_1, d_2, d_3, \dots и l_1, l_2, l_3, \dots в заданном масштабе откладываются на листе бумаги, где проведена прямая линия «базис»;

в) в полученных точках изображаются объекты по условным знакам.

2. Съёмка способом *линейных засечек* выполняется, если до объекта не дойти по перпендикулярному расстоянию, т.е. если он закрыт другими объектами. Съёмка выполняется следующим образом (рис. 73):

а) с концов «базиса» измеряются расстояния l_1, l_2 до объекта (например, дерево);

б) эти расстояния l_1, l_2 в заданном масштабе откладываются измерителем на листе бумаги, где проведена прямая линия «базис»;

в) точка пересечения расстояний l_1, l_2 дает положение объекта, который изображается по условному знаку.

3. Съёмка способом *угловых засечек* выполняется, если объект совсем не доступен (например, находится за рекой). Для съёмки таких объектов используется компас. Съёмка выполняется следующим образом (рис. 74):

а) с концов «базиса» при помощи компаса определяем магнитные азимуты Am_1, Am_2 на объект (например, дерево за рекой);

б) на листе бумаги, где проведена прямая линия «базис», эти углы (Am_1, Am_2) откладываем при помощи транспортира (рис. 74);

в) точка пересечения направлений углов дает положение объекта, который изображаем по условному знаку.

4. Съёмка местности способом *створов* выполняется тогда, когда несколько объектов находятся на одном перпендикуляре к «базису». Съёмка выполняется следующим образом (рис. 75):

а) по линиям «базиса» измеряем расстояние d_1 , по перпендикуляру к линии «базиса» измеряются расстояния l_1 и l_2 ;



Рис. 73

б) эти расстояния d_1 , l_1 , l_2 откладываем в заданном масштабе на листе бумаги, где проведена прямая линия «базис»;

в) в полученных точках 1, 2 изображаем объекты по условному знаку.

Полученный план местности вычерчивается по условным знакам в заданном масштабе.

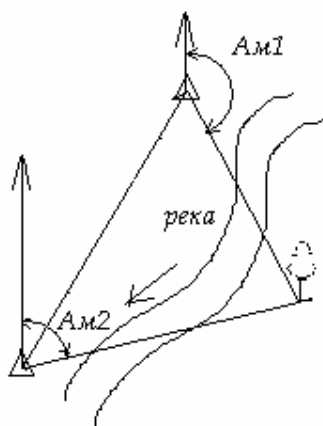


Рис. 74

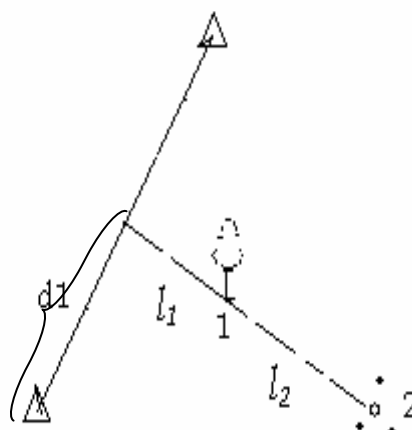


Рис. 75

10.5.2. Площадная глазомерная съёмка местности полярным методом при помощи визирной линейки

Глазомерная площадная съёмка местности полярным методом выполняется на открытых участках местности.

Съёмка выполняется следующим образом (рис. 76).

1. Планшет со штативом устанавливается в середине съёмочного участка. На планшете укрепляется лист бумаги, на котором выбирается точка стояния (в середине листа).

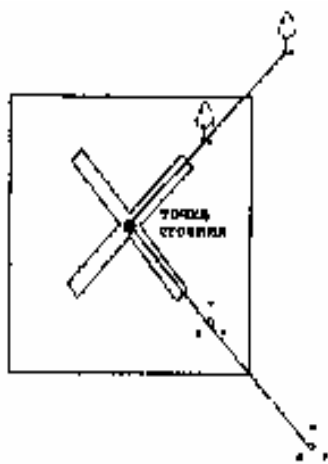


Рис. 76

2. К точке стояния прикладывается визирная линейка (деревянная линейка устанавливается ребром) и направляется на объект местности, до которого измеряется расстояние (шагами).

3. На листе бумаги проводится направление на объект и в заданном масштабе по этому направлению откладывается измеренное расстояние. В полученной точке по условному знаку изображается объект местности.

4. Визирная линейка наводится на другой объект, на который проводится направление и до которого измеряется расстояние. Это расстояние в заданном масштабе откладывается по проведенному направлению и в по-

лученной точке изображается объект по условному знаку (рис. 76), аналогично наносятся все объекты местности заданного участка.

Полученный план местности вычерчивается по условным знакам.

10.5.3. Площадная съёмка местности полярным методом при помощи буссоли

При выполнении данной работы лучше использовать буссоль Стефана.

Устройство буссоли Стефана

Буссоль Стефана имеет вращающееся визирное приспособление, состоящее из прорези и визирной нити. Лимб буссоли разделен на 359 делений по 1° . Деления подписаны через 10° по ходу часовой стрелки. Северный конец магнитной стрелки и деления лимба С, Ю, В, З покрыты светящимся составом. Внутреннее кольцо буссоли разделено на румбы с делением по 1° и оцифровано через 10° .

Съёмка местности выполняется следующим образом.

1. Штатив с укрепленным на нём планшетом устанавливается в центре снимаемого участка. На планшете укрепляется буссоль, которая ориентируется по сторонам света. Для этого отпускаем крепление магнитной стрелки и поворотом буссоли совмещаем северный конец магнитной стрелки с делением С.

2. Вращая визирное устройство буссоли, направляем визирную нить на объект. По индексу у мушки снимается отсчет магнитного азимута в градусной мере и записываем, например, 34° .

3. От штатива измеряем расстояние до объекта (можно шагами, но переводим в метры) и записываем, например, 60 м.

4. Вращая визирное устройство буссоли, направляем мушку на другой объект. Снимаем отсчет магнитного азимута с буссоли и измеряем расстояние до объекта.

5. Аналогично определяются магнитные азимуты и расстояния до объектов, находящихся на заданном участке, и заполняется табл. 9.

Таблица 9

№ объекта	Ам, градусы	S, м	Объект
1	34	60	Дерево
2	99	41	Река
3	160	57	Река
4	230	71	Дом
5	285	35	Забор
6	305	65	Забор

б. Построение плана местности выполняется на листе бумаги в заданном масштабе, для этого:

а) на листе бумаги проводится линия магнитного меридиана, на которой выбирается точка стояния (рис. 77);

б) прикладывается транспортир серединой к точке стояния, «0» - к северному направлению магнитного меридиана и отмечается первый пикет: $A_m = 34^0$;

в) по этому направлению в заданном масштабе откладывается $S = 60$ м, в полученной точке изображается по условному знаку объект (дерево);

г) аналогично наносится второй пикет $A_m = 99^0$ и по этому направлению в заданном масштабе откладывается $S = 41$ м, в полученной точке изображается по условному знаку объект (река);

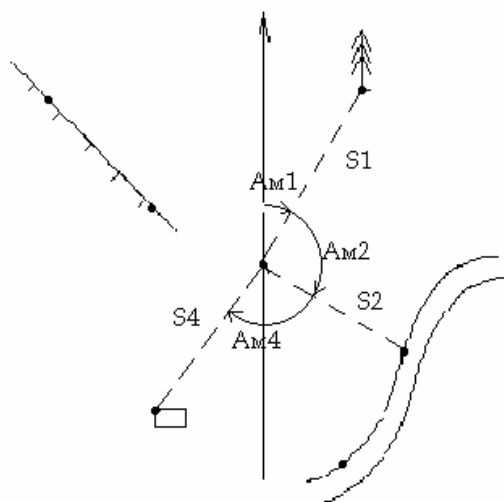


Рис. 77

д) аналогично наносятся остальные пикетные точки;

е) полученный план местности вычерчивается по условным знакам.

10.5.4. Площадная съёмка местности методом «обхода участка»

Площадная съёмка местности методом «обхода участка» выполняется на закрытых территориях. Для этой съёмки на местности разбивается съёмочная опорная сеть в виде замкнутого полигона.

Длины сторон замкнутого хода измеряются дважды в прямом и обратном направлении, за длину стороны берётся средняя величина из двух измерений. По буссоли или компасу измеряются прямые магнитные азимуты направлений сторон хода. Данные заносятся в ведомость.

На листе бумаги в заданном масштабе строят полигон по азимутам и длинам сторон. Направления сторон строят по транспортиру относительно заранее проведённой линии магнитного меридиана.

Съёмка с каждой линии полигона выполняется способами перпендикуляров, засечек, створов. Расположение объектов местности зарисовыва-

ют на абрисе. Положение характерных точек местности наносят на план, откладывая измеренные азимуты и расстояния от сторон полигона в заданном масштабе.

Полученный план местности вычерчивается по условным знакам.

Глава 11. ДИСТАНЦИОННЫЕ СЪЁМКИ МЕСТНОСТИ

11.1. Дистанционные съёмки местности

Дистанционные съёмки местности служат главным методом создания современных топографических планов, карт крупных масштабов и ряда тематических карт. Дистанционные съёмки включают в себя совокупность процессов, позволяющих построить картографическое изображение местности по фотографиям, полученным с самолёта или с искусственного спутника Земли.

11.2. Аэрофотосъёмка местности

Аэрофотосъёмка местности осуществляется с помощью специальных топографических аэрофотоаппаратов (АФА) — полностью автоматизированных приборов, управляемых электрическими командными приборами.

Во время съёмочного полета включенный через командный прибор АФА автоматически осуществляет полный аэрофотосъёмочный цикл: экспонирование (открытие и закрытие затвора АФА), перематывание пленки

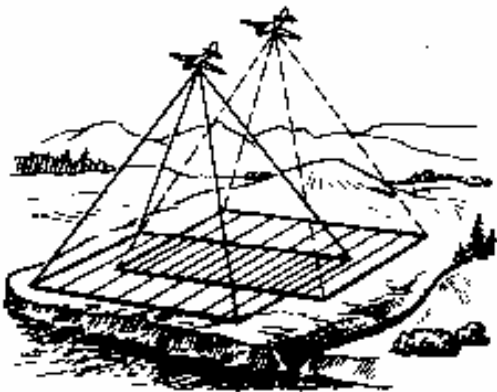


Рис. 78

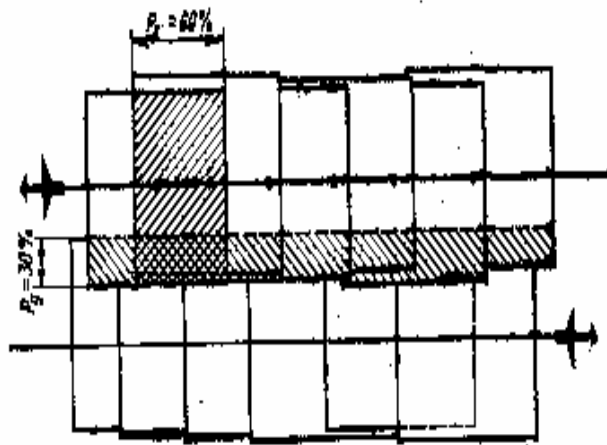


Рис. 79

для нового кадра, выравнивание пленки в плоскость. В результате повторения цикла получается непрерывный аэрофильм, представляющий собой ряд смежных аэронегативов.

Аэросъёмка участка местности производится по маршрутам, прокладываемым с запада на восток и обратно параллельно друг другу.

Фотографирование местности осуществляется через определенные интервалы с таким расчетом, чтобы аэрофотоснимки в маршруте перекрывали друг друга. Тогда на каждом следующем аэрофотоснимке частично изображается площадь, полученная на предыдущем (рис. 78). Перекрытие двух

смежных снимков в одном маршруте называется *продольным перекрытием аэрофотоснимков* p_x , его значение по условиям дальнейшей обработки снимков должно быть не менее 60% от размера снимка. Расстояние между маршрутами устанавливается таким образом, чтобы между снимками соседних маршрутов тоже получилось перекрытие, называемое *поперечным перекрытием снимков* p_y ; оно должно быть не менее 30% (рис. 79).

Если аэрофотосъемка выполняется при отвесном положении оптической оси АФА или ее отклонение от вертикали не превышает 3° , то такая съемка называется *плановой*, а аэрофотоснимки — *плановыми*. В настоящее время применяются гиросtabilизирующие установки для АФА, обеспечивающие отклонение оптической оси АФА от вертикали в пределах $15 — 30'$. Аэрофотоснимки, полученные АФА с гиросtabilизирующих установок, условно считаются горизонтальными, они позволяют выполнять ряд измерительных расчетов с достаточной точностью.

Аэрофотоснимок, используемый для создания топографической карты, представляет собой *центральную проекцию местности*, в которой лучи от точек местности проходят через одну точку S — центр проекции— и в пересечении с картинной плоскостью в позитивном или негативном изображении образуют проекции точек местности. Если участок местности горизонтален и аэрофотосъемка производилась при отвесном положении оптической оси АФА, то изображение на аэрофотоснимке будет подобно местности и, следовательно, совпадает с ортогональной проекцией— планом. В этом случае масштаб изображения местности на аэрофотоснимке будет постоянен для всех частей аэрофотоснимка и равен отношению фокусного расстояния аэрофотокамеры к высоте фотографирования, т.е. $1/m = f/H$.

Масштаб перспективного снимка, полученного при значительном угле наклона оптической оси, заметно меняется в пределах аэрофотоснимка. Удаленные линии местности имеют на аэрофотоснимке более мелкий масштаб, чем линии, расположенные ближе к центру проектирования S . На плановом снимке, так же как и на перспективном, масштаб не постоянен, так как фотографируемые участки местности из-за неровностей земной поверхности и из-за угла наклона снимка в момент аэрофотосъемки изображаются искаженно, т. е. точки аэрофотоснимка получают смещенными за счет влияния рельефа местности и угла наклона аэрофотоснимка. Изображение местности на таких аэрофотоснимках не подобно ортогональной проекции соответствующего участка местности и не является планом местности.

11.3. Планово-высотная привязка аэрофотоснимков

Планово-высотная привязка аэрофотоснимков заключается в определении координат и высот опознаков, необходимых для создания топографической карты.

Плановый опознак — это контурная точка, выбранная на местности и опознанная на аэрофотоснимке, для которой в результате геодезических из-

мерений определены плановые координаты X и Y . Процесс определения плановых координат называется *плановой привязкой аэрофотоснимков*.

Для создания высотной части карты по аэрофотоснимкам на них должны быть точки с известными высотами. Определение высот этих точек — *высотных опознаков*— и опознавание их на аэрофотоснимках называется *высотной привязкой аэрофотоснимков*. В зависимости от способа создания топографических карт используют плановые, высотные или совмещенные планово-высотные опознаки. При комбинированном методе съемки плановые опознаки используют для создания фотопланов, высотные опознаки — для съемки рельефа в поле с помощью мензульной съемки.

В настоящее время производят не сплошную плановую привязку аэрофотоснимков, а разреженную плановую привязку, т. е. плановые опознаки получают не на каждом аэрофотоснимке, а через несколько, например через шесть-восемь снимков, а остальные опознаки для каждого аэрофотоснимка получают в процессе камеральных работ путем планового фотограмметрического сгущения. Густота и размещение опознаков зависят от масштаба создаваемой карты, масштаба аэрофотосъемки и фотограмметрического метода сгущения.

Плановые, высотные и совмещенные планово-высотные опознаки проектируют в середине поперечного перекрытия аэрофотоснимков так, чтобы каждый опознак был расположен на наибольшем числе аэрофотоснимков из обоих маршрутов. Если на местности нет в нужных местах контуров, опознаваемых на аэрофотоснимках, то применяют маркирование опорных точек. В этом случае опорные точки обозначают на поверхности земли различными геометрическими фигурами, чтобы их легко можно было распознать на аэрофотоснимках. Маркирование опорных точек выполняется до аэрофотосъемки.

Основные методы плановой привязки аэрофотоснимков— прямые, обратные и комбинированные засечки, причем количество направлений должно обеспечивать получение не менее двух независимых решений. Так, прямую засечку выполняют не менее чем с трех геодезических пунктов, обратную — не менее чем с четырех геодезических пунктов. Для привязки можно использовать и полярный способ, метод триангуляции, в залесенной местности — теодолитные ходы.

Высоты опознаков при съемке с сечением 0,5 и 0,1 м определяют геометрическим нивелированием, при съемке с сечением 2,5 и 5,0 м допускается применение тригонометрического нивелирования. При выполнении высотной привязки опознаков определяют также отметки урезов воды в реках и водоемах.

11.4. Фотограмметрическое сгущение опорной сети и трансформирование аэрофотоснимков

Камеральный метод сгущения опорной сети при помощи аэрофотоснимков, называется фототриангуляцией. Она может выполняться различ-

ными способами в зависимости от принятого метода создания топографических карт. При создании карт выполняется плановая, высотная и пространственная фототриангуляция, в результате которой определяется положение трансформационных точек, необходимых для трансформирования аэрофотоснимков и создания по аэрофотоснимкам фотопланов.

Для того чтобы использовать плановые аэрофотоснимки для создания топографических карт, необходимо устранить на аэрофотоснимках искажения точек, вызванные углом наклона оптической оси, т. е. преобразовать наклонные аэрофотоснимки в горизонтальные. Одним из способов устранения искажений планового аэрофотоснимка является трансформирование аэрофотоснимков. Задача трансформирования — исключить влияние угла наклона аэрофотоснимка и привести все снимки к масштабу составляемого плана. Трансформирование аэрофотоснимков может выполняться различными способами: графическим, фотомеханическим и оптико-графическим, аналитическим.

Графическое трансформирование не требует применения сложных приборов, поэтому оно применимо в экспедиционных условиях для решения некоторых задач по дополнению или обновлению мелкомасштабных топографических карт.

Фотомеханический способ трансформирования аэрофотоснимков получил наиболее широкое применение в аэрофотогеодезическом производстве. При фотомеханическом способе используют специальные приборы — фототрансформаторы, на которых трансформированное изображение аэрофотоснимка строится на фотобумаге. Трансформирование аэрофотоснимков заключается в том, что рабочими движениями прибора добиваются совмещения проекций трансформационных точек, наколотых на негативе, расположенном в кассете прибора, с этими же точками, нанесенными в заданном масштабе на планшет, помещенный на экране фототрансформатора.

Фотомеханический способ используют для создания фотопланов средних и крупных масштабов местности с небольшими превышениями рельефа, так как на трансформированном фотоснимке остаются искажения, возникающие из-за влияния рельефа местности. Для исключения влияния рельефа используют специальную технологию — трансформирование по зонам, позволяющую ослабить искажения из-за рельефа местности.

При оптико-механическом способе трансформирования используются фотограмметрические проекторы, с их помощью получают графический оригинал карты.

В последнее время применяется аналитический метод трансформирования аэрофотоснимков, при котором координаты точек, измеренные на снимках, преобразуют с помощью ЭВМ в координаты точек местности.

11.5. Монтаж фотопланов

Монтаж фотопланов заключается в последовательном соединении трансформированных аэрофотоснимков по трансформационным точкам на

одну общую основу в пределах трапеции соответствующего масштаба. Фотопланы монтируют на плотной основе (фанера или алюминий), на которой нанесены координатная сетка, рамка и все опорные точки. Трансформационные точки и центры аэрофотоснимков пробивают специальным прибором — пуансоном. Снимки укладывают помаршрутно на планшет, совмещая центры пробитых отверстий с соответствующими точками на планшете. Отклонения не должны превышать 0,4 мм. Одновременно проверяют сходимость контуров в зоне продольного перекрытия. Отклонения допускаются до 0,7 мм.

Смонтированные снимки прижимают грузиками и разрезают вдоль продольных и поперечных перекрытий. Затем снимки окончательно приклеивают на основу и выполняют графическое оформление фотоплана.

11.6. Дешифрирование аэрофотоснимков и фотопланов

Дешифрирование — это распознавание объектов местности на аэрофотоснимках, установление их качественных и количественных характеристик и обозначение объектов соответствующими условными знаками. В зависимости от назначения дешифрирование может быть топографическим, почвенным, сельскохозяйственным, лесным и т. д. Топографическое дешифрирование — наиболее универсальный вид дешифрирования, охватывающий гидрографическую сеть, растительность всех видов, населенные пункты, железные и автогужевые дороги, линии передач, границы и др. Дешифрирование может выполняться камеральным и полевым способом. При аэрофотосъемке в крупных масштабах большинство предметов и контуров местности могут быть выявлены по их изображению в камеральных условиях. Для правильного распознавания предметов используют их дешифровочные признаки, к которым относятся форма и размер объекта, тон и структура изображения, тень, отбрасываемая объектом. Это так называемые прямые дешифровочные признаки. Косвенные дешифрованные признаки основаны на многообразных взаимосвязях объектов. Частично эти признаки представляют собой зафиксированные на фотоснимках другие черты естественных и культурных ландшафтов, а частью вообще не связаны с изображением местности на аэрофотоснимках (объекты, замаскированные другими, объекты, находящиеся под землей, и объекты, проявляющиеся только в определенный сезон).

При камеральном дешифрировании для правильного распознавания объектов используют альбомы-эталонны дешифрирования, составленные из ряда типовых для данной местности аэрофотоснимков, на которых опознаны наиболее важные и характерные элементы ситуации. Сравнивая изображение объекта на аэрофотоснимке и эталоне, можно по аналогии опознать тот или иной объект.

При камеральном дешифрировании аэрофотоснимков используются стереоскопы — приборы, позволяющие по двум смежным перекрывающимся аэрофотоснимкам, получить объемную модель местности. Стереоскопы

скопическое рассматривание модели местности позволяет распознать дополнительные объекты местности, не опознанные на одиночных аэрофотоснимках.

Широкое распространение получил *складной зеркально-линзовый стереоскоп ЛЗ*, предназначенный для рисовки рельефа на аэрофотоснимках по известным высотным точкам, для дешифрирования аэрофотоснимков, составления проекта планово-высотной привязки аэрофотоснимков и т. д.

В стереоскопе имеются две пары параллельных зеркал, расположенных под углом 45° к плоскости снимков. Между зеркалами установлены сменные линзы, позволяющие изменять увеличение рассматриваемых аэрофотоснимков, а также рассматривать разномасштабные аэрофотоснимки.

Для получения стереоскопической модели местности аэрофотоснимки располагают на столе под большими зеркалами прибора таким образом, чтобы одноименные точки на смежных аэрофотоснимках лежали на линиях, параллельных зрительному базису (линии, соединяющей центры глаз наблюдателя), и передвигают их вдоль этого направления до получения отчетливого стереоэффекта (рис. 80).

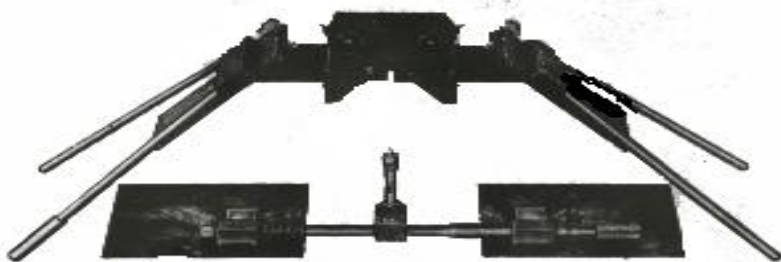


Рис. 80

Однако существуют предметы, которые трудно различить на аэрофотоснимке — небольшие мосты, дорожные трубы, колодцы и др. Кроме того, числовые характеристики, географические названия, административные границы и ряд других элементов карты вообще не могут быть изображены на аэрофотоснимках.

Поэтому камеральное топографическое дешифрирование дополняется полевым дешифрированием, в процессе которого фотографическое изображение аэрофотоснимка сопоставляется непосредственно с натурой. При полевом дешифрировании на местности проектируют маршруты дешифрирования таким образом, чтобы каждый маршрут охватил как можно

большую территорию. Маршруты должны проходить по таким местам, дешифрирование которых в натуре обеспечит камеральное распознавание контуров на всей остальной территории съемки и получение характеристик

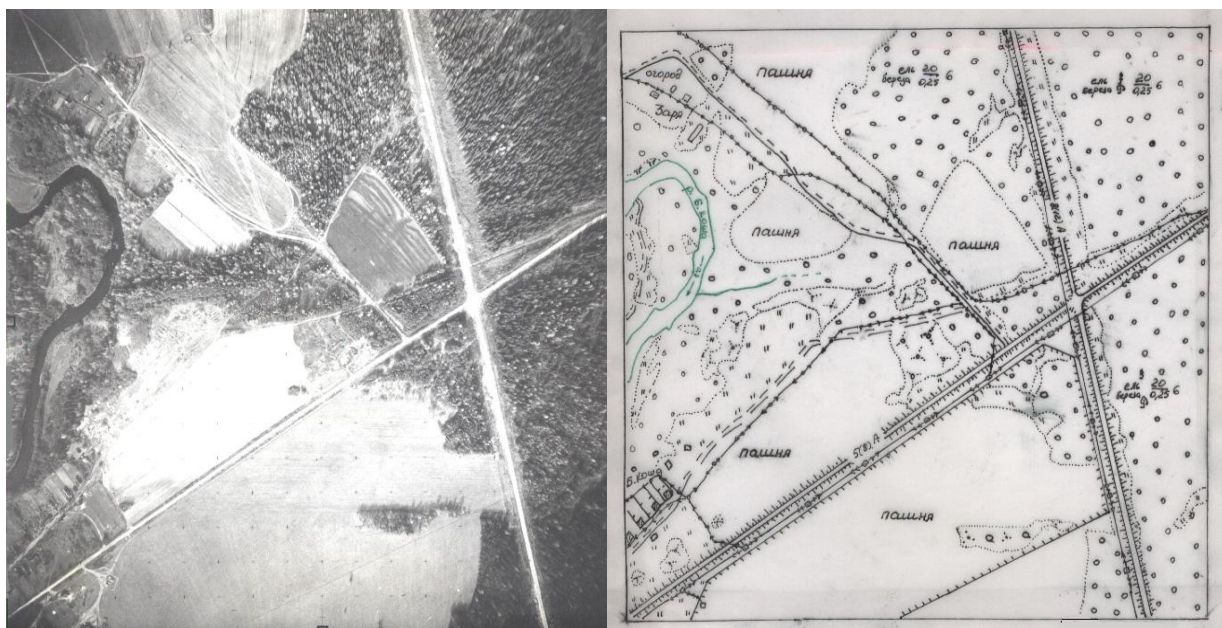


Рис. 81

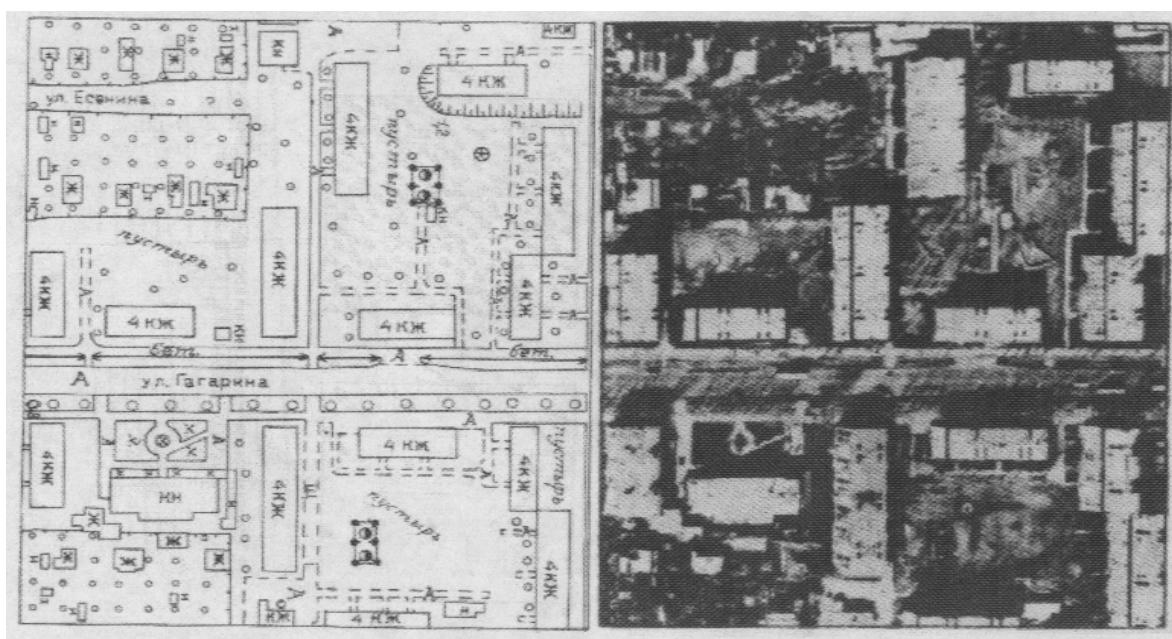


Рис. 82

объектов, не определяемых на приборах.

Дешифрирование по маршрутам выполняется в полосе средней ширины 250 м в лесах и от 500 до 1000 м — на открытом пространстве. Станции наблюдения и эталонные площадки выбирают в местах, наиболее типичных или сложных для дешифрирования данного ландшафта. В пределах каждой станции детально изучают все структуры изображения для установления взаимозависимости между топографическими объектами и изо-

бражением их на аэрофотоснимках (пример дешифрирования сельской местности масштаба 1:5000 см. на рис. 81, а города масштаба 1:2000 – на рис. 82).

За последние годы при маршрутном дешифрировании труднодоступных районов все большее применение получают аэровизуальные наблюдения с легких самолетов и вертолетов (АН-2, МИ-1).

11.7. Аэрофототопографическая съёмка местности

Аэрофототопографическая съёмка является основной съёмкой государственного картографирования больших территорий. В отличие от мензульной и наземной фототопографических съёмок она наиболее полно отвечает современным высоким требованиям, предъявляемым к картографированию больших территорий. Аэрофототопографическая съёмка кроме топографо-геодезического производства находит широкое применение при географических и гидрологических исследованиях, в геологии, при землеустроительных и лесоустроительных работах, в строительстве.

В комплекс работ, составляющих аэрофототопографическую съёмку, входят: аэрофотосъёмка, топографо-геодезические и фотограмметрические работы. Область знаний, изучающая способы определения размеров, формы и пространственное положение предмета по фотоснимкам, называется *фотограмметрией*. Фотограмметрические методы измерения фотоснимков являются теоретической основой фототопографии.

По методам получения и обработки снимков местности и по характеру создаваемой продукции различают следующие виды аэрофототопографических съёмок:

- 1) комбинированная съёмка;
- 2) стереотопографическая съёмка:
 - а) создание топографических карт дифференцированным методом;
 - б) создание топографических карт на универсальных приборах.

11.8. Комбинированная аэрофототопографическая съёмка местности

Комбинированная аэрофототопографическая съёмка представляет собой сочетание фотограмметрической обработки одиночного аэроснимка с мензульной съёмкой. Контурную часть карты получают по аэроснимкам путем создания топографического фотоплана, а изображение рельефа местности наносится на фотоплан в результате измерений на местности.

Комбинированная съёмка имеет значительное преимущество перед топографической съёмкой, так как большой объем работ выполняется в камеральных условиях, а остальная часть, приходящаяся на долю полевых работ, облегчается благодаря наличию фотоплана.

Комбинированный метод применяется для съёмки равнинных районов со слабо выраженным рельефом местности. При комбинированном методе съёмки контурную часть карты—фотоплан— получают в результате фотограмметрической обработки аэрофотоснимков. Наиболее трудоемкий процесс—съёмка рельефа—осуществляется обычными приемами мензульной

съемки, поэтому все недостатки мензульной съемки (ограниченность летнего периода в северных районах страны, сложность полевых топографо-геодезических работ в таежных и труднодоступных горных районах) и в данном методе имеют место, в силу чего комбинированный метод нашел применение в основном в районах с большим периодом полевых работ и в равнинных районах.

При комбинированном методе аэрофототопографической съемки полевые работы включают: создание высотного съемочного обоснования, съемку рельефа и дешифрирование фотопланов. Высотное съемочное обоснование необходимо для определения высот точек стояния мензулы путем проложения основных и съемочных высотных ходов. В зависимости от принятой высоты сечения рельефа отметки точек высотных ходов определяют техническим нивелированием, нивелированием горизонтальным лучом теодолита или кипрегеля и тригонометрическим нивелированием.

При съемке с сечением рельефа через 0,25; 0,5; 1 м основные высотные ходы нужно прокладывать техническим нивелированием и опираться на пункты государственной нивелирной сети I—IV классов. При сечении 0,25; 0,50; 1,0 м длины ходов не должны превышать соответственно 2, 8, 10 км. При съемке с сечением рельефа 2,5 и 5,0 м основные высотные ходы прокладывают тригонометрическим нивелированием при допустимой длине ходов 6 и 12 км. Допускается прокладывать основные высотные ходы в виде систем ходов, образующих узловые точки и замкнутые полигоны.

Высоты съемочных точек определяют проложением съемочных ходов между точками основных высотных ходов и пунктами государственной нивелирной сети. Предельные ошибки высот съемочных точек не должны превышать $1/5$ высоты сечения рельефа. Съёмку рельефа на фотопланах выполняют с помощью мензулы и кипрегеля. Ориентирование фотоплана на местности выполняют по хорошо опознаваемым контурным точкам.

Рельеф местности изображают на фотоплане горизонталями и условными знаками. Для этого определяют высоты пикетов, расположенных на характерных перегибах ската. Количество пикетов зависит от расчлененности рельефа и высоты сечения рельефа. Все горизонтالي проводят в поле, непосредственно на каждой съемочной точке, сравнивая нарисованный горизонталями рельеф с местностью.

В закрытой местности рельеф рисуют на отдельных аэрофотоснимках при стереоскопическом рассматривании модели местности. Для этого используют полевые стереоскопы— оптические приборы, позволяющие получить объемную модель местности. Стереоскопическое рассматривание аэрофотоснимков позволяет также составить проект планово-высотной привязки аэрофотоснимков и наметить план работ по съемке рельефа местности.

11.9. Стереотопографическая съёмка местности

Применение стереотопографической съёмки позволило существенным образом уменьшить объем полевых топографо-геодезических работ, ограничивая их задачами создания государственной геодезической сети, определения геодезических координат ограниченного числа опорных точек на каждом аэрофотоснимке и дешифрирования. При стереотопографической съёмке по сравнению с комбинированной большое число производственных процессов перенесено из полевых условий в камеральные. Это позволило значительно повысить эффективность топографо-геодезических работ.

Дальнейшие работы направлены на разработку способов фотограмметрического сгущения, при которых число опорных точек, определяемых в полевых условиях, можно уменьшить до минимума и работу выполнять с помощью современных высокоточных универсальных стереофотограмметрических приборов и ЭВМ. Поэтому стереотопографическая съёмка в настоящее время является основным методом при создании топографических карт средних и крупных масштабов (1:10000— 1:100000). Она находит все более широкое применение и при составлении топографических планов масштаба 1:5000 и др.

В основе стереотопографической съёмки лежит стереоскопическое зрение, т.е. способность глаза наблюдателя воспринимать объемную форму предметов и их пространственное положение. Это явление называется *естественным стереоэффектом*, а бинокулярное зрение (зрение двумя глазами), при котором ощущается стереоэффект, называется *стереоскопическим*.

Для получения объемной модели местности по аэрофотоснимкам используют стереопару аэрофотоснимков, т.е. два смежных перекрывающихся аэрофотоснимка, и специальные приборы, позволяющие выполнить разделение зрения. При рассматривании двух изображений одного и того же объекта в стереоскопических приборах левым глазом наблюдается левое изображение, правым — правое. Такое рассматривание двух перекрывающихся снимков позволяет получать пространственную (стереоскопическую) модель местности, а также измерять эту модель с высокой точностью.

Стереофотограмметрическую обработку аэрофотоснимков, т. е. измерение стереоскопической модели по аэрофотоснимкам, можно выполнять двумя методами — дифференцированным и универсальным.

11.10. Создание топографических карт дифференцированным методом

При дифференцированном методе стереотопографической съёмки составление планов расчленяется на ряд этапов — процессов, каждый из которых выполняется на отдельных приборах. К ним относятся определение элементов ориентирования, высот точек местности и рисовка рельефа, составление по аэрофотоснимкам плана. Технологическая схема основных

процессов при составлении топографических карт дифференцированным методом следующая: 1) аэрофотосъемка; 2) плановая и высотная привязка аэрофотоснимков, дешифрирование; 3) изготовление фотопланов; 4) стереоскопическая рисовка рельефа на топографических стереометрах; 5) перенос горизонталей и результатов дешифрирования со снимков на фотоплан. Выполнение аэросъемки, плановой и высотной привязки аэрофотоснимков, составление фотопланов выполняется так же, как и при комбинированной аэросъемке. Проектом выполнения плановой и высотной привязки так же, как и при комбинированной аэросъемке, должно быть предусмотрено определение планового положения и высот опознаков, расположенных по углам стереопары для последующей обработки снимков на стереофотограмметрических приборах. Составление высотной части карты—рисовка рельефа, определение высот отдельных точек переносится в камеральные условия и выполняется на специальных приборах. Предварительно необходимо определить значение элементов ориентирования аэрофотоснимков (элементы, определяющие положение аэрофотоснимков в пространстве в момент аэрофотосъемки) аналитическим путем на основе измеренных на стереокомпараторе координат ряда точек перекрывающихся аэрофотоснимков.

Основным прибором дифференцированного метода съемки является топографический стереометр Дробышева. После ориентирования аэрофотоснимков по высотным точкам стереометр используется для рисовки рельефа. Для этого рассчитывают значения разностей продольных параллаксов для всех горизонталей, попадающих на площадь данной стереопары.

Горизонталы рисуют с помощью нитей, натянутых над каждым аэрофотоснимком. Перемещая основную каретку стереометра по оси абсцисс, а наблюдательную систему по оси ординат, на правом аэрофотоснимке отмечают места касания нити поверхности модели и получают положение соответствующей горизонтали. Аналогично проводят все горизонталы для данной стереопары снимков, а также определяют отметки характерных точек рельефа местности.

При дифференцированном методе стереотопографической съемки заключительным этапом является создание рабочего оригинала карты по аэрофотоснимкам, на которых отдешифрированы контуры и нарисованы горизонталы. Создание оригинала карты осуществляется в двух вариантах — на фотоплане и чертежной бумаге. Первый вариант применяется при съемке равнинной местности с большим количеством контуров. При этом элементы дешифрирования и горизонталы с аэрофотоснимков на фотоплан переносятся по контурам визуально или с использованием стереоскопа.

Графический оригинал карты на холмистую и горную местность создается по отдельным аэрофотоснимкам при помощи оптического проектора. Для этого предварительно изготавливают уменьшенные диапозитивы с

аэрофотоснимков, на которых вычерчены горизонталы и контуры. Диапозитивы закладывают в проектор и проектирующиеся трансформационные точки совмещают с их положением на основе путем перемещения проектора по высоте, перемещения основы на экране и поворотов проектора на продольный и поперечный углы. Как только совмещение точек достигнуто, перерисовывают карандашом горизонталы и контуры на основу в пределах выбранной зоны. Переход в следующую зону осуществляется изменением высоты проектора (если смежная зона выше начальной, то проектор понижается и наоборот). Перерисовку контуров и горизонталей делают аналогично и в границах новой зоны, а затем вновь переходят в другие, смежные зоны. Закончив перенос горизонталей с одного аэрофотоснимка, приступают к трансформированию смежных фотоснимков и переносу с них контуров и горизонталей. В результате создается рабочий оригинал карты в пределах рамки трапеции, нанесенной на основу.

11.11. Создание топографических карт на универсальных приборах

Универсальный метод создания топографических карт отличается от комбинированного и дифференцированного сведением к минимуму объема полевых работ и большей точностью, так как основан на строгих геометрических связях. Все процессы по созданию карты выполняются на одном высокоточном универсальном приборе, поэтому и метод получил название универсального.

В отличие от комбинированного и дифференцированного методов, в которых измерения производятся непосредственно на аэрофотоснимках, в универсальном методе по аэрофотоснимкам восстанавливается пространственная модель сфотографированной местности, которая затем измеряется с высокой степенью точности.

Если участок местности сфотографировать из двух центров проекций, то каждая точка местности будет находиться как бы на пересечении двух проектирующих лучей, лежащих в одной плоскости, называемой базисной. (Любая плоскость, содержащая базис фотографирования, является базисной плоскостью.) Эту пространственную засечку с сфотографированных точек местности можно восстановить на универсальных приборах.

В две проектирующие камеры, аналогичные съемочным, универсального прибора закладывают стереопару аэрофотоснимков и освещают их. Тогда от каждой точки снимка через центр проекции пройдет световой проектирующий луч. Лучи, идущие от одноименных точек двух снимков, пересекаясь в пространстве, образуют точку геометрической модели местности. Изменяя положение проектирующих камер относительно пространственной системы координат прибора, аналогичной геодезической системе координат местности, можно придать им такое же положение, какое занимали съемочные камеры в момент фотографирования местности. Таким образом строится геометрическая модель на всей площади зоны двойного перекрытия аэрофотоснимков.

Для измерения модели в универсальном приборе имеется измерительная марка, перемещающаяся в пространстве модели вдоль координатных осей прибора, снабженных шкалами. Совместив измерительную марку с той или иной точкой геометрической модели, определяют по шкалам одновременно все три ее координаты X, Y, Z. Проектируя результаты измерений на экран прибора, получают план местности, который строится всегда в ортогональной проекции.

При универсальном методе съемки используются сложные приборы, на которых выполняются все процессы создания карт по аэроснимкам: взаимное ориентирование снимков, внешнее или геодезическое ориентирование, рисовка рельефа и контуров, а также фотограмметрическое сгущение опорной сети.

Учеными нашей страны разработана теория и созданы универсальные приборы, позволяющие обрабатывать аэроснимки с преобразованными связками проектирующих лучей. В этом случае фокусные расстояния проектирующих камер не идентичны аэрофотосъемочным и на них можно обрабатывать аэроснимки, полученные АФА с различными фокусными расстояниями (от 50 до 350 мм). При восстановлении модели местности по преобразованным связкам плановые координаты не изменяются, поэтому подобная и преобразованная модели имеют одинаковый горизонтальный масштаб.

Вертикальный масштаб модели $1/M_v$ и горизонтальный масштаб $1/M_g$ преобразованной модели не равны друг другу и связаны зависимостью $1/M_v = K(1/M_g)$, где K — коэффициент преобразования связок или коэффициент аффинности $K = 1, 2$.

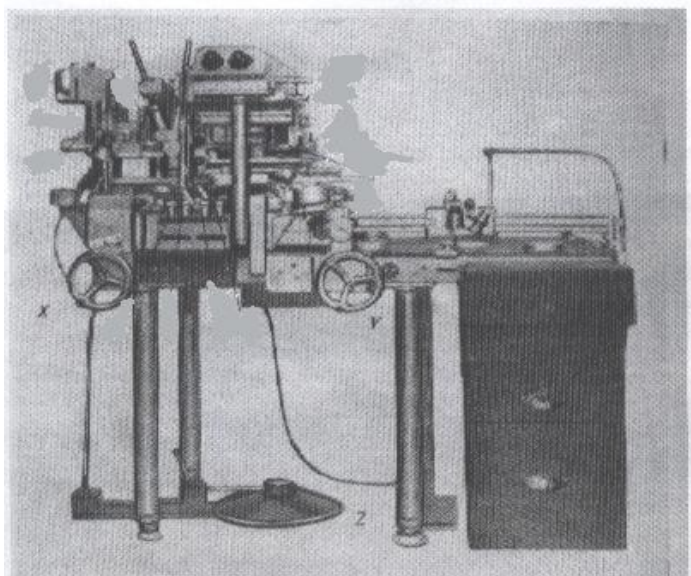


Рис. 83

Особенностью применяемых приборов с преобразованными связками проектирующих лучей является то, что результаты измерений наклонных снимков приводятся к горизонтальному случаю съемки, т.е. трансформируются с помощью специальных коррекционных устройств. К таким приборам относятся стереопроектор Романовского СПР и стереограф Дробышева СД (рис. 83). Эти приборы позволяют определять превышения точек стереомодели мест-

ности. Зная превышения точек стереомодели местности, можно зарисовать рельеф местности каждой стереопары. Результаты дешифрирования пере-

носятся на фотоплан с отдешифрованных аэрофотоснимков. Полученный составительский оригинал карты вычерчивается согласно условным знакам.

11.12. Методы автоматизации аэрофототопографической съёмки местности

В связи с большим объёмом аэрофотосъёмочной информации возникает проблема автоматизации процесса дешифрирования снимков. Это сложнейшая проблема, так как при автоматизации необходимо выделить и распознать объект среди массы других в том виде, в каком он получился на снимке. Вопросы автоматического дешифрирования аэроснимков находятся в стадии разработки, однако уже сейчас определены возможные направления в автоматизации дешифрирования. Такими направлениями являются: распознавание объектов по прямым дешифровочным признакам; фотометрический способ; спектрофотометрический метод.

Аналитическое распознавание объектов по прямым дешифровочным признакам позволяет осуществить фильтрацию избыточной информации с выделением лишь одного вида (или небольшого числа видов) объектов либо определенного характера участка местности. Работы в этом направлении позволили создать распознающие системы по форме объектов, получившие название «Перцептрон».

Распознавание объектов фотометрическим способом заключается в последовательном измерении оптической плотности объекта и сравнении с эталонным фотоизображением объекта. Для этого используются специальные приборы — микроденситометры, сопряженные с ЭВМ.

Спектрофотометрический способ автоматического распознавания объектов предполагает использование не только геометрических и фотометрических характеристик, но и спектрофотометрических, т. е. характеристик изображений, полученных в различных спектральных диапазонах.

Многие методы автоматизации дешифрирования аэроснимков используют или предполагают использование электронно-оптического сканирования изображения для преобразования информации в электрические сигналы, которые затем обрабатываются и анализируются на ЭВМ. В состав устройств, автоматизирующих нахождение объектов, входит коррелятор, осуществляющий сравнение двух изображений, представленных в виде электрического сигнала, и формирующий сигнал ошибки.

Наиболее рациональный метод автоматизации дешифрирования изображений основан на машинных методах обработки изображений. С помощью ЭВМ могут быть выполнены следующие операции: каталогизация, хранение и поиск изображений по заданным координатам; геометрическая и яркостная коррекция; трансформирование и привязка; совмещение изображений одних и тех же участков, полученных в различных спектральных диапазонах; тематическое дешифрирование; преобразование изображений к виду, удобному для интерпретации.

Развитие электронно-вычислительной техники и аналитических методов обработки информации вызвало появление цифровых методов моделирования картографирования территории.

Цифровая модель местности (ЦММ) представляет собой разностороннюю информацию о местности, выраженную в цифровой форме и позволяющую автоматизировать технологический процесс составления топографических карт.

Цифровая модель местности включает весь комплекс взаимосвязанных цифровых моделей рельефа, гидрографической сети, населенных пунктов, контуров и др.

В качестве исходных данных для ввода в ЭВМ используется информация, получаемая при обработке аэроснимков. В зависимости от целей создания ЦММ и наличия стереофотограмметрического оборудования возможны две основные технологические схемы. Первая базируется на аналого-аналитической обработке с помощью универсальных приборов, снабженных устройствами для автоматизированной регистрации цифровых данных. На основе предварительного проекта работ оператор в процессе обработки каждой из моделей регистрирует кодовую и цифровую информацию в намеченных на проекте структурных линиях и характерных точках рельефа модели. Цифровая информация, полученная в процессе такой обработки, вводится в ЭВМ. Один из приборов, предназначенных для получения ЦММ— стереоанаграф (рис. 84).

При аналитической обработке аэрофотоснимков измерение снимков выполняют на автоматизированных стереокомпараторах и используют вычислительные комплексы, оснащенные дисплеями для корректировки полученной информации. По этим данным ЭВМ вычисляет координаты точек горизонталей и выдает на АК данные для последующего воспроизведения рельефа местности горизонталями.

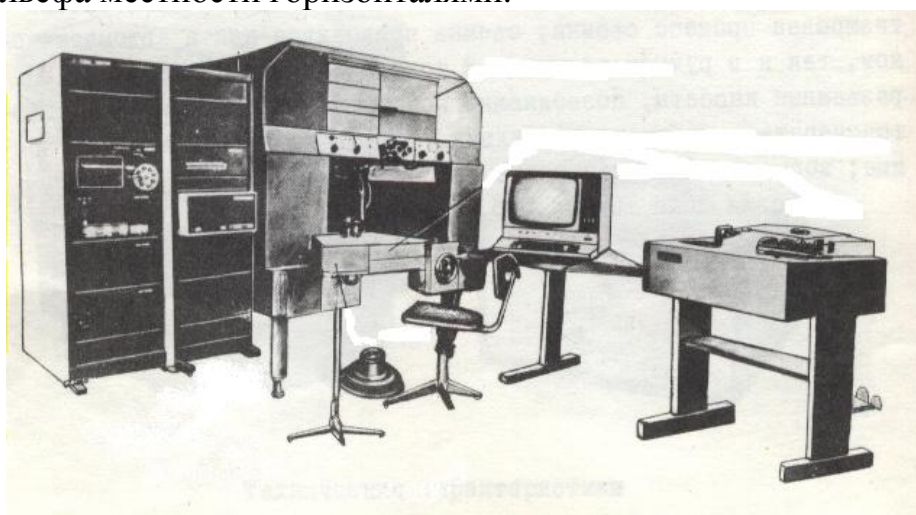


Рис. 84

11.13. Применение космической съёмки

Главная задача космических исследований заключается во всестороннем изучении и исследовании Земли — ее природных ресурсов, динамики природных явлений, охраны окружающей среды, изучении и освоении ближайших планет и исследовании космического пространства.

В настоящее время материалы космических исследований широко используются в астрономии, геодезии, геологии, метеорологии, океанологии, географии и других науках о Земле. Многие из наук обогатились новыми методами и достижениями, что привело к появлению таких научных направлений в изучении Земли, как космическая геодезия, космическая картография и др.

Использование результатов космической съемки для создания карт обуславливается прежде всего свойствами космических снимков: большой территориальной охват и связанная с этим «генерализованность» изображений; единовременность выполнения съемки обширных территорий, позволяющая изучать связь всех компонентов ландшафта; регулярная повторяемость съемки, позволяющая изучать динамику природных явлений. Исходя из этого можно выделить следующие направления применения космической съемки для создания карт.

1. Использование космических снимков для создания топографических и общегеографических карт. Космические снимки могут быть использованы для создания топографических карт на малоисследованные районы, не обеспеченные аэрофотосъемкой. В этом случае космические снимки рассматриваются как материал, заменяющий аэрофотоснимки, что позволит создать «первичные» топографические карты, которые впоследствии, при проведении дополнительных исследований, могут заменяться традиционными топографическими картами.

Одной из особенностей космической съемки является возможность обновления топографических карт на районы, интенсивно осваиваемые человеком. Выполнение космической съемки в широком диапазоне масштабов дает возможность вести обновление карт мелких и средних масштабов непосредственно по фотоснимкам, не дожидаясь обновления крупномасштабных карт, с выигрышем как в оперативности проведения работ, так и в полноте и современности информации. При этом космические снимки позволяют решать несколько задач.

2. Установление оптимальной очередности обновления карт на различные районы с учетом степени преобразования местности и перспектив хозяйственного использования территории. По снимкам выявляется степень старения карт и определяются трапеции для полного обновления или внесения исправлений в существующий оригинал карты камеральным путем. Открывается также возможность обновления карт одновременно всего масштабного ряда или в той последовательности, в которой они ис-

пользуются для решения народнохозяйственных задач, т.е. от мелких и средних масштабов к более крупным.

3. Использование космических снимков для создания фотокарт. Фотокарты — новый вид картографических документов, на основе которых можно составлять взаимно связанные серии тематических карт. Фотокарты в масштабах 1:1000000 и крупнее могут дополнять листы обзорно-топографических карт. Их графическая нагрузка в виде подписей названий населенных пунктов и орографии, координатной сетки и зарамочного оформления — минимальна. Фотокарты, входящие в серии тематических карт, могут быть дополнены графической и фоновой информацией. Фотокарты можно использовать как самостоятельное картографическое произведение, но наиболее целесообразно применять их совместно с топографическим планом.

Глава 12. НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МЕСТНОСТИ

12.1. Глобальные системы определения местоположения ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS

Развитие науки и техники позволило создать принципиально новый метод определения координат и приращений координат — *спутниковый*. В этом методе вместо привычных геодезистам неподвижных пунктов геодезической сети с известными координатами используются подвижные спутники, координаты которых можно вычислить на любой интересующий геодезиста момент времени.

Спутниковые Навигационные Системы (СНС) — специальный комплекс космических и наземных технических средств, программного обеспечения и технологий, предназначенных для решения широкого круга актуальных задач, связанных прежде всего с оперативным и точным определением местоположения относительно Земного сфероида человека, транспортных средств, технических систем и объектов при решении навигационных, оборонных, инженерно-геодезических, геолого-разведочных, экологических и других задач.

В настоящее время используются две спутниковые системы определения координат: российская система ГЛОНАСС (это аббревиатура более длинного и точного названия: ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) и американская система NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System — навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования). В данном случае под словом «позиционирование» подразумевается определение координат. Обе системы создавались для решения военных задач, но в последние годы нашли широкое применение в геодезии. Они обеспечивают исключительно высокие точности определения приращений координат со средней квадратической погрешностью $5 \text{ мм} + D10^{-6}$, координаты одиноч-

ного приемника могут быть определены со средней квадратической погрешностью от 10 до 100 м.

Современные системы NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС в полной комплектации состоят из 21 действующего спутника и трех запасных. Орбиты спутников практически круговые, расположены в трех орбитальных плоскостях (ГЛОНАСС) и в шести орбитальных плоскостях (NAVSTAR GPS). Спутники оснащены солнечными батареями, которые обеспечивают энергией все системы, в том числе и во время прохождения спутника в тени Земли. Орбиты спутников расположены на геодезической высоте, равной 20180 км, и на расстоянии 26600 км от центра Земли.

Станции слежения принимают все сигналы с проходящих над ними спутников, вычисляют расстояния до спутников, измеряют местные метеорологические параметры и передают информацию на главную станцию контроля. На главной станции контроля обрабатывают всю поступающую информацию, вычисляют и прогнозируют эфемериды и поправки в часы спутников, формируют навигационные сообщения. Наземные антенны передают на спутник навигационное сообщение, сформированное на главной станции слежения. Наземные передающие антенны расположены так, что каждый спутник ежедневно имеет по крайней мере три сеанса связи с системой слежения. Основное назначение системы GPS — военное. Для исключения несанкционированного использования системы в эфемериды спутников умышленно вносятся искажения, а также искажаются показания часов спутников и несущая частота [так называемый режим Selective Availability (SA)]. Исключить эти искажения может лишь приемник, имеющий доступ к P-коду (только военный приемник). В этом случае предельная погрешность определения абсолютных координат составляет 10...20 м. В настоящее время режим SA выключен. Обычный приемник, работающий лишь по C/A коду, может определить абсолютные координаты с предельной погрешностью 150...200 м. В систему ГЛОНАСС искажения не вносятся, и любой пользователь может определить координаты своего местоположения с предельной ошибкой 20 м.

Приведем некоторые возможные классификации современных приемников. Приемники, способные принимать:

C/A код;

C/A код + фазовые измерения на частоте L_1 ;

C/A код + фазовые измерения на частотах L_1 и L_2 ;

C/A код + P-код + фазовые измерения на частотах L_1 и L_2 .

В геодезии широкое применение нашли приемники, занимающие 2-ю и 3-ю позиции в приведенной выше классификации.

В геодезических работах в основном используют приемники, способные производить фазовые измерения на частоте L_1 или двух частотах L_1 и L_2 . Однако для определения поправок в часы приемника и обеспечения синхронной работы нескольких одновременно работающих приемников параллельно с

фазовыми измерениями производят кодовые измерения с использованием С/А кода. По кодовым измерениям микропроцессор приемника автоматически вычисляет поправку и корректирует часы приемника с точностью $1 \text{ мс} = 0,001 \text{ с}$. Следовательно, несинхронность работы приемников, производящих измерения на различных пунктах, не превышает 2 мс.

12.2. Режимы наблюдений

Режимы наблюдений спутниковыми приемниками подразделяют на абсолютные и относительные. При абсолютных наблюдениях, используя кодовые измерения, определяют координаты пунктов, а при относительных — приращения координат (иногда их называют вектором базы между пунктами). В геодезической практике часто используются относительные измерения как наиболее точные. Существуют несколько режимов относительных наблюдений, которые, в свою очередь, подразделяются на две группы: статические и кинематические. **При любом режиме относительных измерений один из приемников находится на пункте с известными координатами, а другие — на определяемых пунктах.**

Статика. Статический режим наблюдений как наиболее точный является основным методом при создании сетей, однако он требует наибольших временных затрат. Время измерения одного пункта колеблется от 40 мин до нескольких часов (в зависимости от требуемой точности измерений, числа и расположения наблюдаемых спутников, состояния ионосферы и т.п.).

Быстрая статика. Быстрая статика — это разновидность статического режима измерений, при котором время наблюдений может быть сокращено до 10—15 мин. Информацию о необходимом времени наблюдений оператор получает от приемника, когда получен достаточный объем информации. Чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов наблюдений, практикуют возврат приемника на ранее определенный пункт или меняют местами антенны.

Кинематика. При кинематическом режиме измерений передвижной приемник, который иногда называют *роверным* (от англ. *rover* — скиталец), устанавливают в определенных пунктах на короткое время. Такой метод называют «stop and go» («стой и иди»). Кинематический режим измерений начинают с инициализации, т.е. с начальных измерений, при которых выполняется решение неоднозначности.

Для инициализации оба приемника устанавливают в нескольких метрах друг от друга, и время измерений составляет примерно 15 мин; если роверный приемник устанавливают вдалеке от опорного, то время инициализации увеличивается и может достигнуть 1 ч.

После завершения инициализации роверный приемник переключают в режим кинематики и перемещают к следующему определяемому пункту. При перемещении роверный приемник должен оставаться в рабочем режиме и обеспечивать прием сигналов от не менее четырех одних и тех же спутников. На крытой местности и особенно под мостами могут возникать срывы

непрерывных измерений, о чем приемник информирует наблюдателя звуковым сигналом и записью на дисплее. В таком случае необходимо вернуться на один из ранее определенных пунктов или перейти в режим статики и повторить инициализацию приемников. При установке роверного приемника на определяемом пункте оператор записывает его название (или номер), определяет высоту приемника над пунктом и вводит эти данные в приемник.

Кинематика «в полете» (on the fly — OTF). Кинематика «в полете» — это разновидность кинематического режима наблюдений без инициализации приемников. Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время непрерывного приема достаточного числа спутников составляет не менее 20 мин. За это время накапливается достаточное количество информации для успешного разрешения неоднозначности.

Кинематика в реальном времени. При необходимости выполнить обработку результатов наблюдений на роверном приемнике одновременно с измерениями используют режим «кинематика в реальном времени» (Real Time Kinematics — RTK). С этой целью на опорном приемнике устанавливают радиомодем, который обеспечивает дополнительную цифровую радиосвязь с роверными приемниками, снабженными также приемными радиомодемами. На опорном приемнике вычисляют необходимые поправки в результаты измерений и передают на роверные приемники, на которых осуществляется обработка результатов фазовых измерений с учетом принятых поправок. Время получения приращений координат занимает несколько секунд.

12.3. Приёмники GPS

Все получившие распространение в практике производства инженерных работ приемники можно условно разделить на следующие группы.

Одноканальные приемники, наиболее экономичные и дешевые, используют в тех случаях, когда не требуется вести измерения «в режиме реального времени», т. е. непрерывно, и не требуется измерения скорости объекта, на котором установлен приемник. Прежде чем вычислить координаты местоположения, одноканальный приемник должен выполнить последовательно четыре отдельных измерения до четырех различных спутников. Вся операция по определению координат одной точки может занимать от 2 до 30 с, что во многих случаях может оказаться вполне приемлемым. Тем не менее одноканальным приемникам свойственны некоторые недостатки:

1) с помощью такого приемника нельзя производить измерения с подвижного объекта (например, с автомобиля при кинематической съемке плана и продольного профиля автомобильной дороги);

2) в ходе каждого цикла из четырех измерений приемник должен оставаться неподвижным;

3) работа одноканальных приемников по определению координат прерывается в моменты, когда навигационные спутники передают свои информационные сообщения, прием и расшифровка каждого из которых занимает около 30 с.

Двухканальные приемники работают по следующему принципу. Когда один канал приемника производит обработку результатов временных измерений до одного спутника, другой канал устанавливает радиокontakt с очередным спутником для проведения измерений. Закончив цикл частичной обработки данных, первый канал мгновенно переключается на измерения до очередного спутника без потери времени на его «захват» и «прослушивание». Тем временем второй канал, называемый *административным*, обращается к следующему спутнику и т. д. Административный канал используется для приема информационных сообщений спутников без прерывания процесса определения координат местоположения и может быть использован для обработки временных измерений. Кроме того, современные двухканальные приемники программируются для слежения за более чем четырьмя спутниками и в тех случаях, когда за одним из рабочих спутников оказывается потерян контроль, мгновенно используется другой спутник, без перерыва процесса определения координат. Все это существенно ускоряет работу приемников.

Многоканальные приемники (непрерывного слежения) одновременно отслеживают четыре и более спутников. Многоканальные приемники, используемые при производстве инженерно-геодезических работ, могут иметь 4, 6, 8, 10, 12 и даже 24 канала слежения. Кроме очевидного преимущества — непрерывного определения координат в режиме реального времени, скорости и траектории движения, многоканальные приемники могут обрабатывать сигналы всех спутников рабочего созвездия, видимых в настоящий момент на небосклоне, а некоторые приемники — одновременно и спутников разных орбитальных систем — NAVSTAR (США) и ГЛОНАСС (Россия).

Одночастотные и двухчастотные приемники. Кроме приемников (одно/двухканальных и многоканальных), работающих на одной частоте радиоволн, в практике инженерно-геодезических работ используют и многоканальные двухчастотные приемники, работающие с использованием кодов на двух частотах. Приемники такого уровня обеспечивают более точное определение координат точек местности, а также быструю инициализацию (присваивание начальных значений) приемника, что особенно актуально в местах, где могут часто блокироваться сигналы спутников.

По точности определения координат и назначению различают приемники следующих классов:

- *навигационного класса* с точностью определения координат 150—200 м;

- *класса картографии и ГИС* с точностью определения координат 1—5 м;

- *геодезического класса* с точностью определения координат до 1 см.

Приемники навигационного класса точности призваны решать главным образом навигационные задачи на транспорте, в народном хозяйстве (например, при поиске полезных ископаемых и т.д.) и на отдыхе.

Приемники класса точности картографии и ГИС доступны проектно-изыскательским и строительным организациям. Точность приемников класса картографии и ГИС может быть существенно повышена при базовом варианте их использования в случае применения базовых станций, и они могут быть использованы при решении большинства инженерно-геодезических задач, включая задачи, решаемые в режиме реального времени (например, съемка плана и продольного профиля существующей автомобильной дороги с движущегося автомобиля).

Приемники геодезического класса точности в автономном режиме работы обеспечивают определение координат точек местности с точностью до 1—3 см в кинематическом режиме и до 1 см при статических измерениях, поэтому они применимы для решения практически любых инженерно-геодезических задач.

При огромном многообразии приемников GPS, обеспечивающих выполнение инженерно-геодезических задач на изысканиях и в строительстве, нужно стремиться приобретать приемники и геодезические системы, работающие не только с орбитальным комплексом США NAVSTAR, а прежде всего с отечественной навигационной системой ГЛОНАСС.

12.4. Организация геодезических работ с использованием базовых станций DGPS

Использование GPS-приемников класса точности определения координат картографии и ГИС, дающих ошибки до нескольких метров, оказывается возможным и для измерений геодезического класса точности (до 1 см), если использовать методику дифференциального (относительного) позиционирования в режиме работы с базовыми станциями, получившими название Differential GPS — DGPS.

Технология дифференциального позиционирования основана на том, что ошибки определения абсолютных координат разными приемниками одних и тех же марок в пределах одного локального участка местности практически одинаковы. Если установить DGPS-приемник (базовую станцию) в точке с точно известными координатами, можно определять разницу между эталонными и GPS-координатами и ретранслировать поправки по радиоканалам на другие (ведомые) GPS-приемники.

Базовую DGPS-станцию устанавливают на точке с точно известными высотой и плановыми координатами (например, на пункте государственной геодезической сети) либо на пункте, специально созданном в любом

удобном месте и привязанном традиционными методами наземной геодезии к пунктам государственной геодезической сети.

Сверхточные измерения с использованием приемников относительно невысокой точности сводятся к непрерывному сбору данных в течение некоторого отрезка времени при неподвижном приемнике и точном знании координат некоторой «опорной» точки, в которой установлена DGPS-станция. Современные GPS-приемники геодезического класса и даже класса картографии и ГИС уже позволяют выполнять съемочные работы в режиме «кинематической съемки», т. е. в режиме перемещения реечников от точки к точке, в каждой из которых координаты мгновенно регистрируются геодезистом на магнитных носителях простым нажатием кнопки. То же самое можно делать и при выполнении съемки в реальном масштабе времени плана и профиля существующих автомобильных дорог при их реконструкции с движущегося автомобиля при скорости до 30 км/ч.

Высокую точность определения координат точек местности при использовании базовых DGPS-станций можно обеспечить приемниками умеренной точности, находящимися на расстоянии в пределах до 10 км от базовой DGPS-станции. Корректирующий сигнал автоматически устраняет все возможные ошибки системы, независимо от того, связаны ли они с неточностью хода часов, ошибками эфемерид или ионосферными и тропосферными задержками радиосигналов. Именно по этой причине в качестве ведомых могут использоваться не только двухчастотные, но и одночастотные приемники.

Работу с базовыми опорными DGPS-станциями организуют двумя способами.

В первом способе с опорной станции по телеметрическим каналам ведомым приемникам передаются сообщения об ошибках, а затем их компьютеры обрабатывают эти сообщения совместно с собственными данными о местоположении, определенном по спутниковым сигналам.

Во втором способе базовая DGPS-станция работает в режиме «псевдоспутника». Станция передает сигналы той же структуры, что и спутники, т.е. содержащие псевдослучайные коды и информационные сообщения. Ведомые приемники обрабатывают сигналы базовой станции в одном из своих неиспользованных каналов, т.е. получают данные коррекции тем же путем, что и данные об эфемериде от навигационных спутников орбитального комплекса.

12.5. Наземно-космические топографические съемки местности

Наземно-космические топографические съемки местности с использованием технических средств и технологий спутниковых навигационных систем NAVSTAR (США) и отечественной ГЛОНАСС производят в системе координат 1942 г. (с эллипсоидом Ф.Н.Красовского в качестве поверхности относимости и прямоугольной проекции Гаусса—Крюгера). Высоты точек местности определяются в Балтийской системе высот 1971 г.

Топографическая съемка местности с использованием GPS-систем уровня точности картографии и ГИС типа Pathfinder Pro XL может осуществляться по нескольким технологическим схемам.

Топографическая съемка открытой местности. Планово-высотное обоснование этой съемки заключается в установке дифференциальной базовой DGPS-станции на одном из пунктов государственной геодезической сети либо на специальном пункте сети сгущения, размещаемом на возвышенном месте с привязкой его к пунктам государственной геодезической сети традиционными методами наземной геодезии.

Базовая DGPS-станция обеспечивает ретрансляцию поправок к собственным измерениям координат переносными GPS-приемниками по псевдодальностям до рабочего созвездия спутников. Съемкой охватывается участок местности в радиусе до 10 км с субдециметровой точностью, достаточной для подготовки крупномасштабных планов инженерного назначения и цифровых моделей местности ЦММ. Число речников ограничивается только количеством имеющихся в наличии у организации, производящей работы GPS-приемников. Съёмочные работы можно производить практически при любых погодных условиях: в туман, дождь, при снегопаде, сильной запыленности и в темное время суток.

Для обеспечения работы по производству топографических съемок в реальном масштабе времени (т.е. в движении) необходимо перед началом съёмочных работ произвести инициализацию (присвоение начальных значений) переносных GPS-приемников, которую осуществляют с помощью контроллера, где, кроме того, выбирают единицы измерений и системы координат, в которых предполагается выполнение топографической съемки.

Речники перемещаются по заранее намеченным маршрутам, фиксируя как при обычной тахеометрической съемке все характерные точки местности (переломные точки рельефа, ситуационные и другие характерные точки местности). Координаты точек местности, появляющиеся на дисплее контроллера, записываются на магнитные носители информации.

Получение информации о местности в цифровом виде на магнитных носителях обеспечивает возможность проведения постизмерений в камеральных условиях для уточнения полученных результатов и последующую автоматизированную подготовку топографических планов на плоттерах и ЦММ для автоматизированного проектирования.

Схему *опережающего создания съёмочных геодезических сетей* используют при производстве топографических съемок в закрытой местности, где необходима рубка визирок и просек, установка и закрепление точек съёмочного планово-высотного обоснования. Дальнейшая топографическая съемка в лесу может осуществляться комбинированным способом, т.е. с использованием традиционных методов и схем наземной тахеомет-

рии и методами GPS-съемки с использованием GPS-систем, типа Pathfinder Pro XL, обеспечивающих работу под кронами деревьев.

Схему *постизмерений* применяют по окончании полевых работ, для чего информацию с подвижных GPS-приемников и базовых DGPS-станций заносят в память компьютера и с использованием специального программного обеспечения добиваются повышения точности спутникового позиционирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом изучения топографии является поверхность Земли, характер, размеры, пространственное размещение составляющих ее элементов. Цель топографического изучения — создание плоской образно-знаковой модели поверхности Земли в виде топографической карты или плана. Метод изучения земной поверхности — топографическая съемка.

Чтобы достоверно изобразить земную поверхность на карте, необходимо знать фигуру и размеры Земли; установить систему координат, определяющую взаимное положение точек на картографируемой поверхности; необходимую степень уменьшения земного эллипсоида для его изображения на карте и способ проектирования его поверхности на плоскость; знать отличительные особенности, размеры и взаимное размещение составляющих поверхность элементов; определить систему условных знаков и правила графического представления элементов земной поверхности.

Топографическая карта — подробное изображение отдельных участков земной поверхности (местности). С ее помощью получают достаточно полное представление о характере местности, имеющих на ней объектах, их качественных и количественных различиях. Принятая система условных знаков позволяет устанавливать однозначную связь между объектами местности и их изображением на карте. Благодаря этому топографическая карта используется для ориентирования на местности, нанесения на карту новых объектов, данные о которых получены во время полевых географических исследований, а также определения местоположения на местности запроектированных по карте объектов и др. Топографическая карта — основа для создания тематических карт.

Каждый лист топографической карты — изображение относительно небольшого участка земной поверхности, в пределах которого поверхность земного эллипсоида близка к плоскости. Искажения, неизбежно возникающие при изображении сферической поверхности на плоскости, практически неощутимы, поэтому топографические карты пригодны для проведения по ним измерений с наиболее высокой точностью в сравнении с другими картами. Однако даже на самых подробных картах вследствие генерализации отсутствуют некоторые объекты местности (элементы ситуации). Объекты, имеющиеся на карте, передаются с определенной

степенью обобщения контуров, их очертания лишены части деталей; размеры отдельных объектов преувеличены, а их изображение сдвинуто относительно действительного положения для сохранения географического соответствия. Это необходимо учитывать при работе с картой.

Точность измерений по карте зависит от применяемых приборов и способа проведения работы. Их выбор определяется требованиями конкретного исследования. Процесс измерений по карте и на местности неизбежно сопровождается погрешностями получаемых результатов. Величина погрешностей оценивается с помощью математического аппарата.

Размеры составляющих земную поверхность элементов, их пространственное размещение, отличительные свойства, т.е. данные, необходимые для изображения этих элементов на карте, устанавливаются в результате измерений, выполняемых непосредственно на местности или на фотоснимках (воздушных или наземных).

Измерительные работы делятся на линейные и угловые. Для их выполнения применяются приборы разной точности. Горизонтальные линейные измерения на местности выполняются мерными лентами, рулетками, нитяными дальномерами. Эти работы требуют значительных затрат ручного труда. Совершенствованию методики измерений, повышению их точности, созданию условий для автоматизации работ способствует применение свето- и радиодальномеров. Измерения для определения превышений между точками местности производятся с помощью нивелиров. Современные нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования, высокой степенью автоматизации измерений на основе лазерной техники ускоряют проведение работ. Для высокоточных измерений используются специализированные теодолиты. Новые приборы, разработанные на основе микропроцессорной техники и квантовой электроники, обеспечивают высокую точность измерений и повышают производительность труда.

Необходимые измерительные работы при создании топографических карт по фотоснимкам проводятся с помощью специальных приборов (стереометров, стереопроекторов, стереографов и др.).

Линейные и угловые измерения составляют основу топографических съемок. Топографическая съемка включает создание геометрической основы и собственно съемочные работы. Геометрическую основу (геодезическую опорную сеть) топографических карт и планов создают с целью определения взаимного пространственного положения системы опорных точек, служащих геометрическими узлами топографической съемки. Один из принципов проведения съемочных работ—контроль правильности их выполнения на всех этапах, предусмотренных технологической схемой.

Из наземных видов топографической съемки наиболее часто применяется тахеометрическая съемка, так как она дает возможность сравнительно быстро выполнить необходимые полевые работы. План местности составляется в камеральных условиях. В отличие от тахеометрической

мензуральная съемка позволяет составлять план местности непосредственно на месте полевых работ; ее достоинством является наглядность: в процессе съемки местность и план постоянно сравниваются, что особенно важно в сложной местности. Мензуральная съемка обеспечивает поэтому более точное построение плана местности, чем тахеометрическая. В настоящее время оба вида съемки применяются на относительно небольших участках, когда другие виды съемки (в том числе аэрофототопографическая) нецелесообразны. Для быстрого получения приближенного по точности плана местности в практике географических исследований находят применение буссольная и глазомерная съемки.

Фототопографическая съемка местности является основной съемкой больших территорий. Развитию этого вида работ по созданию топографических карт и планов способствует разработка автоматизированных методов дешифрирования фотоснимков, составления карт, построения профилей и др.

Наряду с аэрофототопографической и наземной фототопографической съемками все более широкое применение в топографии находят космические съемки. Они применяются для обновления топографических карт, создания фотокарт и других работ.

Большие задачи стоят перед топографо-геодезической службой страны. В их числе обеспечение топографо-геодезическими материалами проектирования и строительства промышленных и гражданских объектов, новых железнодорожных линий и автомобильных дорог и т.п. В ряду решаемых с их помощью задач — поиск и разведка полезных ископаемых, рациональное использование природных ресурсов и т.д. Топография и геодезия совместно с другими науками о Земле должны обеспечить широкое и эффективное использование дистанционных средств изучения поверхности Земли и ее недр.

Список рекомендуемой литературы

1. Ассур В.Л., Муравин М.М. Руководство по летней геодезической и топографической практике. М., 1983.
2. Ассур В.Л., Филатов А.М. Практикум по геодезии. М., 1985.
3. Божок А.П. и др. Топография с основами геодезии. М., 1986.
4. Господинов Г.В., Сорокин В.И. Топография. М., 1967.
5. Грюнберг Г.Ю. Картография с основами топографии. М., 1991.
6. Киселев М.И., Михелев Д.Ш. Основы геодезии. М., 2001.
7. Моргунов Н.Ф., Радионов В.И. Геодезия. М., 1978.
8. Неумывакин Ю.К., Смирнов А.С. Практикум по геодезии. М., 1985.
9. Неумывакин Ю.К., Халугин Е.И. и др. Геодезия. М., 1991.
10. Закатов П.С. и др. Инженерная геодезия. М., 1978.
11. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. М., 2004.
12. Хейфец Б.С., Данилевич Б.Б. Практикум по инженерной геодезии. М., 1979.
13. Поклад Г.Г. Геодезия. М., 1988.

14. Маслов А.В., Гордеев А.В., Александров Н.Н., Соберайский К.С., Батраков Ю.Г. Геодезия. М., 1972.
15. Шилов П.И., Фёдоров В.И. Инженерная геодезия и аэрогеодезия. М., 1971.
16. Берлянт А.М. Картоведение. М., 2003.
17. Верещака Т.В., Подобедов Н.С. Полевая картография. М., 1986.
18. Андреев Н. В. Основы топографии и картографии М., 1972.
19. Кислов В.В. Фотограмметрия.М., 1979.
20. Михелев Д.Ш., Киселев М.И., Ключин Е.Б., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. М., 2004.
21. Гаврилова И.И., Казиминова И.В. Практикум по топографии. Тверь, 2004. Ч. I.
22. Гаврилова И.И., Лазарев О.Е., Лазарева О.С. Практикум по топографии. Тверь, 2004. Ч. II.
23. Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съёмке и обновлении планов масштабов 1:2000, 1:5000. М., 1980.
24. Руководство по топографическим съёмкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (наземные съёмки). М., 1977.
25. Условные знаки, образцы шрифтов и сокращения для топографических карт масштабов 1:25000, 1:50000, 1:100 000. М., 1973.
26. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., 1989.
27. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., 1973.
28. Условные знаки для топографических карт масштабов 1:10 000. М., 1977.