

## 1. Предмет и задачи инженерной геодезии

Геодезия - наука, изучающая форму и размеры Земли, геодезические приборы, способы измерений и изображений земной поверхности на планах, картах, профилях и цифровых моделях местности. В современной геодезии находят применение новейшие измерительные средства, используют последние достижения в физике, механике, электронике, оптике, вычислительной технике. По разнообразию решаемых народнохозяйственных задач геодезия подразделяется на ряд самостоятельных дисциплин, каждая из которых имеет свой предмет изучения:

- высшая геодезия (гравиметрия, космическая геодезия, астрономическая геодезия) изучает форму и размеры Земли, занимается высокоточными измерениями с целью определения координат отдельных точек земной поверхности в единой государственной системе координат;

- топография и гидрография развивают методы съемки участков земной поверхности и изображения их на плоскости в виде карт, планов и профилей;

- фотограмметрия занимается обработкой фото-, аэрофото- и космических снимков для составления карт и планов;

- картография рассматривает методы составления и издания карт;

- маркшейдерия - область геодезии, обслуживающая горнодобывающую промышленность и строительство тоннелей;

- инженерная (прикладная) геодезия изучает методы геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных зданий и сооружений, а также рациональном использовании и охране природных ресурсов.

Задачами инженерной геодезии являются:

- 1) топографо-геодезические изыскания различных участков, площадок и трасс с целью составления планов и профилей;

- 2) инженерно-геодезическое проектирование - преобразование рельефа местности для инженерных целей, подготовка геодезических данных для строительных работ;

- 3) вынос проекта в натуру, детальная разбивка осей зданий и сооружений;

- 4) выверка конструкций и технологического оборудования в плане и по высоте, исполнительные съемки;

- 5) наблюдения за деформациями зданий и сооружений.

При топографо-геодезических изысканиях выполняют:

- а) измерение углов и расстояний на местности с помощью геодезических приборов (теодолитов, нивелиров, лент, рулеток и др.);

- б) вычислительную (камеральную) обработку результатов полевых измерений на ЭВМ;

в) графические построения планов, профилей, цифровых моделей местности (ЦММ).  
2. Системы координат, используемые в геодезии

Положение пунктов на физической поверхности Земли определяется в различных системах координат. Рассмотрим некоторые из них.

Географические координаты (долгота и широта) являются обобщенным понятием астрономических и геодезических координат и используются в случаях, когда нет необходимости учитывать разницу между названными координатами.

Астрономическую широту и долготу определяют с помощью специальных приборов относительно уровенной поверхности и направления

силы тяжести. При проецировании астрономических координат на поверхность земного референц-эллипсоида получают геодезическую широту и долготу.

Прямоугольные местные координаты являются производными от зональной системы координат Гаусса-Крюгера (см. п.7) и распространяются на небольшой по площади территории. Ось абсциссов совмещают с меридианом некоторой точки участка либо ориентируют параллельно основным осям инженерных сооружений.

Координатные четверти нумеруют по часовой стрелке и именуют по сторонам света: I-СВ, II-ЮВ, III-ЮЗ, IV-СЗ.

Полярная система координат определяет положение точки на плоскости полярным горизонтальным углом, отсчитываемым от некоторого начального направления, и горизонтальным положением.

Спутниковые системы определения координат (российская Глонасс и американская GPS), в состав которых входят: комплекс наземных станций автоматического наблюдения за спутниками, искусственные спутники Земли с радиусом орбит около 26 000 км и приемная аппаратура потребителей.

При функционировании системы пространственное положение спутников определяют с наземных станций наблюдений, равномерно расположенных по всему миру и имеющих определенные пространственные координаты. Все станции связаны с головной станцией управления высокоскоростными линиями передачи данных и уточнения параметров орбит спутников в единой системе координат.

Спутники передают периодически уточняемые эфемериды - набор координат, которые определяют положение спутников на орбите в различные моменты времени. Под влиянием гравитационного поля Земли и других факторов параметры исходных координат спутниковых систем изменяются и поэтому постоянно уточняются. В настоящее время точность "бортовых эфемерид", которые получают путем экстраполяции уточненной орбиты на несколько дней вперед, составляет 20-100 м, а при использовании специальных методов обработки - около 1 м.

При эксплуатации системы GPS определение местоположения предусмотрено в Мировой системе координат 1984 г (WGS-84). Начало координат в этой системе находится в центре масс Земли, ось Z параллельна направлению на условный земной полюс, ось X определяется плоскостями начального меридиана WGS-84 и экватора. Начальный меридиан WGS-84 параллелен нулевому меридиану, закрепленному координатами станций наблюдений. Ось Y дополняет систему координат до правой.

Начало и положение осей координат системы WGS-84 совпадают с геометрическим центром и осями общеземного эллипсоида WGS-84.

В России создана геодезическая система координат ПЗ-90 (параметры Земли 1990 г). Она закрепляется 30 опорными пунктами на территории бывшего СССР, координаты которых получены методами космической геодезии.

### 3. Зональная система координат Гауса-Крюгера

В основу этой системы положено поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса-Крюгера (названа по имени немецких ученых ее предложивших). В этой проекции поверхность земного эллипсоида меридианами делят на шестиградусные зоны и номеруют с 1-й по 60-ю от Гринвичского меридиана на восток. Средний меридиан шестиугольной зоны принято называть осевым.

Рис. 2 Зональная система прямоугольных координат

Его совмещают с внутренней поверхностью цилиндра и принимают за ось абсцисс.

Чтобы избежать отрицательного значения ординат ( $y$ ), ординату осевого меридиана принимают не за нуль, а за 500 км, т.е. перемещают на запад на 500 км. Перед ординатой указывают номер зоны.

Например, запись координат  $X_{Mn}=6350$  км,  $Y_{Mn}=5500$  км указывает, что точка расположена в 5-й зоне на осевом меридиане ( $Mn=27$  СШ,  $Mn=54$  ВД). Для приближенных расчетов при переходе от географических к прямоугольным зональным координатам считают, что 1 соответствует 111 км ( $40000\text{км}/360$ ).

### 4. Ориентирование линий. Азимуты, румб, дирекционный угол

Ориентировать линию на местности - значит определить ее направление относительно некоторого начального направления. Для этого служат азимуты  $A$ , дирекционные углы  $\alpha$ , румбы  $\beta$ . За начальные принимают направления истинного меридиана  $N_i$ , магнитного меридиана  $N_m$  и направление  $N_o$ , параллельное осевому меридиану или оси  $X$  системы прямоугольных координат (рис.3.1).

Азимутом называют горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемого направления. Азимуты изменяются в 0 до 360 и бывают истинными или магнитными. Истинный азимут  $A$  отсчитывается от истинного меридиана, а магнитный  $A_m$  - от магнитного. Дирекционный угол - это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии параллельной ему ( $+X$ ) по ходу часовой стрелки до направления ориентируемой линии.

Рис.3.1. Ориентирование линии ОМ на местности

Угол  $\delta$ , отсчитываемый от северного направления истинного меридиана  $N$  до магнитного меридиана  $N_m$ , называется склонением магнитной стрелки. Склонение северного конца магнитной стрелки к западу называют западным и считают отрицательным  $-$ , к востоку - восточным и положительным  $+$ .

Угол между северными направлениями истинного  $N$  и параллелью осевого  $N_o$  меридианов называется зональным сближением меридианов. Если параллель осевого меридиана расположена восточнее истинного меридиана, то сближение

называется восточным и имеет знак плюс. Если сближение меридианов западное, то его принимают со знаком минус. Если известны долготы меридианов, проходящих через точки А и В, то сближение меридианов можно найти по приближенной формуле:

$$= \sin \Delta \lambda \cos \varphi, \quad (8)$$

где  $\Delta \lambda$  - разность долгот меридианов, проходящих через точки А и В.

Из формулы (8) следует, что на экваторе ( $\varphi=0$ ) сближение меридианов  $= \Delta \lambda$ , а на полюсе ( $\varphi=90$ )  $= 0$ .

Рис.3.2. Зависимость между дирекционными углами и румбами

Румб - горизонтальный острый угол отсчитываемый от ближайшего северного или южного направления меридиана до ориентируемого направления. Румбы имеют названия в соответствии с названием четверти, в которой находится линия, т.е.: северо-восточные СВ, северо-западные СЗ, юго-западные ЮЗ, юго-восточные ЮВ. На рис. показаны румбы линий О-СВ, О-ЮВ, О-ЮЗ, О-СЗ и зависимость между дирекционными углами и румбами этих линий.

5. Зависимость между азимутами истинным, магнитным и дирекционным углом

Вследствие непараллельности между собой меридианов истинный азимут протяженной прямой АВ принимает различные значения в точках А и В. В средних широтах истинный азимут изменяется на одну минуту через каждые один-два километра расстояния по параллели. Это осложняет применение азимутов и поэтому для построения планов используют дирекционные углы.

Из рис. следует

$$A = \alpha + \delta, \quad A = \alpha_m + \delta_m.$$

Приравняем правые части равенств

$$\alpha + \delta = \alpha_m + \delta_m \quad \text{или} \quad \alpha - \alpha_m = \delta_m - \delta.$$

Зональное сближение меридианов и магнитное склонение для данной местности указывают на топографических картах местности.

6. Зависимость между горизонтальными и дирекционными углами теодолитного хода. Уравнение (увязка) горизонтальных углов

Пусть имеем две стороны хода АВ и ВС. Дирекционный угол стороны АВ будем считать известным. Если обозначить через  $\beta$  правый по ходу горизонтальный угол, то  $\beta_{BC} = \beta_{AB} + 180 - \alpha_{BC}$ .

Дирекционный угол последующего направления равен дирекционному углу предыдущего направления плюс 180 и минус горизонтальный угол справа по ходу.

Рис.5.1. Зависимость между дирекционными углами сторон хода

Предположим, что на местности проложен теодолитный ход между пунктами 512 и 513, начальный и конечный дирекционные углы в котором известны ( $\alpha_{511-512}$ ,  $\alpha_{513-512}$  - Граб.).

Уравнять (увязать) означает выполнить четыре действия:

1. Найти невязку

$$f = \sum \alpha - T,$$

где  $\Pi$  - практическая сумма измеренных углов,  
Т - теоретическое значение горизонтальных углов.

Для замкнутого теодолитного хода

$$T = \text{теор} = 180 (n-2),$$

для разомкнутого используем полученную ранее формулу

$$BC = AB + 180 - ,$$

или перепишем ее в виде

$$\text{кон} = \text{нач} + 180 - \text{теор}.$$

Из рис. имеем

$$512-1 = 511-512 + 180 - 512,$$

$$1-2 = 512-1 + 180 - 1,$$

$$2-513 = 1-2 + 180 - 2,$$

$$513-\text{Гр} = 2-513 + 180 - 513.$$

Откуда, теоретическая сумма горизонтальных углов

$$\text{теор} = 511-512 + 180 \cdot n - 513-\text{Гр}.$$

Тогда можно записать в общем виде

$$T = \text{теор} = \text{нач} + 180 \cdot n - \text{кон};$$

2. Оценить полученную невязку, т.е. сравнить с допустимым в соответствии с требованиями нормативных документов значением

$$f < f_{\text{доп}} = 2tn,$$

где  $n$  - число измеренных углов;

3. Распределить невязку с обратным знаком пропорционально числу измеренных углов с округлениями до 0,1. В углы с более короткими сторонами вводятся большие по величине поправки, так как они измеряются менее точно;

4. Выполнить контроль:

а) сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком;

б) сумма исправленных углов равна теоретической сумме углов.

7. Прямая и обратная геодезическая задачи

а). Прямая

Дано:  $X_A, Y_A, AB, d_{AB}$

Определить:  $X_B, Y_B$ .

Рис.6. Прямая и обратная геодезические задачи

Решение:

$$X_B = X_A + d_{AB} \cdot \cos \angle A,$$

$$Y_B = Y_A + d_{AB} \cdot \sin \angle A,$$

где  $X$  и  $Y$  - приращения координат, т.е. проекции горизонтального проложения на соответствующие оси координат.

Контроль вычислений координат выполняют по формуле

б). Обратная геодезическая задача

Дано:  $X_A, Y_A, X_B, Y_B$ .

Определить: АВ, dAB.

Решение:

$$AB - r = \arctg(Y/X),$$

$$\text{Контроль: } d \cdot \cos \alpha + X_A = X_B, d \cdot \sin \alpha + Y_B = Y_A.$$

Примеры:

1. Определите координаты точки В, если  $X_A=Y_A=100\text{м}$ ,  $AB=315$ ,  $dAB=100\text{м}$  ( $\sin 315 = -0,70711$ ,  $\cos 315 = 0,70711$ ).

Решение:

$$X_B = X_A + dAB \cdot \cos \alpha = 170,71 \text{ м}, Y_B = Y_A + dAB \cdot \sin \alpha = 29,29 \text{ м}.$$

2. Определите дирекционный угол направления ВС и горизонтальное проложение ВС, если  $X_B=Y_B=1000\text{м}$ ,  $X_C=1100\text{м}$ ,  $Y_C=900\text{м}$ .

Решение:

$$\alpha_{BC} = \arctg\{(Y_C - Y_B)/(X_C - X_B)\} = 45^\circ, BC = \sqrt{360^2 + 45^2} = 365,3 \text{ м}$$

8. Уравнивание (увязка) приращений координат теодолитного хода

Необходимость такого уравнивания возникает в связи с погрешностями, возникающими, как правило, при выполнении линейных измерений. При уравнивании необходимо выполнить следующие действия:

- определить невязки по осям абсцисс и ординат, абсолютную и относительную линейные невязки, т.е.

$$f_{AX} = \sum \Delta X - T,$$

$$f_{AY} = \sum \Delta Y - T,$$

$$f_{abc} =$$

$$f_{отн} = f_{abc} / d$$

- оценить полученную невязку сравнением с допустимым значением;

$$f_{отн} < 1/2000;$$

- ввести поправки в уравниваемые величины с обратным знаком знаку невязки и прямо пропорционально горизонтальным проложениям с округлением до 0,01м; выполнить контроль уравнивания:

а) сумма поправок должна быть равна величине невязки с обратным знаком,

б) сумма исправленных значений должна равняться теоретическому значению.

Контрольная работа №1. Вычислить координаты точек теодолитного хода в виде треугольника и оценить полученные угловые и линейные погрешности полевых измерений, если:  $X_1=1000.00 \text{ м}$ ,  $Y_1= -1000.00 \text{ м}$ ,

$$1-2 = M + N + N'$$

где М - последние три цифры номера группы, N - порядковый номер студента в списке группы,  $d_{1-2}=100.05 \text{ м}$ ,  $d_{2-3}=100.00 \text{ м}$ ,  $d_{3-1}=99.95 \text{ м}$ ,  $1=6001'$ ,  $2=5959'$ ,  $3=5959'$ .

Результаты вычислений выполнить в ведомости стандартной общепринятой формы, образец которой прилагается для разомкнутого теодолитного хода.

Рис.7.Схема замкнутого теодолитного хода

Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода

Номера точек

Измерен. углы

Исправл. углы

Дирекц. углы

Длины сторон  $d$ , м

Приращения

Координаты

вычисленные

исправленные

, M

, M

, M

, M

X, M

Y, M

1

2

3

4

5

6



7

8

9

10

11

Грабово

-0,2

354 48,7

513

357 28,5

357 28,3

+5

4780,00

-2425,06

-0,2

177 20,4

148,39

-148,23

6,89

-148,23

6,94

3

105 38,5

105 38,2

-1

+8

4631,77

-2418,12

-0,2

251 42,1

239,85

-75,30

-227,72

-75,31

-227,64

B 1

89 30,5

89 30,3

-1

+5

4556,46

-2645,76

-0,2

342 11,8

152,27

144,98

-46,56

144,97

-46,51

512

262 19,0

262 18,8

4701,43

-2692,27

511

259 53,0

$P=81456,5$   $d=540,51$   $X_P=-78,55$   $Y_P=-267,39$

$f = 0,8'$   $X_T=-78,57$   $Y_T=-267,21$

$f_{\text{доп}}=2,0'$   $f_X=+0,02$   $f_Y=-0,18$

$f_{\text{абс}} = 0,18$

$f_{\text{отн}} = 1/2964$

9. Геодезические сети: государственная, сгущения, съёмочное обоснование.

Геодезический пункт. Высотные знаки

Государственная геодезическая сеть (ГГС) представляет совокупность пунктов с известными координатами и высотами, равномерно расположенных на всей территории страны. ГГС создается для распространения на территории республики единой системы координат и высот, которые определяются для геодезических

пунктов (ГП), закрепленных на местности. ГП состоит из знака и центра. Знак представляет собой устройство или сооружение, обозначающее положение ГП на местности и необходимое для взаимной видимости между смежными пунктами. Центр является носителем координат и высот (X,Y,H), определяемых с погрешностью до 1 мм.

Рис.8.Схемы геодезических пунктов

ГГС делится на плановую и высотную. Плановая ГГС создается астрономическими или геодезическими методами. Высотная ГГС создается методами геометрического нивелирования, т.е. горизонтальным лучом визирования.

С целью увеличения числа плановых и высотных пунктов на единицу площади строятся сети сгущения, на основе которых создается съемочное обоснование. На примере учебного комплексного задания 1 можно предположить: пунктом ГГС является пункт триангуляции "Грабово"; сети сгущения - пункты полигонометрии 511, 512, 513; съемочного обоснования - пункты 1, 2, 3, В1. Пункты высотной сети закрепляются на местности реперами.

Репером называется знак, предназначенный для долговременного и надежного закрепления на местности высоты точки. Реперы по конструкции различают грунтовые и стенные.

В зависимости от точности геометрическое нивелирование делится на четыре класса и техническое. Для технического нивелирования предельно допустимая погрешность определяется по формуле

$$f_{\text{доп.}}=30\text{мм}L,$$

где L - число километров.

В отдельных случаях, когда неизвестна длина нивелирного хода

$$f_{\text{доп.}}=10\text{мм}n,$$

где n - число нивелирных станций.

## 10. Методы построения геодезических сетей (ГС)

Конечной целью построения ГС является определение координат геодезических пунктов. Существуют следующие методы построения ГС:

1) Триангуляция - метод построения на местности ГС в виде треугольников, у которых измерены все углы и базисные выходные стороны. Длины остальных сторон вычисляют по тригонометрическим формулам (например,  $a=c \cdot \sin A / \sin C$ ,  $b=c \cdot \sin A / \sin B$ ), затем находят дирекционные углы (азимуты) сторон и определяют координаты.

2) Трилатерация - метод построения ГС в виде треугольников, у которых измерены длины сторон (расстояния между геодезическими пунктами), а углы между сторонами вычисляют. Например, на рис. имеем  $\cos A = (b^2 + c^2 - a^2) / 2bc$ .

Рис.9.1. Схема геодезической сети в виде триангуляции ( - пункты Лапласа, на которых определяют истинные азимуты)

3) Полигонометрия - метод построения ГС на местности в виде ломаных линий, называемых ходами, вершины которых закреплены геодезическими пунктами.



Измеряются длины сторон хода и горизонтальные углы между ними.

Рис.9.2.Схема полигонометрического хода

Полигонометрические ходы опираются на пункты триангуляции, относительно которых вычисляются плановые координаты пунктов хода, а их высотные координаты определяются нивелированием. Теодолитный ход (рис.9.2) является частным случаем полигонометрии, однако является менее точным.

4). Линейно-угловые построения, в которых сочетаются линейные и угловые измерения (наиболее надежные). Форма сети может быть различная, например четырехугольник, у которого измеряют все горизонтальные углы и две смежные стороны, а две другие стороны вычисляют.

5) Методы с использованием спутниковых технологий, в которых координаты пунктов определяются с помощью спутниковых систем - российской Глонасс и американской GPS. Эти методы имеют революционное научно-техническое значение по достигнутым результатам в точности, оперативности получения результатов, всепогодности и относительно невысокой стоимости работ по сравнению с традиционными методами восстановления и поддержания государственной геодезической основы на должном уровне.

Применение спутниковой аппаратуры по сравнению с другими средствами измерений позволяет: исключить необходимость в установлении прямой видимости между смежными пунктами, а следовательно, исключить постройку дорогостоящих наружных знаков для обеспечения такой видимости; выполнять измерения при любых погодных условиях и в любое время суток; значительно повысить точность определения координат пунктов, вследствие того, что погрешности в плановом положении пунктов не накапливаются по мере удаления от исходных; исключить необходимость в построении многоуровневых геодезических сетей для передачи координат в нужный район; при этом нет надобности устанавливать пункты на возвышенных местах; положение пункта в натуре выбирают в том месте, где он необходим из практических соображений.

11. Топографические планы, карты и профили. Масштабы планов и карт. Точность масштаба

геодезия координата теодолит топографический

Топографический план - это уменьшенная ортогональная проекция местности на горизонтальную плоскость.

Картой называется построенное в картографической проекции с учетом кривизны Земли, уменьшенное, обобщенное изображение Земли или отдельных ее частей.

Профиль представляет уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Профили используют для проектирования и строительства линейных инженерных сооружений.

Отличительные признаки плана и карты:

- 1) На планах изображается меньшая площадь, нет искажений длин линий и углов.
- 2) На планах не учитывается кривизна Земли.
- 3) На планах используют более крупные масштабы: 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000;

на картах - 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000.

4) На планах нет параллелей и меридианов, а имеется только координатная сетка.

5) Различается номенклатура, т.е. система разграфки и обозначений отдельных листов карт и планов.

Масштаб - отношение длины отрезков на планах или картах к горизонтальному проложению этого отрезка на местности. Масштабы бывают: а) численный (в виде дроби), б) линейный (в виде линии), в) поперечный, позволяющий строить на чертежной бумаге с помощью измерителя и масштабной линейки отрезки с погрешностью равной 0,1 мм.

Под точностью масштаба понимают отрезок на местности соответствующий минимальному расстоянию на плане в 0,1 мм. Например, точность масштаба 1:500 соответствует 0.05м.

12. Содержание планов и карт. Условные знаки технология составления планов

Объекты местности на планах и картах изображаются условными топографическими знаками, которые бывают масштабными (контурными) и немасштабными.

Масштабными условными знаками изображают объекты местности (элементы ситуации), например контур леса или пашни, в масштабе плана (карты). Они позволяют определить размеры объекта в плане и его площадь.

Немасштабные условные знаки применяют для изображения предметов, которые из-за небольших размеров невозможно показать на плане или карте в масштабе, например пункты геодезической сети, колодцы, столбы и др.

Неавтоматизированная ("ручная") технология составления планов включает:

1) Построение с помощью линейки Дробышева координатной сетки со сторонами 100х 100мм с погрешностью 0.2 мм;

2) Оформление внешней рамки;

3) Оцифровка координатной сетки в соответствии с координатами точек теодолитного хода и с учетом последующего размещения результатов теодолитной, тахеометрической съемок и нивелирования по квадратам (см. полевой журнал);

4) Нанесение по координатам точек съемочного обоснования с контролем по результатам полевых измерений углов и длин линий;

5) Перенесение на план элементов ситуации с абрисов. Абрис - схематичный чертеж местности составленный по результатам натурных измерений.

6) Нанесение характерных точек местности на план, подписание их высот и вычерчивание границ (контуров участка);

7) Проведение горизонталей для изображения рельефа местности;

8) Окончательное оформление плана в соответствии условными знаками.

13. Инженерные задачи, решаемые на планах и картах. Способы определения площадей

Определение географических координат точек. Используя географические координаты углов трапеции, образованной пересечением меридианов и параллелей,

а также внутреннюю (минутную) рамку карты находят географические широты  $\phi$  и долготы  $\lambda$  точек. Например, для точек А и В, заданных на учебной карте масштаба 1:10 000 соответственно на пересечении улицы совхоза Беличи и дороги на восток и на ближайшем пересечении дорог, имеем

$A = 54^{\circ} 49' 42''$  СШ,  $A = 18^{\circ} 04' 56''$  ВД,

$B = 54^{\circ} 40' 40''$  СШ,  $B = 18^{\circ} 06' 50''$  ВД.

Определение зональных прямоугольных координат точек. Для этого опускают перпендикуляры из заданной точки на линии координатной (километровой) сетки и измеряют их длины. Затем, используя масштаб карты и оцифровку координатной сетки, получают координаты, которые можно сравнить с географическими. Для точек А и В, имеем

$X_A = 6\ 065.45$  км,  $Y_A = 4\ 311.85$  км (-188.15 км),

$X_B = 6\ 065.20$  км,  $Y_B = 4\ 313.82$  км (-186.18 км).

Откуда следует, что точки А и В расположены западнее осевого меридиана четвертой шестиградусной зоны на 188.15 и 186.18 км соответственно.

Определение дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов заданного направления. Для определения дирекционного угла линии АВ с помощью транспортира измеряют на карте по ходу часовой стрелки горизонтальный угол между северным направлением осевого меридиана зоны (линией координатной сетки) и заданным направлением. В нашем примере дирекционный угол направления АВ  $\alpha_{AB} = 94^{\circ} 45'$ .

Истинный азимут отличается от дирекционного угла на величину сближения меридианов (+), а магнитный азимут отличается от истинного на величину склонения магнитной стрелки (+).

Из схемы взаимного расположения осевого, истинного и магнитного меридианов, находящейся под южной рамкой карты, видно, что на этом листе карты истинный азимут  $A_i$  меньше дирекционного угла на величину сближения меридианов  $= 2^{\circ} 22'$ , а магнитный азимут  $A_m$  меньше истинного на величину склонения магнитной стрелки  $= 6^{\circ} 12'$ . Следовательно,

$A_{iAB} = \alpha_{AB} - = 94^{\circ} 45' - 2^{\circ} 22' = 92^{\circ} 23'$ ,

$A_{mAB} = A_{iAB} - = 92^{\circ} 23' - 6^{\circ} 12' = 86^{\circ} 11'$ .

Определение высоты точек и уклона линии. Высоты точек на карте определяют графически, интерполированием между соседними горизонталями. В нашем примере высоты точек  $H_A = 155.2$  м,  $H_B = 143.2$  м.

Тогда уклон линии

$i_{AB} = (H_B - H_A) / d_{AB} = -12.0 / 2000 = -0.006 = -60/00$ ,

где  $d_{AB}$  - горизонтальное проложение линии АВ, равное 2000 м. На строительных чертежах направление уклона обычно показывают стрелкой, над которой записывают его величину в промиллях (тысячных долях), а под стрелкой - горизонтальное проложение.

Построение профиля местности по линии АВ. На миллиметровой бумаге строят графы профиля, в которые записывают номера характерных точек рельефа местности по линии АВ, расстояния между ними и их высоты. Горизонтальный

масштаб профиля принимают равным масштабу карты. Вертикальный масштаб, по которому откладывают высоты от выбранного условного горизонта, обычно принимают в 10 раз крупнее горизонтального, т. е. 1:1000. Полученные точки на профиле соединяют ломаной линией.

Проведение на карте между точками А и В кратчайшей линии с заданным уклоном. Вычисляют величину заложения (расстояния между горизонталями)  $d$  по формуле

$$d = h / i,$$

где  $h$  - высота сечения рельефа горизонталями. В нашем примере  $d = 2.5 / 0.006 = 402$  м. Это заложение в масштабе карты берут в раствор измерителя и из точки А этим расстоянием засекают на соседней горизонтали точку, от которой тем же раствором засекают следующую точку на соседней горизонтали и т. д. Соединив последовательно все точки, получают ломаную линию с уклоном, равным заданному.

На планах масштаба 1:1000 удобно при построении линии заданного уклона пользоваться графиком заложений по уклонам, который строят по табличным данным, вычисленным по формуле

$$d = hc/i.$$

При  $hc = 1.0$  м, имеем

$i, \%$

100

80

60

40

30

20

10

d,м

10

12.5

16.7

25

33.3

50

100

При построении графика на горизонтальной прямой откладывают произвольной величины равные отрезки и надписывают величины уклонов. Из полученных точек вверх по вертикали откладывают соответствующие уклонам величины заложений в масштабе плана. Соединив точки плавной линией, получают график заложений по уклонам.

Определение площади аналитическим, графическим (геометрическим) и механическим способами. При аналитическом способе площадь любого многоугольника, заданного координатами вершин вычисляется по следующим формулам:

$$P = 1/2 \sum X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}),$$

$$P = 1/2 \sum Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}),$$

где  $i$  - порядковый номер вершин многоугольника, изменяющийся от 1 до  $N$  (числа вершин).

Относительная погрешность вычисления площади зависит в основном от погрешностей координат точек и составляет около  $1/2000$ .

Графический способ определения площади предусматривает разбивку контура на элементарные геометрические фигуры (треугольники, четырехугольники и трапеции), площади которых вычисляют по измеренным на карте с учетом масштаба длинам сторон и высот. Относительная погрешность суммарной площади, полученной графически, обычно составляет более  $0.5-1.0\%$  ( $1/100$ ).

Механический способ основан на применении специального прибора -полярного планиметра, который состоит из полюсного и обводного рычагов и счетного механизма. Перед измерением площади контура вычисляют цену деления планиметра  $c$  - площадь, соответствующую одному делению планиметра. Для этого на карте обводят планиметром один квадрат километровой сетки с известной площадью  $R_{изв.} = 100$  га. Отсчеты по счетному механизму берут до обводки  $n_1$  и после обводки  $n_2$ , вычисляют их разность  $U$ , которую уточняют несколько раз. Например,  $n_1 = 3546$ ,  $n_2 = 4547$ . Тогда цена деления планиметра  $c = R_{изв.}/U = 100/1001 = 0.09990$  га.

Площадь заданного контура сначала получают в результате обводки в делениях планиметра  $MU$ , а затем, используя цену деления  $c$ , - в гектарах  $P = c \cdot U$ . Контроль полученных результатов выполняется повторными измерениями и вычислениями цены деления планиметра и определяемой площади. Относительная погрешность измерений площади планиметром составляет порядка  $1/300$ .

#### 14. Угловые измерения. Устройство теодолита. Типы теодолитов

Угловые измерения необходимы для определения взаимного положения точек в пространстве и используются при развитии триангуляционных сетей, проложений полигометрических и теодолитных ходов, выполнении топографических съемок, решении многих геодезических задач при строительстве различных объектов.

Необходимая точность измерений и построений горизонтальных и вертикальных углов на местности составляет от десятых долей секунды до одной минуты.

Основным угломерным прибором на местности является теодолит - оптико-механический прибор, с помощью которого измеряют горизонтальные и вертикальные углы, расстояния и магнитные азимуты.

По точности теодолиты различают трех типов: высокоточные - Т0 5, Т 1; точные - Т 2, Т 5 и технические - Т 15, Т 30. В перечисленных типах теодолитов цифры соответствуют точности (средней квадратической погрешности) измерения горизонтального угла одним приемом в секундах.

Основные узлы и принадлежности технического теодолита

- 1) горизонтальный круг, состоящий из лимба - оцифрованной по ходу часовой стрелки круговой полосы с градусными делениями;
- 2) алидада - часть, расположенная соосно с лимбом и несущая элементы отсчетного устройства;

- 3) цилиндрический уровень - предназначен для приведения плоскости лимба горизонтального круга в положение перпендикулярное относительно отвесной линии (горизонтальное положение);
- 4) зрительная труба - состоит из объектива, окуляра, сетки нитей и фокусирующего устройства с кремальерой;
- 5) вертикальный круг - устроен аналогично горизонтальному и предназначен для измерения углов наклона;
- 6) подъемные винты - служат для приведения пузырька цилиндрического уровня на середину;
- 7) становой (закрепительный) винт - закрепляет теодолит на штативе и позволяет подвесить нитяной отвес.

Основные геометрические оси теодолита:

001 - ось вращения прибора (вертикальная ось теодолита),

UU1 - ось цилиндрического уровня (касательная к внутренней поверхности ампулы в нульпункте),

WW1 - визирная ось зрительной трубы (прямая, соединяющая оптический центр объектива и крест сетки нитей),

VV1 - ось вращения зрительной трубы.

Геометрические требования, предъявляемые к осям:

1)UU1 001,

2)WW1 VV1,

3)VV1 00 1.

#### 15. Устройство зрительной трубы, установка ее для наблюдений

Зрительная труба предназначена для высокоточного наведения на удаленные предметы и точки (визирные цели) при работе с теодолитом. Состоит из следующих основных частей: объектива, окуляра, фокусирующей линзы, сетки нитей, кремальеры (винта, перемещающего фокусирующую линзу внутри трубы). В зрительной трубе различают две оси: визирную и оптическую. Прямая соединяющая оптический центр объектива с центром сетки нитей называется визирной осью. Прямая соединяющая оптический центр объектива и окуляр - оптической осью трубы.

Подготовка зрительной трубы для наблюдений выполняется в следующей последовательности:

- а) установка зрительной трубы "по глазу" - вращением окуляра (от -5 до +5 диоптрий) до получения четкого изображения сетки нитей;
- б) установка зрительной трубы по предмету (визирной цели) - вращением кремальеры до четкого изображения визирной цели;
- в) устранение параллакса, возникающего в тех случаях, когда изображение предмета не совпадает с плоскостью сетки нитей и при перемещении глаза относительно окуляра точка пересечения нитей будет проецироваться на различные точки наблюдаемого предмета. Параллакс сетки нитей устраняется небольшим поворотом кремальеры.

Зрительные трубы в геодезических приборах характеризуются увеличением, полем зрения и точностью визирования. Под увеличением понимают отношение угла, под которым предмет виден в трубу, к углу, под которым этот же предмет виден невооруженным глазом:

$$= \frac{\alpha}{\beta}.$$

Полем зрения называется пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении. Его определяют углом зрения  $f$  по формуле

$$= 38.2 / \alpha,$$

где  $\alpha$  - увеличение трубы.

Точность визирования выражается среднеквадратической погрешностью

$$m_{\text{в}} = 60'' / \alpha,$$

где  $60''$  - средняя погрешность визирования невооруженным глазом (разрешающая способность глаза человека - предельно малый угол, при котором две точки еще воспринимаются отдельно).

16. Уровни, их устройство и назначение. Цена деления уровня

В геодезических приборах используются цилиндрические и круглые уровни, различающиеся между собой ценой деления, чувствительностью и конструктивными особенностями.

Цилиндрический уровень представляет стеклянную трубку, верхняя внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге определенного радиуса (от 3,5 до 80 м).

Трубка помещается в металлическую оправу. Для регулировки уровень снабжен исправительным винтом. На наружной поверхности трубки нанесены штрихи. Расстояние между штрихами должно быть 2 мм. Точка в средней части ампулы называется нуль-пунктом уровня. Линия касательная к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте называется осью уровня.

Круглый уровень представляет собой стеклянную ампулу, отшлифованную по внутренней сферической поверхности определенного радиуса. За нуль-пункт круглого уровня принимается центр окружности. Осью кругового уровня является нормаль проходящая через нуль-пункт, перпендикулярно к плоскости, касательной к внутренней поверхности уровня в его центре.

Для более точного приведения пузырька в нуль-пункт применяются контактные уровни. В них над цилиндрическим уровнем устанавливается призматическое оптическое устройство, которое передает изображение концов пузырька в поле зрения трубы. Пузырек находится в нуль-пункте, если его концы видны совмещенными.

Ценой деления уровня называется угол, на который наклонится ось уровня, если пузырек сместится на одно деление ампулы, т.е.

$$= l / R \text{ или } \alpha = (l/R)'' ,$$

где  $\alpha = 206265''$ .

В геодезических приборах применяют цилиндрические уровни с ценой деления от 5 до  $60''$ , круглые - от 5 до  $20'$ .

Под чувствительностью уровня понимают минимальное линейное перемещение



пузырька, которое можно заметить невооруженным глазом, обычно принимаемое в 0.1 деления, т.е. 0.2 мм.

17. Отсчетные устройства: штриховой и шкаловой микроскопы. Эксцентриситет горизонтального круга

С помощью отсчетных устройств в теодолитах считывают показания с лимбов. В современных точных и технических теодолитах применяются штриховые микроскопы (отсчет по штриху-индексу) и шкаловые микроскопы (отсчет по шкале), а высокоточных теодолитах используют микрометры.

Отсчетный микроскоп через систему призм и линз выводит в окуляр изображения градусных делений горизонтального и вертикального кругов. На рис. показано поле зрения штрихового микроскопа с изображением штриха и лимбов с ценой деления в 10': вертикального В и горизонтального Г. Визуально оценивая десятые доли делений лимбов с точностью до 1', отсчеты на рисунке В=7 45' и Г=345 54'.

Рис.16. Поле зрения штрихового (а) и шкалового (б) микроскопов

В поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т 30 цена деления лимба составляет 1, отсчетная шкала разделена через 5', отсчеты на рисунке В = -9 37', Г = 293 42'.

В теодолитах со штриховыми и шкаловыми микроскопами отсчеты производят по одному концу диаметра лимба. Для уменьшения влияния эксцентриситета горизонтального круга - несовпадения оси вращения прибора С' с центром кольца делений лимба С - измерение горизонтального угла производят дважды: при круге лево (отсчет М') и при круге право (отсчет N').

Рис.16.2 Схема влияния эксцентриситета

Так как при этом отсчеты берутся по диаметрально противоположным концам лимба, то среднее из полученных результатов не содержит погрешности от влияния эксцентриситета

$$(M+N)/2 = (M'+N')/2.$$

18. Приведение теодолита в рабочее положение (центрирование, горизонтирование, установка трубы для наблюдений)

Приведение теодолита в рабочее положение предусматривает:

- 1) центрирование - установка центра горизонтального круга над вершиной измеряемого угла. Выполняется с помощью нитяного отвеса или оптического центрира, перемещением ножек штатива и с последующим передвижением прибора на головке штатива. Погрешность центрирования зависит от требуемой точности выполняемых работ и не должна превышать 3 мм при измерении горизонтальных углов для решения большинства инженерных задач;
- 2) горизонтирование - приведение плоскости лимба горизонтального круга в горизонтальное положение, т.е. установка вертикальной оси вращения теодолита (ОО 1) в отвесное положение. Для этого устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и вращая их одновременно в противоположные стороны выводят пузырек уровня на середину

ампулы. Затем поворачивают цилиндрический уровень на 90 по направлению третьего подъемного винта и, вращая его, опять выводят пузырек в нульпункт. Эти действия повторяют до тех пор пока пузырек не будет отклоняться от центра ампулы более чем на одно деление. При измерении вертикальных углов отклонение пузырька от середины не должно превышать полделения;

3) подготовку зрительной трубы для наблюдений по глазу - вращением окуляра (от - 5 до +5 диоптрий) до получения четкого изображения сетки нитей на светлом фоне - и по предмету - вращением кремальеры до четкого изображения визирной цели. Если изображение предмета не совпадает с плоскостью сетки нитей, то при перемещении глаза относительно окуляра точка пересечения нитей будет проецироваться на различные точки наблюдаемого предмета. Возникает параллакс, который устраняется небольшим поворотом кремальеры.

#### 19. Полевые поверки и юстировки теодолита

1. Ось цилиндрического уровня (касательная к внутренней поверхности ампулы в нульпункте) должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита. Для поверки этого условия устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их, приводят пузырек на середину. Затем поворачивают цилиндрический уровень на 180 и, если пузырек отклонился более чем на одно деление, с помощью исправительных винтов смещают пузырек к центру на половину отклонения.

2. Визирная ось трубы (ось, проходящая через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей) должна быть перпендикулярна оси вращения трубы. Эта поверка сводится к определению коллимационной погрешности - горизонтального угла между фактическим положением визирной оси и требуемым. Для выполнения поверки наводят визирную ось трубы на удаленную, четко видимую на горизонте точку и снимают отсчеты по горизонтальному кругу при КП и КЛ. Отсчеты должны отличаться на 180 00', в противном случае имеет место коллимационная погрешность.

Если коллимационная погрешность, определяемая по формуле

$$C = (КЛ - КП) / 2,$$

превышает  $2t$ , где  $t$  - точность отсчетного устройства, выполняют юстировку:

вычисляют средний отсчет и устанавливают его на горизонтальном круге. В этом случае наблюдаемая точка не будет совпадать с перекрестием сетки нитей.

Предварительно ослабив один вертикальный исправительный винт, двумя горизонтальными совмещают перекрестие сетки с наблюдаемой точкой. Результаты измерений и вычислений записывают в журнале определения коллимационной погрешности.

3. Место нуля вертикального круга (отсчет по ВК, когда визирная ось и ось цилиндрического уровня горизонтальны) должно быть близким к нулю или отличаться от нуля не более чем на  $2t$ . Для поверки не менее двух раз определяют место нуля по формуле

$$M_0 = (КЛ + КП) / 2,$$

где КЛ и КП - отсчеты по вертикальному кругу при наведении средней горизонтальной нити на точку. Если вычисленное значение место нуля недопустимо, устанавливают наводящим винтом трубы отсчет по вертикальному кругу равный вычисленному углу наклона на точку

$$n = \text{КЛ} - \text{МО}$$

Вращая вертикальные исправительные винты сетки нитей, предварительно ослабив один горизонтальный винт, совмещают среднюю горизонтальную нить с наблюдаемой точкой. Образцы записей отсчетов и вычислений С и МО приведены в журнале.

Рис.18. Сетка нитей теодолита

Журнал угловых измерений и вычислений С и МО (теодолит Т 30 07704)

№ точки

Круг

Отсчеты по

$$C = (Л-П+180)/2 \text{ (ГК)}$$

$$МО = (Л+П-180)/2 \text{ (ВК)}$$

ВК

ГК

1

КЛ

333

4801

$C 1 = (4801 - 22801 + 180) / 2 = 000,0$

$MO 1 = (333 + 17625 - 180) / 2 = - 001,0$

КП

17625

22801

2

КЛ

240

6252

C 2=- 000,5

M 2=+001,5

КП

17723

24253

## 20. Способы измерения горизонтальных углов

Для измерения горизонтальных углов в инженерной геодезии применяют способы приемов, круговых приемов и повторений.

Способ приемов. Над вершиной В измеряемого угла  $\sphericalangle$ ABC (таблица 26.1) центрируют и горизонтируют теодолит, а на точках А и С устанавливают визирные цели.

Измерение горизонтального угла способом приемов (способ отдельного угла) заключается в том, что один и тот же угол измеряется дважды, при двух положениях вертикального круга относительно зрительной трубы: при круге слева (КЛ) и при круге справа (КП). При переходе от одного приема к второму зрительную трубу переводят через зенит и смещают лимб горизонтального круга на  $1...5^\circ$ . Эти действия позволяют обнаружить возможные грубые ошибки при отсчетах на лимбе и уменьшить приборные погрешности. Так как лимб оцифрован по ходу часовой стрелки наведение зрительной трубы принято выполнять сначала на правую точку, а затем на левую. Контролем измерений горизонтального угла является разность значений угла, полученная из двух измерений (КЛ и КП), не превышающая двойную точность отсчетного устройства, т.е.

кл - кп  $2t$ .

Таблица 19.1 Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов

Номер станции

Круг

Номер точки наблюдения

Отсчет по горизонтальному кругу

Горизонтальный круг

Схема измеряемого угла

Измерен.

Средн.

В

КЛ

A

22415

4705

4705,5

C

17710

КП

A

4705

4706

С

35959

Способ круговых приемов применяется при измерении нескольких горизонтальных углов с общей вершиной М и выполняется двумя полуприемами, при двух положениях вертикального круга КЛ и КП. При визировании на начальную точку 1 отсчет по горизонтальному кругу при КЛ устанавливают чуть больше нуля, в нашем примере 0 01.5'. Затем наводят трубу последовательно по ходу часовой стрелки на точки 2, 3, 4, 1 и берут отсчеты. Разность начального и конечного отсчетов на точку 1 не должна превышать двойную точность отсчетного устройства.

Второй полуприем наблюдений при КП выполняют против хода часовой стрелки при первоначальной установке горизонтального круга в последовательности 1, 4, 3, 2, 1. Убедившись в допустимости начального и конечного отсчетов, вычисляют: значения двойной коллимационной погрешности

$$2c = \text{КЛ} - \text{КП} + 180,$$

средние отсчеты по направлениям

$$a_i = (\text{КЛ}_i + \text{КП}_i) / 2 - 180,$$

среднее направление на начальную точку 1 из четырех отсчетов, приведенные направления.

Для повышения точности измерений делают несколько круговых приемов, а перед каждым приемом горизонтальный круг переставляют.

Способ повторений позволяет несколько повысить точность измерений отдельного горизонтального угла за счет уменьшения погрешностей отсчетов на результат измерений. Сущность способа заключается в многократном (n) откладывании на лимбе величины измеряемого угла. Отсчеты берут только в начале (а) и в конце (b) наблюдений, а значение угла вычисляют по формуле



$$= (b-a)/n .$$

## 21. Погрешности, влияющие на точность измерения горизонтальных углов

На точность измерения горизонтальных углов влияют следующие основные погрешности:

центрирования (установка оси вращения теодолита над вершиной измеряемого угла, максимальное значение которой равняется  $Dc \cdot p/d$ ),

редуцирования (внецентренное положение визирной цели, вычисляемой по формуле аналогичной погрешности центрирования),

визирования (зависит от увеличения зрительной трубы и составляет величину  $60''/v$ ),

4) отсчетов на лимбе, принимаемой равной половине точности отсчетного устройства, т.е.

$$m_0 = t/2.$$

При соблюдении методики угловых измерений техническими теодолитами влияние погрешностей за центрирование и редуцирование можно свести к пренебрегаемому малым величинам. Тогда, главное влияние на точность измерения оказывают погрешности отсчетов по лимбу. Учитывая это, определим среднюю квадратичную погрешность измерения угла. При измерении угла после наведения на точки делаются отсчеты по лимбу со средней квадратичной погрешностью

$$m_0 = t/2.$$

Эту погрешность можно принять за погрешность направления измеряемого угла, т.к. другие виды погрешности не оказывают существенного влияния.

Погрешность угла как разности двух направлений

$$m' = m_0^2 = (t/2)^2 \cdot 2.$$

Средняя квадратическая погрешность угла, измеренного дважды при КЛ и КП,

$$m = (t/2)^2 \cdot 2 / 2 = t/2.$$

Средняя квадратичная погрешность разности двух значений угла в полуприемах:

$$m_d = m'^2 = (t/2)^2 \cdot 2 \cdot 2 = t,$$

а предельная погрешность с вероятностью 95% принимается равной удвоенной, т.е.

$$m_d(\text{пред}) = 2m_d = 2t.$$

Таким образом, разность между значениями угла в полуприемах не должна превышать двойной точности отсчетного устройства.

## 22. Измерение вертикальных углов

Измерение углов наклона производится при помощи вертикального круга после приведения теодолита в рабочее положение. Наведение на визирную цель выполняют средним горизонтальным штрихом сетки зрительной трубы, при этом следят, чтобы пузырек цилиндрического уровня находился в нуль-пункте.

Чтобы получить, необходимо определить место нуля (МО) вертикального круга (ВК) - отсчет по ВК, когда визирная ось зрительной трубы горизонтальна, а пузырек цилиндрического уровня находится на середине - необходимо навести среднюю нить на четко видимую точку и снять отсчеты П и Л по вертикальному кругу

соответственно при КП и КЛ.

Рис.28. Измерение вертикального угла

МО и применительно к различным теодолитам вычисляются по следующим формулам:

$$MO = (L + П) / 2 \text{ - для } 2T \ 30$$

$$MO = (L + П + 180) / 2 \text{ - для } ТОМ, Т \ 30$$

$$= L - MO, = MO - П (2T \ 30), = MO - П 180 (ТОМ, Т \ 30)$$

Пример. Отсчеты по вертикальному кругу теодолита Т 30 при наведении зрительной трубы на одну и ту же точку  $L = 7 \ 11'$ ,  $П = 172 \ 53'$ . Тогда,  
 $= 7 \ 11' - (+0 \ 02') = 7 \ 09'$ .

При измерениях вертикальных углов величина МО не должна превышать двойной точности отсчетного устройства. На заводе при сборке теодолитов величину МО устанавливают близкой 0 00' при этом стремятся чтобы визирная ось совпадала с оптической. Поэтому изменять величину МО больше чем на 2' не рекомендуется, так как отклонение визирной оси от оптической будет значительным при перефокусировке трубы.