

## МОДУЛЬ 3

### Тема 6. Методы геодезических измерений. Угловые измерения .

#### **Лекция №. 36. Понятие о геодезических измерениях, их точность. Виды измерений. Угловые измерения.**

В теории и практике геодезии геодезические работы состоят главным образом из измерений, геометрических построений на местности и вычислений. *Измерением* называют процесс в результате которого получают число, показывающее во сколько раз результат измерения больше или меньше, чем соответствующая однородная ему величина, принятая за единицу измерения. Измерения бывают прямые (непосредственные) и косвенные (посредственные). *Прямые измерения* получают непосредственно, например отсчеты по линейке длины отрезка, угла по транспортиру.

*Косвенные измерения* являются функциями непосредственно измеренных величин. Например, угол измеряемый теодолитом определяется как разность непосредственно измеренных направлений на правый и левый наблюдаемые предметы.

Результаты измерений подразделяются на необходимые и избыточные (дополнительные, контрольные). Избыточные измерения выполняются для контроля качества выполненных измерений и оценки надежности полученных результатов.

Любое геодезическое измерение представляет собой сложный комплекс, в котором участвуют и взаимодействуют такие факторы, как предмет измерения, исполнитель, приборы и методы измерений, а также условия, в которых последние выполняются.

Измерения подразделяются на равноточные и неравноточные.

В геодезическом производстве выполняются линейные, угловые измерения, а также измерения разностей высот двух точек на земной поверхности.

При построении геодезических плановых сетей основной объем измерений составляют угловые измерения, которые включают в себя измерения горизонтальных и вертикальных углов при помощи геодезического прибора, называемого теодолитом.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы**

- 1) Что понимают под термином «измерение»?
- 2) С какой целью выполняют измерения 2 раза и более?
- 3) Назовите примеры непосредственных (прямых) измерений.
- 4) Назовите два примера косвенных измерений?
- 5) Какие измерения называют равноточными, а какие неравноточными?

#### **Лекция №37. Типы теодолитов, их классификация**

Существующие типы теодолитов различаются по точности, виду отсчетных устройств, конструкции системы вертикальных осей горизонтального круга и назначению.

В зависимости от точности измерения горизонтальных углов в соответствии с ГОСТ 10529-86 теодолиты могут быть разделены на 3 типа:

1. Высокоточные Т1, предназначенные для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 1 и 2 классов.
2. Точные Т2 – для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов; Т5 – для измерения углов в триангуляционных сетях в полигонометрии 1 и 2 разрядов и производства маркшейдерских работ на поверхности.
3. Технические Т15, Т30 и Т60 – для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах и

сьемочных сетях, а также для выполнения маркшейдерских работ на поверхности и в подземных выработках.

В условных обозначениях теодолитов цифра означает среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла одним приемом в секундах; для теодолита Т5  $m_{\beta} = 5''$ , для Т30  $m_{\beta} = 30''$  и т.д.

#### Принципиальная схема устройства теодолита

В соответствии с принципом измерения горизонтального и вертикального углов конструкция теодолита должна включать следующие части (рис.34).

Основной частью теодолита является горизонтальный круг, состоящий из *лимба* 3 и *алидады* 2. В процессе измерения горизонтального угла плоскость лимба должна быть горизонтальной, а его центр – устанавливаться на отвесной линии, проходящей через вершину измеряемого угла. Отвесная линия *ZZ*, проходящая через ось вращения алидады горизонтального круга, называется *осью вращения теодолита*.

Ось вращения теодолита *ZZ* устанавливается в отвесное положение (плоскость лимба – в горизонтальное положение) по цилиндрическому уровню 9 с помощью трех подъемных винтов 1 подставки 10. Лимб и алидада снабжены зажимными (закрепительными) винтами, служащими для закрепления их в неподвижном положении, и наводящими винтами – для их медленного и плавного вращения.

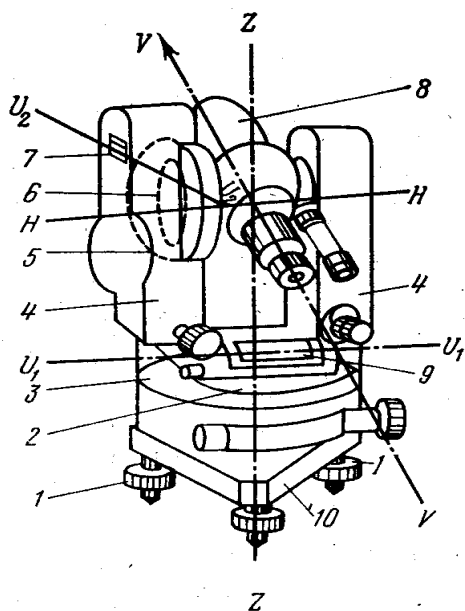


Рис.34 Принципиальная схема теодолитов

Визирование на наблюдаемые цели осуществляется зрительной трубой 8, визирная ось *VV* которой при вращении трубы вокруг горизонтальной оси *NN* образует проектирующую плоскость, называемую *коллимационной*. Зрительная труба соединена с алидадой горизонтального круга с помощью колонки 4. На одном из концов оси вращения зрительной трубы закреплен вертикальный круг 5, имеется цилиндрический уровень 7. Зрительная труба имеет закрепительный и наводящий винты.

При измерениях теодолит обычно устанавливается на штативе. Штатив состоит из металлической верхней части – головки и трех раздвижных (переменной длины) деревянных ножек. Концы ножек снабжены металлическими острыми наконечниками для вдавливания их в грунт и надежного закрепления штатива над точкой. Теодолит закрепляется на штативе винтом. К крючку станového винта привязывается нить отвеса, служащая продолжением вертикальной оси вращения прибора *ZZ*.

С помощью отвеса теодолит центрируется над точкой, т.е. устанавливается таким образом, чтобы ось вращения прибора проходила через вершину измеряемого угла. Становые винты изготавливаются полыми, что дает возможность использовать для центрирования теодолита над точкой оптические центриры.

#### Устройство теодолитов

Технические теодолиты являются наиболее распространенными и широко применяются как в геологических изысканиях, так и в горном деле.

Остановимся на некоторых типах оптических теодолитов отечественной конструкции.

**Теодолит Т30** - это оптический повторительный теодолит. Основание теодолита 1, с которым скреплена подставка 9, одновременно служит дном футляра. Это не только снижает массу инструмента, но и создает дополнительные удобства в эксплуатации, так как позволяет закрывать прибор футляром, не снимая его со штатива при переходе с точки на точку.

Зрительная труба 5 снабжена оптическим визиром 6 для приближенного наведения трубы на наблюдаемый предмет. Фокусирование зрительной трубы осуществляется вращением кремальеры 7. Установку зрительной трубы по глазу осуществляют вращением диоптрийного кольца 8.

Теодолит Т30 не имеет уровня при вертикальном круге. Его заменяет уровень при горизонтальном круге, расположенный перпендикулярно оси вращения трубы.

Для центрирования теодолита используют зрительную трубу, которая устанавливается вертикально (объективом вниз) и через отверстие 2 визируется на знак закрепления вершины угла.

Зрительную трубу можно переводить через зенит обоими концами.

Рядом с окуляром зрительной трубы расположен микроскоп 3. Для освещения отсчетного приспособления используют зеркало подвески 4. Оптическая схема отсчетного приспособления устроена таким образом, что в поле зрения отсчетного приспособления одновременно видны изображения штрихов вертикального и горизонтального кругов, изготовленных из стекол.

В теодолите Т30 оценка доли деления угломерного круга производится по неподвижному индексу. Такой способ отсчитывания является наиболее простым и позволяет оценивать десятые доли наименьшего интервала.

Поле зрения отсчетного микроскопа. В верхнюю часть поля зрения, отмеченную буквой В, проецируются штрихи вертикального круга, а в нижнюю, отмеченную буквой Г, - штрихи горизонтального круга. Штрихи обоих кругов разделены перемычкой.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы**

1) На какие типы делятся по точности теодолиты?

2) Основные части теодолита

3) Что называется штативом?

4) Устройство теодолита

#### **Лекция №38. Электронные теодолиты и тахеометры**

К высокоточным современным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. Такие измерительные приборы снабжены встроенными вычислительными средствами и запоминающими устройствами, создающими возможность регистрации и хранения результатов измерений, дальнейшее их использование на ЭВМ для обработки. Применение ЭВМ пятого поколения предполагает интеллектуализацию компьютеров, т.е. возможность работы с ними непрофессионального пользователя 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. Скорость ввода информации измерений значительно увеличивается по сравнению с вводом с помощью клавишей.

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 Та3М (рис. 9.6), 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.

Прибор может работать в четырех режимах: разделенном, полуавтоматическом, автоматическом и режиме слежения. Геодезические задачи решаются с учетом поправок на кривизну Земли, рефракцию атмосферы, температуру и давление, разность высот штативов прибора и отражателя.

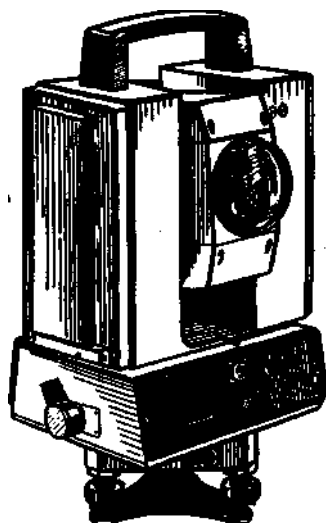


Рис. 9.6. Электронный тахеометр ТаЗМ

Информация об угловых значениях выдается в гонах или в градусах. Датчик углов прибора — кодовый, накопительного типа. В комплект тахеометра входят отражатели, штативы, источники питания, разрядно-зарядное устройство, принадлежности для юстировки прибора и ухода за ним.

Тахеометр ТаЗМ 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 2Та5 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 км) мм.

Зарубежные фирмы (США, Германия, Швеция, Япония 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.

К новому поколению измерительных станций относятся приборы, определяющие координаты X и Y и высоту H точки по сигналам со специальных геодезических спутников, вращающихся вокруг Земли по строго определенным орбитам.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы**

1) Что такое «тахеометр»?

2) Какие геодезические задачи можно решить, используя тахеометр?

3) Как обеспечивается обработка результатов геодезических измерений в тахеометре?

4) Можно ли использовать тахеометр для решения задач кадастра, архитектуры, строительства?

5) Можно ли использовать тахеометр для выполнения теодолитной съемки, тахеометрической съемки?

#### **Лекция №39. Поверки и юстировки теодолита**

Перед началом измерений теодолит необходимо тщательно осмотреть и проверить, так как даже

серийно выпускаемые приборы имеют свои индивидуальные особенности. В первую очередь производят проверку и регулировку механических деталей, обращая внимание на состояние и работу всех винтов прибора: подъемных, зажимных и наводящих винтов лимба и алидады, наводящего винта уровня вертикального круга, исправительных (юстировочных) винтов уровней, колонок, сетки нитей и т.п. Вращение лимба и алидады должно быть плавным, без заеданий и колебаний. Горизонтальный и вертикальный угломерные круги не должны иметь механических повреждений; изображения делений шкал и сетки нитей должны быть четкими. Зрительная труба должна быть уравновешенной и иметь свободное вращение. Присутствие пыли и грязи на оптических деталях прибора не допускается. После внешнего осмотра теодолита выполняют его поверки и юстировки.

В соответствии с принципом измерения горизонтального угла конструкция теодолита должна удовлетворять следующим основным геометрическим условиям:

1. Ось цилиндрического уровня  $U_1U_1$  должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита  $ZZ$ .
2. Визирная ось зрительной трубы  $VV$  должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита (оси вращения трубы)  $HH$ .
3. Горизонтальная ось теодолита  $HH$  должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита  $ZZ$ .

Дополнительные геометрические условия вытекают из теории измерения вертикальных углов.

Действия, имеющие целью установить соблюдение предъявляемых к конструкции прибора геометрических условий, называются *поверками*. Для обеспечения выполнения нарушенных условий производят *юстировку* (регулировку) прибора. Рассмотрим основные поверки и юстировки технических теодолитов.

*1. Поверка цилиндрического уровня.* Ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита. Выполнение этого условия позволяет с помощью уровня устанавливать ось вращения теодолита в отвесное положение, а следовательно, плоскость лимба – в горизонтальное положение.

Пусть ось уровня перпендикулярна к оси вращения теодолита  $ZZ$  и составляет с ней угол  $\beta$  (рис.46,а), тогда при приведенном на середину ампулы пузырьке уровня ось вращения прибора не будет отвесной. При повороте алидады горизонтального круга вместе с уровнем вокруг оси  $ZZ$  пузырек сойдет с середины на  $n$  делений и ось уровня займет новое положение  $U_1U_1$ . Как видно из рис. при этом ось уровня составит со своим горизонтальным положением  $UU$  некоторый угол  $\delta = \mu n$ , где  $\mu$  – цена деления уровня. Очевидно, что если привести ось уровня в положение биссектрисы  $U_1/U_1'$  угла  $\delta$ , то она окажется перпендикулярной к оси вращения теодолита, так как  $2\beta + \delta = 180^\circ$ , следовательно,  $\beta + \delta/2 = 90^\circ$ .

Из вышеизложенного вытекает способ поверки данного условия. Ось поверяемого уровня устанавливают по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Вращением алидады вокруг оси  $ZZ$  поворачивают уровень на  $180^\circ$ . Если после поворота пузырек уровня останется в нуль-пункте, то условие перпендикулярности осей  $UU$  и  $ZZ$  выполняется. При смещении пузырька производится исправление положения уровня. Для этого пузырек уровня перемещают по направлению к нуль-пункту на половину дуги отклонения с помощью исправительных винтов при уровне. После юстировки уровня следует повторить поверку и убедиться в выполнении требуемого условия. Практически условие считается выполненным, если после поворота на  $180^\circ$  пузырек уровня отклоняется от нуль-пункта в пределах одного деления шкалы ампулы.

Перед выполнением следующих поверок необходимо тщательно привести ось вращения теодолита в отвесное положение по исправленному цилиндрическому уровню; эта операция называется *горизонтированием теодолита*. Уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны выводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают алидаду примерно на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом выводят пузырек на середину ампулы. Эти действия повторяют до тех пор, пока пузырек не будет оставаться на середине ампулы при любом положении алидады.

*2. Поверка положения коллимационной плоскости.* Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита.

Как известно, визирная ось трубы проходит через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей. Если указанное условие выполняется, то при вращении трубы вокруг горизонтальной оси визирная ось образует коллимационную плоскость. При несоблюдении условия визирная ось будет описывать не плоскость, а две конические поверхности. Угол  $\epsilon$  между фактическим положением визирной оси  $OK_1$  и требуемым положением  $OK$  (рис.46,б) называется *коллимационной поверхностью*.

Для поверки данного условия на местности выбирают ясно видимый удаленный предмет N и, визируя на него при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ), берут отсчеты по лимбу  $M_1$  и  $M_2$ . Как видно из рис. 46,б при КП отсчет по лимбу  $M_1$  будет меньше правильного отсчета  $M$  на величину  $x$ , а при КЛ отсчет  $M_2$  будет больше правильного отсчета

$M + 180^\circ$  на ту же величину  $x$ , т.е.

при КП

$$M = M_1 + x;$$

при КЛ

$$M + 180^\circ = M_2 - x$$

Решая полученные уравнения относительно  $x$  и  $M$ , получим:

$$x = \frac{M_2 - (M_1 + 180^\circ)}{2} \quad (1)$$

$$M = \frac{M_1 + M_2 - 180^\circ}{2} \quad (2)$$

Следует учесть, что величина  $x$  является проекцией угла на горизонтальную плоскость лимба и меняется в зависимости от угла наклона визирной оси; для угла наклона, равного  $0^\circ$ ,  $x = c$  при обоих положениях трубы. Поэтому при выполнении поверки линия визирования должна быть по возможности горизонтальной.

Как следует из выражения (2), среднее из отсчетов по лимбу, взятых при двух положениях вертикального круга, свободно от влияния коллимационной погрешности. Поэтому измерение горизонтальных углов следует производить при двух положениях трубы (КП и КЛ).

Если величина коллимационной погрешности превышает точность отсчетного устройства, то производят исправление положения визирной оси. Для этого по формуле (2) вычисляют правильный отсчет  $M$  и наводящим винтом алидады устанавливают его на лимбе горизонтального круга. При этом алидада повернется на угол  $x = c$ , а перекрестие сетки нитей отклонится от изображения наблюдаемой точки N. Тогда, ослабив вертикальные винты оправы сетки нитей, с помощью боковых юстировочных винтов перемещают сетку до совмещения ее перекрестия с визирной целью. После этого сетку закрепляют вертикальными винтами и вновь повторяют поверку.

### 3. Поверка положения горизонтальной оси теодолита.

Горизонтальная ось теодолита должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Выполнение условия необходимо для того, чтобы после горизонтирования теодолита коллимационная плоскость занимала отвесное положение. Поверка может быть выполнена двумя способами:

а) на расстоянии 10-20м от стены здания устанавливают теодолит и визируют на высоко расположенную точку А на стене здания. Наклоняя трубу, проектируют эту точку до горизонтального положения визирной оси и отмечают на стене проекцию точки  $a_1$ . Повторив ту же операцию при втором положении трубы, отмечают точку  $a_2$ . Если точки  $a_1$  и  $a_2$  не совпадут то не выполнено условие, т.е. необходимо изменить положение горизонтальной оси теодолита относительно вертикальной.

в) на расстоянии 10-20м от теодолита подвешивают отвес на длинной нити. Наводят перекрестие сетки нитей на верхнюю точку отвеса и плавно опускают зрительную трубу до горизонтального ее положения; при этом наблюдают, не сходит ли изображение нити отвеса с перекрестия сетки нитей.

В современных теодолитах соблюдение этого условия гарантируется предприятием-изготовителем. Тем не менее, поверка условия должна быть обязательно выполнена.

В случае несоблюдения условия исправление положения горизонтальной оси теодолита в полевых условиях не производится; его выполнение допускается только в специальной мастерской или в заводских условиях, так как требует частичной разборки прибора.

Следует учесть, что среднее из отсчетов по лимбу, взятых при наведении на точку при двух положениях трубы (КП и КЛ), свободно от влияния наклона оси вращения трубы.

4. Поверка сетки нитей. Вертикальный штрих сетки нитей должен располагаться в коллимационной плоскости трубы. Иначе, горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярным к оси вращения теодолита.

Выполнение данного условия требует для создания удобств при визировании на отвесные предметы (например, вехи). Для этого, тщательно установив ось вращения теодолита в отвесное положение, визируют на нить отвеса, подвешенного на расстоянии 5-10 м от прибора. Если вертикальный штрих сетки нитей не совпадает с изображением нити отвеса, то необходимо исправить положение сетки нитей путем ее поворота. Для этого слегка ослабляют винты, скрепляющие окулярную часть с

корпусом трубы, и поворачивают окулярную часть вместе с сеткой нитей до требуемого положения; затем винты закрепляют. Отклонение вертикального штриха от отвесной линии допускается не более чем на  $1/3$  величины биссектора сетки нитей.

После юстировки второй основной штрих сетки должен быть горизонтальным, так как взаимная перпендикулярность штрихов гарантируется заводом-изготовителем. Чтобы убедиться в этом, наводят горизонтальный штрих на какую-либо точку и наводящим винтом поворачивают алидаду горизонтального круга; при этом поверяемый штрих должен оставаться на изображении точки. При невыполнении условия юстировку повторяют.

5. *Юстировка места нуля.* Место нуля МО вертикального круга должно быть равно  $0^\circ$  либо близким к  $0^\circ$ .

Для проверки данного условия до начала работ несколько раз определяют МО из измерений различных углов наклона при двух положениях зрительной трубы, чтобы убедиться в его практическом постоянстве. Если среднее значение МО не превышает двойной точности отсчетного устройства ( $МО \leq 2t$ ), то оно осложняет вычислений. В противном случае МО необходимо привести к нулю либо сделать близким к  $0^\circ$ .

В зависимости от конструкции теодолита выполнение данной поверки имеет свои особенности:

а) у теодолита с цилиндрическим уровнем при алидаде вертикального круга (Т5, Т15 и др.), действуя наводящим винтом зрительной трубы, устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный вычисленному значению МО; при этом пузырек уровня при алидаде вертикального круга должен находиться в нуль-пункте. В результате визирная ось трубы будет приведена в горизонтальное положение.

Далее наводящим винтом алидады совмещают нулевые штрихи отсчетного устройства и вертикального круга; при этом пузырек уровня отклонится от нуль-пункта. Тогда с помощью исправительного винта уровня снова приводят пузырек уровня в нуль-пункт. После этого для контроля вновь определяют МО из измерений вертикального угла при КП и КЛ и в случае необходимости повторяют юстировку;

б) у теодолитов с уровнем при горизонтальном круге (Т30, 2Т30) по отсчетам КЛ и КП, полученным при визировании на один и тот же предмет, по формуле (68) или (69) вычисляют свободное от места нуля значение угла наклона  $\nu$  и наводящим винтом трубы устанавливают его на вертикальном круге. При этом горизонтальный штрих сетки сместится с визирной цели. Тогда, действуя вертикальными юстировочными винтами сетки нитей, совмещают средний горизонтальный штрих сетки с изображением наблюдаемой цели. После этого повторяют данную поверку и поверку коллимационной погрешности;

в) у теодолитов с компенсатором вертикального круга (Т5К, 2Т5К, Т30МП и др.) равенство  $МО=0^\circ$  обеспечивается автоматически с помощью специального оптического компенсатора вертикального круга, действующего в диапазоне  $\pm 3,0 - 5,0'$ . При больших значениях МО указанная поверка должна выполняться при установке компенсатора в среднее положение. Уменьшение величины МО вертикального круга теодолитов Т5К и Т30МП может быть достигнуто, как и в предыдущем случае, перемещением основного горизонтального штриха сетки вертикальными юстировочными винтами. В теодолитах 2Т5К и Т15К место нуля исправляют вращением специального юстировочного винта компенсатора.

### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### **Контрольные вопросы**

1) Основные геометрические условия конструкции теодолита.

2) Что называется поверкой, юстировкой?

3) Что называется горизонтированием теодолита?

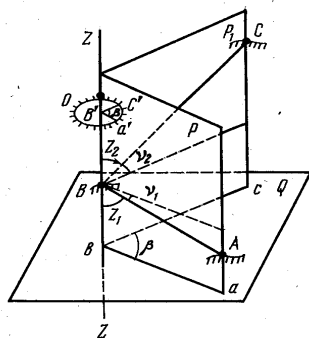
4) Что называется коллимационной поверхностью?

## 5) Поверки теодолита.

### Лекция №40. Принцип измерения горизонтальных углов

При геодезических работах широко применяются приборы для измерения горизонтальных и вертикальных углов любой величины.

Когда требуется измерить угол на точке местности, то обычно два пункта визирования не находятся в горизонтальной плоскости, проходящей через точку стояния прибора. В геодезии же используются горизонтальные углы, представляются собой проекции углов местности на горизонтальную плоскость.



Пусть на местности имеются точки А, В и С, расположенные на разных высотах. Необходимо измерить горизонтальный угол при вершине В. горизонтальным углом будет угол  $abc = \beta$ , образованный проекциями  $ba$  и  $bc$  сторон угла  $ABC$  на горизонтальную плоскость  $Q$ . Следовательно, горизонтальный угол  $\beta$  есть линейный угол двугранного угла между отвесными проектирующими плоскостями  $P$  и  $P_1$ , проходящими соответственно через стороны  $BA$  и  $BC$  угла местности. Горизонтальному углу  $\beta$  будет равен всякий другой угол, вершина которого находится в любой точке отвесного ребра  $Bb$  двугранного угла  $ABC$ , а стороны лежат в плоскости, параллельной горизонтальной плоскости  $Q$

Если в точке  $b'$  представить горизонтально расположенный градуированный круг, центр которого лежит на отвесном ребре  $Bb$ , то на нем можно отметить дугу  $a'c'$ , заключенную между сторонами двугранного угла. Эта дуга, являясь мерой центрального угла  $a'b'c'$ , будет также мерой и равного ему угла  $abc = \beta$ .

Следовательно, для измерения горизонтальных углов на местности угломерный прибор должен иметь в своей конструкции градуированный горизонтальный круг, называемый *лимбом*, и подвижную визирную (*коллимационную*) плоскость, вращающуюся вокруг отвесной оси  $ZZ$ , служащей осью прибора. Последовательно совмещая с помощью визирного приспособления коллимационную плоскость со сторонами двугранного угла, путем взятия отчетов по лимбу на нем можно отметить начало и конец дуги  $a'c'$ . Если деления круга оцифрованы по часовой стрелке, то угол  $\beta$  определится как разность отчетов по лимбу  $a'$  и  $c'$ , т.е.  $\beta = a' - c'$ .

Изложенный геометрический принцип измерения горизонтального угла осуществляется в угломерном приборе – *теодолите*.

#### Измерение углов теодолитами

Перед началом измерений теодолит устанавливается над точкой в рабочее положение. Полная установка прибора в рабочее положение складывается из его центрирования над точкой, горизонтирования и установки зрительной трубы для наблюдений.

*Центрирование* называют действия, в результате которых центр лимба горизонтального круга совмещается с отвесной линией, проходящей через точку стояния прибора. Центрирование может быть выполнено с помощью нитяного отвеса либо оптического центра.

При центрировании теодолита с помощью нитяного отвеса штатив устанавливается так, чтобы отвес оказался приблизительно над точкой, а головка штатива была примерно горизонтальна. Затем, ослабив становой винт, теодолит перемещают по головке штатива до положения, когда острие отвеса будет находиться над центром точки; после этого становой винт закрепляют. При центрировании с помощью оптического центра теодолит перемещают по головке штатива до тех пор, пока в поле зрения центра центр точки (например, шляпки гвоздя в торце колышка) не совпадает с центром сетки нитей.

*Горизонтирование* теодолита заключается в приведении оси его вращения в отвесное положение, а следовательно, плоскости лимба — в горизонтальное положение. Предварительное горизонтирование прибора грубо достигается при установке штатива с использованием предварительно поверенного цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.

*Установка зрительной трубы* для наблюдений включает в себя установку трубы и отсчетного микроскопа по глазу наблюдателя и по предмету, т.е. фокусирование трубы по наблюдаемой цели.

Будем считать, что поверки и юстировка теодолита произведены. Работу по измерению углов на станции выполняют в следующем порядке:

- 1) установка теодолита в рабочее положение: центрирование инструмента; приведение его оси в



отвесное положение (нивелирование инструмента); установка трубы для визирования;

2) измерение горизонтальных углов (направлений); обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

Для измерения горизонтальных углов применяют преимущественно способ приемов при измерении одного угла, способ круговых приемов при измерении на станции углов между тремя и более направлениями.

**Способ приемов.** Для измерения угла АСВ теодолит устанавливают в вершине, угла С и, закрепив лимб, наводят на заднюю точку А. Закрепив алидаду, производят отсчет  $a_1$  по горизонтальному кругу. Далее открепляют алидаду, визируют на переднюю точку В и делают отсчет  $a_2$ . Величина измеряемого угла  $\beta = a_1 - a_2$ .

Такое измерение угла называется *полуприемом*. Для контроля и ослабления влияния инструментальных погрешностей угол измеряют при втором положении вертикального круга, сместив лимб на 5-10° для оптических теодолитов, и приблизительно по 90° – для теодолитов с двумя отсчетными приспособлениями.

Измерение угла во втором полуприеме производится при другом положении вертикального круга теодолита. Два таких измерения составляют *прием*.

Из результатов измерений в полуприемах вычисляют среднее значение измеряемого угла.

Порядок записи отсчетов в журнале и обработки результатов измерений показан в табл. Номера в круглых скобках.

Таблица 3. Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов

Дата 25.04.97г.

Теодолит 2Т30

Наблюдатель Бек Р.Ш.

Видимость хорошая

№ 80383

Вычисляла Аскарова А.

Стояния	Визирования				
В	А	КЛ	22°17,5' (1)	135°02,0' (3)	135°01,8' (7)
	С		247 15,5 (2)		
В	А	КП	202 17,0 (4)	135 01,5 (6)	
	С		67 15,5 (5)		

**Способ круговых приемов.** Установив теодолит над точкой, визируют последовательно на все направления по ходу часовой стрелки и производят отсчеты. Последнее наведение делают на начальное направление, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Эти действия составляют первый полуприем.

Во втором полуприеме смещают лимб, переводят трубу через зенит и последовательно визируют на все направления против хода часовой стрелки.

#### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы

1) Из каких действий состоит полная установка прибора в рабочее положение?

2) В каком порядке выполняется работа по измерению угла?

3) Какие способы измерения углов бывают?

4) Как измеряют горизонтальный угол способом приемов?

5) Как измеряют горизонтальный угол способом круговых приемов?

## Лекция № 41. Измерение вертикальных углов

*Измерение вертикальных углов.* При измерении вертикальных углов исходным направлением является горизонтальное направление, от которого отсчитывается угол наклона.

Вертикальные углы направления на точку визирования лежат в вертикальной плоскости. Если вертикальные углы отсчитываются от отвесной оси  $ZZ$  до направлений на точки  $A$  и  $C$  (см.рис.33), то углы  $Z_1$  и  $Z_2$  называются зенитными расстояниями. При отсчете вертикальных углов от горизонтальных проекций линий до их направлений на местности получают *углы наклона*  $v_1$  и  $v_2$ .

Измерение вертикальных углов – углов наклона производят с помощью вертикального круга. Вертикальный круг теодолита состоит из лимба и алидады. Лимб вертикального круга жестко закреплен на оси вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней; при этом нулевой диаметр лимба должен быть параллелен визирной оси трубы. Алидада вертикального круга при вращении трубы остается неподвижной.

На алидаде вертикального круга закреплен цилиндрический уровень который предназначен для приведения линий нулей (отсчетных индексов) алидады при измерении углов наклона в горизонтальное положение. С этой целью перед взятием отсчетов по вертикальному кругу пузырек уровня должен быть приведен в нуль-пункт при помощи наводящего винта алидады.

Уровень укрепляется на алидаде таким образом, чтобы его ось  $U_1 - U_2$  была параллельна линии нулей (нулевому диаметру) алидады  $OO$  (рис.48,*a*). При соблюдении этого условия после установки на лимбе нулевого отсчета и приведения пузырька уровня в нуль-пункт визирная ось зрительной трубы будет горизонтальна.

В теодолите Т30 уровень при алидаде вертикального круга отсутствует; его функции выполняет цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга, пузырек которого устанавливается в нуль-пункт подъемными винтами теодолита. У некоторых оптических теодолитов (Т5К, Т15К) уровень при алидаде вертикального круга заменяет специальная оптическая система – *компенсатор*, который автоматически устанавливает указатель отсчетного микроскопа (индекс шкалы) в необходимое положение.

В современных теодолитах используются две основные системы оцифровки вертикальных кругов: 1) азимутальная (круговая), при которой деления круга подписаны от 0 до 360° по ходу часовой стрелки (теодолит Т5) либо против хода часовой стрелки (теодолит Т30); 2) секторная, при которой вертикальный круг разбит на четыре сектора, из которых два диаметрально противоположных сектора имеют положительную оцифровку, а два других – отрицательную (2Т30, Т15, 2Т5 и др.). Подобная система надписей более удобна, так как отсчеты градусов получаются одинаковыми по обеим сторонам вертикального угла, что упрощает вычисления углов наклона.

Угол наклона представляет собой разность двух направлений в вертикальной плоскости. Одно из направлений должно соответствовать горизонтальному положению визирной оси зрительной трубы. В случае совпадения нулевых диаметров лимба и алидады (отсчетного устройства) при горизонтальном положении визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня отсчет по вертикальному кругу при визировании на наблюдаемую цель дает значение угла наклона  $\gamma$ . Однако на практике при горизонтальном положении визирной оси трубы  $VV$  и оси цилиндрического уровня  $U_2U_2$  отсчет по вертикальному кругу может оказаться равным не нулю, а некоторой величине, называемой *местом нуля*  $МО$ . Величина  $МО$  представляет собой угол, обусловленный непараллельностью нулевого диаметра алидады  $OO$  и оси цилиндрического уровня, т.е. линии горизонта. Следовательно, местом нуля  $МО$  вертикального круга называется отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня.

Если место нуля заранее известно, то угол наклона  $\gamma$  и  $МО$  можно определить по результатам двух отсчетов полученных при визировании на наблюдаемую цель при двух положениях зрительной трубы: «круге право» (КП) и «круге лево» (КЛ). При этом вид формул, по которым вычисляют значения  $v$  и  $МО$ , зависит от системы оцифровки лимба вертикального круга.

При азимутальной оцифровке лимба вертикального круга по ходу часовой стрелки, т.е. для теодолита Т5.

При визировании на точку  $M$  при двух положениях трубы (КП и КЛ) угол наклона можно определить из отсчетов по вертикальному кругу и значения  $МО$ ;

при «круге право»  $v = КП - МО$ ;

при «круге лево»  $v = 360^\circ - КЛ + МО$

или, отбросив полную окружность (360°), получим

$v = МО - КЛ$

Решая уравнения (63) и (64) относительно  $v$  и  $МО$ , имеем

(3)

(4)

$$v = \frac{КП - КЛ}{2}; \quad (5)$$

$$МО = \frac{КП + КЛ}{2} \quad (6)$$

Следует иметь в виду, что формулы (4) – (6) справедливы в том случае, если отсчеты берутся по стороне лимба, ближайшей к окуляру. Если же при КП и КЛ отсчитывание производится по одной стороне лимба, то отсчеты при КЛ увеличиваются на  $180^\circ$ , тогда значения МО и угла наклона  $\gamma$  определяются по формулам:

$$МО = \frac{КП + (КЛ + 180^\circ)}{2}; \quad (7)$$

$$v = \frac{КП - (КЛ + 180^\circ)}{2}; \quad (8)$$

$$v = МО - (КЛ + 180^\circ) = КП - МО \quad (9)$$

Таким образом, углы наклона могут быть вычислены по формулам (5), (8) и (9) без предварительного определения МО. Однако на практике МО вычисляют на каждой станции, так как его постоянство (в пределах допустимых отклонений) служит надежным контролем правильности измерения углов наклона при КП и КЛ.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы

- 1) Дайте определения «углы наклона»
- 2) Какие используются основные системы оцифровки вертикальных кругов?
- 3) Дайте определение «место нуля».
- 4) Как найти место нуля?
- 5) Как найти углы наклона?

### Тема 7. Линейные измерения

#### Лекция № 42. Общие сведения о назначении, методах, точности измерений и типах мерных приборов

Целью линейных измерений является определение горизонтальных расстояний (проложений) между точками местности. Длины линий местности в геодезии измеряются непосредственными либо косвенными способами; каждому из этих способов присущи свои приборы и методы измерений.

*Непосредственный способ* основан на непосредственном измерении линий местности механическими линейными приборами, к которым относятся мерные ленты, рулетки и проволоки. Процесс измерения длин линий непосредственным способом состоит в последовательном откладывании мерного прибора в створе линии.

При *косвенном способе* длина определяется как функция установленных геометрических или физических соотношений. Геометрическое соотношение используют для аналитических вычислений искомого расстояния по измеренным базисам и углам, а также в оптических дальномерах. Физические соотношения для измерения расстояний положены в основу конструкции электрофизических приборов – светодальнометров и радиодальнометров.

В зависимости от назначения и вида геодезических работ, требований к их точности, а также условий измерений могут применяться те или иные способы или приборы для измерения длин линий.

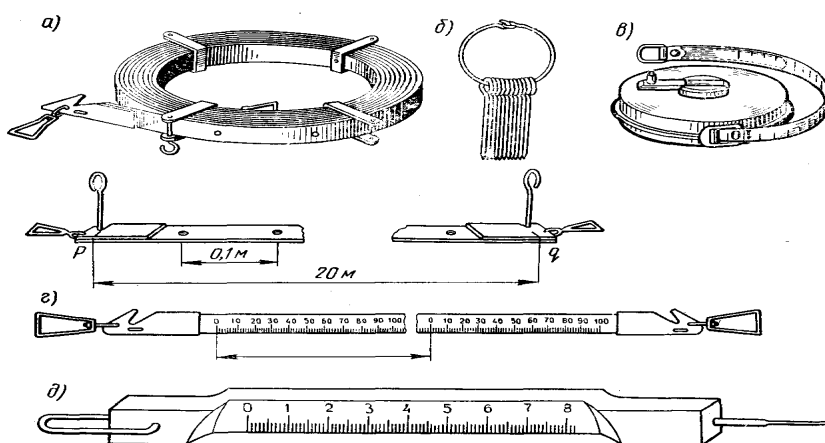
Для непосредственного измерения расстояний используются мерные ленты, рулетки и проволоки. Наиболее часто при линейных измерениях для инженерных целей применяются мерные ленты со шпильками. Длины мерных лент равны 20, 24 или 50м. Существуют рулеточные мерные ленты длиной 20, 24, 50 и 100м. Толщина лент находится в пределах от 0,3 до 0,5мм. Различают ленты *штриховые*

длина которых равна расстоянию между штрихами, написанными у концов ленты против середины вырезов для шпилек, и *шкаловые*, у концов которых нанесены миллиметровые и сантиметровые деления; их применяют для измерения расстояний с повышенной точностью.

Каждая штриховая лента разделена на меры и дециметры. Отдельные метры на ленте обозначены пластинками и выбитыми на них порядковыми номерами; полуметры отмечены круглыми заклепками; дециметры – отверстиями диаметром 2мм. Отрезки линий меньше дециметра отсчитывают по ленте на глаз. При перевозке и хранении ленту наматывают на железное кольцо. К ленте прилагается комплект из 10 (иногда из 5) железных шпилек для фиксации концов ее при измерении.

В строительной практике широко применяют рулетки металлические и тесьмяные длиной 5, 10, 20, 30 и 50м. В нерабочем состоянии рулетки наматываются на катушку, заключенную в футляр. В соответствии с ГОСТ 7502-69 с 1970г. изготавливают следующие типы металлических рулеток: РС – рулетки самосвертывающиеся, РЖ – рулетки желобчатые, РВ и РК – рулетки из углеродистой стали и др.

Для производства точных линейных измерений применяют инварные проволоки длиной 24 и 48м. Проволоки в процессе измерений подвешивают на специальных станках.



Приборы для линейных измерений:

- а- штриховая лента; б-шпильки; в-рулетка; г-шкаловая лента;  
д-шкала мерных проволок.

Перед началом линейных измерений определяют действительную длину мерного прибора путем сравнения с другим прибором, длина которого заранее известна. Такое сравнение длины мерного прибора с другим контрольным называется *компарированием*.

Разность  $\Delta l_k$  между фактической длиной  $l$  мерного прибора и длиной  $l_0$  контрольного прибора называется *поправкой за компарирование, т.е.*

$$\Delta l_k = l - l_0$$

Компарирование мерных приборов производится на специальных устройствах – *компараторах*. Компараторы бывают стационарные и полевые. На стационарных компараторах имеются образцовые инварные жезлы, с помощью которых определяют длину компаратора с высокой точностью, а затем сравнением его длины с длиной мерного прибора находят длину последнего. Полевой компаратор представляет закрепленный на местности базис длиной около 120м, измеренный с высокой точностью. Этот базис измеряют компарируемым прибором 4-5 раз с учетом температуры. Разность между средним значением из результатов измерений и точным значением длины базиса, деления на количество уложенных в данном базисе лент, и даст величину поправки за компарирование.

Таким образом, фактическая длина  $l$  рабочей ленты, который производят измерения, будет:

$$l = l_0 + \Delta l_k .$$

При этом  $\Delta l_k$  считается положительной, если рабочая лента длинее номинальной, а в противном случае – отрицательной.

Если при линейных измерениях предполагается учитывать температуру, то следует измерить температуру  $t_0$ , при которой производилось компарирование.

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### Контрольные вопросы

1) Какие бывают способы измерения длин линий местности?

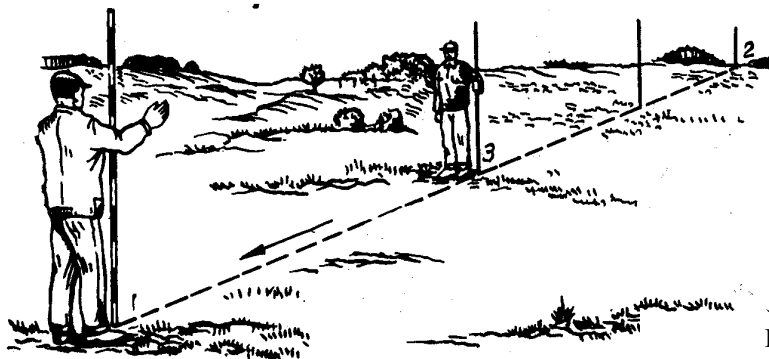
2) Что называется компарированием?

3) Для чего нужна поправка за компарирование?

4) Какими приборами измеряют длину линий на местности?

#### Лекция №43. Измерение длин линий мерными приборами

*Измерение расстояний стальной лентой. Вешенные линии.* Перед измерением на местности створ линии обозначается *вехами* представляющими собой заостренные деревянные шесты длиной 1,5-2,5 м, раскрашенные попеременно через 20 см в белый и красный цвета. При измерении коротких (100-150 м) линий в условиях равнинной местности достаточно установить вехи в конечных точках линий. В случаях измерения длинных линий, особенно в условиях сложного рельефа, в створе линий устанавливается ряд дополнительных вех. Установка вех в створе измеряемой линии называется *вешением линии*.



Вешение линий

Расстояния обычно измеряют два мерщика в следующем порядке. Передний мерщик берет в руку ленты и десять шпилек и разматывает ее вдоль измеряемого отрезка линии, в задний, совместив начальный штрих с точкой А, направляет переднего мерщика в створ линии АВ. Передний мерщик, встряхнув ленту, натягивает ее и фиксирует конец шпилькой. Затем ленту протягивают на один пролет; задний конец ее цепляют крючком за первую шпильку и повторяют все действия, которые производились при измерении первого пролета.

Таким образом, процесс измерения линии продолжается; при этом число установленных передним мерщиком шпилек будет равно числу отложенных лент.

Если передний мерщик израсходовал все шпильки, а расстояние еще не измерено до конца, задний передает ему десять шпилек, удерживая конец ленты у точки, где была последняя шпилька. Передачи шпилек фиксируются в журнале измерений. После этого процесс измерения продолжается. В конце линии между последней шпилькой и точкой В измеряют остаток  $r$ . Для этого ленту цепляют задним крючком за последнюю шпильку, протягивают ее через точку В и против конечной точки линии производят отсчет с точностью до сантиметра.

Длину линии  $D$  определяют по следующей формуле:

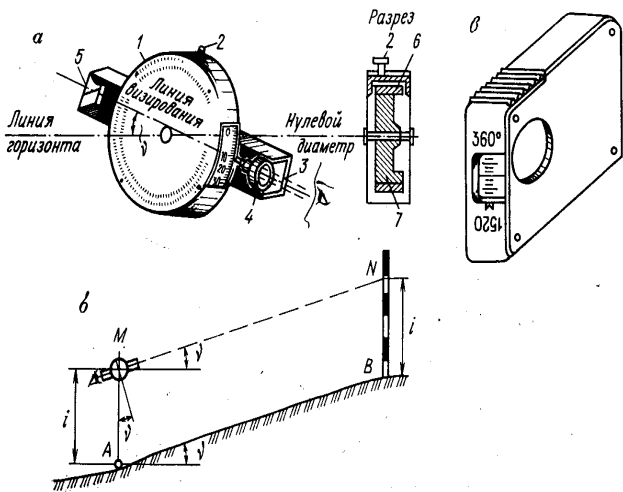
$$D = 20n + r$$

где  $n$  – число отложений ленты, равное числу шпилек, имеющихся у заднего мерщика, включая передачи;  $r$  – остаток.

Если температура  $t$ , при которой производились измерения, отличается от температуры  $t_0$ , компарирования на величину, превышающую  $(8-10)^\circ\text{C}$ , то в измеренную длину отрезка линии вводят поправку за температуру, определяемую по формуле:

$$\Delta D_t = D_a(t - t_0)$$

где  $a$  – линейный коэффициент расширения стали ( $12,5 \times 10^{-6}$ ). Температуру ленты, как правило, измеряют термометром – *працем*.



Для составления плана необходимо знать не наклонные отрезки линий, а их проекции на горизонтальную плоскость (горизонтальные проложения). Горизонтальные проложения отрезков линий можно получить, измерив углы наклона  $v$  их к горизонту. Эти углы обычно измеряют теодолитом или эклиметром. Эклиметр состоит из круглой металлической коробки 2, внутри которой на оси, проходящей через центр круга, вращается кольцо с грузиком, и пустотелой трубки 1 с двумя диоптрами: *предметным и глазным*.

На цилиндрической поверхности кольца нанесены градусные деления в обе стороны от 0 до 60°. В коробке против глазного диоптра имеется окошко, через которое в лупу 3 видны градусные деления.

Для измерения угла наклона линии АВ на одном ее конце становятся с эклиметром, а на другом ставят вежу с меткой на высоте глаза наблюдателя. Через прорезь глазного диоптра наводят нить предметного диоптра на метку вежи и нажимают на стопорную кнопку кольца. Когда круг с делениями под действием силы тяжести грузика успокоится и его нулевой диаметр займет горизонтальное положение, кнопку отпускают и через лупу производят отсчет градусов по кольцу с точностью до  $\pm 0^{\circ},25$ . Это будет угол наклона  $v$ .

*Приведение наклонных отрезков линий к горизонту.* Если измеренный на местности отрезок АВ = D составляет с горизонтом угол наклона  $v$ , то из прямоугольного треугольника АВС горизонтальное положение:

$$d = D \cos v$$

а разность, называемая *поправкой за наклон* к горизонту,

$$\Delta D_{\gamma} = D - d$$

Подставив в (75), вместо  $d$  его значение из (74), получим

$$\Delta D_{\gamma} = D (1 - \cos v)$$

или

$$\Delta D_{\gamma} = 2D \sin^2 \frac{v}{2}$$

Горизонтальное проложение  $d = D - \Delta D_{\gamma}$ .

По формуле (76) составляются таблицы

Пример. Пусть  $D = 169,73$  м и  $v = 4^{\circ}15'$

По формуле (76) имеем

$$d = 169,73 \cdot \cos 4^{\circ}15' = 169,26 \text{ м}; \quad \cos 4^{\circ}15' = 0,99725$$

По таблицам поправок за наклон линий имеем:

D, м	$\Delta D$ , мм
100 .....	280
60 .....	165
9 .....	25
0,73 .....	2
$\Sigma = 169,73$	$\Sigma = 472$

По формуле (75) получаем  $d = 169,73 \text{ м} - 0,47 \text{ м} = 169,26 \text{ м}$ .

Если угол наклона  $v$  меньше  $1^{\circ}$ , то поправку  $\Delta d$  ввиду ее малого значения обычно не учитывают. Если измеряемая линия на разных своих участках имеет разные углы наклона, то следует определить длину линии и углы наклона по отдельным участкам и каждый из них приводить к горизонту, а общее

горизонтальное положение можно получить путем суммирования горизонтальных проложений отдельных участков.

**Вычисление длины линий.** При вычислении длины в ее измеренное значение  $D$  вводят поправки: на компарирование мерного прибора  $\Delta D_v$ , за температуру  $\Delta D_t$  и за приведение к горизонту  $\Delta D_v$ .

Поправка за компарирование вычисляется по формуле:

$$\Delta D = \pm \Delta l_k / 20$$

и вводится в результат измерения со знаком  $\Delta l_k$ .

Поправка за температуру  $\Delta D_t$  вычисляется по формуле за приведение к горизонту  $\Delta D_v$ . Поправка  $\Delta D_v$  всегда вводится в результат измерений со знаком минус.

Окончательно длина линии будет

$$D_{\text{выч.}} = D_{\text{изм.}} + \Delta D_k + \Delta D_t + \Delta D_v$$

Точность измерения расстояний стальной лентой

На точность измерения расстояний лентой оказывают влияние неровности местности и характер грунта, погрешности определения длины мерного прибора и неточного укладывания ленты в створе линии, погрешности за непостоянство натяжения и влияние температуры и т.д. Некоторые из этих погрешностей носят случайный характер, другие – систематический.

Так как длина линии  $D$  есть сумма  $n$  отложений ленты  $l$ , то средняя квадратическая погрешность  $m_1$  одного отложения ленты согласно формуле будет возрастать пропорционально  $\sqrt{n}$ , а систематический  $m_2$  – пропорционально числу  $n$ . Квадрат полной погрешности равен сумме квадратов погрешностей ее составляющих, т.е.

$$m_D^2 = m_1^2 n + m_2^2 n^2$$

так как

$$n = D/l, \text{ то}$$
$$m_D^2 = \frac{m_1^2}{l} D + \frac{m_2^2}{l^2} D^2$$

Обозначив

$$m_1 \sqrt{l} = \mu,$$

получим

$$m_D^2 = \mu D + \lambda^2 D^2,$$

где  $\mu$  - коэффициент случайного влияния (для стальных лент он колеблется от 0,004 до 0,006);  $\lambda$  - коэффициент систематического влияния ( $\lambda$  в 20–30 раз меньше  $\mu$ ).

Относительная погрешность результатов измерения лентой не превышает 1:3000 при благоприятных условиях; 1:2000 при средних условиях и 1:1000 при неблагоприятных условиях.

При измерении отрезков линии в прямом и обратном направлениях вычисляют разность  $\Delta D = D_1 - D_2$ . Приняв в качестве предельной относительную погрешность 1:2000, получим

$$|\Delta D| / D \leq 1 / 2000$$

Если условие (81) не выполняется, то линию необходимо переменить. При выполнении этого условия за окончательный результат принимаю среднее значение:

$$D = (D_1 + D_2) / 2$$

### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы

1) Как производят вешение линий?

2) Как приводят наклонные отрезки линий к горизонту?

3) Как вычисляют длину линий?

#### 4) Как вводится поправка за наклон?

### Лекция №44. Измерение длин линий дальномерами

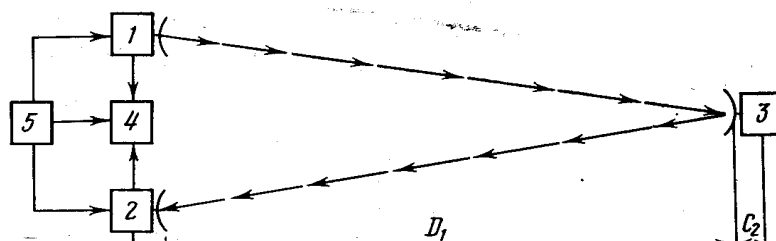
#### Свето- и радиодальномеры

В настоящее время в геодезии и маркшейдерском деле все большее распространение получают электрофизические приборы для определения расстояний, основанные на принципах электронного измерения времени распространения электромагнитных волн между конечными точками измеряемой линии. В зависимости от вида электромагнитных колебаний такие приборы подразделяются на *светодальномеры и радиодальномеры*.

Свето- и радиодальномеры с оптическими дальномерами обладают значительно более высокой точностью измерений и возможностью измерений больших расстояний. Приоритет в области разработки теории и конструирования этих приборов принадлежит ученым и инженерам СНГ. Теоретические основы радиодальномера впервые разработаны акад. Л.И.Мандельштамом и Н.Д.Папалекси в начале 30-х годов. В.Я.Щеголевым был сконструирован первый радиодальномер, с 1936г. приборы этого типа применялись при гидрографических работах в Арктике. Первый электрооптический дальномер был разработан и построен в 1936 г. в Государственном оптическом институте им.С.И.Вавилова сотрудниками института В.В.Балаковым и В.Г.Вафияди под руководством акад.А.А.Лебедева. С начала 50-х годов в СНГ был создан целый ряд конструкций геодезических и топографических светодальномеров, обеспечивающих измерения расстояний от нескольких метров до 50 км с точностью от 1:10 000 до 1:500 000.

Светодальномеры (электрические дальномеры) по методу измерения времени прохождения электромагнитной волной измеряемой длины подразделяются на *импульсные и фазовые*.

В импульсных светодальномерах непосредственно измеряют промежуток времени  $t$ , в течение которого световой импульс проходит двойное расстояние между конечными точками измеряемой линии. Принцип измерения расстояния импульсным дальномером показан на рис.50.



Принцип измерения расстояния светодальномером

Импульс электромагнитных колебаний передатчиком 1 направляется к отражателю 3; одновременно часть импульса направляется на индикатор времени 4. Отраженный импульс улавливается приемником 2 и регистрируется индикатором времени. Для образования сигнала и обеспечения работы частей дальномера служит источник энергии 5. Определив время  $t$  прохождения импульсом пути «передатчик – отражатель – приемник» и зная скорость  $v$  распространения электромагнитных волн в воздухе, можно рассчитать расстояние между точками А и В по формуле

$$D = D_1 + c = \sigma \frac{t}{2} c$$

где  $v$  - скорость распространения электромагнитных волн в воздухе, равная  $v = v_0/n$ ;  $v_0$  - скорость распространения электромагнитных волн в вакууме ( $v_0 = 299792,5 \pm 0,4 \text{ км/с}$ );  $n$  - показатель преломления воздуха, зависящий от температуры, давления и влажности воздушной среды;  $D_1$  - расстояние проходимое световым импульсом от передатчика до отражателя;  $c$  - постоянная дальномера, определяемая специальными исследованиями; согласно рис.8.  $c = c_1 + c_2$ .

Импульсные дальномеры из-за сравнительно низкой точности, сложности и громоздкости аппаратуры находят ограниченное применение в геодезических работах. Наиболее точные из них – радиовысотолмеры, применяются при аэрофотосъемке для определения высоты полета самолета в момент фотографирования местности. Погрешность определения ими высоты составляет в равнинной местности около 1,2 м, в гористой – 2 м. Для более точных измерений в геодезических и маркшейдерских работах получили распространение фазовые светодальномеры, в которых время определяется косвенно, по разности фаз двух колебаний, образовавшихся при данном расстоянии  $D_1$  и частоте  $f$ .

В качестве источников света в дальномерах используют лампы накаливания, газоразрядные ис-



точники света, светодиоды и лазеры. Использование в светодальномерах лазерных источников света повышает дальность и точность измерений расстояний. Так, с помощью остронаправленного луча лазера было измерено расстояние от поверхности Земли до Луны (373 787,265 км) с относительной погрешностью около 1:90 000 000.

Ранее в нашей стране были разработаны и изготавливались светодальномеры «Кварц», СГ-3, ЭОД-1, СВВ-1, ГД-316, серии СТ-(62-66), «Кристалл», СМ-2, КДГ-3 (СМ-3), МСД-1 и др. В соответствии с действующим ГОСТ 19223-82 светодальномеры по точности их работы подразделяются на *высокоточные и технические*. Данным стандартом предусматривается изготовление следующих типов светодальномеров:

1. СБ-6 – светодальномер высокоточный большой для измерения расстояний до 30 км днем и 50 км ночью со средней квадратической погрешностью не более  $m = \pm (1 + 0,1D)$ , см, где  $D$  – расстояние, км. Предназначен для измерения базисов в триангуляции 1, 2, 3 классов и линий в трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3 классов.

2. СМ-02 – светодальномер высокоточный малый для измерения расстояний до 300 м со средней квадратической погрешностью не более 2 мм, предназначен для целей инженерной геодезии и маркшейдерских работ.

Маркшейдерский светодальномер СМ-02М (МСД-1М) выпускается во взрывобезопасном исполнении и используется для измерения расстояний от 1 до 500 м в горных выработках и на земной поверхности.

3. СМ-2 – светодальномер точный малый для измерения расстояний 2см; предназначен для измерения базисов в триангуляции 4 класса, а также линий в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. Светодальномер под шифром 2СМ-2 изготавливается серийно с 1976г.

4. СМ-5 – светодальномер технический малый для измерения расстояний до 500 м со средней квадратической погрешностью не более 5 см; предназначен для измерения линий в полигонометрии 2 разряда и теодолитных ходах. Имеет небольшую массу и габариты; может выпускаться как в виде самостоятельных приборов, так и в виде насадок на теодолиты (СМН-5).

Из зарубежных точных светодальномеров наибольшее распространение в СНГ получил светодальномер ЕОК2000 (Народное предприятие «Карл Цейсс», Йена, ГДР); с 1978г. в ГДР освоен выпуск светотахеометра ЕОС 2000 с автоматическим цифровым измерением расстояний до 3 км, с погрешностью 10мм.

Принцип действия радиодальномеров практически тот же, что и светодальномеров. Радиодальномеры состоят из двух взаимозаменяемых приемопередающих радиостанций, размещаемых в пунктах, между которыми определяется расстояние. Радиостанции снабжены устройствами для времени прохождения радиосигналов от одного пункта до другого. В отличие от светодальномеров, на работу которых существенное влияние оказывают атмосферные условия, радиодальномеры позволяют вести измерения при любых метеорологических условиях (кроме сильного дождя) и в любое время суток. Радиодальномеры обладают большей (до 150 км) дальностью действия, чем светодальномеры. Это объясняется меньшим затуханием радиоволн в атмосфере по сравнению со световыми, а также применением в радиодальномерах активных отражателей, которые ретранслируют сигналы, принятые от передающей станции.

Недостатком радиодальномеров являются большая постоянная часть погрешностей измерений (до 3-5 см) и возможность получения ошибочных результатов вследствие отражения радиоволн от складок рельефа и местных предметов.

В последние годы созданы радиодальномеры с отделяемыми антенно-передающими устройствами, которые поднимаются с помощью легких мачт на высоту до нескольких десятков метров (радиодальномер «Луч»). Это позволяет создавать геодезические сети методами трилатерации и полигонометрии без постройки дорогостоящих геодезических сигналов. В настоящее время при измерениях длин сторон государственных геодезических сетей 2,3 и 4 классов успешно применяются радиодальномеры РДГВ и «Луч», обеспечивающие измерение расстояний до 30-40 км с точностью 1:200000-1:300000.

Подробно конструкции и порядок работы с электрофизическими дальномерами изучаются в специальном курсе «Маркшейдерско-геодезические приборы».

### **Оптические дальномеры**

Оптические дальномеры – это геодезические приборы, позволяющие определять горизонтальные и наклонные расстояния косвенным методом. В основу определения расстояний оптическими дальномерами положено решение равнобедренного (или прямоугольного) треугольника, имеющего одну короткую сторону (рис.51,а). Острый угол  $\epsilon$  такого треугольника называется *параллактическим*, а

противолежащая сторона – базой.

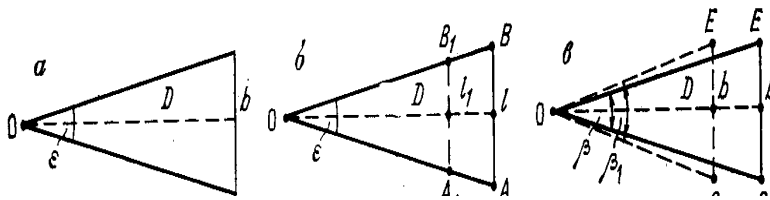


Рис.51. Принцип измерения расстояния оптическими дальномерами

Расстояние  $D$  определяется решением параллактического треугольника по формуле:

$$D = \frac{1}{2} b \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}$$

Конструкциями оптических дальномеров предусматривается, что одна из величин (угол  $\varepsilon$  или база  $b$ ) является постоянной, а вторая – переменной величиной, подлежащей измерению. В зависимости от этого различают два типа оптических дальномеров.

1. Дальномеры с постоянным параллактическим углом (рис.51,б). При работе с такими дальномерами измеряют переменную величину  $l$  с помощью дальномерной рейки, устанавливаемой в конечной точке измеряемой линии.

Обозначив в формуле (83) постоянную величину  $\frac{p}{\varepsilon}$  через  $K$ , т.е.  $\frac{p}{\varepsilon} = K$ , получим  $D = K \cdot l$

где  $K$ - коэффициент дальномера.

2. Дальномеры с постоянной базой. При работе с дальномерами данного типа измеряют угол  $\beta$ ; постоянная база  $b$  закрепляется на дальномерной рейке специальными марками. В этом случае искомое расстояние  $D$  определится по формуле:

$$D = \frac{K}{\beta},$$

где  $K = b \rho$  - коэффициент дальномера.

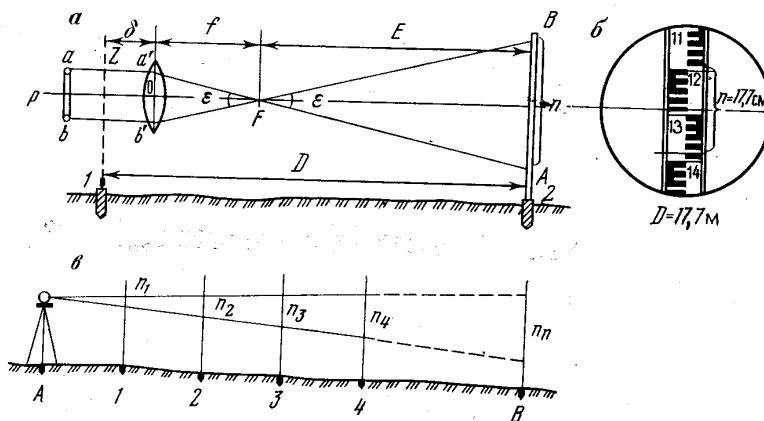


Схема определения расстояния с помощью дальномера

Во всех случаях дальномерная рейка может занимать как горизонтальное, так и вертикальное положение. При горизонтальном расположении ее длина обычно не превосходит 2м, а при вертикальном достигает 4 м. Оптические дальномеры предназначены для определения расстояний от десятков до нескольких сотен метров.

Определение расстояний нитяным дальномером. Нитяной дальномер относится к простейшим

оптическим дальномером с постоянным параллактическим углом и переменной базой при определяемой точке. Он представляет собой зрительную трубу, на сетке нитей которой дополнительно нанесены дальномерные штрихи симметрично расположенные относительно визирной оси.

Теория нитяного дальномера определяется типом зрительной трубы, в которой он применен, - с внешним или внутренним фокусированием.

Рассмотрим его принципиальную схему.

Пусть требуется определить расстояние  $D$  между точками 1 и 2. В точке 1 установлен теодолит, ось вращения которого совпадает с отвесной линией точки 1; в точке 2 вертикально установлена дальномерная рейка.

Рассмотрим вначале частный случай, когда визирная ось трубы занимает горизонтальное положение и, следовательно, перпендикулярна к рейке. Параллактический угол  $\varepsilon$  образуется лучами визирования, проходящими через дальномерные нити  $a$  и  $b$ ; его величина зависит от расстояния между ними  $p=ab$ . Вершина угла  $\varepsilon$  совпадает с передним фокусом  $F$  объектива.

Как видно из рис. искомое расстояние

$$D = E + \delta + f,$$

где  $E$  – расстояние от переднего фокуса объектива до рейки;  $\delta$  - расстояние от объектива до оси вращения прибора;  $f$  – фокусное расстояние объектива.

Лучи от дальномерных нитей  $a$  и  $b$ , пройдя через объектив и его передний фокус, пересекают рейку в точках  $A$  и  $B$ . Из подобия треугольников  $ABF$  и  $a'b'F$  имеем:

$$\frac{E}{n} = \frac{f}{p},$$

откуда

$$E = \frac{f}{p} n$$

Поскольку величины  $f$  и  $p$  являются постоянными, то и их отношение  $\frac{f}{p} = K$  - величина постоянная для данного прибора и называется *коэффициентом дальномера*. Тогда определяемое расстояние

между точками 1 и 2 будет:

$$D = E + f + \delta = Kn + c,$$

где  $c = f + \delta$  - постоянная слагаемая дальномера.

Для удобства вычисления расстояний величины  $f$  и  $p$  в приборах подбирают таким образом, чтобы  $K = 100$ . Такое значение коэффициента дальномера будет иметь место при  $\varepsilon = 34,38' = 34,22,8''$ .

Величина  $c = f + \delta$  в трубах с внешним фокусированием достигает 0,6 м, поэтому при крупномасштабных съемках (1:500, 1:1000, 1:2000) ее необходимо учитывать. Для труб с внутренним фокусированием величина  $c$  обычно не превышает 4 см, в связи с чем ею пренебрегают.

При измерении расстояний нитяным дальномером величину переменного базиса  $l$  выражают числом  $n$  делений дальномерной рейки видимых под углом  $\varepsilon$  на данном расстоянии. Значение  $n$  находят как разность отсчетов по рейке, взятых по нижней и верхней дальномерным нитям. Тогда для труб с внутренним фокусированием искомое расстояние определится как

$$D = Kn = 100n$$

Например, отсчеты по дальномерным нитям по рейке равны 2522 мм и 1208 мм. Тогда  $n = 2522 - 1208 = 1314$  мм = 131,4 см;  $D = Kn = 100 \times 131,4$  см = 13 140 = 131,4 м.

Практически измерение расстояния нитяным дальномером производится следующим образом. Визируют на рейку и наводящим винтом зрительной трубы совмещают верхнюю дальномерную нить с отсчетом, кратным 10 см. По рейке отсчитывают число сантиметров, заключенных между дальномерными нитями. При  $K = 100$  дальномерный отсчет по рейке в сантиметрах выразит искомое расстояние в метрах.

При измерении больших расстояний, а также в случаях, когда нижние деления рейки закрываются травой, кустарником, складками рельефа местности и т.п., для взятия дальномерных отсчетов можно пользоваться дальномерной и средней нитями, принимая коэффициент дальномера  $K = 200$ . С помощью нитяного дальномера рекомендуется измерять линии длиной не более 200м; при больших расстояниях линию следует делить на части.

К достоинствам нитяного дальномера относятся простота устройства и удобства применения, к недостаткам – сравнительно низкая точность измерения расстояний, равная 1:200 – 1:400. Последнее обусловлено влиянием на результаты измерений неблагоприятных внешних условий, неточности отсчитывания по рейке, большой толщины нитей, неточности коэффициента дальномера и делений рей-

ки и т.п. При необходимости точность измерения длин линий может быть повышена применением дальномеров двойного изображения.

### Определение недоступных расстояний

В практике инженерно-геодезических работ довольно часто оказывается невозможным непосредственное измерение расстояния между двумя точками местности. Это имеет место при пересечении линиями различного рода препятствий: рек, оврагов, заболоченных участков, котлованов, зданий и т.п. В таких случаях искомое расстояние, называемое *недоступным*, определяют косвенным путем, выполнив соответствующие измерения.

Пусть требуется определить расстояние  $AB = a$ , которое не может быть измерено непосредственным способом. При этом искомое расстояние  $a$  определяется из решения двух треугольников, в которых измерены на местности две стороны (базисы)  $b$  и  $b_1$  и горизонтальные углы  $\alpha, \alpha_1$  и  $\beta, \beta_1$ . Базисы выбираются по возможности на ровной местности, удобной для линейных измерений, и измеряются не менее двух раз. В точках А, С и D последовательно устанавливают теодолит и измеряют углы  $\alpha, \alpha_1, \beta$  и  $\beta_1$ . Если имеется возможность, то для контроля угловых измерений следует измерить также углы  $\gamma$  и  $\gamma_1$ .

Значение недоступного расстояния вычисляют по теореме синусов дважды по формулам:

$$a = b \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad a = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_1)}$$

Расхождение между обоими результатами не должно превышать некоторой величины, устанавливаемой в зависимости от требуемой точности. За окончательное значение искомого расстояния принимается среднее арифметическое из полученных результатов.

Точность определения недоступного расстояния зависит от точности измерения базисов и углов, а также от формы треугольников. Для получения наиболее точных результатов (при прочих равных условиях) треугольники по форме должны приближаться к равносторонним.

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы

- 1) Что вы знаете о светодальномерах.
- 2) Что вы знаете о радиальномерах.
- 3) На какие типы делятся оптические дальномеры?
- 4) Как определяются расстояния нитяным дальномером?
- 5) Как определить недоступные расстояния?

## Тема 8. Геодезические сети

Лекция №45. Главная геодезическая основа и съёмочные сети. Общие сведения об опорных плановых и высотных сетях, сетях сгущения построения геодезических сетей

Для выполнения топографических съёмок, производства инженерно-геодезических работ в строительстве и для решения научных задач необходимо на местности иметь геодезические сети. Геодезическая сеть — это система закрепленных точек земной поверхности, положение которых определено в общей для них системе геодезических координат. Геодезическая сеть бывает двух видов: плановая и высотная.

В СССР геодезические сети, как плановые, так и высотные, подразделяются на государственную геодезическую сеть, геодезическую сеть сгущения и съёмочную геодезическую сеть. Государственная геодезическая сеть является исходной для построения всех других геодезических сетей. Сеть сгущения служит для дальнейшего увеличения количества точек геодезической сети. Съёмочная сеть является геодезическим

обоснованием для производства топографических съемок, а также для выполнения различного рода инженерно-геодезических работ.

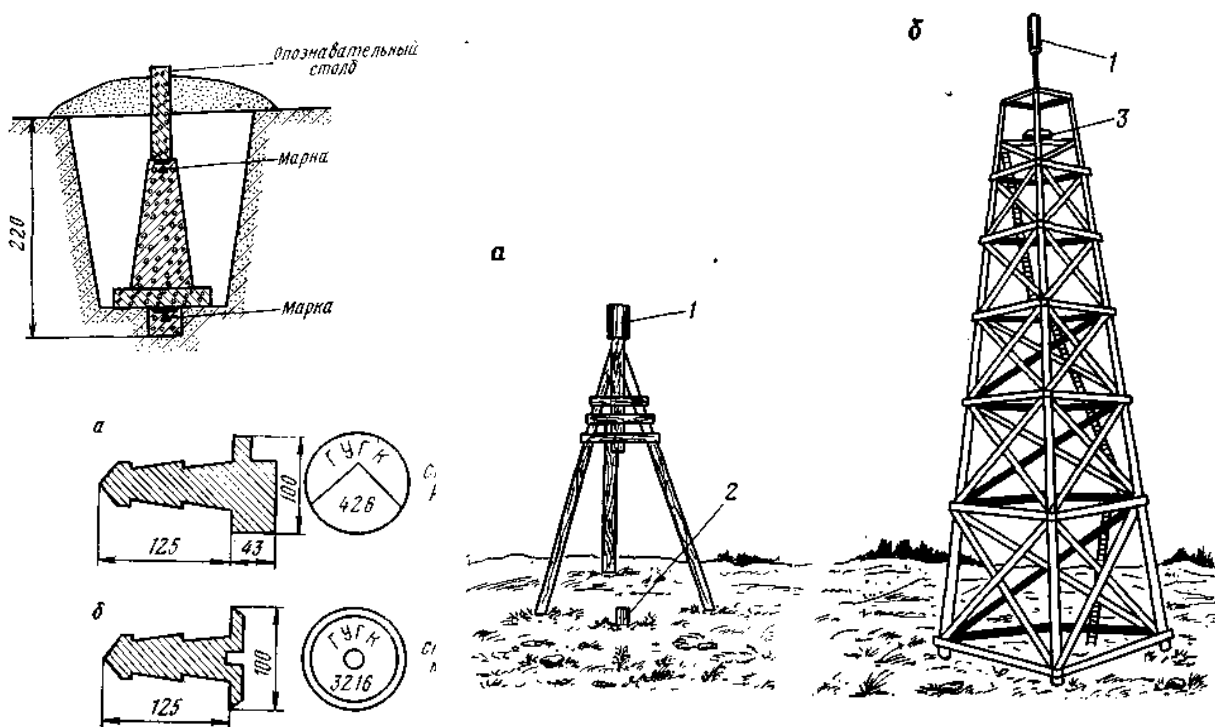
*Геодезические знаки и пункты*

*Назначение и виды наружных геодезических знаков.*

Пункты плановой государственной геодезической сети закрепляются центрами, обеспечивающими неизменность их положения в течение длительного времени. Существуют различные типы центров в зависимости от состава грунта и глубины промерзания почвы. На рисунке показан центр для районов неглубокого (до 1,5 м) промерзания грунта.

Для обеспечения взаимной видимости между пунктами при выполнении угловых и линейных измерений над центрами устанавливаются специальные геодезические знаки. В зависимости от условий местности эти знаки бывают разных конструкций, от простых пирамид до сложных сигналов.

В верхней части этих знаков устанавливаются визирный цилиндр 1, служащий визирной целью при производстве угловых измерений. В условиях открытой всхолмленной местности, обеспечивающей видимость между пунктами, устанавливаются простые пирамиды, и угловые измерения производятся со штатива, установленного на земле непосредственно над центром 2. В условиях залесенной равнинной местности строятся сигналы высотой до 40 м и выше. В этом случае прибор для измерения углов устанавливается на специальном столике 3, устроенном в верхней части сигнала. При сооружении таких сигналов ставится условие, чтобы ось визирного цилиндра, центр столика для прибора и центр пункта находились на одной отвесной линии.



В городах с многоэтажной застройкой пункты триангуляции устанавливаются на крышах высоких зданий. Такая надстройка представляет собой столик для прибора в виде кирпичного или бетонного столба и визирный цилиндр или металлический сигнал, устанавливаемый над столиком.

Пункты высотной государственной геодезической сети закрепляются специальными знаками — стенными реперами и марками, грунтовыми реперами. Стенные реперы и марки закрепляются в стены фундаментальных зданий. Отметка марки соответствует центру отверстия в диске марки, в которое подвешивается нивелирная рейка. Отметка стенного репера относится к полочке, на которую устанавливается рейка при привязке к реперу. В основном, в качестве нивелирных знаков используются стенные реперы.

При отсутствии фундаментальных зданий закладываются грунтовые реперы, состоящие из железной трубы или отрезка рельса, заделываемых в бетонные монолиты. В верхний конец трубы закладываются марки со сферической головкой. При нивелировании определяют отметку верхней точки сферической головки.

Пункты геодезических сетей сгущения закрепляются так же, как и пункты государственных геодезических сетей, постоянными знаками.

Пункты съёмочных геодезических сетей закрепляются, в основном, временными знаками: деревянными столбами и кольями, отрезками металлических труб и т. д.

Координаты всех пунктов плановой геодезической сети, а также отметки пунктов высотной геодезической сети заносятся в специальные каталоги, в которых кроме названия пунктов дается описание их месторасположения.

#### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

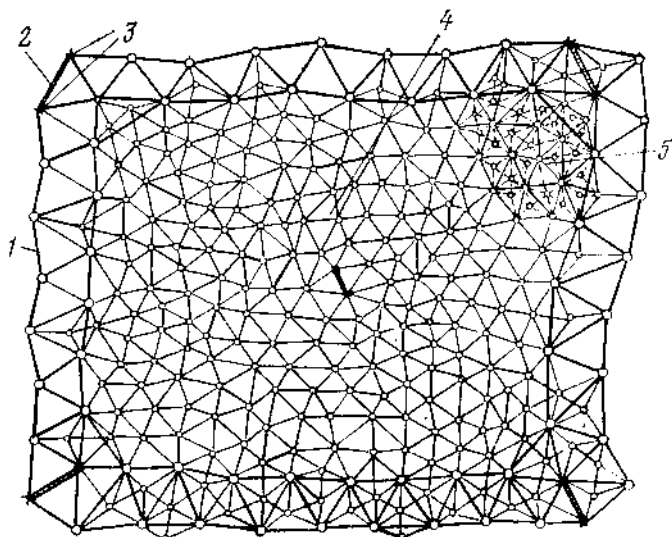
#### Контрольные вопросы:

- 1) Что называется геодезической сетью?
- 2) Какие виды геодезической сети бывают?
- 3) Назначение и виды наружных геодезических знаков.
- 4) Какими знаками закрепляются пункты геодезической сети?
- 5) Куда заносят координаты пунктов геодезической сети?

#### Лекция №46. Государственные геодезические сети СНГ и РК

Государственные плановые геодезические сети СНГ и РК подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов. Сеть 1 класса предназначается для решения научных задач геодезии, а также является основой для развития геодезических сетей последующих классов. Геодезическая сеть 1 класса строится в виде полигонов периметром около 800 км, образуемых триангуляционными звеньями *l* длиной не более 200 км, располагаемыми по возможности вдоль меридианов и параллелей.

В местах пересечения звеньев триангуляции измеряются базисные стороны *2*. На концах базисных сторон закрепляются пункты *3*, широта и долгота которых, а также азимут направления между ними определяются путем астрономических наблюдений. Такие пункты, координаты которых определяют из астрономических наблюдений, получили название астрономических пунктов или пунктов Лапласа, а геодезическую сеть с включенными в нее астрономическими пунктами называют астрономо-геодезической сетью.



Сеть 2 класса строится в виде сплошной сети треугольников *4*, покрывающих полигоны 1 класса или в виде пересекающихся ходов полигонометрии. Пункты сетей триангуляции 3 и 4 классов *5* определяются вставками систем треугольников или отдельных пунктов относительно пунктов высшего класса.

### Основная литература

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

- 1) Как делятся государственные плановые геодезические сети?
- 2) Как строится государственная сеть 1 класса?
- 3) Какие пункты называются пунктами Лапласа?
- 4) Как строится государственная сеть 2 класса?
- 5) Как строятся пункты сети триангуляции 3 и 4 класса?

### Лекция №47. Методы создания плановой геодезической сети

Плановые геодезические сети создаются методами триангуляции, полигонометрии и трилатерации.

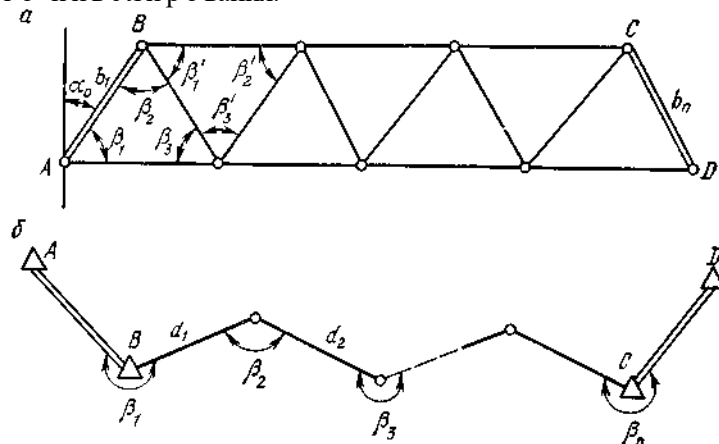
При построении геодезической сети методом триангуляции на местности закрепляется ряд точек, которые в своей совокупности образуют систему треугольников. В треугольниках измеряются все углы и некоторые стороны, которые называются базисными. По длине базисной стороны  $b_1$  и измеренным углам вычисляют длины всех сторон треугольников, причем сторона  $b_n$  в данном ряду треугольников будет являться контрольной. Зная дирекционный угол  $\alpha_0$  базисной стороны  $b_1$  и координаты одного из пунктов  $X_A, Y_A$ , можно вычислить координаты всех пунктов сети.

Метод полигонометрии заключается в построении на местности системы ломаных линий, называемых полигонометрическими ходами. Эти ходы прокладываются обычно между пунктами триангуляции. В полигонометрических ходах измеряются все углы поворота и длины всех сторон.

При построении сети методом трилатерации на местности также строится сеть треугольников, в которых при помощи свето- или радиодальномеров измеряются все стороны.

В настоящее время построение опорных геодезических сетей выполняется с использованием спутниковых навигационных систем НАВСТАР и ГЛОНАСС.

Высотная геодезическая сеть строится методом геометрического или тригонометрического нивелирования.



**Государственная высотная геодезическая сеть** также делится на классы. Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории СССР. Нивелирные сети III и IV классов служат для обеспечения топографических съемок и решения инженерных задач.

Нивелирование I класса выполняют с наивысшей точностью. Невязки в полигонах или нивелирных ходах последующих классов допускают не более  $\pm 5\sqrt{L}$ , мм для II класса,  $\pm 10\sqrt{L}$ , мм для III класса и

$\pm 20\sqrt{L}$ , мм для IV класса, где  $I$  — периметр полигона или длина нивелирного хода в километрах. Высоты пунктов государственной нивелирной сети считают от нуля Кронштадтского футштока (Балтийская система).

В результате развития государственной геодезической сети средняя плотность пунктов плановой и высотной основы для создания съемочного геодезического обоснования в соответствии с инструкцией по топографическим съемкам должна быть доведена:

на территориях, подлежащих съемкам в масштабе 1:25000 и 1:10000, до одного пункта плановой и высотной основы на 50—60 км<sup>2</sup>;

на территориях, подлежащих съемкам в масштабе 1:5000, до одного пункта триангуляции или полигонометрии на 20—30 км<sup>2</sup> и одного пункта высотной основы на 10—15 км<sup>2</sup>;

на территориях, подлежащих съемкам в масштабе 1:2000 и крупнее, до одного пункта триангуляции или полигонометрии на 5—15 км<sup>2</sup> и одного пункта высотной основы на 5—7 км<sup>2</sup>.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) Какими методами создаются плановые геодезические сети?

2) Как строятся геодезические сети методом триангуляции, полигонометрии, трилатерации?

3) Как строятся в настоящее время опорные геодезические сети?

4) Как создается государственная высотная геодезическая сеть?

5) Как делится государственная высотная геодезическая сеть?

### **Лекция №48. Съемочные геодезические сети. Методы создания съемочного обоснования. Теодолитные хода.**

Топографическую съемку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. Так же точками служат пункты опорных государственных и инженерно-геодезических сетей. Однако их количества, приходящегося площадь снимаемого участка, большей частью бывает недостаточно, поэтому геодезическая основа сгущается обоснованием, называемым съемочным.

Съемочное обоснование развивается от пунктов плановых и высотных опорных сетей. На участках съемки площадью до 1 км<sup>2</sup> съемочное обоснование может быть создано в виде самостоятельной геодезической опорной сети.

При построении съемочного обоснования одновременно определяют положение точек в плане и по высоте. Плановое положе точек съемочного обоснования определяют проложением теодолитных и тахеометрических ходов, построением аналитических сетей треугольников и различного рода засечками. Высоты точек съемочного обоснования чаще всего определяют геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

Самый распространенный вид съемочного планового обоснования — теодолитные ходы, опирающиеся на один или два исходных пункта, или системы ходов, опирающихся не менее чем на два исходных пункта. В системе ходов, в местах их пересечений, образуются узловые точки, в которых могут сходиться несколько ходов. Длины теодолитных ходов зависят от масштаба съемки и условий снимаемой местности. Например, для съемки застроенной территории в масштабе 1:5000 длина хода не должна превышать 4,0 км; в масштабе 1:500 — 0,8 км; на незастроенной территории — соответственно 6,0 и 1,2 км. Длины линий в съемочных теодолитных ходах должны быть не более 350 м и не менее 20 м. Относительные линейные невязки в ходах не должны превышать 1:2000, а при неблагоприятных условиях измерений (заросли, болото) — 1:1000.

Углы поворота на точках ходов измеряют теодолитами со средней квадратической ошибкой 0,5' одним приемом. Расхождение значений углов в полуприемах допускают не более 0,8'. Длину линий в



ходах измеряют оптическими или светодальномерами, мерными лентами и рулетками. Каждую сторону измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях. Расхождение в измеренных значениях допускается в пределах 1:2000 от измеряемой длины линии.

При определении высот точек съемочного обоснования геометрическим нивелированием невязка в ходе не должна превышать  $5\sqrt{L}$  см, тригонометрическим нивелированием —  $20\sqrt{L}$  см, где  $L$  — длина хода, км.

Точки съемочного обоснования, как правило, закрепляют на местности временными знаками: деревянными кольями, столбами, металлическими штырями, трубами. Если эти точки предполагается использовать в дальнейшем для других целей, их закрепляют постоянными знаками.

Для составления топографических планов применяют аналитический, мензуральный, тахеометрический, аэрофототопографический, фототеодолитный методы съемок, съемку нивелированием поверхности и с помощью спутниковых приемников. Применение того или иного метода зависит в основном от условий и масштаба съемки.

### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

1) Что называется съемочной геодезической сетью?

2) Методы создания съемочного обоснования.

3) Расскажите о теодолитных ходах.

4) Как закрепляются точки съемочного обоснования?

## Лекция № 49. Прямая, обратная и комбинированные засечки

### Прямая геодезическая засечка

Прямая угловая и азимутальная засечки. Прямая угловая засечка, широко используемая при точных геодезических работах, заключается в определении координат точки по измеренным на двух исходных пунктах горизонтальным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . При азимутальной засечке в исходных пунктах А и В гиротеодолитом измеряют азимуты линий АР и ВР и при необходимости вводят в них поправки за сближение меридианов.

Общее решение прямой угловой и азимутальной засечек основано на отыскании точки пересечения линий визирования АР и ВР. Вычислив дирекционные углы линий АР и ВР, координаты определяемой точки вычисляют по формулам Гаусса

$$X_P = (X_A \operatorname{tg} \alpha_{AP} - X_B \operatorname{tg} \alpha_{BP} + Y_B - Y_A) / (\operatorname{tg} \alpha_{AP} + \operatorname{tg} \alpha_{BP});$$

$$Y_P = Y_A + (X_P - X_A) \operatorname{tg} \alpha_{AP},$$

где  $X_A, Y_A$  — координаты исходных пунктов А и В;  $\alpha_{AP}, \alpha_{BP}$  — дирекционные углы линий АР и ВР.

Для контроля вычислений вторично определяют ординату искомой точки по формуле

$$Y_P = Y_B + (X_P - X_B) \operatorname{tg} \alpha_{BP},$$

Если один из дирекционных углов близок к  $90^\circ$  или  $270^\circ$ , то координаты определяемого пункта вычисляют по формулам

$$Y_P = (Y_A \operatorname{ctg} \alpha_{AP} - Y_B \operatorname{ctg} \alpha_{BP} + X_B + X_A) / (\operatorname{ctg} \alpha_{AP} - \operatorname{ctg} \alpha_{BP});$$

$$X_P = X_A + (Y_P - Y_A) \operatorname{ctg} \alpha_{AP} = X_B + (Y_P - Y_B) \operatorname{ctg} \alpha_{BP}$$

Средняя квадратическая погрешность положения определяемого пункта, возникающая из-за влияния погрешностей измерений, вычисляется по формуле

$$m_{\text{Ризм}} = m\beta / \rho \operatorname{tg} \tau \sqrt{S^2_{AP} + S^2_{BP}}$$

где  $\tau = \alpha_{BP} - \alpha_{AP}$  — угол засечки;  $m\beta$  — средняя квадратическая погрешность измерения углов в угловой засечке.

Для оценки влияния погрешностей исходных пунктов на точность засечки используем формулу

$$m_{\text{Рисх}} = m_{\text{исх}} / \sin \tau \sqrt{[(S_{AP}^2 + S_{CP}^2) / 2S_{AC}^2] / [(S_{BP}^2 + S_{DP}^2) / 2S_{BD}^2]}$$

где  $m_{\text{исх}}$  – погрешности исходных пунктов.

Общая погрешность положения определяемого пункта составляет

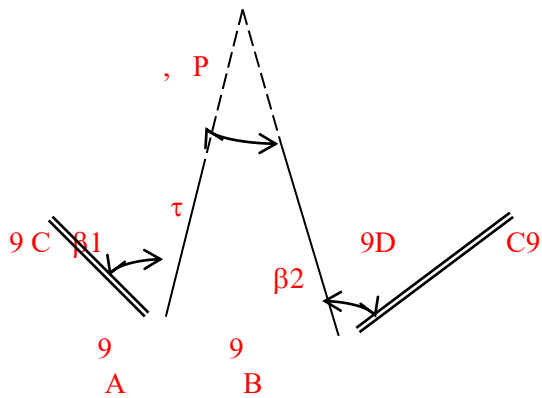
$$M_p = \sqrt{m_{\text{Рисх}}^2 + m_{\text{Ризм}}^2}$$

Если в прямой угловой засечке углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  измеряют по схеме, показанной на рисунке 1, г, то координаты определяемого пункта вычисляются по формулам Юнга

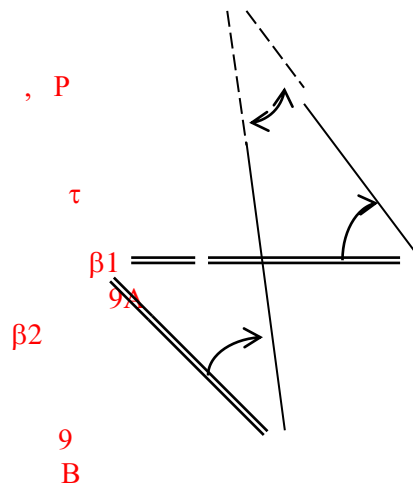
$$X_p = (X_A \operatorname{ctg} \beta_2 + X_B \operatorname{ctg} \beta_1 + Y_B - Y_A) / (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2);$$

$$Y_p = (Y_A \operatorname{ctg} \beta_2 + Y_B \operatorname{ctg} \beta_1 - X_B + X_A) / (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2);$$

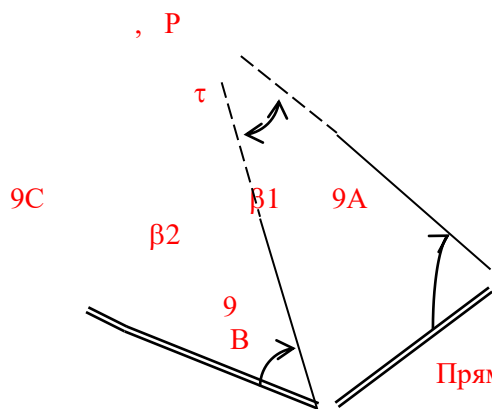
а



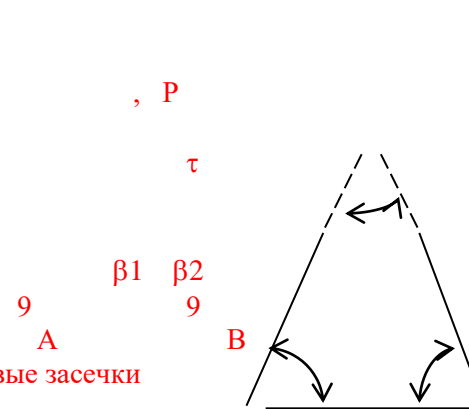
б



в



г



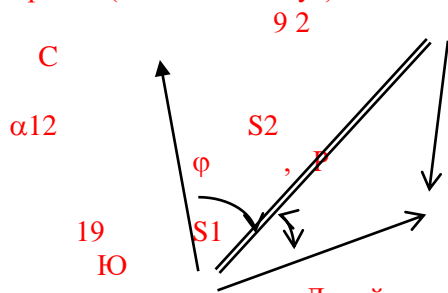
Прямые угловые засечки

Линейная засечка. Засечка производится путем измерения расстояний  $S_1$   $S_2$  соответственно от двух исходных пунктов 1 и 2. Координаты искомой точки определяются по формулам

$$X = X_1 + S_1 \cos(\alpha_{12} \pm \varphi);$$

$$Y = Y_1 + S_1 \sin(\alpha_{12} \pm \varphi).$$

где  $X_1$  и  $Y_1$  - координаты первого исходного пункта;  $\alpha_{12}$  - дирекционный угол исходной линии 1-2;  $\varphi$  - угол при первом исходном пункте отсчитываемый по ходу часовой стрелки (со знаком плюс) и против хода часовой стрелки (со знаком минус)



Линейная засечка

Линейно-угловые засечки одного пункта. Специфика построения и привязки геодезических сетей в полузакрытой местности и в крупных населенных пунктах а также геодезического обеспечения

строительно-монтажных работ в стесненных условиях строительной площадки требует использования многих равноточных методов. Применяемые для этой цели угловые засечки позволяют получить необходимую точность и обеспечить соответствующий контроль определения искомых точек при значительном числе избыточных измерений и исходных пунктов что приводит к увеличению затрат времени и средств.

Линейно-угловые засечки, в которых сочетаются угловые и линейные измерения, позволяют сократить число станций, количество избыточных измерений и исходных пунктов, при этом точность измерений не снижается.

Для определения положения пункта способом прямой линейно-угловой засечки необходимо измерить горизонтальный угол  $\beta$  на одном из исходных пунктов и расстояние  $S$  между определяемым и исходным пунктами.

Определение координат точки  $P$  выполняется по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_P &= X_B + (x \pm \sqrt{S^2 - y^2}) \cos \alpha_{BP}; \\ Y_P &= Y_B + (x \pm \sqrt{S^2 - y^2}) \sin \alpha_{BP}. \end{aligned} \right\}$$

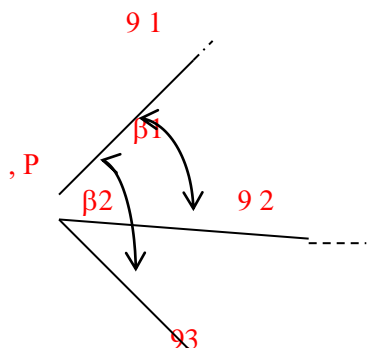
Знак плюс в этой формуле относится к действительной точке  $P$ , знак минус к мнимой точке  $P'$ , которой соответствуют те же измеренные величины. Неопределенность обычно разрешается путем измерения приближенной длины направления  $BP$ .

$$\left. \begin{aligned} x &= (X_A - X_B) \cos \alpha_{BP} + (Y_A - Y_B) \sin \alpha_{BP}; \\ y &= (Y_A - Y_B) \cos \alpha_{BP} - (X_A - X_B) \sin \alpha_{BP} \end{aligned} \right\}$$

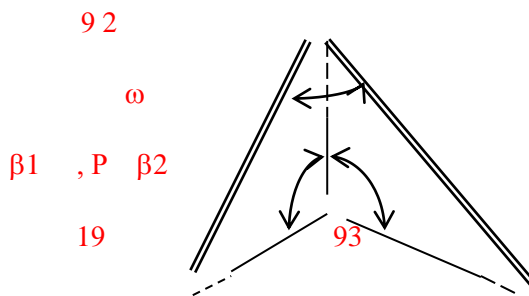
### Обратная геодезическая засечка

Возможны два варианта обратной засечки определяемого пункта: по двум несмежным углам и по двум смежным углам. Определение положения точки по двум смежным углам называется задачей Потенота.

Это частный случай общей обратной засечки .



Типовая схема обратной однократной засечки



Задача Потенота

Координаты искомого пункта можно определять по формулам Пранис-Праневича

$$\left. \begin{aligned} X_P &= X_2 + \Delta X_P; & Y_P &= Y_2 + \Delta Y_P; \\ \Delta X_P &= N / (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2); & Y_P &= \Delta X_P \operatorname{tg} \alpha_2 \\ N &= (Y_2 - Y_3) (\operatorname{ctg} \beta_2 - \operatorname{tg} \alpha_2) - (X_2 - X_3) (1 + \operatorname{ctg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2); \\ N &= (Y_1 - Y_2) (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) - (X_2 - X_1) (1 - \operatorname{ctg} \beta_1 \operatorname{tg} \alpha_2); \end{aligned} \right\}$$

Контроль решения засечки осуществляется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = (Y_2 - Y_P) / (X_2 - X_P)$$

В тех случаях, когда известны углы исходного треугольника, задачу Потенота удобнее решать по формулам Ансермета

$$\left. \begin{aligned} X_P &= (X_1 P_1 + X_2 P_2 + X_3 P_3) / (P_1 + P_2 + P_3); \\ Y_P &= (Y_1 P_1 + Y_2 P_2 + Y_3 P_3) / (P_1 + P_2 + P_3); \\ P_i &= 1 / (\operatorname{ctg} \omega_i - \operatorname{ctg} \beta_i) \end{aligned} \right\}$$

Следует иметь ввиду, что формулы Ансермета нельзя применять в тех случаях, когда исходные пункты расположены на одной прямой.

Контролем измерениям в задаче Потенота может служить наблюдение четвертого исходного пункта. В этом случае координаты определяемого пункта вычисляются дважды по комбинациям тех углов, градиенты которых меньше, или же получают из уравнивания.

Необходимо помнить, что обратная угловая засечка по трем исходным пунктам не имеет решения, если определяемая точка находится на проведенной через исходные пункты окружности («опасная окружность»). По исследованиям удаление от «опасной окружности» на расстояние 10% ее радиуса обеспечивает уверенное определение положения точки. Полевой проверкой того, что определяемая точка не лежит на опасной окружности, может служить величина  $\tau = \beta_1 + \beta_2 + \omega_2 - 180^\circ$  между градиентами измеренных углов.

Следует подчеркнуть, что в ряде случаев, например в фигурах с углом засечки  $60^\circ \leq \beta \leq 150^\circ$ , обратная угловая засечка точнее прямой.

Обратные линейно-угловые засечки. При выполнении привязочных работ к пунктам настенной полигонометрии, при разбивочных и съемочных работах могут широко применяться обратные линейно-угловые засечки, в которых углы измеряются в определяемых точках, а расстояния – между определяемыми и исходными пунктами.

#### **Основная литература**

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

1) На какие виды делятся засечки?

2) Расскажите о прямой геодезической засечке

3) Расскажите об обратной геодезической засечке.

4) Что называется «опасной окружностью»?

#### **Лекция №50. Глобальные системы определения местоположения НАВСТАР и ГЛОНАСС**

Бурное развитие науки и техники в последние десятилетия 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.

В настоящее время используются спутниковые системы определения координат: 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. Система создавалась для решения военных задач, но в последние годы нашли широкое применение в геодезии, обеспечивая исключительно высокие точности определения приращений координат со средней квадратической ошибкой  $5 \text{ мм} + D \cdot 10^{-10}$ , координаты же одиночного приемника могут быть определены со средней квадратической ошибкой от 10 м до 100 м.

Всю навигационную спутниковую систему определения местоположения принято делить на три сегмента: космический сегмент; сегмент контроля и управления; сегмент пользователей (приемники спутниковых сигналов).

Современная система NAVSTAR GPS в полной комплектации должна состоять из 21 действующего спутника и трех запасных. Орбиты спутников практически круговые и расположены в шести орбитальных плоскостях (для NAVSTAR, рис. 14.2). Спутники оснащены солнечными батареями, которые обеспечивают энергией все системы, в том числе и во время прохождения спутника в тени Земли.

Орбиты спутников практически круговые и расположены на геодезической высоте, равной 20180 км и на расстоянии 26600 км от центра Земли. Такое количество спутников и их расположение обеспечивает одновременный прием сигналов как минимум от четырех спутников в любой части Земли. Все спутники равномерно расположены в шести орбитальных плоскостях. Период обращения спутников составляет 12 часов звездного времени, в связи с чем каждый спутник появляется в том же месте ежедневно на 4 минуты раньше вчерашнего положения. Электроэнергией спутники обеспечивают две солнечные батареи

площадью  $7,2 \text{ м}^2$  каждая, заряжая также аккумуляторы для обеспечения работоспособности спутника во время его полета в тени Земли. Каждый спутник снабжен кварцевым стандартом частоты, двумя цезиевыми и двумя рубидиевыми стандартами частоты, которые Поддерживают стабильность часов спутника в пределах  $1 \cdot 10^{-12} \div 1 \cdot 10^{-13}$ . Цезиевые и рубидиевые стандарты частоты координируют и управляют основной частотой — кварцевым стандартом частоты, генерирующим  $10,23 \text{ МГц}$ . Из основной частоты формируют две частоты диапазона частот с названием L-диапазон.

$$L_1 = 10,23 \cdot 154 = 1575,42 \text{ МГц (длина волны } 19,05 \text{ см),}$$

$$L_2 = 10,23 \cdot 120 = 1227,60 \text{ МГц (длина волны } 24,45 \text{ см).}$$

На рис. 14.7 показано расположение станций контроля и управления системой NAVSTAR GPS. Все станции системы NAVSTAR GPS расположены вдоль экватора.

### Основная литература

1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб

2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.

3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.

4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

### Дополнительная литература

1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.

2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.

3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

### Контрольные вопросы:

1) Назовите спутниковые навигационные системы, используемые для решения задач геодезии?

2) Опишите структурную схему GPS?

3) Что входит в наземные средства системы GPS?

4) Укажите точность определения планового положения пунктов на поверхности Земли с использованием GPS?

## Лекция №51. Создание современного съемочного обоснования с использованием GPS – технологии.

### Концепции геодезических GPS измерений

Для геодезических GPS измерений необходимо одновременное наблюдение одних и тех же четырех (или более) спутников, по крайней мере, двумя GPS приёмниками. Хотя вы можете использовать и более двух приёмников, в этом руководстве мы ограничимся обсуждением использования лишь двух: базовый приёмник и приёмник - ровер.

Базовый приёмник в течение всего процесса измерений располагается на пункте геодезической основы с известными координатами. Ровер перемещается по определяемым точкам или участвует в процессе выноса точек в натуру. Результатом объединения данных, полученных этими двумя приёмниками, является пространственный вектор между базой и ровером. Этот вектор называется базовой линией.

Для определения положения ровера относительно базы вы можете использовать различные методы измерений. Эти методы отличаются длительностью выполнения измерений:

Для измерений в реальном времени используется радиомодем, который передаёт данные базы роверу. Результаты получаются непосредственно в поле.

Методы измерений с постобработкой, требуют записи данных в поле и последующей их совместной обработки на офисном компьютере.

В основном выбор метода зависит от таких факторов, как конфигурация приёмника, требуемая точность, ограничения по времени и необходимости получения результатов в реальном времени.

### Методы GPS измерений

Кинематические и дифференциальные методы подходят для измерений в реальном времени или с постобработкой. Быстрая статика подходит для измерений только с постобработкой.

В кинематике Stop&Go используются фазовые измерения от четырёх или более спутников, общих для ровера и базы. Для достижения точности на уровне сантиметра сначала нужно инициализировать измерения. Инициализация может быть достигнута различными способами:

При использовании одночастотных приёмников измерения инициализируют, устанавливая ровер на пункте с известными координатами, или на определяемой точке, или с помощью специальной

штанги для инициализации. Штанга для инициализации задаёт жёсткую искусственную базовую линию.

При использовании для измерений в реальном времени двухчастотных приёмников, установите ровер над определяемой точкой или над пунктом с известными координатами. Если ровер имеет возможность On-The-Fly (OTF) (непрерывная) инициализации и в поле зрения антенны имеются, по крайней мере, пять общих спутников, инициализация произойдёт в процессе перемещения ровера. Если Вы используете двухчастотные приёмники для измерений с постобработкой, OTF инициализация принимается, независимо от того, установлена в приёмнике эта возможность или нет.

Если во время измерений число общих спутников станет меньше четырёх, измерения должны быть повторно инициализированы, после появления четырёх или более спутников.

Дифференциальные методы измерений используют для определения координат кодовые GPS измерения (C/A-код). Для дифференциальных измерений не нужна инициализация или непрерывное отслеживание спутников. Результаты обычно достигают точности около 1 м.

Для дифференциальных измерений Вы можете использовать одночастотные или двухчастотные приёмники.

Быстрая статика - это метод измерений с постобработкой, который обеспечивает точность на уровне сантиметра. Для получения базовой линии всего за восемь минут (8 - 30 минут) этот метод использует измерения фазы несущей. Необходимое время зависит от типа приёмника, длины базовой линии, числа видимых спутников и спутниковой геометрии (расположения спутников на небесной сфере).

Статика используется для измерений с наивысшей точностью, но время измерений на станции должно составлять приблизительно один час. Быстрая статика - производная от статика и является результатом передовых разработок аппаратной и программной частей системы.

Для измерений быстрой статикой Вы можете использовать одночастотные или двухчастотные приёмники.

#### **Основная литература**

- 1) Нурпеисова М.Б., Жаркимбаев Б.М. Геодезия, электронный учебник. – Алматы: КазНТУ, 2002 г. – 351 Мб
- 2) Михелева Д.Ш., Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2000 г. – 464 с.
- 3) Геодезия. Справочное пособие. Под редакцией Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991 г. – 315 с.
- 4) Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1980 г. – 613 с.

#### **Дополнительная литература**

- 1) Поклад Г.Г. Геодезия. – М.: Недра, 1988 г.
- 2) Гиршберг А.М. Геодезия. – М.: Недра, 1987 г.
- 3) Баканова В.В. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985 г.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1) Концепции геодезических GPS измерений.
- 2) Назовите методы GPS измерений.
- 3) Что такое метод быстрая статика. Для построения каких сетей он используется?
- 4) Какой метод используется для построения высокоточных геодезических сетей?
- 5) С какой точностью определяются высоты пунктов при использовании GPS измерений?