

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ГЕОДЕЗИЯ»**

**Направление подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
Разработчик: профессор, д.г.н. Стурман В.И.**

**Санкт-Петербург
2014**

Содержание

Тема 1.1: Предмет геодезии.	2
Тема 1.2 : Топографические планы и карты. Ориентирование	12
Тема 2.1: Угловые измерения	19
Тема 2.2: Измерение превышений	29
Тема 2.3: Линейные измерения	35
Тема 3: Элементы теории ошибок измерений	41
Тема 4 : Опорные геодезические сети	44
Тема 5: Топографические съемки	48

ВОПРОСЫ по курсу геодезии для подготовки к экзамену

Тема 1.Предмет геодезии. Карты и планы.

1. Общие сведения о геодезии.
2. Системы координат и высот в геодезии.
3. Виды масштабов. Точность масштаба.
4. Понятие о плане и карте. Условные знаки.
5. Углы ориентирования, связь между ними.
6. Задачи, решаемые по плану и карте.

Тема 2. Геодезические приборы. Измерение углов, превышений, расстояний.

7. Классификация теодолитов, их устройство.
8. Поверки и юстировки теодолита.
9. Способы измерения углов.
10. Виды нивелирования. Способы геометрического нивелирования.
11. Нивелиры и рейки. Классификация и устройство уровенных нивелиров.
12. Поверки и юстировки нивелиров .Понятие о нивелирах с компенсатором
13. Производство геометрического нивелирования.
14. Методы измерения длин линий.
15. Измерение и вычисление длин линий мерными лентами и рулетками.
16. Понятие об оптических дальномерах. Нитяной дальномер.
17. Понятие о светодальномерах.

Тема 3. Математическая обработка результатов геодезических измерений.

- 18. Виды ошибок измерений.
- 19. Свойства случайных ошибок.
- 20. Средняя квадратическая, предельная и относительная ошибки.
- 21. Равноточные измерения, их обработка.

- 22. Понятие веса измерений. Обработка неравноточных измерений.
- 23. Оценка точности функций измеренных величин.

Тема 4. Опорные геодезические сети.

- 24. Плановые сети, методы построения.
- 25. Высотные сети.

- 26. Закрепление геодезических сетей на местности.

Тема 5. Топографические съемки.

- 27. Назначение и виды топографических съемок.
- 28. Съёмочные сети, съёмочное обоснование.

- 29. Теодолитная съемка.
- 30. Тахеометрическая съемка.
- 31. Нивелирование поверхности.
- 32. Понятие об аэрофото- и фототеодолитной съемке.

Тема: Предмет геодезии. Карты и планы.

- 1. Общие сведения о геодезии.
- 2. Системы координат и высот в геодезии.

Вопрос-1.

Задачи геодезии как науки



Чем занимаются геодезисты



Чем занимается геодезия

<ul style="list-style-type: none">• <i>Объект геодезии</i> - Земля, земная поверхность• <i>Предмет геодезии</i> - геометрия пространства• <i>Метод геодезии</i> – наука об измерениях	<p><i>Сущность задач:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Координатизация</i> – выбор и установление систем координат• <i>Структурирование</i> – определение формы, размера объектов• <i>Моделирование</i> – построение моделей и систем пространства
---	--

Дисциплины, входящие в состав геодезии



**Инженерная геодезия - это
методы геодезических работ при:**



Термины и контрольные вопросы

<ul style="list-style-type: none">• Измерение• Земля• Координатизация• Структурирование• Моделирование• Инженерная геодезия	<ul style="list-style-type: none">• Дать определение геодезии как науки• Какие задачи решает геодезия?• Чем занимаются геодезисты?• Какие дисциплины входят в геодезию?• Какие виды работ относятся к сфере инженерной геодезии ?
--	---

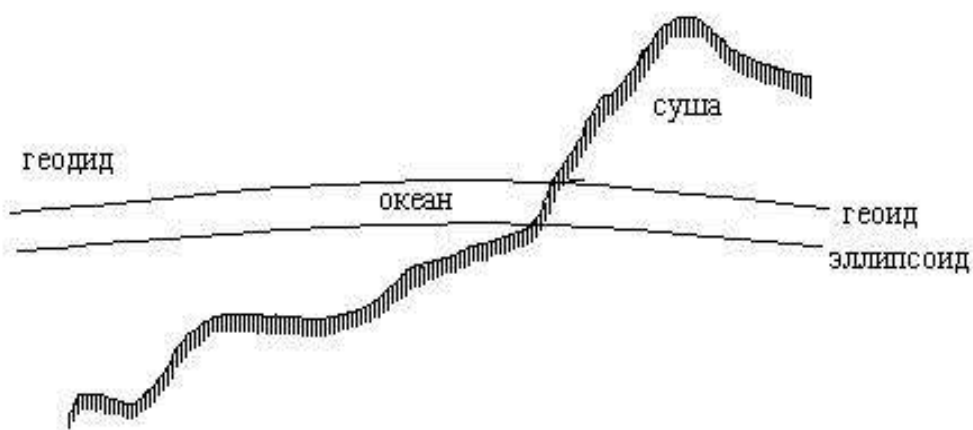
Вопрос-2.

2.1. Представления о форме и размерах Земли

<ul style="list-style-type: none">• Плоская или плоско-вогнутая поверхность на подпорках• Плоско-вогнутое полушарие окруженное океаном• Барабан с вогнутым основанием• Диск среди океана• Шар	<ul style="list-style-type: none">• Сфероид• Геоид• Референц-эллипсоид• Общий земной эллипсоид
---	---

Уровенная поверхность – такая, в каждой точке которой нормаль к ней совпадает с направлением отвесной линии.

Уровенные поверхности: геоид и эллипсоид



Параметры референц-эллипсоида и ОЗЭ

<p>Для территории нашей страны постановлением Совета Министров СССР N 760 от 7 апреля 1946 года принят эллипсоид Красовского:</p> <p>большая полуось a = 6 378 245 м,</p> <p>малая полуось b = 6 356 863 м,</p> <p>полярное сжатие:</p> $\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.3}$	<p>Существует общеземной эллипсоид, размеры в системе WGS-84 (World Geodetic System) составляют:</p> <p>большая полуось a = 6 378 137.0 м,</p> <p>полярное сжатие 1:298.257</p>
--	---

Термины и контрольные вопросы

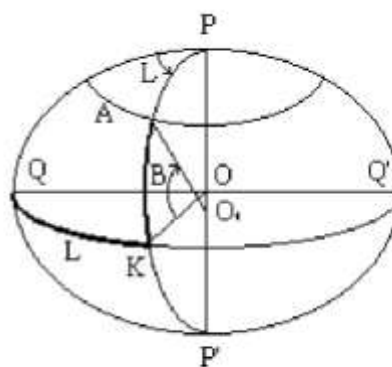
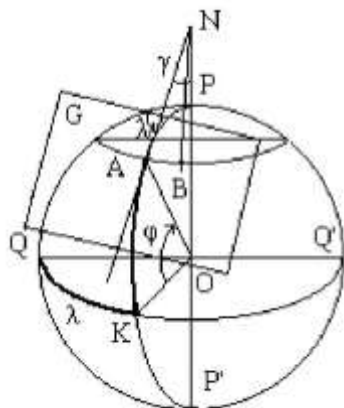
<ul style="list-style-type: none">• Сфероид• Геоид• Эллипсоид• Уровенная поверхность	<ul style="list-style-type: none">• Что такое референц-эллипсоид?• Какими величинами задается эллипсоид ?• Что такое сжатие эллипсоида?
---	---

Вопрос-3.

2.2. Системы координат в геодезии:

1. Астрономическая

2. Геодезическая



1. Астрономические координаты: поверхность относимости – геоид ориентирование - по отвесной линии

- *Широта точки A - это угол φ , образованный отвесной линией точки A и плоскостью экватора; этот угол лежит в плоскости меридиана точки.*
- *Широта отсчитывается в обе стороны от экватора (к северу - северная широта, к югу - южная) и изменяется от 0 до 90.*
- *Широту и долготу точек местности определяют из астрономических наблюдений, потому они и называются астрономическими координатами.*

- *Долгота точки A - это двугранный угол λ между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана точки A.*
- *За начальный меридиан принят Гринвичский, расположенный вблизи Лондона.*
- *Долготы изменяются от 0 до 180, к западу от Гринвича - западные и к востоку - восточные.*
- *Все точки одного меридиана имеют одинаковую долготу.*

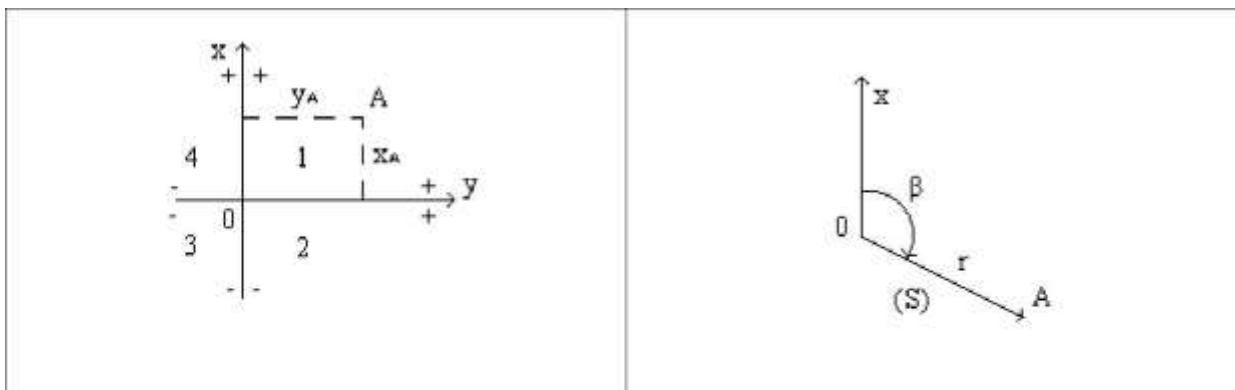
2. Геодезические координаты: поверхность относимости- эллипсоид

ориентирование - по нормали

<ul style="list-style-type: none">• <i>Геодезическая широта точки В-</i> <i>это угол, образованный нормалью к</i> <i>поверхности эллипсоида в этой</i> <i>точке и плоскостью экватора</i>• <i>Широта изменяется в пределах от</i> <i>0 до 90 к обоим полюсам</i> <i>эллипсоида и отсчитывается от</i> <i>плоскости экватора</i>• <i>Геодезическая долгота точки L-</i> <i>это двугранный угол между</i> <i>плоскостью начального меридиана</i> <i>и плоскостью меридиана точки .</i>• <i>Долгота изменяется от 0 до 360 и</i> <i>отсчитывается от начального</i> <i>меридиана</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Различие геодезических и</i> <i>астрономических координат</i> <i>точки А зависит от угла между</i> <i>отвесной линией данной точки и</i> <i>нормалью к поверхности</i> <i>эллипсоида в этой же точке.</i>• <i>Этот угол называется уклонением</i> <i>отвесной линии; он обычно не</i> <i>превышает 5".</i>• <i>В некоторых районах Земли,</i> <i>называемых аномальными,</i> <i>уклонение отвесной линии</i> <i>достигает нескольких десятков</i> <i>дугových секунд.</i>
--	--

3. Прямоугольная

4. Полярная



3. Местная (условная) прямоугольная система координат на горизонтальной плоскости размером 20X20 км

- Систему плоских прямоугольных координат образуют две взаимно перпендикулярные прямые линии, называемые осями координат;
- точка их пересечения называется началом системы координат. Ось абсцисс - OX , ось ординат - OY . Ось X направляют на Север или по главной оси сооружения.
- положение точки в прямоугольной системе определяется двумя координатами X и Y ; координата X – это расстояние точки от оси OY , координата Y - расстояние от оси OY .
- Значения координат могут быть со знаком "+" и со знаком "-" в зависимости от того, в какой четверти (квадранте) находится искомая точка. Начало координат удобно выбрать так, чтобы приращения по координатным осям были только положительными

4. Полярная система координат; переход от полярной системы к плоской прямоугольной

- Систему полярных координат образует направленный прямой луч OX . Начало координат - точка O - называется полюсом системы, линия OX - полярной осью.
- Положение любой точки в полярной системе определяется радиусом-вектором r (полярным расстоянием S) - расстоянием от полюса до точки, - и полярным углом β при точке O , образованным осью OX и радиусом- вектором точки и отсчитываемым от оси OX по ходу часовой стрелки
- Переход от прямоугольных координат к полярным и обратно выполняется по формулам : $X = S \cdot \cos\beta$, $Y = S \cdot \sin\beta$, $\operatorname{tg}\beta = Y/X$.
- Системы прямоугольных и полярных координат применяются в геодезии для определения положения точек на плоскости

Системы отсчета высот:

Абсолютная и Относительная

- *Высота точки в геодезической системе высот равна отрезку нормали от точки физической поверхности Земли до поверхности эллипсоида*
- *В астрономической системе координат высота точки отсчитывается по отвесной линии от физической поверхности Земли до поверхности геоида*
- *В инженерной геодезии, как правило, не делают разницы между поверхностями относимости и Землю принимают за шар с радиусом $R=6378.11$ км. Объем такого шара равен объему эллипсоида.*

- *В нашей стране в качестве системы высот принята Балтийская – совпадающая со средним уровнем Балтийского моря.*
- *Начало отсчета высот – Ноль Кронштадтского футштока.*

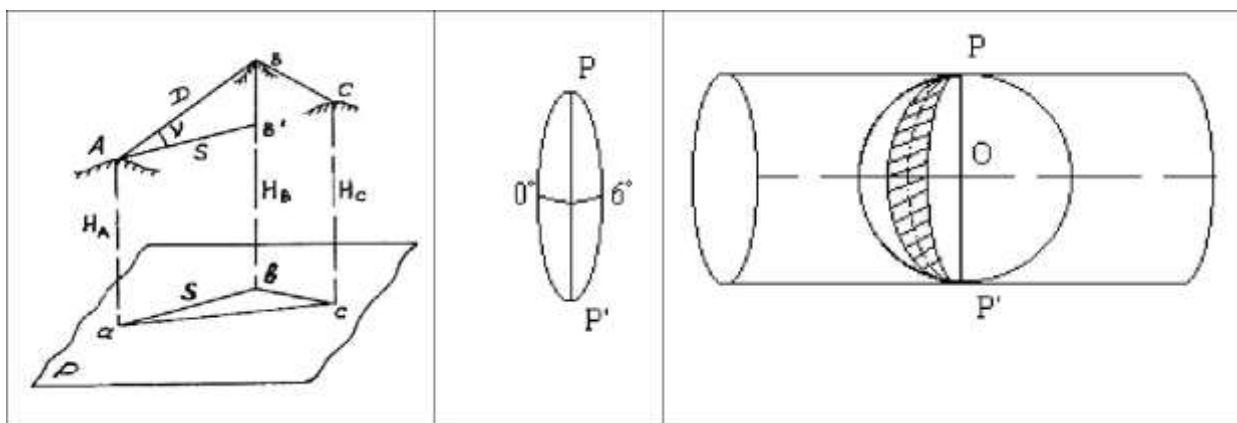
- *Условные высоты – например, система высот, используемая на строительных чертежах – от «строительного нуля» - Уровня Чистого Пола (УЧП) 1-го этажа здания.*

Термины и контрольные вопросы

<ul style="list-style-type: none">• Широта• Долгота• Меридиан• Поверхность относимости• Системы координат: угловые, прямоугольные, полярные• Высота точки• Балтийская система высот• Кронштадтский футшток	<ul style="list-style-type: none">• Назвать системы координат, применяемые в геодезии• В каких пределах изменяются астрономическая широта и долгота?• Как задается ориентировка осей в местной прямоугольной системе координат?• Какая система высот используется на строительных чертежах?
---	--

2.3. Система координат проекции Гаусса-Крюгера :

- Для изображения на плоскости участка земной поверхности нужно:
 - 1) спроецировать все точки участка на *поверхность относимости* (на эллипсоид вращения или на сферу)
 - 2) изобразить поверхность относимости на плоскости.
- На плоскость можно перенести *картографическую сетку* - *меридианы и параллели*- и по астрономическим координатам точек построить плоское изображение участка земной поверхности –*карту*.
- *Картографическое проецирование*- способ перенесения координатной сетки с поверхности относимости на плоскость. Вид проекций выбирают в зависимости от назначения карты и величин искажений.
- В геодезии применяют *равноугольные проекции* : *проекция Гаусса-Крюгера* – *равноугольная поперечно-цилиндрическая*. Ей соответствует *зональная система координат*.



Сущность проекции Гаусса-Крюгера:

- 1) поверхность земного эллипсоида проецируется на боковую поверхность цилиндра по *зонам* протяженностью по долготе 6 или 3° .
- 2) цилиндр разрезается по образующей и зона изображается *плоским двуугольником*.

Осевой меридиан проходит по середине зоны и является осью симметрии для

двуугольника

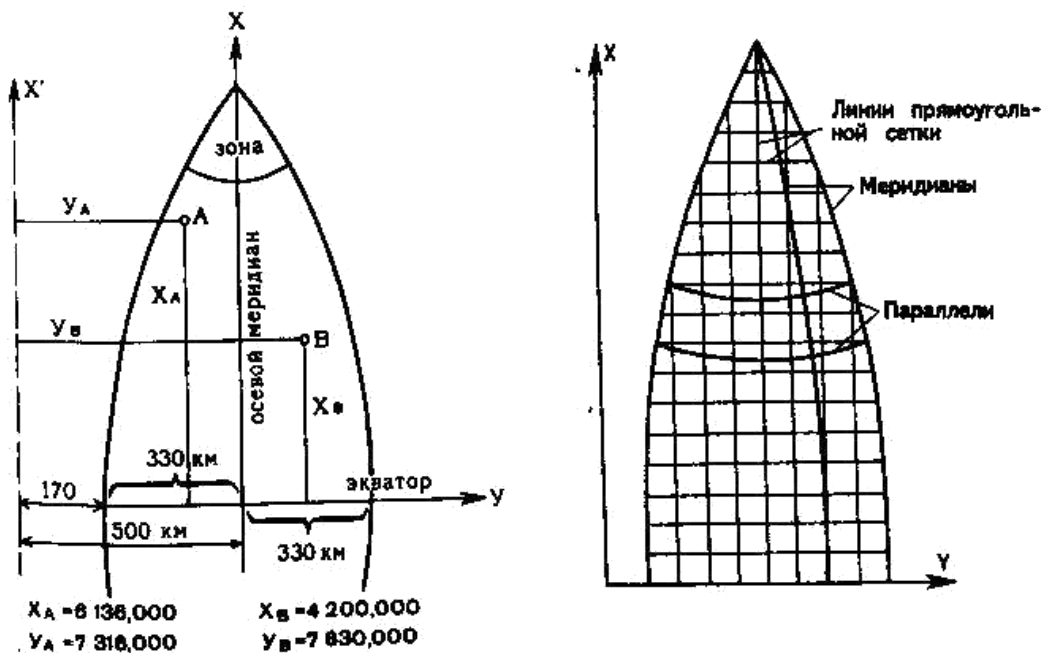
Осевой меридиан и экватор изображаются без искажений взаимно перпендикулярными линиями

Границами зон служат меридианы. Зоны нумеруют арабскими цифрами от Гринвичского меридиана к востоку :1, 2, ... 60.

Прямоугольные координаты

в проекции Гаусса-Крюгера показывают положение точки относительно экватора и осевого меридиана в км. В каждой зоне осями координат служат проекции линии экватора и осевого меридиана зоны. X – расстояние точки от экватора, Y – расстояние от осевого меридиана до точки. Для исключения отрицательных Y ордината осевого меридиана принята равной 500 км. Дополнительно перед ординатой ставится номер зоны – приведенная ордината y^* .

Километровая сетка – линии через 1 или 2 км в масштабе карты, параллельные экватору и осевому меридиану.



Термины и контрольные вопросы

<ul style="list-style-type: none"> • Проекция Гаусса-Крюгера • Зона проекции • Осевого меридиан • Приведенная ордината • Километровая сетка 	<ul style="list-style-type: none"> • Каковы особенности проекции Гаусса-Крюгера? • Чем является на сфере зона проекции Гаусса-Крюгера? • Что такое километровая сетка? • Откуда отсчитываются абсциссы и ординаты в системе координат Гаусса-Крюгера?
--	---

Тема : Топографические планы и карты.

Ориентирование 1. Масштабы, их виды

2. Понятие о плане и карте. Условные знаки. Рельеф.

3. Задачи, решаемые по плану и карте

4. Углы ориентирования, связь между ними

В-1. Масштабы, их виды

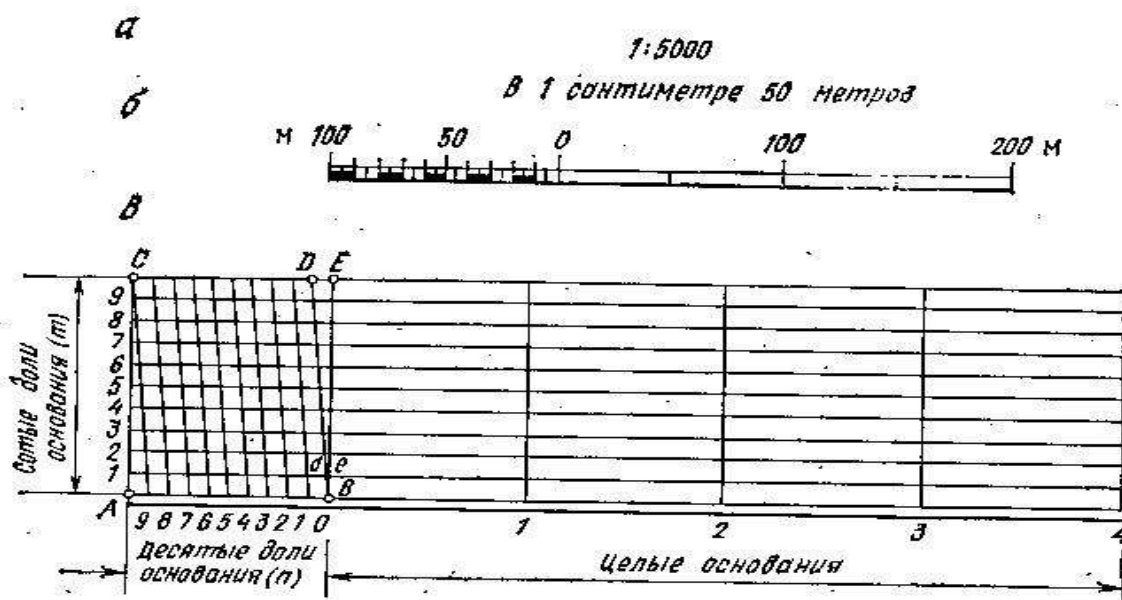
Масштаб – степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при их изображении на плане и карте.

M вычисляют как отношение длины линии на чертеже, плане, карте к длине **ГП** этой линии на местности

ГП – ортогональная проекция линии с физической поверхности Земли на горизонтальную плоскость

Виды M : а) численный ; б) именованный ;
в) линейный (шкала);

а), б), в) – есть на карте г) поперечный –
номограмма на металле



Масштабы: а – численный и именованный; б – линейный; в –

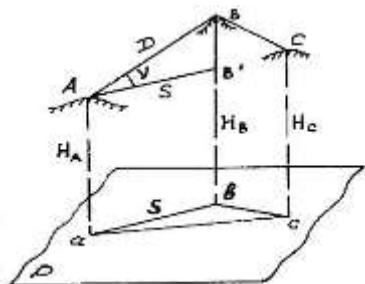
поперечный. В-2. 2. План и карта. Условные знаки

- Уменьшенное подобное изображение горизонтальной проекции небольшого участка местности называется **планом**.
- Небольшой участок (20X20 км) можно принять за плоскость.

- Если участок **фпЗ** имеет большие размеры, то при изображении его на плоскости неизбежны заметные искажения (длин линий, углов, площадей).
- Математически определенный способ изображения поверхности сферы или эллипсоида на плоскости называется **картографической проекцией**.
- **Картой** называется уменьшенное изображение горизонтальной проекции участка земной поверхности в принятой картографической проекции (с учетом кривизны поверхности относимости).
- В нашей стране топографические карты составляются в **поперечно-цилиндрической равноугольной проекции Гаусса**.

П и К – измеримые модели местности. Их отличия :

- 1) **П** – без искажений, **К** – с искажениями;
- 2) размеры отображаемой территории.



Информация на **К** или **П**:

ситуация (объекты местности) и **рельеф** (неровности **фпЗ**).

Топографические К и П : изображены и **С** и **Р**.

- По своему назначению все географические карты делятся на **общегеографические** и **тематические**.
- На **ОГ** картах показывают рельеф, гидрографию, растительный покров, населенные пункты и другие объекты природного, хозяйственного и культурного назначения.
- На **Т** картах изображают размещение, сочетание и связи различных природных и общественных явлений (геологические, ландшафтные, экологические карты, карты полезных ископаемых, исторические, учебные, туристические).
- Крупномасштабные (масштаба 1 : 1 000 000 и крупнее) общегеографические карты называются **топографическими**. Они издаются в виде отдельных листов размером 40 см x 40 см.

Карты мелко- (1:1 000 000), **средне-**(1:500 000, 1:200 000), **крупно-** (1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000) масштабные **Планы** : 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

Условные знаки:

1. Площадные 2. Линейные 3. Внемасштабные

4. Пояснительные 5. Специальные

	Туннели		Склады горючего, авто- колонны
	Электрифицированные многоколейные железные дороги		Электростанции
	Трамвайные пути		Элеваторы
	Автомагистрали и авто- страды		

Характеристика дробастоя в метрах:
в числителе - высота деревьев, в знаменателе -
толщина, справа от дроби - расстояние
между деревьями

1	2
$\frac{25}{0,30}$	$\frac{6}{0,30}$

1. Редкие леса (редколесье)
2. Редкие низкорослые леса

Рельеф местности и его формы

Рельеф – совокупность неровностей земной поверхности

На планах и картах **Р** отображают **горизонталями** (сплошными и пунктирными линиями – полугоризонталями)

Горизонталь – линия равных высот на карте

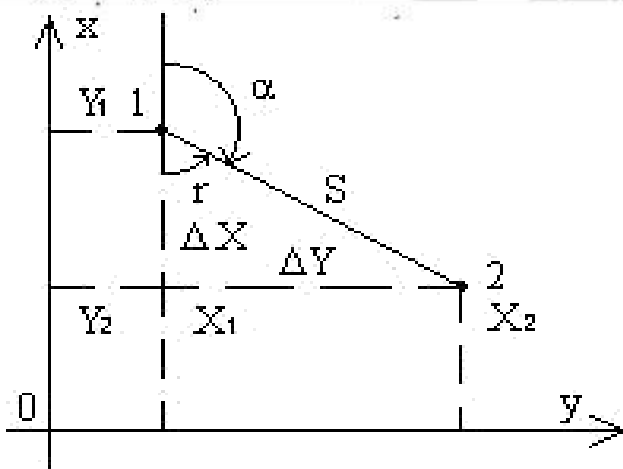
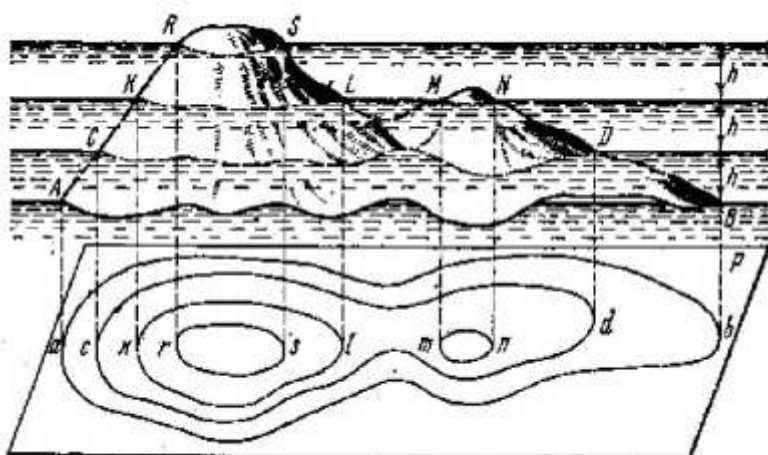
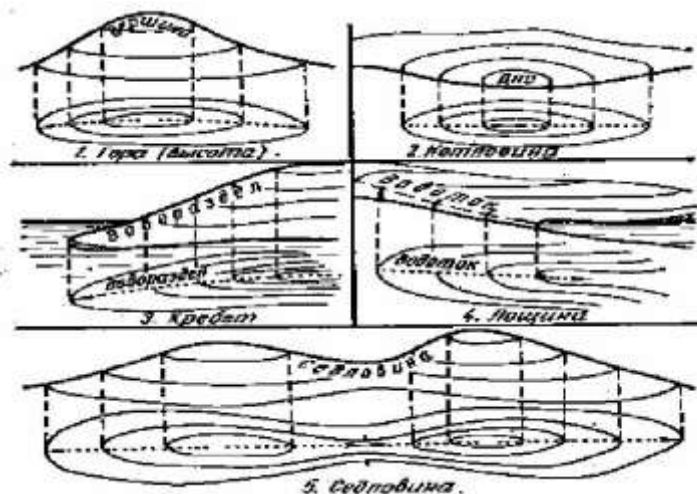
Высота сечения рельефа горизонталями – расстояние по вертикали между соседними **Г**.

Заложение горизонталей – расстояние между соседними горизонталями на **К** или **П**

Формы рельефа: гора, котловина, хребет, лощина, седловина

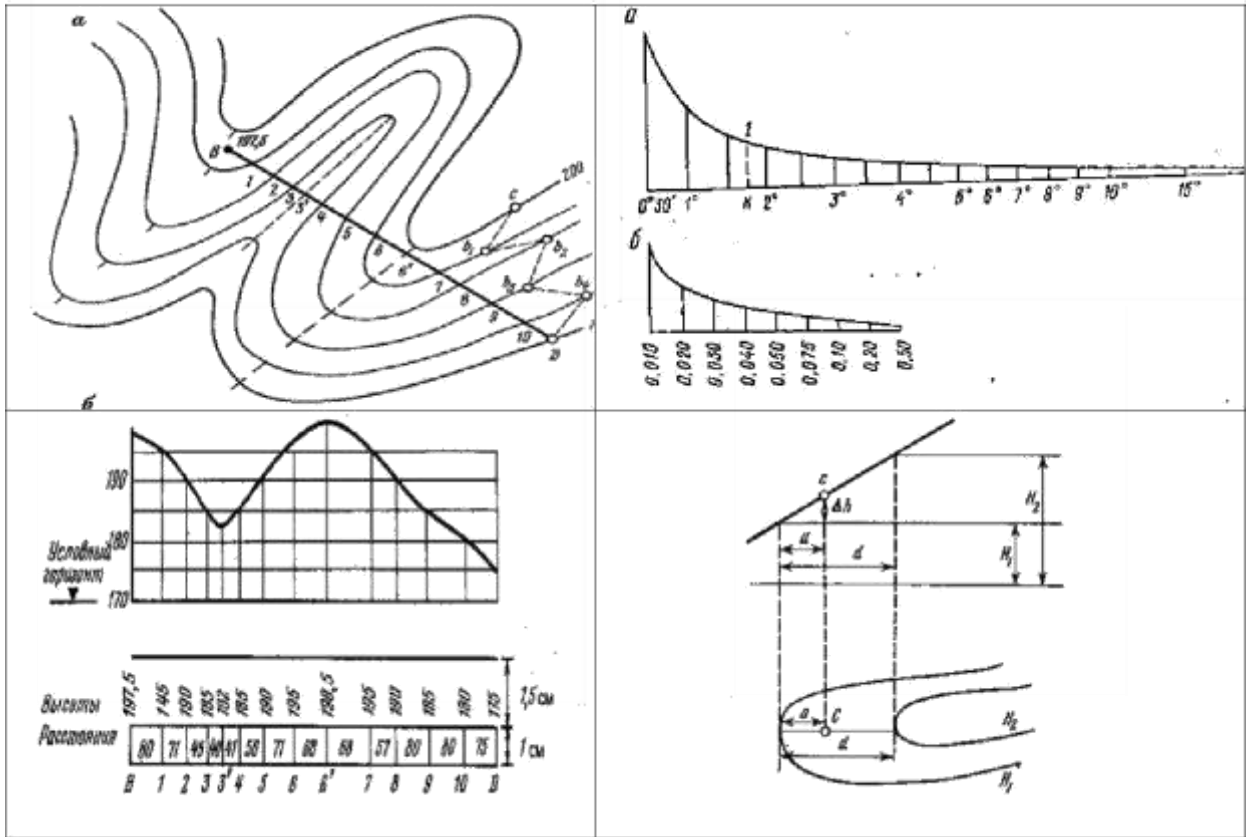
Бергштрихи – черточки в направлении ската (указатели ската)

Подписи Г – основания цифр направлены в сторону понижения **Р**



3. Задачи, решаемые на плане и карте

- Определение географических и прямоугольных координат
- Определение расстояний
- Измерение углов ориентирования
- Определение высот точек
- Определение крутизны ската
- Построение линии заданного уклона
- Построение профиля местности
- Прямая и обратная геодезические задачи (ПГЗ и ОГЗ)



• **Прямая геодезическая задача** - это вычисление координат X_2, Y_2 второго пункта, если известны координаты X_1, Y_1 первого пункта, дирекционный угол α и длина S линии, соединяющей эти пункты.

$$X = S \cdot \cos \alpha ; Y = S \cdot \sin \alpha$$

$$X_2 = X_1 + S \cdot \cos \alpha ; Y_2 = Y_1 + S \cdot \sin \alpha$$

• **Обратная геодезическая задача** - это вычисление дирекционного угла и длины S линии, соединяющей два пункта с известными координатами X_1, Y_1 и X_2, Y_2

$$\Delta X = X_2 - X_1 ; \Delta Y = Y_2 - Y_1$$

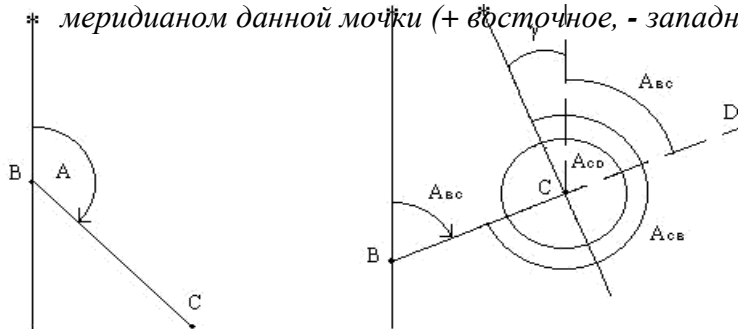
$$\operatorname{tgr} = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| \text{ и } r = \operatorname{arctg} \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|$$

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

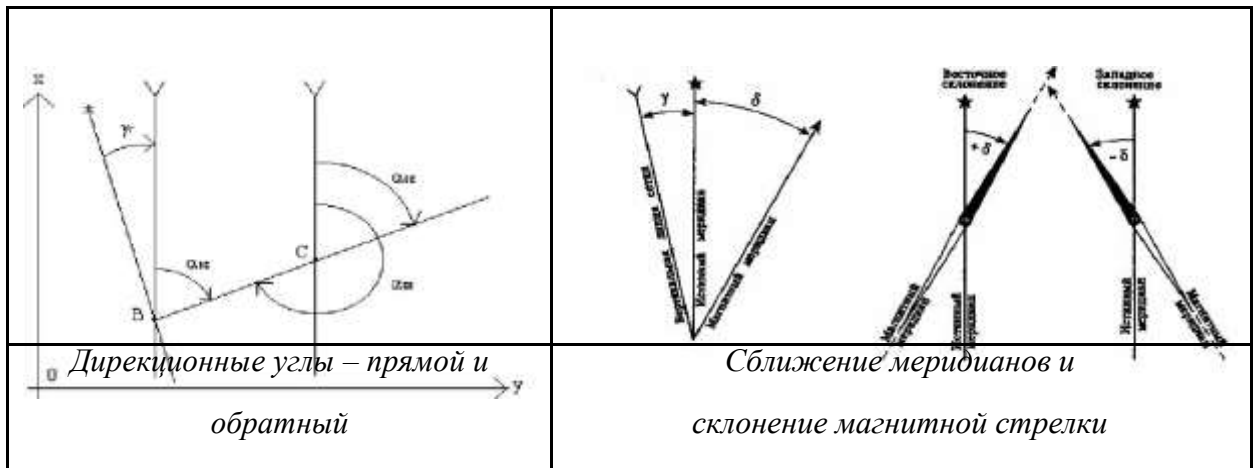
$$\frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = S$$

В-4. Углы ориентирования, связь между ними

- **Ориентировать линию** – значит определить ее положение относительно стран света или исходного направления
- **ориентирный угол**- угол между исходным направлением и данной линией
- Ориентирные линии – меридианы –
- **Магнитный. Истинный. Осевой.**
- **Азимуты** – углы, отсчитываемые от северного конца меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии – **прямые, обратные.**(от 0 до 360)
- **Румбы** – углы, отсчитываемые от ближайшего конца меридиана до ориентируемой линии – (**название: число**) магнитные, истинные (от 0 до 90)
- **Сближение меридианов** – угол между истинным и осевым меридианом данной точки
- (+ восточное, - западное)
- **Склонение магнитной стрелки** – угол между магнитным и истинным меридианом данной точки (+ восточное, - западное).



Азимуты – прямой и обратный; сближение меридианов.



Связь между ориентирными углами

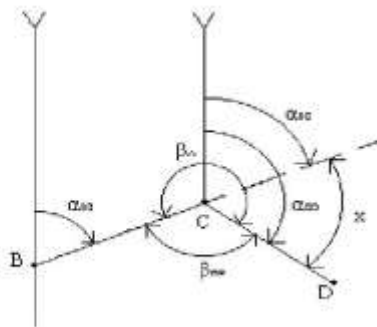
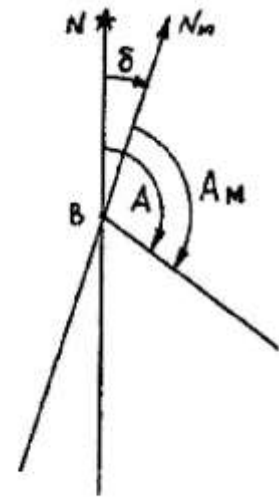
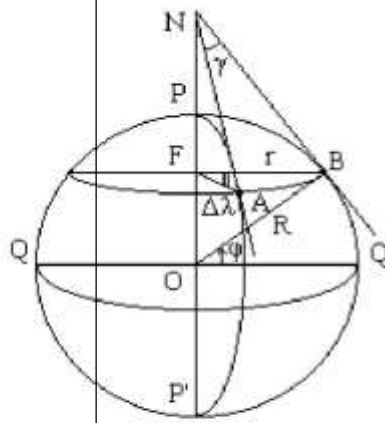
$$\gamma = (\lambda_B - \lambda_A) * \sin(\varphi)$$

$$A = \alpha + \gamma_I$$

$$A = A_M + \delta$$

$$A = A_M + \delta = \alpha + \gamma_I$$

$$\alpha = A_M + \delta - \gamma_I = A_M + \Pi$$

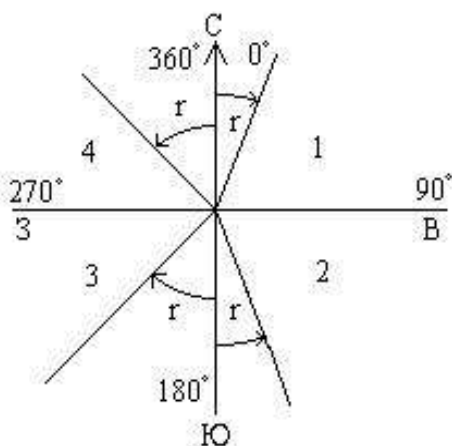


$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + \beta_R - 180^\circ$$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + 180^\circ - \beta_R$$

Передача дирекционного угла по
ходовой линии

Формулы связи румбов и дирекционных углов



1 четверть - СВ (северо-восток),

2 четверть - ЮВ (юго-восток),

3 четверть - ЮЗ (юго-запад),

4 четверть - СЗ (северо-запад),

1 четверть $r = a$; $a = r$;

2 четверть $r = 180 - a$; $a = 180 - r$;

3 четверть $r = a - 180$; $a = 180 + r$;

4 четверть $r = 360 - a$; $a = 360 - r$.

Тема: Угловые измерения

1. Принципы измерения углов
2. Теодолиты: основные части, классификация
3. Поверки и юстировки теодолитов
4. Способы измерения углов

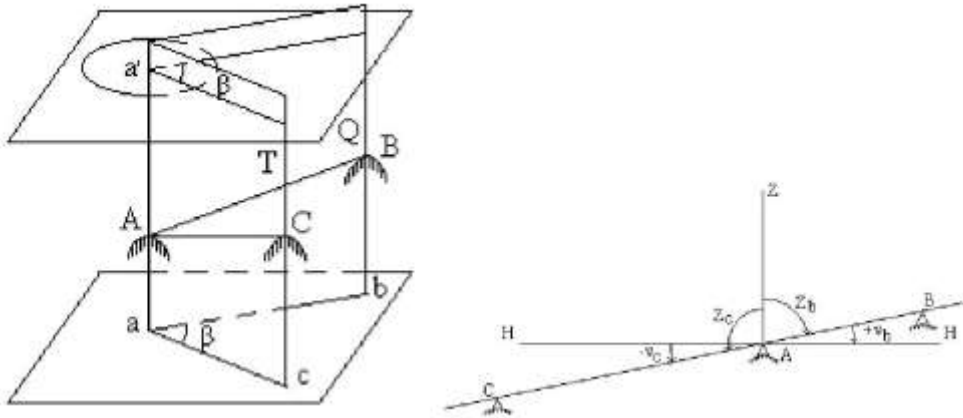
1. Принципы измерения углов

Теодолит - прибор для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов

Горизонтальный угол β - ортогональная проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость

Вертикальный угол (угол наклона) ν – угол между наклонной линией и горизонтальной плоскостью

$$\beta = c' - b' .$$



Общие принципы измерения β и ν

1. Ось вращения теодолита должна быть отвесна и должна проходить через вершину измеряемого угла
2. Плоскость лимба при измерении β должна быть горизонтальна
3. Визирная плоскость должна быть вертикальна

2. Теодолиты: основные части, классификация

Основные части теодолита

- **Лимб** - угломерный круг с делениями от 0 до 360; (**рабочая мера**)
- **Алидада** - часть теодолита с системой отсчитывания по лимбу и визирным устройством.
- **Зрительная труба** крепится на подставках (колонках) на алидадной части.

- **Отсчетное устройство** – отсчетный микроскоп.
- **Вертикальный круг** для измерения вертикальных углов.
- **Подставка с тремя подъемными винтами.**

- **Зажимные и наводящие винты**
частей теодолита: лимба, алидады, трубы;

Зажимные винты –закрепительные а наводящие - микрометричные.

- **Штатив со станovým винтом** :
для установки теодолита.

По ГОСТ 10529-96 три группы теодолитов:

- **Высокоточные** :

измерение β с ошибкой не более 1";

T1, T05.

- **Точные** :

измерение β с ошибкой от 2" до 5";

T2, T5.

- **Технические** :

измерение β с ошибкой от 10" до 30";

T15, T30.

- буква в шифре теодолита - **назначение** или **конструктивное решение**:

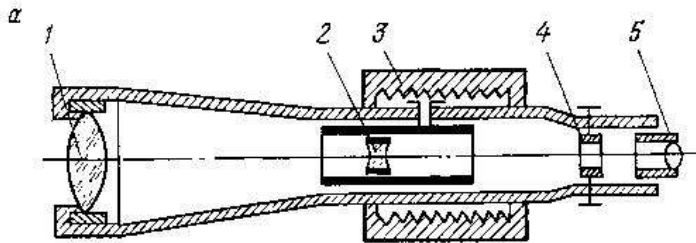
А - астрономический,

М - маркшейдерский,

К - с компенсатором при ВК, **П**

- труба прямого изображения

- модификации теодолитов : **2Т..., 3Т..., 4Т...**



Зрительные трубы:

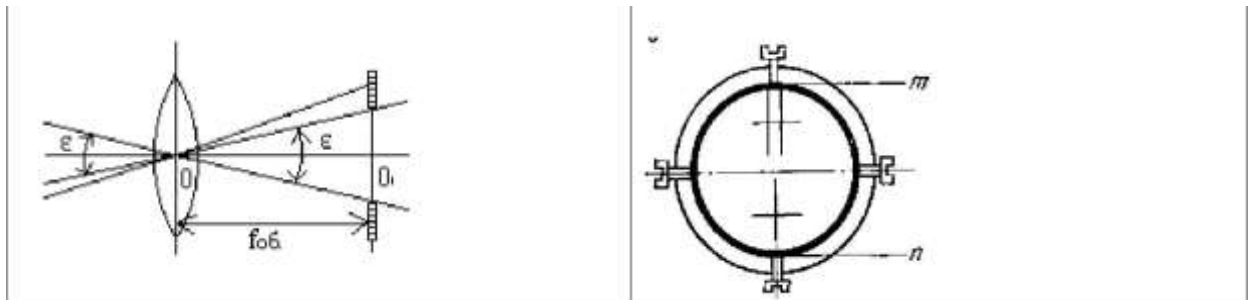
астрономические (обратное изображение)

земные (прямое изображение).

Основные части :

1.Объектив 2. Фокусирующая линза

3.Кремальера 4. Сетка нитей 5. Окуляр



Характеристики зрительной трубы:

- **Увеличение трубы V :** $V = f_{об} / f_{ок}$
- **Угол поля зрения :** угол ϵ

в радианной мере $\epsilon = 0.7/V$, в угловой $\epsilon = 40/V$.

- **Разрешающая способность трубы :** $\psi = 60'' / V$
(ψ - ошибка визирования).

Сетка нитей - взаимно перпендикулярные вертикальные и горизонтальные штрихи (стеклянная пластинка в окуляре зрительной трубы).

Биссектор, центр, дальномерные нити, юстировочные винты

Уровни - для приведения осей прибора в вертикальное или горизонтальное положение.

Применение уровней - на свойстве пузырька газа занимать в жидкости наивысшее положение.

По форме уровни **цилиндрические и круглые**.

Точность уровней: цилиндрические уровни имеют цену деления от 1' до 10", круглые от 3' до 5'.

Основные части уровня

Ампула - стеклянная трубка, заполненная спиртом или серным эфиром

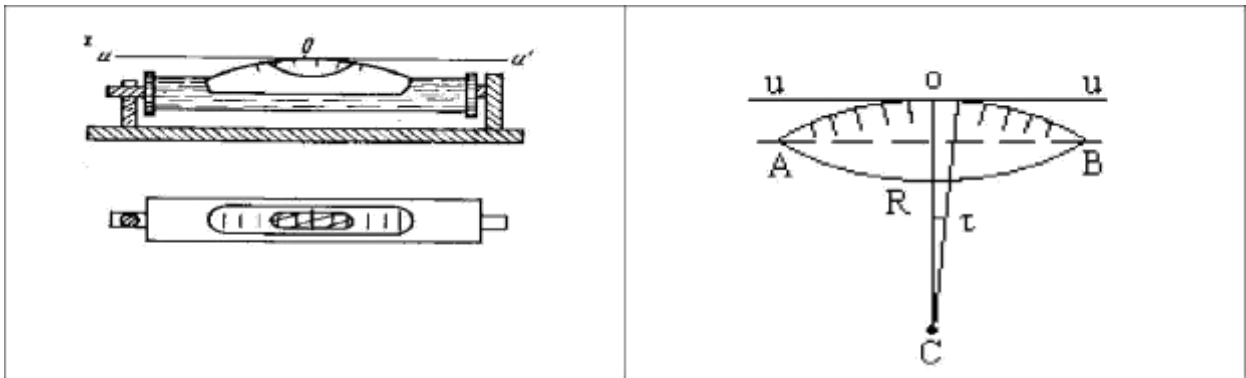
Оправа для предохранения ампулы и установки ее на прибор ;

Пузырек - пары жидкости ампулы (рабочее тело) ;

Юстировочные винты (регулировка положения уровня).

Нуль-пункт - точка в середине ампулы.

Ось цилиндрического уровня -касательная, проведенная в нуль-пункте



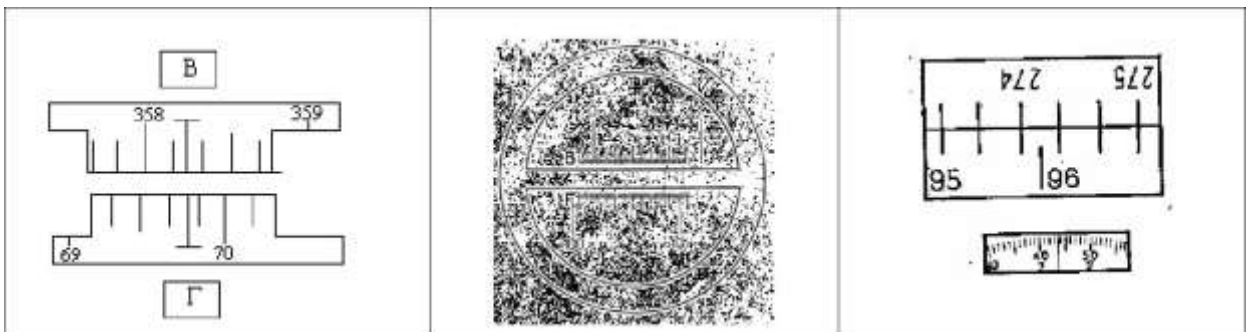
Цена деления уровня – τ - центральный угол, соответствующий дуге в одно деление шкалы на ампуле :

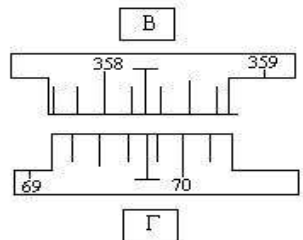
$$\tau = \rho \cdot l / R$$

τ - угол, на который наклонится ось уровня при смещении пузырька на одно деление шкалы.

Отсчетные приспособления геодезических приборов : **штриховой и шкаловой микроскопы**

- в точных и технических теодолитах, **оптический микрометр** – в точных и высокоточных .





Штриховой микроскоп:

теодолиты

T30, 3T30

Пример:

отсчет по **ГК** : $69^{\circ}47'$,

по **ВК** : $358^{\circ}14'$.

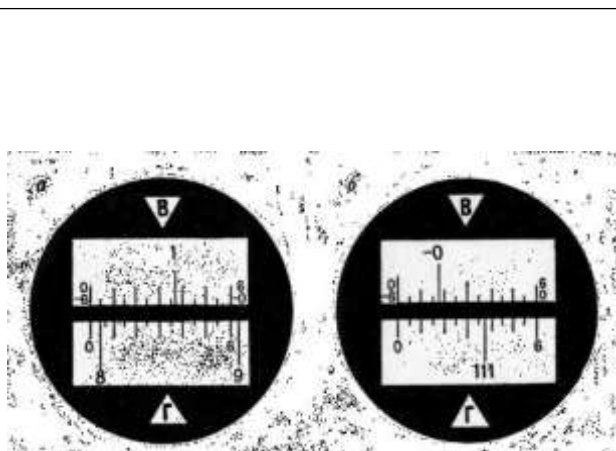
Отсчетный индекс - неподвижный штрих в поле зрения отсчетного микроскопа.

В поле зрения микроскопа - изображения вертикального (**В**) и горизонтального (**Г**) кругов.
Цена деления кругов – $10'$.

Отсчет – от младшего градусного деления лимба до отсчетного индекса.

Оценка доли деления лимба - на глаз.

Ошибка отсчитывания – 0.1 деления.



Шкаловой микроскоп:

теодолиты

2T30, 2T5K,

3T5КП,

4T30П, 4T15П

в поле зрения микроскопа - неподвижные шкалы **ГК** и **ВК**.

Длина шкалы равна одному делению лимба : $l = 60'$;

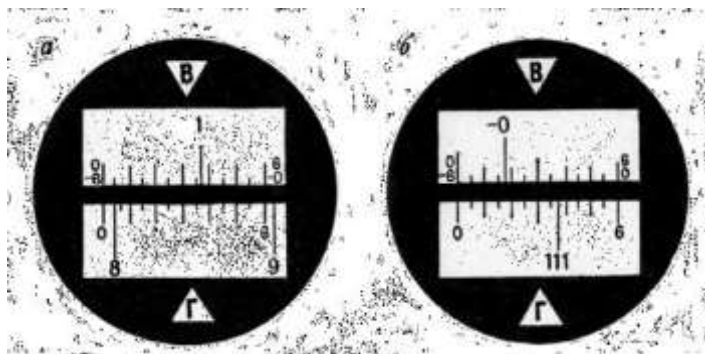
цена деления шкалы : $1'$ - для точных и $5'$ или $10'$ - для технических теодолитов.

Отсчетный индекс – градусный штрих лимба, попадающий на шкалу.

21

Отсчет берется от нуля шкалы микроскопа до градусного деления лимба, попавшего на шкалу .

Пример : а) **ГК**: $8^{\circ}04'$, **ВК**: $1^{\circ}36'$ б) **ГК**: $111^{\circ}37.5'$, **ВК**: $-0^{\circ}42'$



Шкалы ВК с двойной оцифровкой :

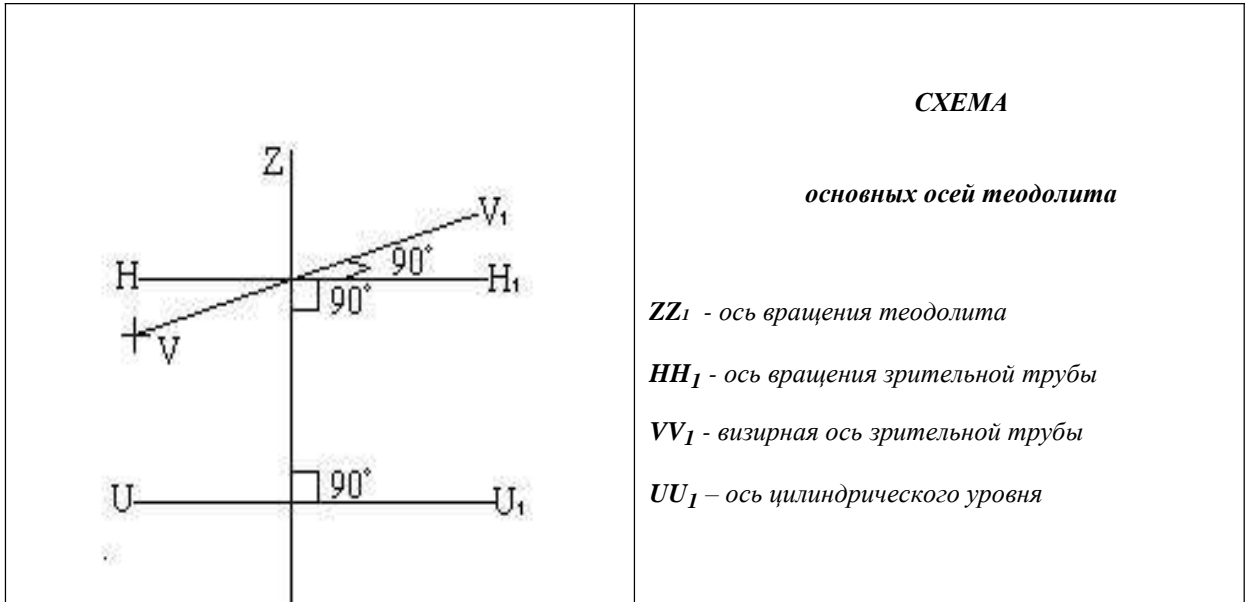
если на шкалу **ВК** микроскопа попадает градусный штрих с «-», то отсчитывание ведут **справа налево**

(от «- 0»);

если на шкалу **ВК** микроскопа попадает градусный штрих без знака, то отсчитывание ведут от нуля шкалы без знака **слева направо**.

3.Проверки и юстировки теодолитов

- **Проверка** – действия, цель которых- убедиться в соблюдении **геометрических условий** между отдельными частями прибора
- **Юстировка** – действия по устранению нарушений **геометрических условий** между отдельными частями прибора



Проверка:

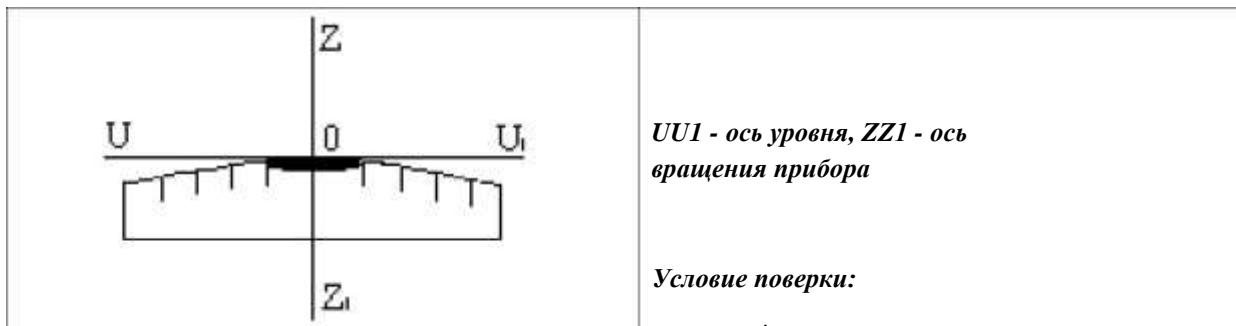
а) название ; б) условие;

в) выполнение; г) результат

Основные проверки теодолита :

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде ГК должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.
2. Вертикальная нить сетки нитей должна лежать в коллимационной плоскости.
3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.
4. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Проверка цилиндрического уровня при алидаде ГК.



Выполнение проверки :

Вращая прибор, установить уровень П двум подъемным винтам подставки. Этими подъемными винтами привести пузырек уровня в нуль-пункт. Повернуть прибор точно на 180° .

Результат:

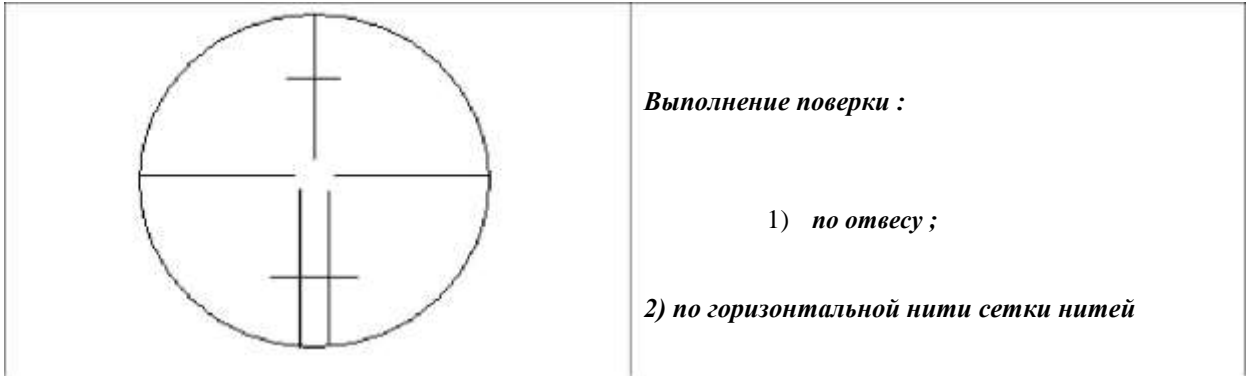
Сосчитать количество делений n отклонения пузырька уровня от нуль-пункта. При $n > 2$ выполнить юстировку.

Юстировка уровня :

1. Подъемными винтами подставки сместить пузырек обратно к нуль-пункту на $n/2$ делений.
2. Исправительными винтами уровня привести пузырек в нуль-пункт.

Проверка сетки нитей

Условие поверки : Сетка нитей должна быть установлена правильно: ее вертикальная нить должна лежать в отвесной плоскости, а горизонтальная нить должна быть перпендикулярна ей.

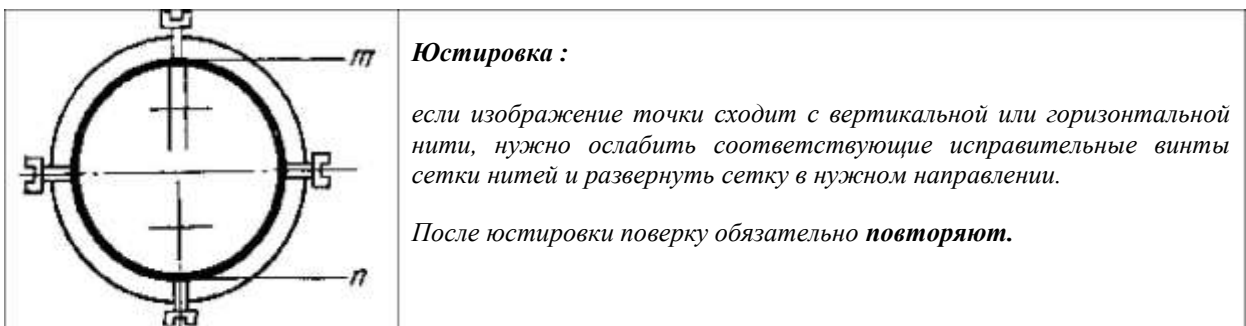


- 1) Вертикальную нить сетки наводящим винтом трубы совмещают с нитью отвеса, подвешенного в 10-15 м от прибора.

Если нити совпадают, условие выполнено.

- 2) Наводят трубу на хорошо видимую точку и совмещают ее изображение с левым концом средней горизонтальной нити сетки. Наводящим винтом алидады изображение точки перемещают по горизонту.

Если при этом изображение точки остается на горизонтальной нити сетки, то условие выполнено.



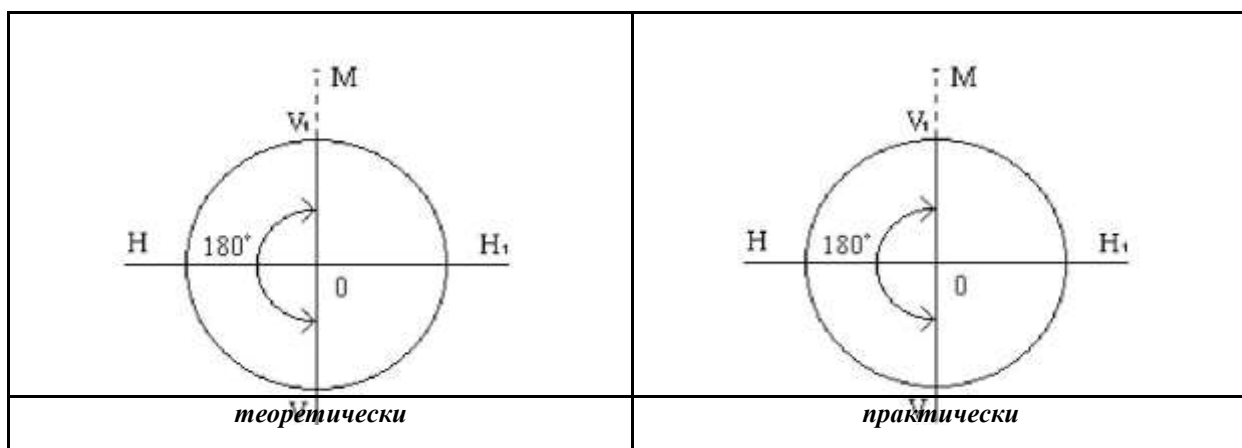
Проверка коллимационной ошибки

Коллимационная плоскость – это вертикальная плоскость, которая образуется визирной осью зрительной трубы при вращении трубы вокруг своей оси.

Визирная ось трубы (или визирная линия) - это воображаемая линия, проходящая через центр сетки нитей и оптический центр объектива трубы.

Коллимационной ошибкой C называется угол между фактическим положением визирной линии трубы и ее теоретическим положением.

Условие : VV_1 должна быть \perp NN_1



Выполнение : с помощью отсчетов по ГК при наблюдении удаленной точки.

Трубу наводят на точку при двух положениях ВК: круг слева ("круг лево" – КЛ или L) и круг справа ("круг право" - КП или R).

Чтобы сменить положение ВК, нужно перевести трубу через зенит и повернуть алидаду на 180° .

Теоретически при $C = 0$ разность отсчетов при КЛ и КП равна точно 180° .

Вычисление : $C = 0.5(L - R \pm 180^\circ)$.

Для теодолитов с односторонней системой отсчитывания (Т30, Т15, Т5)

$$C = 0.25 [(L_1 - R_1 \pm 180^\circ) + (L_2 - R_2 \pm 180^\circ)] = 0.5 (C_1 + C_2) .$$

Результат : допустимое значение C доп = $2t$, где t – точность взятия отсчетов по ГК

Юстировка :

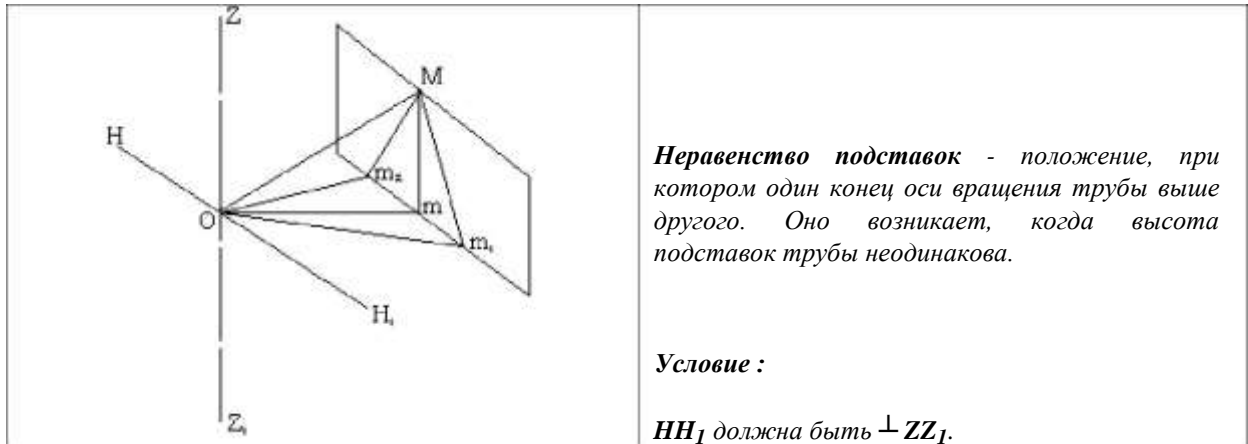
1. вычисляют **правильный отсчет** по ГК: $L_{np} = L - C$, или $R_{np} = R + C$

2. устанавливают **ПО** на лимбе;
изображение визирной цели сместится из центра сетки нитей;

3. боковыми исправительными винтами сетки нитей совмещают центр сетки нитей с изображением точки.

4. проверку повторяют.

Проверка неравенства подставок



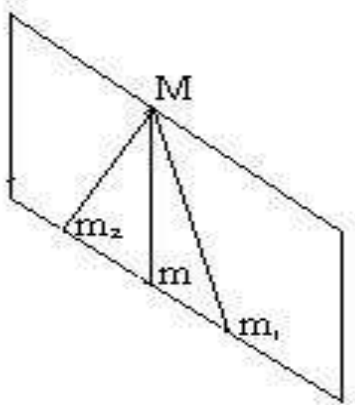
Выполнение :

- Выбирают хорошо видимую высоко расположенную точку **M**.
- Наводят трубу на точку при **КЛ** и проецируют точку на уровень горизонта теодолита зрительной трубой;
- отмечают точку **m₁**.
- Затем переводят трубу через зенит, наводят ее на точку при **КП** и снова проецируют точку на уровень горизонта теодолита;
- отмечают точку **m₂**.

Результат :

если условие проверки соблюдается, то проекция точки **M** оба раза попадет в точку **m**; в противном случае точек будет две - **m₁** и **m₂**. Разность между значениями смещений не должна превышать 0.5 ширины **биссектора** сетки нитей.

Юстировка : у современных теодолитов – только в мастерской.



4. Способы измерения углов

Перед измерением угла теодолит приводят в рабочее положение, выполняя

центрирование, горизонтирование и установку зрительной трубы .

- **Центрирование** теодолита - это установка оси вращения алидады над вершиной измеряемого угла; операция выполняется с помощью отвеса или **оптического центрира**.
- **Горизонтирование** – это установка оси вращения теодолита в вертикальное положение.
 - **Порядок действий :**
 - 1. Вращая алидаду, устанавливают уровень // линии, соединяющей два подъемных винта подставки и выводят пузырек уровня в нуль-пункт, действуя этими двумя винтами.
 - 2. Поворачивают алидаду на 90° (устанавливают уровень по направлению 3-го подъемного винта, и, действуя этим винтом, приводят пузырек уровня в нуль-пункт).
 - 3. Вращают алидаду и устанавливают ее в произвольное положение; пузырек уровня должен оставаться в нуль-пункте.
 - Действия 1-2 повторяют до тех пор, пока пузырек уровня не будет отклоняться от нуль-пункта больше, чем на 1 деление.

Установка трубы выполняется:

1) по глазу и 2) по предмету

1- с помощью окулярного кольца (установка по глазу - фокусирование сетки нитей);

2- специальным винтом трубы (кремальерой- фокусирование трубы на предмет).

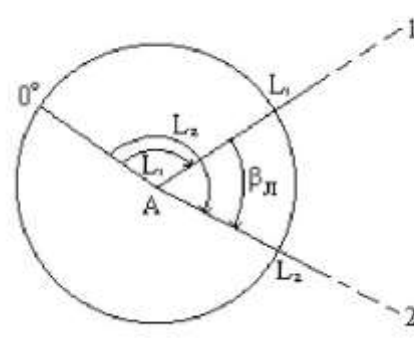
4.1.Измерение горизонтальных углов

Способы измерения горизонтальных углов: **способ отдельного угла** (способ приемов), **способ круговых приемов** – для измерения нескольких углов одновременно.

- **Полуприем:** измерение угла при одном положении круга (КЛ или КП)
- **Прием:** цикл измерения угла при двух положениях круга (2 полуприема)

25

Способ отдельного угла.

	<p>Порядок действий:</p> <p>1-ый полуприем (КЛ) :</p> <p>наведение трубы на точку 1 (направление 1-ой стороны угла); взятие отсчета L_1;</p> <p>поворот алидады по часовой стрелке - наведение трубы на точку 2 (направление 2-ой стороны угла) ; взятие отсчета L_2,</p> <p>вычисление угла из полуприема при КЛ:</p> $\beta_n = L_2 - L_1.$
--	---

2-ой полуприем (КП) :

- **перевод трубы через зенит и наведение** ее на точку 1 при круге право (КП);
- **взятие отсчета** R_1 ;

поворот алидады по часовой стрелке - наведение трубы на точку 2;

- **взятие отсчета** R_2 ;
- **вычисление** угла при КП : $\beta_n = R_2 - R_1$.

Контроль измерений :

при выполнении условия $|\beta_d - \beta_n| < 1.5 t$, где t - точность теодолита,
 вычисление среднего значения угла: $\beta_{cp} = 0.5 (\beta_d + \beta_n)$.

Журнал измерения горизонтальных углов

Погода: пасмурно, слабый ветер

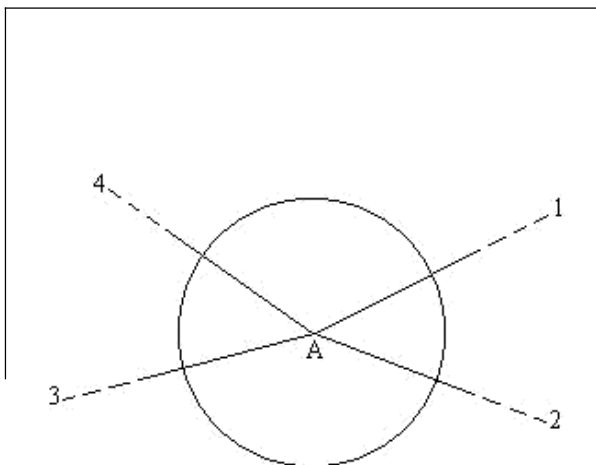
Видимость: удовлетворительная

Дата: 15 июня 2009 г

Начало: 16 ч. 17 м. Конец: 16 ч. 25 м .

Точки		Отчеты по горизонтальному кругу		Значение угла из п/приема	Среднее угл значение а	Величина удвоенной коллимации
стояния	визирования	КЛ	КП	КЛ, КП	β_{cp}	2с
T-1	T-5	3 54.2	183 54.8	294 50.2		- 0.6
	T-2	298 44.4	118 44.6	294 49.8	294 50.0	- 0.2

Способ круговых приемов.



Порядок измерений:

1-ый полуприем (при КЛ)

ориентирование лимба ГК : устанавливают на лимбе отсчет, близкий к нулю ; наводят трубу на направление -1 ; берут отсчет по лимбу.

вращая алидаду по часовой стрелке, наводят трубу последовательно на 2-е, 3-е, 4-е и т.д. направления и затем снова на 1-ое;

каждый раз берут отсчеты по лимбу.

2-ой полуприем (при КП):

переводят трубу через зенит и при КП наводят ее 1-е направление;

- берут отсчет по лимбу ГК;
- вращая алидаду против хода часовой стрелки, наводят трубу последовательно на n, (n-1), ..., 3-е, 2-е, и снова на 1-е;
- каждый раз берут отсчеты по лимбу.

Для каждого направления вычисляют **средние** из отсчетов при КЛ и КП, затем - значения углов относительно первого (начального) направления.

26

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

Запись отсчетов по лимбу и вычисления производятся в специальных журналах

Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приемов

Дата 010.06.2001 Пункт Т-5 Погода ясно

Время начало: 12 ч 15 мин окончание 12ч 30 мин Видимость удовлетворительная

Прием 1 Изображения колеблющиеся

Названия направлений	круг Л/П	Отсчеты		Среднее		Л + П ± 180		Приведенные направления		2с
		°	'	°	'	2		°	'	
3	Л	00	04.9	00	05.0	00	05.5	00	00.0	- 1.0
			05.1							
	П	180	06.1	180	06.0					
			05.9						-0.1	
4	Л	279	09.0	279	09.0	279	09.8	279	09.3	- 1.5
			09.0							
	П	99	10.4	99	10.5					
			10.6						-0.2	
1	Л	222	07.9	222	08.0	222	08.0	222	07.5	0.0

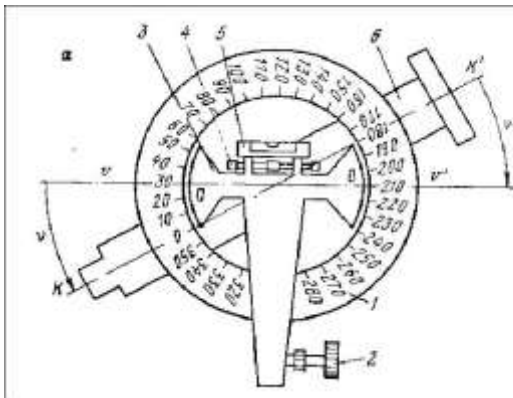
			08.1								
		П	42	08.0	42	08.0					
			08.0						-0.4		
	2	Л	97	19.4	97	19.5	97	19.2	97	18.7	0.5
			19.6								
		П	277	18.9	277	19.0					
			19.1							-0.5	
	3	Л	00	06.0	00	06.0	00	06.0	00	00.5	0.0
			06.0								
		П	180	05.9	180	06.0					
			06.1								
		Л	- 1.0'								
		П	0.0'								
		$L_{II} = (N_0^{\text{нач}} - N_0^{\text{кон}})_{L,II}$									
			- 0.5'								

4.2. Измерение вертикальных углов

Вертикальный угол - это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости.

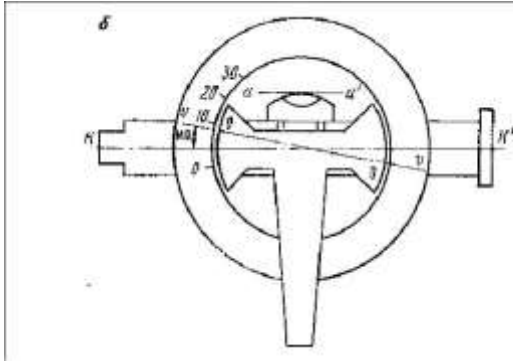
Угол наклона ν - угол между горизонтальной плоскостью и направлением линии местности.

Устройство **ВК** теодолитов :



лимб ВК 1 жестко соединен с **трубой 6**, центр лимба совмещен с осью вращения трубы, а его плоскость \perp этой оси.

Для отсчета по лимбу имеется **алидада 3**. Основные части алидады: отсчетное приспособление, **цилиндрический уровень 5** (или компенсатор) и **микрометрический винт 2**.

Оцифровка лимба ВК:

1) от 0 до 360°;

2) от 0 до 180° в обе стороны со знаками «+» и «-» или без знаков;

3) секторами от 0 до 90° с «+» и «-»

Вместо уровня при ВК в некоторых приборах применяется **компенсатор** углов наклона осей прибора.

Компенсатор заменяет уровень при алидаде ВК.

Место нуля ВК теодолита - это отсчет по лимбу ВК при горизонтальном положении визирной линии трубы и оси уровня ВК.

Для теодолитов с компенсатором **МО** - это отсчет по ВК при котором отсчетный индекс ВК горизонтален.

Измерение вертикальных углов

При измерении v удобно иметь **МО** ≈ 0

Определение МО:

навести трубы на точку при КЛ, привести пузырек уровня в нуль-пункт *, взять отсчет по ВК

перевести трубу через зенит, навести ее на точку при КП, привести пузырек уровня в нуль-пункт * и

взять отсчет по ВК.

вычислить МО и v .

* *Примечание* : для 2Т30 и 2Т30М в нуль- пункт выводят пузырек уровня при алидаде ГК . У теодолитов с компенсатором уровня при алидаде ВК нет.

Формулы для вычисления M_0 и v :

а) для 2Т30	б) для 2Т30М
$M_0 = \frac{KЛ + КП}{2}$ $v = KЛ - M_0;$ $v = M_0 - КП;$ $v = \frac{KЛ - КП}{2}.$	$M_0 = \frac{KЛ + КП + 180^\circ}{2};$ $v = KЛ - M_0;$ $v = M_0 - КП - 180^\circ;$ $v = \frac{KЛ - КП - 180^\circ}{2}.$

Исправление M_0 :

Если $M_0 > 2 t$, то при КЛ(КП) наводят трубу на точку и микрометрическим винтом алидады устанавливают отсчет, равный v ; при этом пузырек уровня отклонится от нуль-пункта. Исправительными винтами уровня приводят пузырек в нуль-пункт.

Тема: Измерение превышений

1. Виды нивелирования.
2. Способы геометрического нивелирования
3. Классификация нивелиров и реек, их устройство

4. Поверки и юстировки уровенных нивелиров

5. Производство геометрического нивелирования

6. Понятие о нивелирах с компенсатором

1. Виды нивелирования

Нивелирование - процесс измерения превышения одной точки относительно другой.

Измерение превышений : различные приборы и способы:

Виды нивелирования :

- **геометрическое** (горизонтальным лучом - нивелиром),
- **тригонометрическое** (наклонным лучом - теодолитом),
- **барометрическое** (барометром-анероидом),
- **гидростатическое** (сообщающиеся сосуды).



• **Тригонометрическое нивелирование** : (геодезическое) или нивелирование наклонным лучом. Выполняется теодолитом; для определения превышения между двумя точками нужно измерить ν - угол наклона и d – горизонтальное проложение.

$$h = d \cdot \operatorname{tg}(\nu) + i - V, \text{ где } i - \text{высота прибора, } V - \text{высота визирования.}$$

Ошибка измерения превышения от 2 см до 10 см на 100 м расстояния

- **Гидростатическое нивелирование** выполняют с помощью сообщающихся сосудов, заполненных жидкостью. Жидкость устанавливается в обоих сосудах на одном уровне.

$$h = C_1 - C_2.$$

C_1, C_2 - высота столба жидкости в 1-м и во 2-м

сосуде Точность гидростатического нивелирования :

минимальная ошибка измерения превышения 5 – 10 мкм; диапазон измерения превышений при этом всего около 1 см. Обычная точность : ошибки от 0.5 до 10 мм при расстоянии от 10 до 500 м.

- **Барометрическое нивелирование** основано на зависимости атмосферного давления от высоты точки над уровнем моря : с увеличением высоты на 10 м давление падает примерно на

1 мм ртутного столба. Приближенная формула :

$h = H_2 - H_1 = \Delta H \cdot (P_1 - P_2)$, где P_1 и P_2 - давление в первой и во второй точках; ΔH - барометрическая ступень; значения ΔH выбирают из специальных таблиц.

Точность барометрического нивелирования невысока : ошибка измерения превышения от 0.3 м в равнинных районах до 2 м и более в горных. Основные области применения - геология и геофизика.

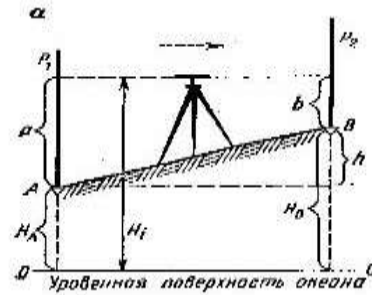
2. Виды геометрического нивелирования: а) «из середины» и б) «вперед»

$$h = a - b, \quad (1)$$

где

a и b – отсчеты по рейкам в т.т. A и B
 $a > b$, превышение положительное,
 $a < b$ – отрицательное

Отметка т. B : $H_B = H_A + h$ $h = a - b$,



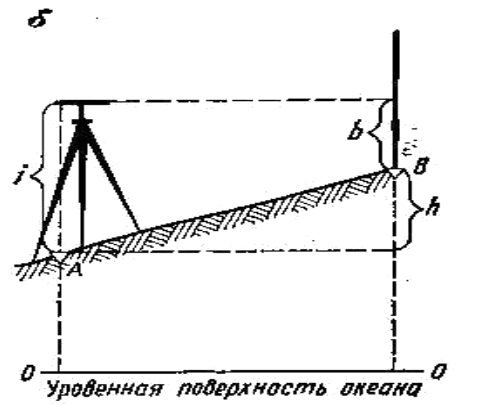
Высота визирного луча над уровнем моря называется **горизонтом инструмента ГИ** :

$$\Gamma H = HA + a = HB + b$$

$$h = i - b, \quad (2)$$

где i - высота нивелира над т. А и b - отсчет по рейке в т.В

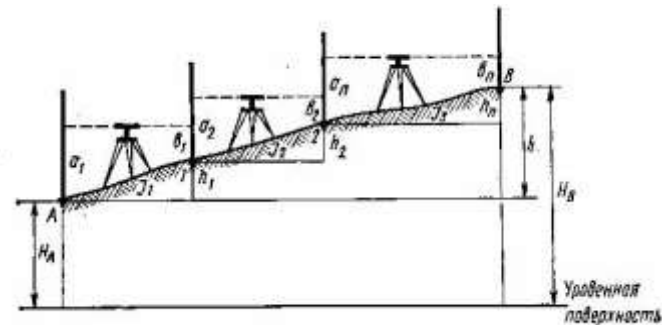
Отметка т.В : $H_B = H_A - b$



Последовательное нивелирование (нивелирный ход) :

Станция – установка нивелира.

Превышение на каждой станции вычисляют по формуле (1), а превышение между т.т. А и В равно:



$$h_{AB} = \Sigma h = \Sigma a - \Sigma b. \quad (3)$$

$$H_B = H_A + \Sigma h. \quad (4)$$

3. Классификация нивелиров и реек, их устройство

Конструкция нивелиров : **уровенные** - с цилиндрическим уровнем при трубе, **автоматические** - с компенсатором наклона визирной линии трубы.

Маркировка приборов: при наличии компенсатора добавляется буква **К** : Н-3К, 3Н-3КЛ. **Л** означает наличие лимба ГК : 3Н-5Л.

ГОСТ 10528 – 96 : классификация нивелиров по точности : (с компенсатором/уровенные)

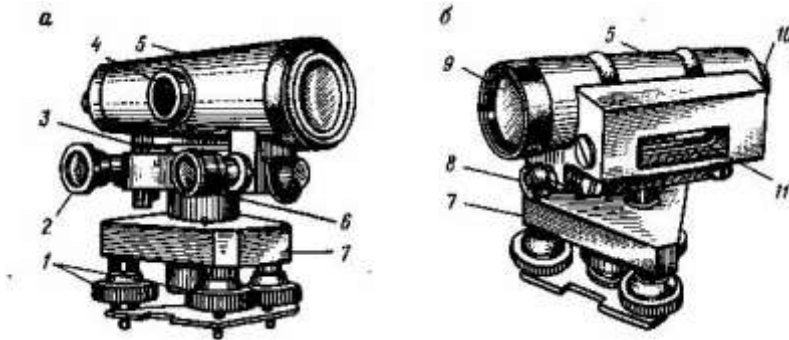
высокоточные с ошибкой измерения превышения на 1 км хода $m_h < (0.3 \text{ мм} / 0.5 \text{ мм})$

точные с ошибкой $m_h < (2 \text{ мм} / 3 \text{ мм})$;

технические с ошибкой $m_h < (5 \text{ мм} / -)$.

Основные части уровенного нивелира:

- круглый (установочный) уровень
- зрительная труба (объектив, окуляр, кремальера, сетка нитей)
- цилиндрический уровень при трубе
- подставка с тремя подъемными винтами
- элевационный винт, закрепительный и наводящий винты трубы
- юстировочные винты (уровней, сетки нитей).



Нивелирные рейки

Типы реек по ГОСТу соответствуют типам нивелиров

1) **высокоточное и точное нивелирование** : **РН-05** - односторонняя, штриховая инварная.

2) **техническое нивелирование** : **РН-3** - деревянная, двухсторонняя, шашечная.

Длина реек : 1200, 1500, 3000 и 4000 мм.

Складные рейки : в шифр добавляется буква С, например, РН-3-3000-С.

Шашечные рейки : из ели, пластмасс, металлов и сплавов.

Деления в виде **шашечек** наносят черной краской на одну сторону рейки и красной - на другую. Дм деления подписаны. Цена деления шкалы -1 см (10 мм) .

Пятка рейки - металлическая пластина в нижней части рейки.

Черная сторона : нулевое деление

рейки;

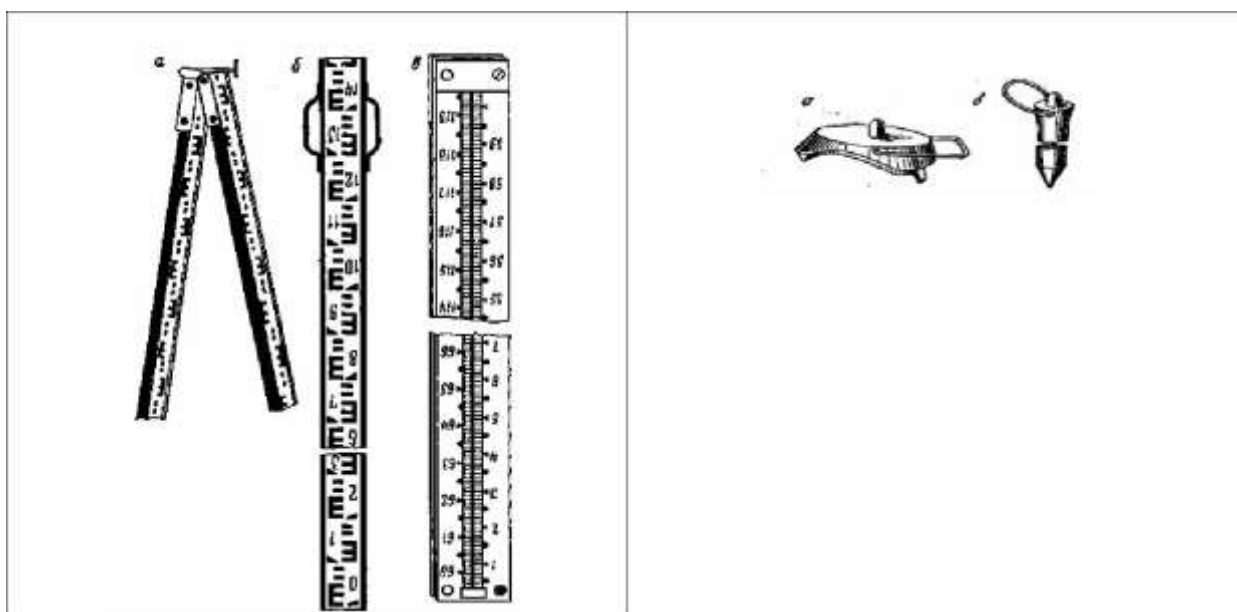
красная - отсчет, >4000 мм.

Разность нулей рейки (**разность пяток**)- разность отсчетов на дополнительной и основной шкалах рейки.

Отсчет – до мм : 0815, 2482, 4013, 6173

Штриховые рейки: односторонние (полоса в деревянном футляре)

Деления наносят на инварную полосу, натянутую вдоль деревянного бруска при помощи специального устройства. Деления в виде **штрихов** через 5 мм

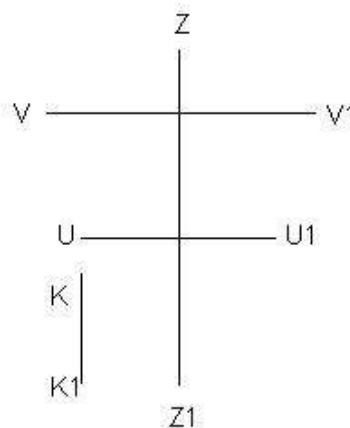


1) Поверка круглого уровня
 Условие : $KK_1 \parallel ZZ_1$

Выполнение: винтами подставки приводят пузырек уровня в нуль-пункт, прибор поворачивают на 180° .

Результат: а) пузырек остался в пределах делений уровня – условие выполнено

б) если пузырек вышел за деления уровня, требуется юстировка Юстировка : на половину отклонения пузырька его перемещают подъемными винтами подставки и на половину – исправительными винтами круглого уровня.



2) Поверка сетки нитей – так же как и у теодолита

3) Поверка главного условия нивелира
 Условие : $VV_1 \parallel UU_1$

Выполнение : а) двойным нивелированием вперед

б) сочетанием нивелирования из середины с нивелированием вперед

непараллельность осей VV_1 и UU_1 : угол i

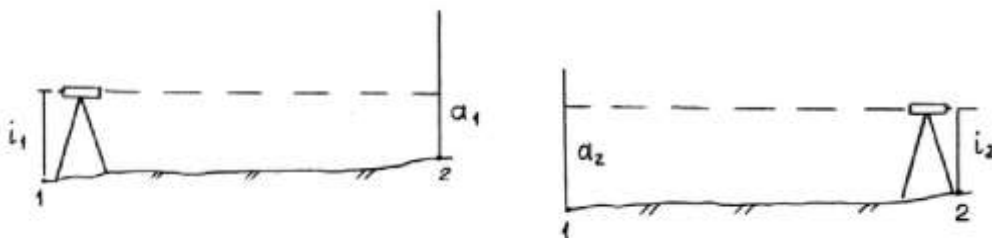
в линейной мере $x = i / \rho \cdot d$ $i=10''$; $\rho = 206265$ “

при d от 60 до 100 м $x_{доп} = 3 - 5$ мм

Поверку выполняют не менее 3-х раз : x_1, x_2, x_3 ; $\bar{x}_{ср}$
 Если $\bar{x}_{ср} / x_{доп}$, то условие выполнено

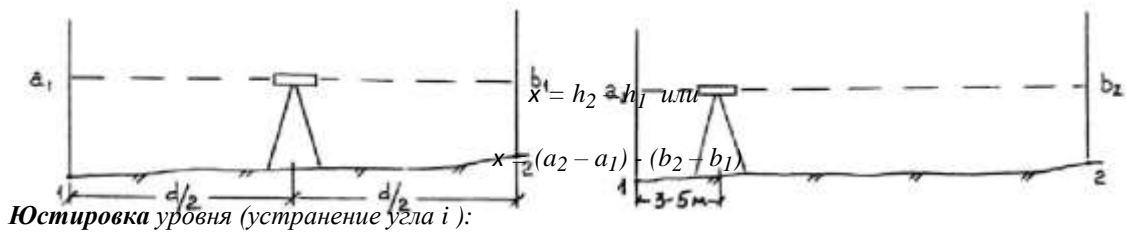
Выполнение поверки Г.У.Н

1) двойным нивелированием «вперед»

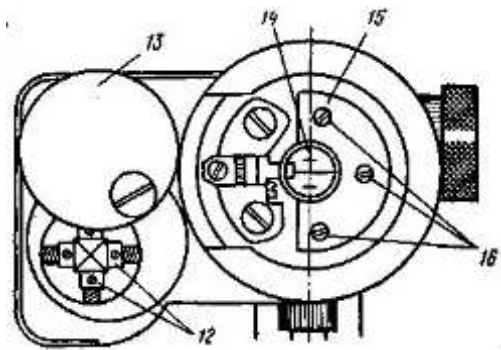


$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} \frac{a_1 + a_2}{2}$$

2) сочетанием нивелирования «из середины» и «вперед»



- 1) вычисляют «правильный» отсчет $b_{np} = b_2 + x$
- 2) элевационным винтом устанавливают отсчет по рейке b_{np}
- 3) юстировочными винтами уровня возвращают пузырек уровня на середину
- 4) поверку повторяют



5. Производство геометрического нивелирования

Нивелирный ход : прокладывают между точками с известными отметками (реперами).

Форма хода: а) разомкнутый б) замкнутый в) висячий.

В разомкнутом и замкнутом ходах нивелирование выполняют один раз, в висячем ходе - два раза: в прямом и обратном направлениях.

Ход состоит из **станций** (стоянок прибора)

Превышение по ходу получают как сумму превышений на станциях : $H_B = H_A + \Sigma h$, откуда

$\Sigma h = H_B - H_A$ - «Теория» -

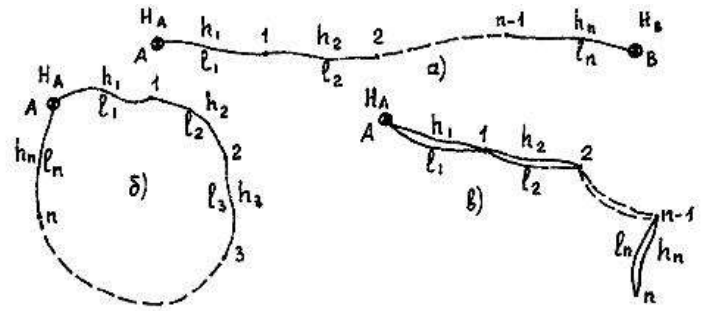
теоретическое значение h

$\Sigma h_{изм}$ – «Практика» -

практически измеренное h

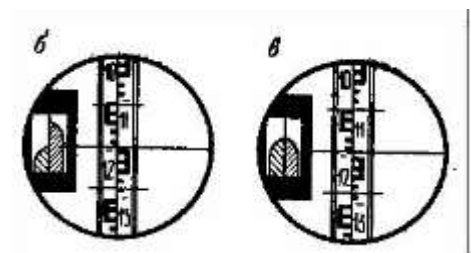
$$f_h = \Sigma h - \Sigma h_{изм} - \text{невязка}$$

= «Практика» - «Теория»



Порядок работы на станции нивелирного хода :

- нивелир приводят в рабочее положение по круглому уровню
- установка зрительной трубы по глазу и предмету
- перед отсчетом по рейке – пузырек на середину
- Последовательность взятия отсчетов по рейкам : **Зч Пч Пк Зк**



Вычисления на станции : $h_{ч} = Зч - Пч$ $h_{к} = Зк - Пк$

если $|h_{ч} - h_{к}| < 5 \text{ мм}$, то $h_{ср} = 0.5(h_{ч} + h_{к})$

Обработка нивелирного хода: а) вычисление и распределение невязки: f_h, f_h до ν_h , $h_{исп} = h_{выч} + \nu_h$

б) постраничный контроль: $\Sigma З - \Sigma П = \Sigma h_{к,ч} = 2 \Sigma h_{ср}$

в) вычисление отметок связующих точек: $H_{i+1} = H_i + h_{исп}$

6. Понятие о нивелирах с компенсатором

Компенсатор – устройство для автоматического приведения линии визирования нивелира в горизонтальное положение (заменяет цилиндрический уровень и элевационный винт)

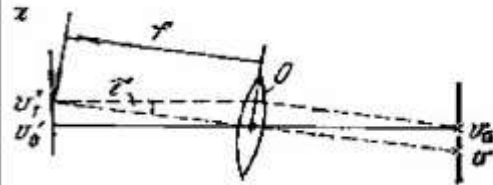
V_1V_1' - визирная ось зрительной трубы

O - центр объектива

τ - угол наклона визирной оси

V_0V_1 - смещение сетки нитей

f - фокусное расстояние зрительной трубы



$$V_0V_1 = f \cdot \operatorname{tg} \tau = f \cdot \tau$$

1) **жидкостные** : в них используют отражающие и преломляющие свойства жидкости, верхняя поверхность которой горизонтальна, а нижняя наклоняется вместе с прибором

2) **маятниковые** : а) **механические** – горизонтальность визирного луча достигается перемещением сетки нитей ; б) **оптико-механические** – горизонтальность визирного луча за счет изменения его пути при прохождении оптических узлов, подвешенных на специальных нитях. Самые распространенные - оптико-механические компенсаторы.

Подвеска маятника : $\tau = K \cdot \tau$, где K – коэффициент компенсации : ($K = 0.4 - 6.0$)
 $K = f / S$, S - длина хода луча от компенсатора до сетки нитей .

диапазон работы компенсатора $\tau = 10 - 15'$;

ошибка горизонтальности визирной линии трубы $\delta_x < 0.5''$; систематическая ошибка недокомпенсации $< 0.3 - 0.5''$ на $1'$ наклона трубы; время затухания колебаний < 2 секунд.

Условие проверки компенсатора: визирная ось трубы должна оставаться горизонтальной при наклоне оси вращения нивелира на угол компенсации.

Проверка работоспособности компенсатора :

1) **Определение диапазона работы компенсатора τ** .

Нивелир устанавливают так, чтобы один из подъемных винтов подставки был расположен со стороны наблюдателя. Нивелир приводят в рабочее положение и наводят на рейку, установленную в 20-30 м; на подъемном винте со стороны наблюдателя наносят метку.

Наблюдая в окуляр трубы, вращают подъемный винт подставки по часовой стрелке до тех пор, пока изображение рейки не начнет резко смещаться относительно средней горизонтальной нити сетки.

Положение подъемного винта фиксируют меткой и определяют (на глаз) угол его поворота ν_1 . Поворот винта на $1/4$ оборота (на 90°) соответствует $10'$ наклона нивелира.

Этим же подъемным винтом подставки приводят нивелир в исходное положение, затем вращением винта против хода часовой стрелки наклоняют прибор в противоположную сторону и вновь определяют угол

поворота ν_2 . Для более надежного определения угла компенсации его определение следует повторить 2-3 раза.

Систематическая погрешность компенсации δ_k не должна превышать $0,5''$ или в линейной мере при угле компенсации $i_k = 10'$ и расстоянии до рейки $S = 100$ м:



$$\Delta = \frac{2 \cdot \delta_k \cdot S}{\rho''} \cdot i_k = 5 \text{ мм.}$$

2) **Определение погрешности работы компенсатора**

Нивелир располагают в середине створа (длина створа 100 м) между двумя рейками. Наблюдения выполняют числом приемов не менее 5.

Нивелир приводят в рабочее положение и определяют превышение h_0 . Затем определяют превышения h_1, h_2, h_3, h_4 при наклоне его визирной оси на угол компенсации. Для этого, вращая подъемный винт подставки, расположенный по направлению рейки, смещают пузырек уровня к одному из краев большой концентрической окружности на его ампуле. Указанные действия составляют один прием измерений. Между приемами изменяют горизонт прибора.

$$\Delta_{\text{ср}} = - \sum_{j=1}^n \Delta_j; \quad \Delta_j = - \sum_{i=2}^5 (h_i - h_0), \quad (j = 1, 2, \dots, n),$$

где j – номер приема; n – число приемов ($n \leq 5$);

h_{ij} и h_{0j} – превышения h_i и h_0 , определенные в j -том приеме.

Тема: Линейные измерения

1. Общие сведения о линейных измерениях. Мерные ленты и рулетки

2. Измерение и вычисление длин линий

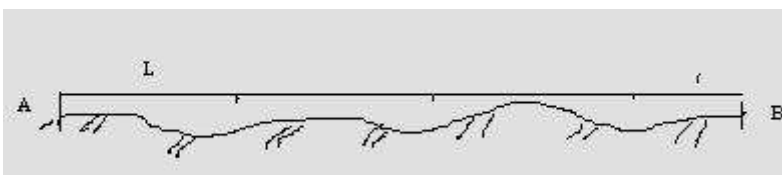
3. Нитяной дальномер

4. Понятие о светодальномерах

В-1. Методы линейных измерений

а) **непосредственный**: измерение расстояний (проводами, мерными лентами и рулетками)

б) **косвенный**: измерение расстояний специальными приборами (дальномерами).

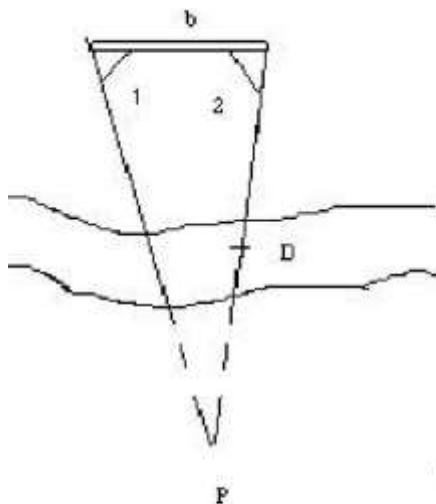


$D = n \cdot L + r$, где L - длина мерного прибора, n - число целых уложений МП, r - остаток.

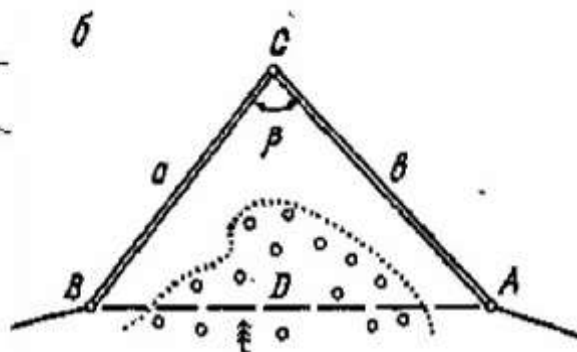
Косвенный метод : D -определяемое расстояние

а) по теореме синусов : $1, 2$ - измеренные горизонтальные углы b - базис,

б) по теореме косинусов : a, b - базисы β -измеренный горизонтальный угол.



$$D = b_1 \left| \frac{\sin \beta_1}{\sin (\beta_1 + \beta_2)} \right|.$$

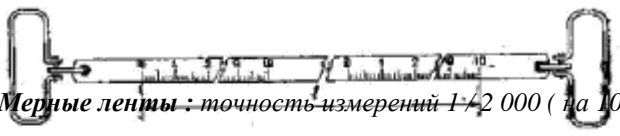


$$D = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta}.$$



Инварные проволоки: измерение расстояний с такой точностью $1/1000\ 000$ (на 1 км ошибка 1 мм).

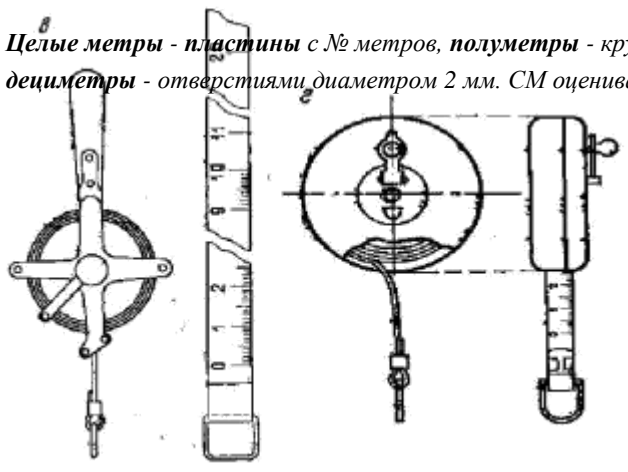
Инвар - сплав (64% Fe + 36% Ni); коэффициент линейного расширения $\alpha = 0.5 \cdot 10^{-6}$ (аст = $12 \cdot 10^{-6}$).



Мерные ленты: точность измерений $1/2\ 000$ (на 100 м ошибка 5 см).

Мерная лента: стальная полоса шириной от 10 до 20 мм и толщиной 0.4 - 0.5 мм длиной 20, 24 и 50 м (ЛЗ-20, ЛЗ-24).

Целые метры - пластины с № метров, **полуметры** - круглые заклепки, **дециметры** - отверстиями диаметром 2 мм. СМ оценивают на глаз.



а- штриховая лента б – шкаловая лента

в – рулетка на крестовине г – рулетка в закрытом корпусе

*Длина стальных рулеток: 20, 30, 50, 75 и 100 м. Точность измерения расстояния :
от 1/2 000 до 1/10 000.*

Типы рулеток :

бытовые (-10, -20 м) и профессиональные (-30, -50 м)

*В закрытом и открытом
корпусе на вилке и на
крестовине*



Полотно :

Сталь

Фибергласс

Обычное покрытие	Пластиковое покрытие	Травленые деления	Травленые деления (нержавеющая сталь)
------------------	----------------------	-------------------	--

36

Проверки рулонок и мерных лент

- 1) **Проверка внешнего состояния:** визуальный осмотр и опробование – проверяют качество штрихов и надписей, отсутствие изломов, коррозии, дефектов полотна, скручивание-раскручивание.
- 2) **Проверка длины шкалы** – компарированием.
Компарирование - процесс сравнения длины мерного прибора с эталоном.

Допускается отклонение фактической длины новой ленты 2 мм для 20- и 30-метровых лент и 3 мм для 50-метровых.

Компарирование в полевых условиях – на базисах (линиях, измеренных с ошибкой 1/10 000).

Уравнение рулетки(мерной ленты): $l = l_0 + l_{\text{комп}}$, где l_0 - номинальная длина МП при $t = 20$ С, $l_{\text{комп}}$ – поправка за компарирование

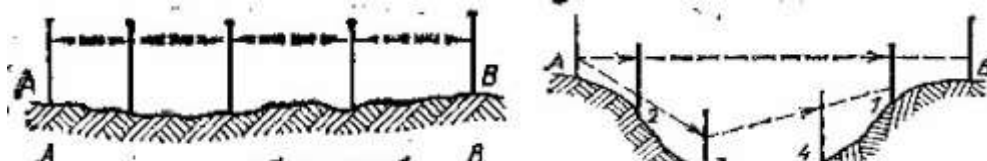
2.Измерение и вычисление длин линий

Измерение линии: МП последовательно укладывают в **створе** линии.

Створ - отвесная плоскость, проходящая через концы линии.

Подготовка линии к измерениям:

- расчистка полосы для измерений
- фиксация точек перегиба рельефа по створу
- обозначение створа(**вешение линии** – установка вех через 50-150 м вдоль линии)



Измерение линии : 2 человека – 3-задний и П-передний мерщик.

П-мерщик укладывает ленту в створ по указанию 3-мерщика.

МП встряхивают, натягивают, фиксируют шпильками.

П-мерщик в процессе измерения линии втыкает шпильки в землю, а задний собирает их. Подсчитывается число целых уложений МП. В конце линии измеряют **остаток** (до 1 см).

Контроль : линию измеряют 2 раза- «прямо» и «обратно»: $D_{пр}$, $D_{обр}$, $D_{ср}$

Точность измерений : 1/Т а) 1:3 000 ; б) 1:2 000 ; в) 1:1 000

$$(D_{пр} - D_{обр}) / D_{ср} = 1/T$$

Вычисление длин линий : введение (учет) поправок в $D_{изм}$

1) Поправка за компарирование D к

$l_{факт} = l_0 + \Delta l_k$, где l_0 - номинальная длина МП; Δl_k - поправка из компарирования;

$$D_{изм} = n * l_{факт} + r = n (l_0 + \Delta l_k) + r = n * l_0 + r + n * \Delta l_k$$

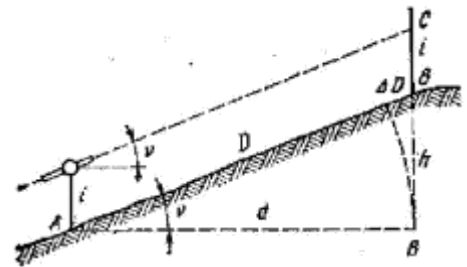
$$D = D_0 + (D_0/l_0) \Delta l_k.$$

$$l_k + r_o (l + l_k / l_o) = (n^* l_o + r_o) + D_{uzm} = D_o + D_k$$

$$\Delta D_k = D - D_o = (D_o / l_o) \Delta l_k$$

$l \kappa (n + r_0/l_0)$

2) Поправка за температура $D_{изм} = D_0 + D_t D_t$



$$D \Delta D_v = d - D = -D (1 - \cos \nu) = -2D \sin^2 (\nu/2).$$

= При углах наклона меньше 10° $\sin (\nu/2) \approx 0,5 \sin \nu$.

$$\Delta D_v = -0,5D \sin^2 \nu.$$

t_0 - температура компарирования; t - температура при измерениях; α - коэффициент температурного расширения МП ($\alpha_{ст} = 1,25 \cdot 10^{-5}$)

3) Поправка за наклон линии к горизонту:

а) известен угол наклона ν ; $d = D \cdot \cos \nu$;

б) известно превышение h ;

$$D^2 = d^2 + h^2; h^2 = D^2 - d^2 = (D - d)(D + d).$$

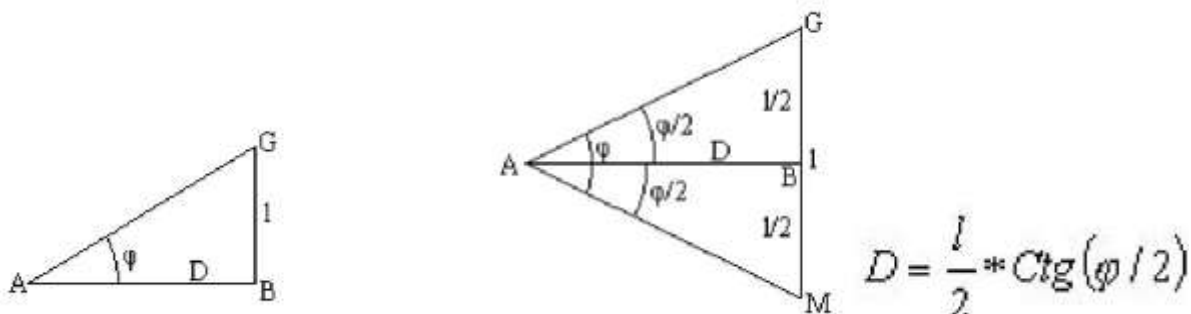
$$d - D = \Delta D_v \text{ и } D + d \approx 2D, \text{ получим } \Delta D_v = -h^2/2D.$$

Окончательное значение длины линии с учетом поправок :

$$d = D_0 + \Delta D_k + \Delta D_t + \Delta D_v$$

3. Нитяной дальномер

В геодезии применяют 3 вида дальномеров: *оптические* (геометрические), *электрооптические* (светодальномеры), *радиотехнические* (радиодальномеры).

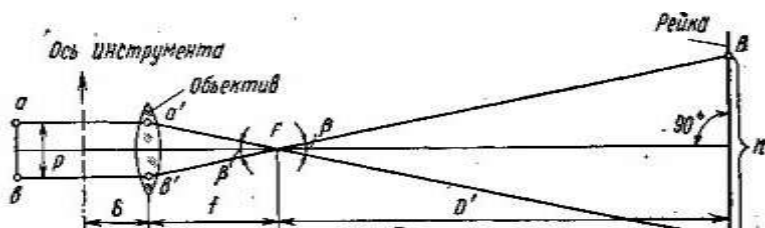


$$D = l \cdot \text{Ctg}(\varphi)$$

D - функция величин φ - малого угла и l - базиса : $D = f(\varphi, l)$

Типы оптических дальномеров :

- 1) дальномеры с постоянным углом : ($\varphi = \text{Const}$, l измеряют)
- 2) дальномеры с постоянным базисом : ($l = \text{Const}$, φ измеряют)



$$D'/n = f/p, \quad D' = (f/p) \cdot n,$$

$$D = D' + \delta + f = D' + c,$$

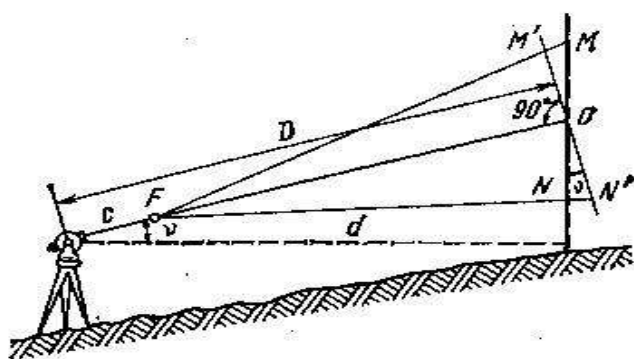
где c - постоянная дальномера

38

$$D' = (f/p) \cdot n = K \cdot n, \text{ где } n=l \text{ и } K = f/p = \text{Ctg } \varphi = 0.5 \text{Ctg } \varphi;$$

В геодезических приборах коэффициент нитяного дальномера $K = 100$
для малых углов $\text{Ctg } \varphi = \rho / \varphi$ $K = 100 = 3438' / \varphi$, откуда $\varphi = 34.38'$.

Измерение нитяным дальномером
наклонного расстояния



Если бы рейка была установлена перпендикулярно визирному лучу, то :

$$D = Kn,$$

Но рейка устанавливается отвесно, поэтому из-за ν -угла отклонения рейки от перпендикуляра к оси трубы:

$$D = K \cdot n' \cdot \cos \nu, \text{ с учетом того, что } d = D \cdot \cos \nu \text{ и } D = Kn + c$$

$$d \approx (Kn + c) \cos^2 \nu.$$

Поправка за наклон $\Delta D\nu$: $d = D + \Delta D\nu$ или

$$\Delta D\nu = d - D \approx D (1 - \cos^2 \nu) \approx D \sin^2 \nu.$$

При $\nu < 2$ градусов поправка $\Delta D\nu$ не учитывается.

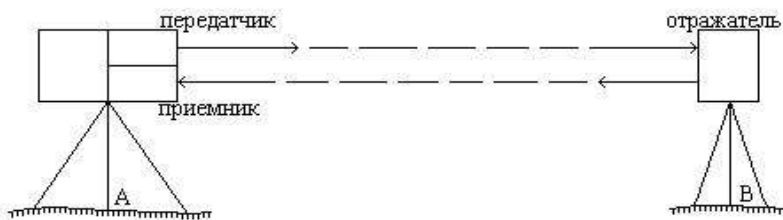
Точность измерения расстояний НД : с относительной ошибкой от 1/300 до 1/100

или 0.3 – 1.0 м на 100 м .

4. Понятие о светодальномерах

Принцип работы : измерение времени t , за которое свет дважды прошел расстояние D

в прямом и обратном направлении : $D = V \cdot t / 2$ (V - скорость света в атмосфере) .



Комплект прибора : сам С (приемник-передатчик), Отражатели (призмы)

Метеоприборы (термометр, барометр).

Типы светодальномеров : 1) импульсные и 2) фазовые.

1) время t измеряется непосредственно, по запаздыванию принимаемого (отраженного) импульса относительно момента излучения.

2) t - через разность фаз $\Delta\varphi$ излучаемого и принимаемого сигнала.

Современные С : **импульсно-фазовые** – фазовый метод измерения t при импульсном методе излучения.

Приборы автоматизированы : управление, вычисление и контроль.

39

Ошибка измерения D : $m_D = a + b \cdot D \cdot 10^{-6}$, $a = \text{Const}$, b - переменная : $b = f(D)$

Метрологические показатели СД

ГРУППА	Диапазон D , км	a , мм	b , мм	маркировка
Г - для государственных геодезических сетей	от 0.1 до 30	1; 2	1; 2	СГ-3
П - для прикладной геодезии и маркшейдерии	от 0.001 до 5	0.1; 0.5	1; 2	СП 22 СП 03
Т - для сетей сгущения и топографических съемок	от 0.002 до 15	5; 10	3; 5	СТ-5 2СТ-10
СТД - для топографических съемок (диффузное отражение)	от 0.002 до 0.5	20		ДИМ-2

Тема: Элементы теории ошибок измерений

1. Задачи теории ошибок. Виды ошибок измерений

2. Свойства случайных ошибок измерений

3. Понятие о средней квадратической, предельной и относительной ошибках

4. Обработка ряда равноточных измерений.

5. Понятие веса измерений. Обработка ряда неравноточных измерений.

6. Оценка точности функций измеренных величин

1. Задачи теории ошибок. Виды ошибок измерений.

Измерения - важная часть геодезических работ; из них получают количественную информацию об объектах.

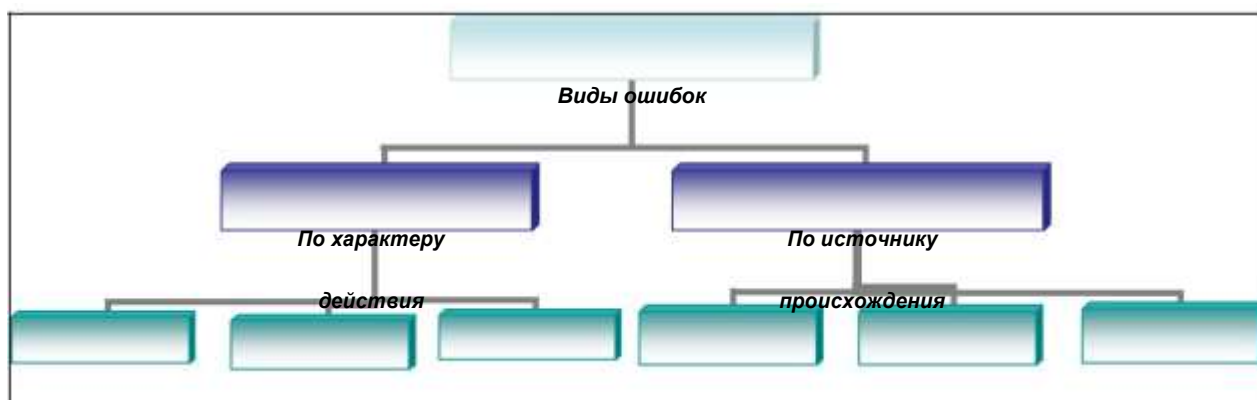
В геодезии измеряют длины линий, горизонтальные и вертикальные углы, превышения.

Теория ошибок измерений изучает :

- свойства ошибок и законы их распределения,
- методы обработки измерений с учетом их ошибок,
- способы получения числовых характеристик точности измерений.

Задачи теории ошибок :

- нахождение наиболее надежного значения измеренной величины,
- оценка точности результатов измерений и их функций
- установление допусков на использование результатов измерений.



Систематические	Случайные	Приборные	Внешних условий	Личные
Грубые				

Грубые ошибки - результат промахов и просчетов. Исключаются при контроле измерений.

Систематические ошибки действуют по определенному закону

- односторонне действующие (знак = Const, величина меняется)
- периодически действующие (и знак и величина меняются)
- постоянно действующие (знак и величина = Const)

Систематические ошибки исключают методикой измерений, введением поправок в результаты, исследованием и поверками приборов.

Случайные ошибки – их знак и величину до измерений точно предсказать нельзя.

Это - малые по величине и разные по знаку ошибки. Они зависят от:

- точности способа измерений
- точности прибора
- квалификации наблюдателя
- внешних условий измерений.

Исключить случайные ошибки из результатов измерений **нельзя**.

2. Свойства случайных ошибок измерений

Случайная **истинная ошибка** измерения - это разность между измеренным значением величины I и ее истинным значением X : $\Delta = I - X$.

Свойства случайных ошибок :

1. **Ограниченность** : $|\Delta| < \Delta_{пред}$

для данного вида и условий измерений абсолютные значения случайных ошибок не превосходят некоторого предела (допуска).

2. **Симметричность** : положительные и отрицательные случайные ошибки равновозможны.
 3. **Плотность** : малые по абсолютной величине случайные ошибки встречаются чаще, чем большие.
 4. **Компенсированность** : $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta_i}{n} = 0$, $\sum \Delta_i$ – знак суммы,

$$n \rightarrow \infty$$

среднее арифметическое случайных ошибок стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений.

5. **Рассеивание** : $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta_i^2}{n} = \sigma^2$, где σ – стандарт.

$$n \rightarrow \infty$$

Предел отношения среднего арифметического из квадратов случайных ошибок не равен 0.

6. **Пропорциональность** : $m_{\text{пред}} / \sigma = \text{Const.}$

Допуск пропорционален стандарту.

Если ошибки ряда измерений обладают свойствами 1) – 6), то их считают случайными.

3. Понятие о средней квадратической, предельной и относительной ошибках

Точность измерений – их качество, определяющее близость результатов измерений к точному значению измеряемой величины.

Количественная характеристика точности измерений :

- σ - стандарт :

а) σ определяет величину рассеивания (разброса) отдельных относительно их среднего арифметического;

б) $m_{\text{пред}}$ пропорционально σ .

- m – ср. кв. ош. (ско) : практически n – число измерений – всегда ограничено.

в геодезии это понятие было введено Гауссом; он же разработал основные положения теории ошибок.

СКО одного измерения m вычисляется по формуле Гаусса:

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

n - количество измерений одной величины.

Для характеристики точности измерений мало указать СКО, важно, по какому n получено m .

СКО самой СКО : $m_m = \sqrt{m / 2n}$.

Пример : $n = 1$; $m_m = 0.7m$; $n = 2$; $m_m = 0.5m$; $n = 8$; $m_m = 0.25m$; $n = 50$; $m_m = 0.1m$.

Предельная ошибка ряда измерений – $m_{\text{пред}}$ - отбраковка грубых ошибок – допуск для

$m_{\text{пред}} = 3m$ (на 1000 измерений только 3 ошибки > $m_{\text{пред}}$)

$m_{\text{пред}} = 2.5m$ (на 100 измерений только 1 ошибка > $m_{\text{пред}}$)

пред = 2т (на 100 измерений только 5 ошибок > пред)

;

Относительная ошибка : отношение ΔX ; -абсолютная ошибка, X -измеренная величина.
Ее используют для характеристики точности измерений, где

пропорционально X . Относительная ошибка выражается дробью с числителем, равным 1:

например, $\Delta X = 1/10\ 000$.

4. Обработка ряда равнозначных измерений.

Факторы, влияющие на результаты измерений :

1. **Объект** измерений (**что** измеряют)
2. **Субъект** измерений (**кто** измеряет)
3. **Средство** измерений (**чем** измеряют - прибор)
4. **Метод** измерений (**как** измеряют – способ, методика)
5. **Условия** измерений (**где** измеряют- внешняя среда)

Равнозначные измерения – такие, при которых факторы 1 – 5 не изменяются.

Обработка равнозначных измерений.

Дан ряд равнозначных измерений : l_1, l_2, \dots, l_n – результаты измерений ;

n – число измерений.

Найти : а) наиболее надежный результат;

б) ошибку любого из n измерений;

в) ошибку наиболее надежного результата.

42

Решение :

а) $l_{cp} = [l]/n$ – среднее арифметическое (простая арифметическая середина)

; б) $v = l_i - l_{cp}$, контроль : $[v] = 0$ по свойству компенсации случайных ошибок.

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$$

m - СКО каждого из n измерений (**формула Бесселя**).

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

$$M = \sqrt{\frac{[v^2]}{n*(n-1)}}$$

M - СКО арифметической середины l_{cp} .

5. Понятие веса измерений. Обработка ряда неравноточных измерений.

Вес измерения p - это условное число, характеризующее надежность измерения, степень его доверия. Вес измерения получают по формуле:

$$p = C/m^2, \text{ где } C = \text{Const.}$$

Ошибку измерения, вес которого равен 1, называют СКО единицы веса μ :

$$1 = C/\mu^2 \text{ откуда } C = \mu^2 \text{ Следовательно, } p = (\mu / m)^2$$

В практике геодезических работ в качестве весов принимают:

- 1) угловые измерения $p = n$, n - число приемов измерений (или величина им пропорциональная);
- 2) линейные измерения $p = 1/S$, S - длина измеренной линии;
- 3) геометрическое нивелирование $p = 1/L$, $H = 1/n$, где L - длина хода в км, n - число станций в ходе;
- 4) тригонометрическое нивелирование $p = 1/S^2$, S - расстояние между точками.

Формула общей арифметической середины (всогового среднего):

$$X_0 = \frac{l_1 \cdot p_1 + l_2 \cdot p_2 + \dots + l_n \cdot p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}$$

$$X_0 = [l \cdot p] / [p] \text{ или}$$

P - вес общей арифметической середины равен сумме весов отдельных измерений: $P = [p]$

Обработка неравноточных измерений:

Дан ряд измерений: l_1, l_2, \dots, l_n , p_1, p_2, \dots, p_n - веса измерений.

Найти: l_0, μ, M, m _____

Решение: 1) $l_0 = [l \cdot p] / [p]$; 2) $v = l_i - l_0$; 3) $\mu = \sqrt{[p \cdot v^2] / (n-1)}$

$$4) M = \mu / \sqrt{[p]} \quad 5) m_i = \mu / \sqrt{p_i}.$$

6. Средняя квадратическая ошибка функции измеренных величин.

Приведем формулу СКО функции нескольких независимых аргументов произвольного вида:

$$F = f(X, Y, Z, \dots), \quad \text{где}$$

X, Y, Z, \dots - истинные значения аргументов,

m_x, m_y, m_z - СКО независимых аргументов функции F .

$$m_F^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial X} \right)^2 \cdot m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Y} \right)^2 \cdot m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Z} \right)^2 \cdot m_z^2 + \dots$$

Частные случаи формулы (1) для СКО некоторых функций:

$$F = k \cdot X; \quad m_F^2 = k^2 \cdot m_x^2;$$

$$F = a \cdot X \pm b \cdot Y; \quad m_F^2 = a^2 \cdot m_x^2 + b^2 \cdot m_y^2;$$

$$F = X \cdot \operatorname{tg}(Y); \quad m_F^2 = \operatorname{tg}^2(Y) \cdot m_x^2 + \frac{X^2}{\operatorname{Cos}^4(Y)} \cdot m_y^2.$$

Если функция имеет вид $F = x \cdot y \cdot z$,

то для нее можно записать выражение относительной ошибки функции:

$$\left(\frac{m_F}{F} \right)^2 = \left(\frac{m_x}{x} \right)^2 + \left(\frac{m_y}{y} \right)^2 + \left(\frac{m_z}{z} \right)^2$$

Тема : Опорные геодезические сети

1. Общие сведения о ГС.
2. Методы создания ГС.
3. Закрепление геодезических сетей на местности.
4. Понятие о сетях сгущения и съёмочных сетях.
5. Высотные сети.

1. Общие сведения о ГС.

Геодезическая сеть – система закрепленных на местности точек (геодезических пунктов), связанных между собой геодезическими измерениями, положение которых определено в единой системе координат.

Геодезический пункт – точка, отмеченная на местности заложённым в землю центром и возведённым над ним знаком.

Геодезические сети

По территориальному

признаку

По геометрической сущности

(X, Y, Z); (X, Y); (H)

Назначение ГС :

- **Глобальные (общеземные : X, Y, Z)** – для решения научных задач геодезии, астрономии, геофизики, геодинамики.
- **Национальные (государственные) – ГГС ; ГНС; ГГрС.**
ГГС(плановая) - взаимное плановое положение пунктов (*x, y* или *B, L*).
ГНС(высотная) – высоты пунктов *H*.
ГГрС(гравиметрическая) – ускорение силы тяжести *g*.

- Для топографических съемок – сети сгущения и съемочные сети – обеспечивают требуемую плотность пунктов при картографировании территории.
- Местные (специальные) – города, крупные строительные объекты (ГЭС, АЭС)

ГГС : главная геодезическая основа топографических съемок всех масштабов.

Методы создания : триангуляция, полигонометрия, трилатерация и их сочетание;

ГНС создается построением нивелирных ходов и сетей геометрического нивелирования.

Классы ГГС и ГНС : сети I, II, III и IV классов в зависимости от точности измерений β , s и h , размеров и порядка развития.

ГГС				ГНС			
Класс сети	СКО β	m	s , км	Класс сети	d, d м	СКО h и	периметр, км
		s				f доп на 1 км, мм	
I	0.7"	1 : 400 000	20	I	$\leq 50, \leq 0.5$	0.8 ; 3	\gt 1200- 2000
II	1.0	1 : 300 000	7 - 20	II	$\leq 65, \leq 1$	2.0 ; 5	400-1000
III	1.5	1 : 200 000	5 - 8	III	$\leq 75, \leq 2$	5.0 ; 10	60-300
IV	2.0	1 : 150 000	2 - 5	IV	$\leq 100, \leq 5$	10 ; 20	20-80

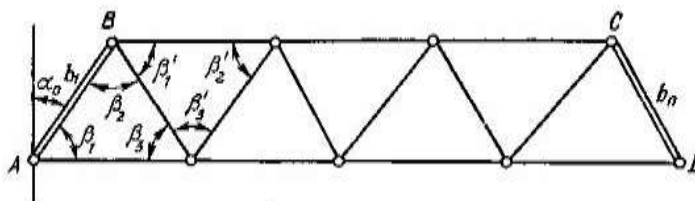
44

2. Методы создания ГС.

Триангуляция - построение ГС в виде системы треугольников, в которых измеряют все три угла;

Измерения : β , b .

Задача : вычисление (x, y) пунктов сети (B, \dots, C, D).

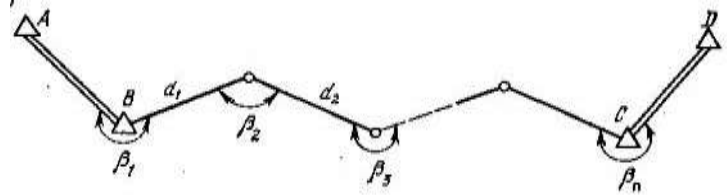


Принцип : решение по теореме синусов.

Исходные данные :

(x_A, y_A) ; a_0, b_1, b_n .

Полигонометрия - построение ГС путем измерения расстояний и углов между пунктами хода.



Измерения : β, d .

Задача : вычисление (x, y) пунктов сети (B, \dots, C, D) .

Принцип : решение ПГЗ по сторонам хода.

Исходные данные : (x_A, y_A) ; $a_0, ($

$x_C, y_C)$; a_n .

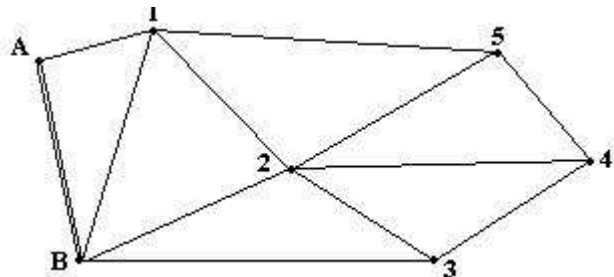
Трилатерация - построение ГС в виде

системы треугольников, в которых

измеряют все стороны;

Измерения : s .

Задача : вычисление (x, y) пунктов сети $1, 2, \dots, 5$.



Принцип : решение по теореме синусов.

Предварительно β - по теореме косинусов.

Исходные данные : (x_A, y_A) ; (x_B, y_B) ; a_0 .

Государственная геодезическая
сеть триангуляции



3. Закрепление геодезических сетей на местности.

На местности геодезические пункты ГС отмечают центрами и знаками.
Типы центров и опознавательных знаков зависят от вида и точности геодезической сети, от климатических, почвенных и геоморфологических характеристик местности.

Геодезические пункты должны сохранять неизменное положение центра в течение длительного времени, и находиться в местах, обеспечивающих быстрое его обнаружение и опознавание.

Примеры конструкции центров пунктов:

а - для районов с сезонным промерзанием грунтов, б - для районов с сезонным оттаиванием грунтов, в - скальная марка, г - стенная марка.

4. Понятие о сетях сгущения и съемочных сетях.

Для крупномасштабных топографических съемок плотность пунктов ГГС - 1 пункт на 5-15 км², ГНС – 1 репер на 5 – 7 км².

Геодезические сети сгущения (ГСС) являются планово-высотным обоснованием ТС масштабов от 1:5000 до 1:500, служат основой для производства различных инженерно-геодезических работ. Методы создания : **триангуляция** (1 и 2 разряд), **полигонометрия** (4класс, 1 и 2 разряд).

Разряд сети	СКО β	$m\sigma$ — s
4 кл.	3.0"	1 : 25 000
1 разр.	5.0"	1 : 10 000
2 разр.	10.0"	1 : 5 000

Плотность пунктов ГСС :

1 пункт на 2 на 1 км незастроенной территории

4 пункта на 2 на 1 км застроенной территории.

Отметки пунктов ГСС определяются из нивелирования IV класса или из технического.

Геодезические съемочные сети – это сети сгущения, с пунктов которых непосредственно выполняется ТС местности.

Отличия СС от ГСС :

- меньшая точность геодезических измерений (в 2-3 раза)
- большая плотность пунктов (в 3- 10 раз)
- закрепление на местности (временными знаками, подручными средствами).

Методы создания : те же , что и для ГГС, но меньше по размерам и ниже по

точности : микротриангуляция, теодолитные и тахеометрические ходы, засечки .

Отметки пунктов СС - из технического нивелирования (при высоте $h_p=1$ м) или из тригонометрического нивелирования (при высоте сечения $h_p > 1$ м).

Точность измерений : СКО $\beta = 30 - 60$ " ; $m/s = 1:1000 - 1:3000$.

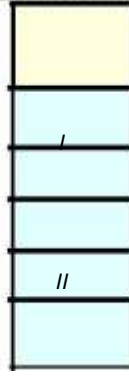
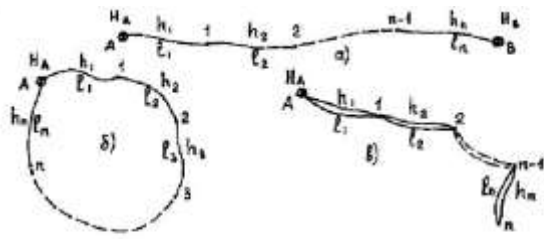
5.Высотные сети

По точности измерения превышений различают нивелирование I, II, III, IV классов и техническое. При техническом нивелировании предельная ошибка измерения превышения на 1 км хода не должна превышать 50 мм; это соответствует СКО 20 мм на 1 км хода. Для нивелирования II, III и IV классов СКО измерения превышения на 1 км хода равна 0.8 мм, 2.0 мм, 5 мм и 10 мм .

Ходы технического нивелирования прокладывают между реперами с известными отметками (реперами нивелирования I, II, III, IV классов); допустимая длина хода зависит от его формы. Так, длина разомкнутого или замкнутого хода – до 16 км; длина висячего хода не более 8 км. В разомкнутом и замкнутом ходах нивелирование выполняют один раз, в висячем ходе - два раза: в прямом и обратном направлениях.

Класс

сети



III

IV

Тех.ниче-е

d, d m	СКО $h u$ $f_{доп}$ на 1 км, мм	периметр, км
$\leq 50, \leq 0.5$	0.8 ; 3	➤ 1200-2000
$\leq 65, \leq 1$	2.0 ; 5	400-1000
$\leq 75, \leq 2$	5.0 ; 10	60-300
$\leq 100, \leq 5$	10 ; 20	20-80
$\leq 120, \leq 10$	20 ; 50	8-16

Тема : Топографические съемки

1. Назначение и виды ТС.

2. Теодолитная съемка.

3. Тахеометрическая съемка.

4. Нивелирование поверхности.

5. Понятие о аэрофото- и фототеодолитной съемке.

1. Назначение и виды ТС.

ТС – комплекс полевых и камеральных работ с целью получения топографических карт или планов.

***Инженерная геодезия** : крупномасштабные планы $M 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500$.*

Съемка местности сводится к определению координат и отметок отдельных точек, характеризующих местоположение объектов местности и ее рельеф.

- *Совокупность объектов местности – **ситуация**.*
- *Совокупность неровностей земной поверхности – **рельеф**.*

*На топографических планах **условными знаками** изображают ситуацию и рельеф местности, коммуникации (подземные, наземные, надземные).*

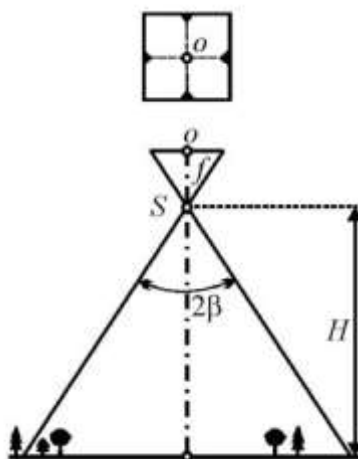
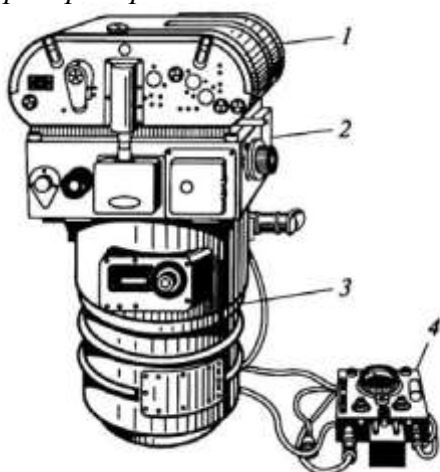
- Точка является элементарным объектом съемки; точки местности и образуемые ими контуры условно делят на **твердые и нетвердые**.
- **Твердые точки (контур)** – капитальные объекты с четкими границами (искусственные сооружения);
- **Нетвердые точки (контур)** – объекты с нечеткими границами (границы естественных площадных объектов).
- **Точность плана:** средняя ошибка положения точки или четкого контура на плане относительно пунктов съёмочного обоснования **0.5 мм - 0.7 мм** в масштабе плана; ошибка изображения рельефа обычно равна **1/3 высоты сечения рельефа h** .

Виды ТС : 1) аэрофотосъемка; 2) наземная; 3) комбинированная съемка.

Аэрофотосъемка выполняется **стереотопографическим методом** :

снимки местности получают с помощью фотоаппаратов, установленных на самолете,

а обработку снимков и рисовку плана выполняют в камеральных условиях на стереоприборах.

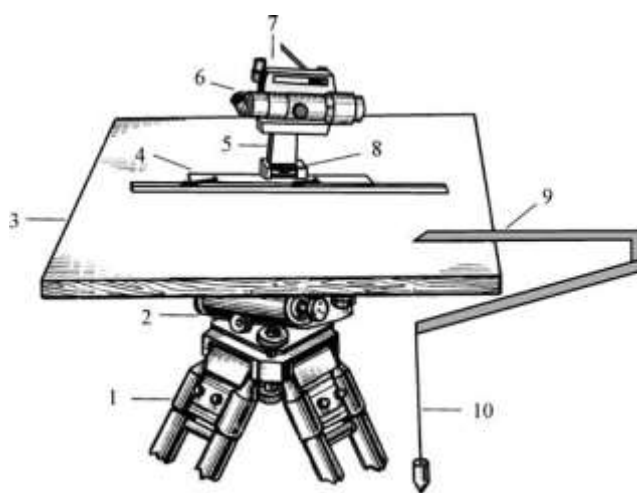


<p>Устройство аэрофотоаппарата:</p> <p>1 – кассета; 2 – камерная часть; 3 – часть объектива; 4 – командный прибор;</p>	<p>Схема фотосъемки:</p> <p>S – центр проектирования снимка; f – фокусное расстояние; H – высота фотографирования</p>
--	---

Наземная съемка выполняется на поверхности земли.

Виды НС в зависимости от методики съемки и применяемых приборов :

- *тахеометрическая* (теодолит или специальный прибор – **тахеометр**)
- *мензуральная* (**кипрегель-прибор** и **мензула** – планшет 50X50 см; план – сразу в поле);



Мензула и кипрегель:

- 1 – штатив; 2 – подставка; 3 – мензуральная доска; 4 – линейка кипрегеля; 5 – стойка;
 6 – зрительная труба; 7 – уровень при вертикальном круге кипрегеля; 8 – уровень при линейке;
 9 – центрировочная вилка; 10 – отвес

- *горизонтальная* или *теодолитная* (план участка местности без изображения рельефа);

- **вертикальная** или **нивелирование поверхности** (нивелир; план с изображением рельефа без ситуации);
- **фототеодолитная** (фотографирование местности выполняют с помощью **фототеодолита**, обработку снимков и рисовку плана выполняют на стереоприборах.

Комбинированная съемка – сочетание аэрофотосъемки и наземной съемки; плановая ситуация рисуется по аэроснимкам, а рельеф снимают на фотоплан в полевых условиях.

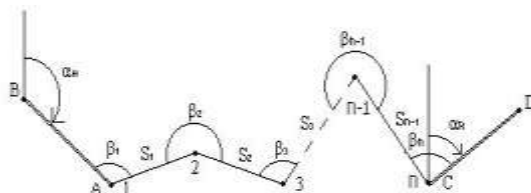
Аэрофотосъемка и комбинированная съемка являются основными методами создания карт на большие территории (масштаб от $1 : 1\,000\,000$ до $1 : 10\,000$).

Наземную съемку применяют при создании крупномасштабных планов небольших участков (масштаб от $1 : 5\,000$ до $1 : 1\,500$).

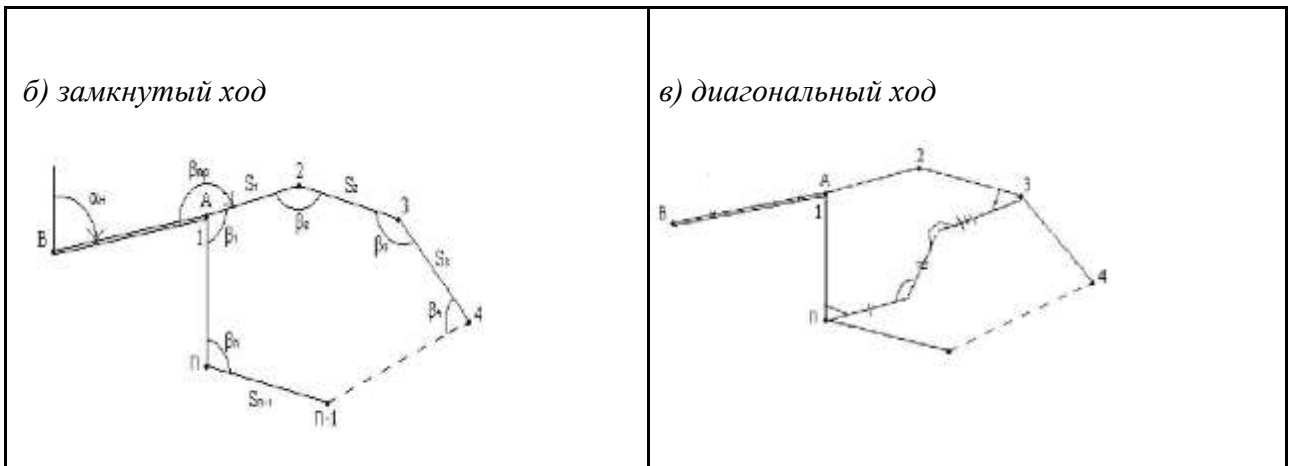
2. Теодолитная съемка

Теодолитная (горизонтальная) съемка выполняется с помощью теодолита и рулетки. Съёмочное обоснование в виде **теодолитных ходов**.

- а) участок съемки вытянутой формы : разомкнутый теодолитный ход - по его оси;
- б) участок имеет овальную форму : замкнутый ход по его границе; в) внутри участка можно проложить диагональные ходы.



а) разомкнуты ход

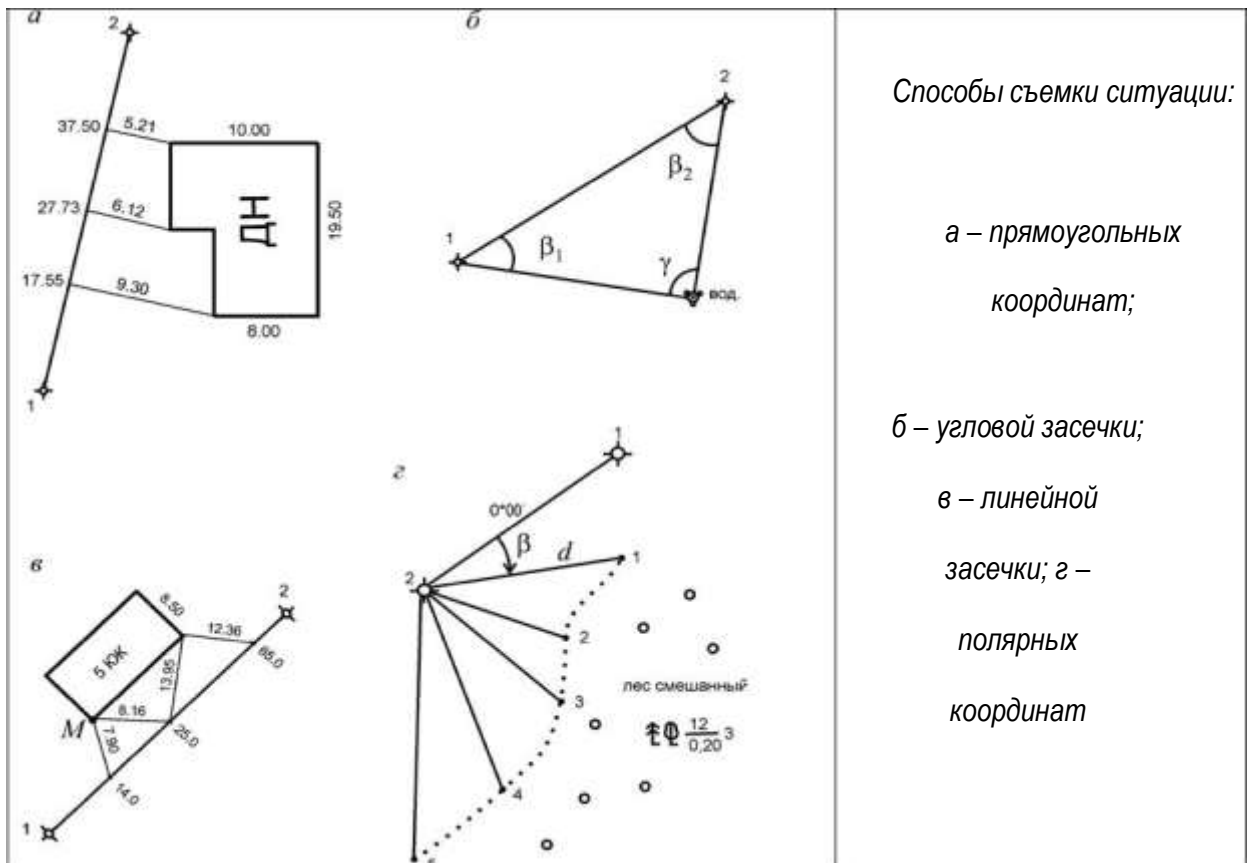


Теодолитный ход : замкнутая (разомкнутая) ломаная линия на местности, в которой измерены все стороны и горизонтальные углы поворота (правые/ левые) между ними : (S, β) ; $m\beta=30''$; mS/S от 1/1000 до 1/3000.

При ГС положение точек местности определяют относительно пунктов съёмочного обоснования и линий, их соединяющих.

Способы съёмки ситуации :

1) перпендикуляров (прямоугольных координат); 2) полярных координат; 3) засечек (угловых, линейных, комбинированных) ; 4) створов; 5) обмеров зданий и сооружений.



Способ засечек. При угловой засечке положение $m.1$ определяют относительно двух пунктов съемочного обоснования A и B с помощью двух измеренных горизонтальных углов α_1 и β_1 . Положение $m.2$ определяют, измеряя два других угла α_2 и β_2 .

При построении плана при точках A и B с помощью транспортира строят углы α_1 и β_1 , в пересечении линий получают изображение $m.1$ на плане. Аналогично находят на плане положение $m.2$.

Когда расстояние до $m.1$ не превышает длины рулетки, ее положение определяют **линейной засечкой**: измеряют расстояния $a - 1$ и $b - 1$; при построении плана из $m. A$ проводят дугу радиусом, равным расстоянию $a - 1$ в масштабе плана, а из точки $b - 1$ радиусом, равным расстоянию $b - 1$ в масштабе плана. Точка пересечения этих дуг является изображением $m.1$ на плане.

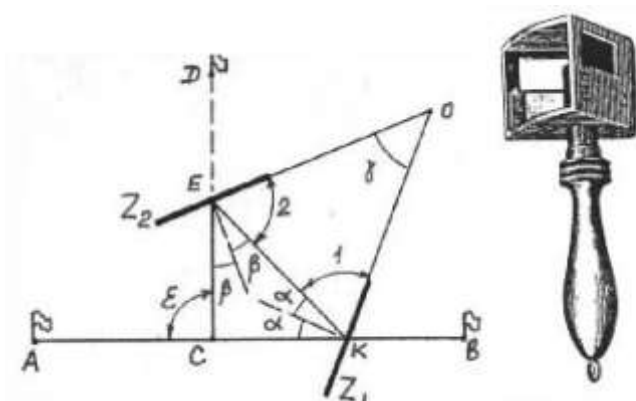
Полярный способ - это реализация **полярной системы координат**. Теодолит - в пункте съемочного обоснования A - в **полюсе** полярной системы координат. **Полярная ось** совмещается с направлением на пункт B . Измеряют β_1 , - горизонтальный полярный угол $m.1$, и S_1 - полярное расстояние $m.1$.

При построении плана $m.1$ получают, откладывая на стороне угла β_1 , построенного транспортиром, расстояние S_1 в масштабе плана.

Способ перпендикуляров - реализация прямоугольной системы координат. AB - сторона теодолитного хода принята за ось X , начало координат - в $m.A$; ось $Y \perp AB$. Положение $m.1, 2, 3$ определяется двумя перпендикулярами x и y (их длины измеряют мерной лентой или рулеткой).

Для построения прямого угла можно применять теодолит или **экер**; можно построить \perp с помощью рулетки, используя соотношение 3:4:5.

Экер - прибор для построения на местности прямых углов. Экеры бывают зеркальные и призмные. Зеркальный экер состоит из трехгранной коробки, одна из боковых граней которой открыта. К двум другим граням с внутренней стороны прикреплены зеркала. Над зеркалами вырезаны окошки. Внизу экера имеется крючок для отвеса.



Экер считается исправным, если угол γ между зеркалами отличается от 45° не больше, чем на $2.5'$, тогда ошибка построения угла $\beta = 90^\circ$ будет не больше $5'$.

Порядок выполнения теодолитной съемки

1) полевые работы :

- **рекогносцировка** участка местности – установление границ съемки; определение положения съёмочных точек; выбор метода съемки ситуации;
- **проложение теодолитного хода** – расчистка и вешение линий, угловые и линейные измерения;
- **съемка ситуации** – подробность съемки зависит от ее масштаба.

2) камеральные работы (обработка материалов съемки) :

- вычислительная обработка теодолитного хода;
- построение ситуационного плана участка местности .

Вычислительная обработка теодолитного хода :

Исходные данные : (X_A, Y_A) ; $\alpha_{нач}$; $\alpha_{кон}$

Измеряемые величины - $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{k-1}, \beta_k$ и S_1, S_2, S_{k-1}, S_k .

Искомые величины : X_i, Y_i - координаты вершин хода.

Порядок обработки :

1) Вычисление f_β - угловой невязки : $f = \text{«Практика – Теория»} : f_\beta = \sum \beta_{изм} - \sum \beta$
 а) для замкнутого хода б) для разомкнутого хода

$$\sum \beta = 180^\circ * (n - 2);$$

$$\sum \beta = \alpha_K - \alpha_H + 180^\circ * n .$$

$$\sum \beta = \alpha_K - \alpha_H + 180^\circ * n .$$

n – число сторон в ходе

- для левых углов поворота

$$\sum \beta = \alpha_H - \alpha_K + 180^\circ * n .$$

- для правых углов поворота

2) Вычисление допустимой угловой невязки $f_{\beta доп}$: m_β - СКО измерения β

3) Распределение f_{β} с обратным знаком поровну во все измеренные углы. Исправленные значения углов :

$$\beta_i = \beta_{i(\text{изм})} + V_{\beta} \quad V_{\beta} = -f_{\beta} / n;$$

4) Вычисление дирекционных углов всех сторон хода :

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \beta_{i+1} - 180^{\circ}$$

- для левых углов поворота

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - \beta_{i+1} + 180^{\circ}$$

- для правых углов поворота

5) Решение ПГЗ по каждой стороне хода :

$$X_1 = X_{\text{нач}}; \quad Y_1 = Y_{\text{нач}};$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X_1; \quad Y_2 = Y_1 + \Delta Y_1;$$

$$X_{n-1} = X_{n-2} + \Delta X_{n-2}; \quad Y_{n-1} = Y_{n-2} + \Delta Y_{n-2};$$

$$X_{\text{кон}} = X_{n-1} + \Delta X_{n-1}; \quad Y_{\text{кон}} = Y_{n-1} + \Delta Y_{n-1}.$$

6) Вычисление f_x, f_y - координатных невязок хода:

$$f_x = \sum \Delta X_{\text{изм}} - \sum \Delta X_i; \quad f_y = \sum \Delta Y_{\text{изм}} - \sum \Delta Y_i,$$

а) для замкнутого хода

б) для разомкнутого хода

$$\sum (\Delta X_i) = 0; \quad \sum (\Delta Y_i) = 0. \quad \sum \Delta X_i = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}; \quad \sum \Delta Y_i = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}.$$

7) Вычисление $f_{\text{абс}}$ - абсолютной невязки и $f_{\text{отн}}$ - относительной невязки хода:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad 1/N = f_s / \sum (S_i).$$

8) Вычисление V_x, V_y - поправок в приращения координат X, Y :

$$V_{x_i} = -f_x * S_i / \sum S; \quad V_{y_i} = -f_y * S_i / \sum S, \quad \text{Контроль: } \sum V_x = -f_x; \quad \sum V_y = -f_y.$$

9) Вычисление исправленных приращений X, Y :

$$\left(\Delta X_{испр}\right) = \left(\Delta X_{эвн} + V_x\right); \left(\Delta Y_{испр}\right) = \left(\Delta Y_{эвн} + V_y\right)$$

10) Вычисление окончательных координат точек хода :

$$X_{i+1} = X_i + X_{исп}; Y_{i+1} = Y_i + Y_{исп}$$

3. Тахеометрическая съемка

«**Тахеометрическая**» – «быстрая» съемка ("tachys" (лат.) – быстрый).

Приборы :либо теодолит, либо тахеометр-автомат; для съемки используют рейку.
Съемочное обоснование для тахеометрической съемки : теодолитные ходы, ходы технического нивелирования, высотные или тахеометрические ходы.

Тахеометрический ход : на каждом пункте хода измеряют β - горизонтальный угол, ν - углы наклона на заднюю и переднюю точки и D - дальномерное расстояние.

Превышение между пунктами вычисляют по формуле тригонометрического нивелирования. Порядок работы на станции при тахеометрической съемке

1) Приведение прибора в рабочее положение :

- теодолит центрируют, горизонтируют и ориентируют (устанавливают на лимбе ГК отсчет $0^{\circ}0'$), определяют МО ВК, измеряют высоту прибора i .

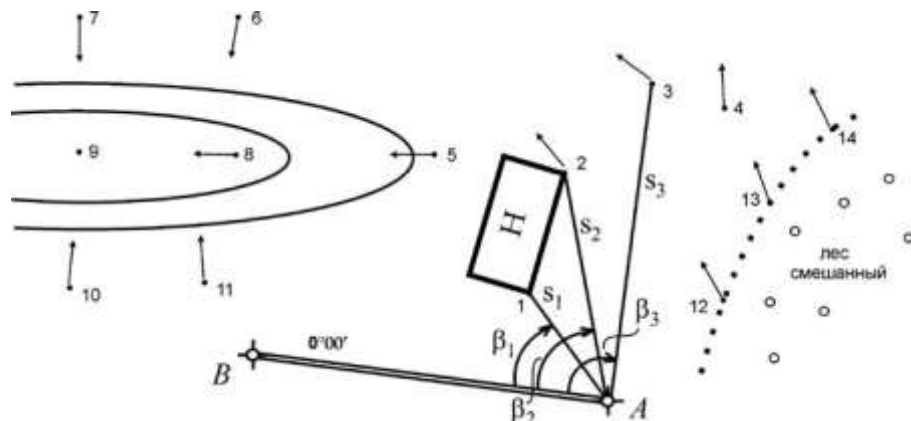
2) Набор реечных точек (пикетов) :

- теодолит наводят на рейку, установленную в точке местности и измеряют при положении КЛ : D – расстояние по дальномеру (полярное расстояние), β - горизонтальный (полярный) угол, ν - угол наклона.

3) В конце работы на станции – контроль ориентировки лимба.

Результаты измерений - в журнал; там же ведется

абрис съемки - схематический чертеж ситуации и расположения пикетов на станции.



Абрис тахеометрической съемки

Пикет (речная точка)- место установки рейки; различают высотные и плановые пикеты.

Пикеты располагают во всех характерных точках ситуации и рельефа.

Расстояние между пикетами зависит от масштаба съемки (15-20 м для 1:500 ; 30-40 м для 1:1000 ; 50-60 м - при масштабе 1:2000).

Обработка результатов съемки :

а) вычисление (x, y) и H точек хода ;

б) обработка журналов съемки (расчет v , d и h , H пикетов):

- вычисление углов наклона $v = \angle KЛ - M0$;

- вычисление горизонтальных расстояний $d = s \cdot \cos^2 v$,

- вычисление превышений $h = \frac{1}{2} s \cdot \sin(2v) + k - l$ или $h = d \cdot \operatorname{tg} v + k - l$,

- вычисление высоты съёмочных пикетов $H_n = H_{cm} + h$, где H_{cm} – высота точки стояния прибора.

в) построение топографического плана.

4. Нивелирование поверхности

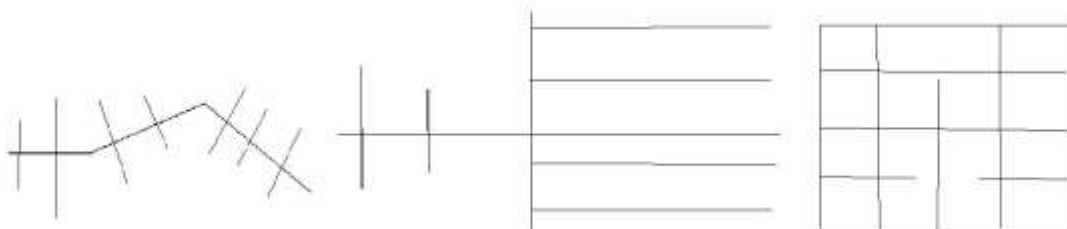
Нивелирование поверхности - съемка рельефа небольшого участка местности с помощью нивелира и рейки. Масштаб съемки от 1:500 до 1:5000, высота сечения рельефа $h=0.1-0.5$ м.

Пикеты фиксируют колышками в вершинах квадратов или прямоугольников, разбиваемых на местности с нужной частотой.

Результат съемки : план местности в горизонталях без элементов ситуации.

Способы выполнения :

1) поперечников к магистральному ходу ; 2) параллельных линий ; 3) по квадратам.



По отдельным вершинам сетки прокладывают нивелирный ход (техническое нивелирование).

Отметки вершин квадратов вычисляют через **ГИ** – горизонт инструмента.

5. Понятие о аэрофото- и фототеодолитной съемке

Аэрофотосъемка выполняется при картографировании больших территорий – фотографирование с самолета, вертолета, ИСЗ, КЛА значительных по площади участков местности. В зависимости от масштаба картографирования используют специальные аэрофотоаппараты с разным фокусным расстоянием f ; съемка ведется с разных высот H . Масштаб снимков зависит от f и H : $1 / M = f / H$, где M – знаменатель масштаба снимка.

Аэрофотосъемка – один из видов **фототопографической съемки (ФС)**.

ФС – комплекс работ (**полевых** – геодезических и фотографирования местности; **камеральных**- фотограмметрических), в результате которых по снимкам местности создают топографические карты и планы. Оригиналы карт создаются 2 методами:

1) Комбинированным – контурную часть карты получают по одиночным снимкам, рельеф – по результатам полевых измерений (например, мензурная съемка).

2) Стереотопографическим – по паре снимков в камеральных условиях получают контурную и рельефную части карты. Этот метод – основной, т.к. позволяет автоматизировать процесс создания карт.

Существует 2 способа создания карт стереотопографическим методом:

- **универсальный** – на одном приборе (**УСП** - универсальном стереофотограмметрическом);
- **дифференцированный** – на нескольких приборах (**фототрансформатор** - масштабирование и устранение искажений; **стереометр** - рисовка рельефа; **проектор** - перенесение контуров и горизонталей на планшет).

Технологическая схема создания карт по снимкам местности:

- фотографирование местности и обработка материалов фотосъемки;
- геодезические полевые работы по привязке снимков;
- дешифрирование снимков (распознавание объектов местности);
- фотограмметрические работы.

В настоящее время используются цифровые фотограмметрические станции – обработка цифровых снимков или сканированных изображений.

Фототеодолитная съемка (ФтС) – наземная стереофототопографическая съемка – метод создания топографических карт по стереоскопическим парам фотоснимков, полученным с точек земной поверхности.

ФтС выполняется с помощью **фототеодолита** (фотокамера + теодолит).

Фотокамерой выполняют фотографирование местности, **теодолитом** – геодезические измерения для вычисления координат точек, с которых велось фотографирование. Съемка ведется с двух точек **базиса фотографирования b** . Его подбирают так, чтобы его длина $D_{бл}/4 < b < D_{дал}/20$ ($D_{бл}, D_{дал}$ – соответственно расстояния до ближнего и дальнего плана фотографирования).

Топографические карты создают в камеральных условиях на фотограмметрических приборах.

Применение ФтС : топографическая съемка в пересеченной и труднодоступной местности (горы), инженерные изыскания, наблюдения за деформациями объектов.

Преимущества ФтС :

- высокая точность измерений;
- малый объем полевых работ по сравнению с камеральными (1:4 или 1:3);
- измеряется не сам объект, а его фотоизображение;
- дистанционный способ сбора информации;
- возможность автоматизации сбора, регистрации и обработки данных.

Комплект фототеодолита : фототеодолит (УМК 10/1318, Photeo-19/1318) ; электронный тахеометр и базисная инварная рейка 2 м; штативы, марки, трегеры , отвесы – по 3 шт. ; фотокассеты; полевое юстировочное оборудование .

