

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Национальный  
исследовательский технологический университет «МИСиС»  
филиал в г.Алматы**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
по дисциплине «Геодезия»**

Направление **21.05.04 – «Горное дело»**  
подготовки:

**Алматы - 2022г.**

УДК 528.48

**Составитель:**

**доцент кафедры «Горное дело», к.т.н. Мамажанов М.М.**

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Геодезия» составлена в соответствии с требованиями образовательных стандартов НИТУ «МИСиС» на основании учебных планов по соответствующим направлениям подготовки и представляет собой изложение вопросов «Предмет и задачи геодезии, понятие о фигуре Земли, изображение поверхности эллипсоида на плоскости, топографические планы и карты, картографические проекции, задачи, решаемые по топографической карте, ориентирование линий, геодезические измерения, топографические съемки, сведения из теории погрешностей измерений и современные методы ведения инженерно-геодезических работ»

Для студентов вузов горно-металлургических, инженерно-строительных специальностей и специальностей земельного кадастра.

Большинство излагаемых в учебной работе тем являются базовыми при изучении всех геодезических курсов («Основы топографии», «Инженерная геодезия»). Поэтому УМК может быть полезен также студентам других специальностей.

## **1 ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **1.1. Цель и задачи дисциплины**

Дисциплина «Геодезия» относится к обязательной дисциплиной базовой части профессионального цикла дисциплин и разработана в соответствии с ОС ВО НИТУ «МИСиС»: Образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки **21.05.04.**

**Цель учебной дисциплины:** Получение учащимися теоретических знаний в области картографирования земной поверхности и приобретение практических навыков производства угловых и линейных измерений на местности с целью изображения их на планах, картах и профилях.

**Задачи дисциплины:**

Задачи дисциплины:- освоить теоретические основы методов и техники измерения на земной поверхности, изучение форм и размеров Земли. Освоение способов и методов измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами, определение положения отдельных точек на земной поверхности в выбранной системе координат, составление карт и планов местности разнообразного назначения, выполнение измерений на земной поверхности, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, эксплуатации природных богатств поверхности Земли и ее недр.

Освоить методов создания карт, фототопографию (фотограмметрия), карт и планов по аэрокосмическим снимкам. Освоить методов геодезических работ при изысканиях в строительстве и эксплуатации инженерных сооружений при монтаже сложного оборудования, при эксплуатации природных ресурсов.

## 1.2. Планируемые результаты обучения

Дисциплина «Геодезия», относится к базовой части профессионального цикла дисциплин и является обязательной при освоении ООП по специальности «Горное дело».

Способность выбирать и (или) разрабатывать обеспечение интегрированных технологических систем эксплуатационной разведки, добычи и переработки твердых полезных ископаемых, а также предприятий по строительству и эксплуатации подземных объектов техническими средствами с высоким уровнем автоматизации управления

В результате освоения дисциплины выпускники будут:

**Знать:**

-теоретические основы методов и способов картографирования земной поверхности. Принципы устройства теодолита, измерения углов; устройства нивелира, основы нивелирования поверхности. Знать существующие методы выполнения основных геодезических работ.

-существующие методы выполнения основных геодезических работ

-владение навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов

-системы координат, используемые в Геодезии.

-основные методы по составлению геодезических проектов для решения прикладных задач геодезии на горном производстве, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

**Уметь:**

- определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты

- демонстрировать глубокое знание и понимание фундаментальных наук, а также знания в междисциплинарных областях профессиональной деятельности

- навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов

- определять координаты точек по планам и картам.

- выбирать методы и инструменты для выполнения геодезических измерений и программы для обработки результатов измерений.

- определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты
- выбирать методы и инструменты для выполнения геодезических измерений и программы для обработки результатов измерений.
- демонстрировать глубокое знание и понимание фундаментальных наук, а также знания в междисциплинарных областях профессиональной деятельности
- применять знания в математике для решения геодезических задач.
- определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты.

#### **Владеть:**

- методами использования графической документацией для решения инженерных задач.
- демонстрировать глубокое знание и понимание фундаментальных наук, а также знания в междисциплинарных областях профессиональной деятельности
- базовыми знаниями в области математики и физики, и находить взаимосвязь с геодезией.
- методами выбирать и разрабатывать в обеспечение интегрированных технологических систем эксплуатационной разведки, добычи и переработки твердых полезных ископаемых, а также предприятий по строительству и эксплуатации подземных объектов техническими средствами с высоким уровнем автоматизации управления
- методами использования графической документацией для решения инженерных задач.
- навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов
- методами подбора оборудования, инструментов и программ по обработке результатов измерений для выполнения геодезических съемок.

### **1.3 Компетенции, формируемые дисциплиной**

Изучение дисциплины «Геодезия» направлено на формирование у студентов профессиональных компетенций, обладание которыми может быть выявлено на основе проявления студентами способностей:

- способность выбирать и (или) разрабатывать обеспечение интегрированных технологических систем эксплуатационной разведки, добычи и переработки твердых полезных ископаемых, а также предприятий по строительству и эксплуатации подземных объектов техническими средствами с высоким уровнем автоматизации управления
- умение определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты
- владение навыками анализа горно-геологических условий при эксплуатационной разведке и добыче твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов
- способность определять пространственно-геометрическое положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты
- умение демонстрировать глубокое знание и понимание фундаментальных наук, а также знания в междисциплинарных областях профессиональной деятельности

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

### **Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

Геология

Математика

Физика

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Защита выпускной квалификационной работы

Геология  
 Основы горного дела  
 Открытая геотехнология  
 Подземная геотехнология  
 Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков  
 Строительная геотехнология  
 Учебная практика (геологическая)  
 Маркшейдерское дело  
 Метрология и стандартизация  
 Геометрия недр  
 Горнопромышленная экология  
 Маркшейдерско-геодезические приборы  
 Математическая обработка результатов измерений  
 Производственная практика (технологическая практика, практика по получению первичных профессиональных умений и навыков)  
 Геомеханическое обеспечение горных работ  
 Геомеханическое обеспечение открытых горных работ  
 Геомеханическое обеспечение подземных горных работ  
 Геофизические методы изучения месторождений  
 Обогащение полезных ископаемых  
 Промышленная санитария и гигиена труда  
 Рациональное использование и охрана природных ресурсов  
 Технологии информационного моделирования в строительстве  
 Моделирование недр  
 Рекультивация нарушенных земель  
 Анализ точности маркшейдерских работ  
 Логистика горного производства  
 Моделирование и расчет подземных сооружений  
 Охрана и рациональное использование недр  
 Реконструкция горных предприятий  
 Сдвигание и деформации породных массивов и земной поверхности  
 Технология и безопасность взрывных работ  
 Маркшейдерское обеспечение безопасности ведения горных работ  
 Открытые горные работы при строительстве  
 Управление состоянием массива горных пород  
 Управление устойчивостью откосных сооружений  
 Аудит и экспертиза промышленной безопасности  
 Беспилотные технологии в маркшейдерском деле  
 Геодинамика недр

### **3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ**

Общая трудоемкость освоения дисциплины «Геодезия» составляет 92,3 часов.

На контактную работу (аудиторные занятия) обучающихся с преподавателем выделяется 72 часа, в том числе на лекции 36 часов, на практические занятия 18 часов и на лабораторные занятия 18 часов. На контроль 20,3 часа.

Программой предусмотрена три самостоятельных работы, 2 контрольные работы (промежуточный контроль) и итоговая контрольная работа с выставлением зачета с оценкой.

## **4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ**

### **Глава 1**

## **Определение положения точек земной поверхности**

- § 1. Краткий исторический очерк развития геодезии.
- § 2. Понятие о форме и размерах Земли.
- § 3. Эллипсоид Ф.Н.Красовского.
- § 4. Принцип изображения земной поверхности на плоскости.
- § 5. Высоты точек земной поверхности.

## **Глава 2**

### **Понятие о системе координат используемых в геодезии**

- § 6. Географическая система координат. Меридианы и параллели. Географическая широта и долгота.
- § 7. Система плоских прямоугольных координат. Проекция Гаусса – Крюгера. Распределение шестиградусных зон. Зональная система прямоугольных координат. Переобразованные ординаты. Координатная сетка.
- § 8. Влияние кривизны земли на измеряемые расстояния и высоты точек.

## **Глава 3**

### **Ориентирование линий и ориентирующие углы**

- § 9. Ориентирование линий. Истинный (географический) меридиан. Магнитный меридиан. Осевой меридиан зоны
- § 10. Ориентирующие углы. Географический (истинный) азимут. Магнитный азимут. Дирекционный угол. Румб.
- § 11. Связь между ориентирующими углами.

## **Глава 4**

### **Основные геодезические чертежи**

- § 12. Понятие о плане и карте.
- § 13. Масштабы.
- § 14. Условные знаки и их классификация.
- § 15. Изображение рельефа на планах и картах.
- § 16. Номенклатура карт и планов.

## **Глава 5**

### **Практическое использование карты (плана)**

- § 17. Определение координат точек по карте. Определение географических координат. Определение прямоугольных координат.
- § 18. Ориентирование линий. Определение дирекционного угла линии, географического и магнитного азимутов.
- § 19. Определение высотного положения точек. Интерполирование.
- § 20. Крутизна ската.
- § 21. График заложения.
- § 22. Уклоны.

- § 23. Построение профиля местности.
- § 24. Определений площадей по плану.

## **Глава 6**

### **Измерение углов**

- § 25. Принцип измерения углов на местности.
- § 26. Теодолит.
- § 27. Геометрические оси и условия теодолита.
- § 28. Теодолит и его устройство. Отсчетное устройство. Лимб и алидада. Отсчетный микроскоп. Сетка нитей.

## **Глава 7**

### **Поверки и юстировки теодолита**

- § 29. Поверки и юстировки теодолита.
- § 30. Порядок выполнения поверок.
- § 31. Измерение горизонтального угла.
- § 32. Измерение вертикального угла.
- § 33. Место нуля (МО).
- § 34. Электронные тахеометры.

## **Глава 8**

### **Геодезические задачи**

- § 35. Прямая геодезическая задача.
- § 36. Обратная геодезическая задача.
- § 37. Определение знаков приращений координат и тригонометрических функций.
- § 38. Способы определения положения точек на местности.
- § 39. Вычисление дирекционного угла.

## **Глава 9**

### **Геодезические сети**

- § 40. История, структуры и законодательная база государственной картографической службы.
- § 41. Виды геодезических сетей. Государственная геодезическая сеть (ГГС). Геодезическая сеть сгущения (ГСС). Съёмочная геодезическая сеть (СГС).
- § 42. Принцип построения государственной геодезической сети.
- § 43. Методы построения плановых геодезических сетей. Триангуляция. Трилатерация. Полигонометрия.
- § 44. Государственные нивелирные сети.
- § 45. Закрепление пунктов геодезических сетей на местности.

## **Глава 10**

### **Теодолитная, тахеометрическая съёмки Понятие о наземной, воздушной фотограмметрических и спутниковой съёмках.**

- § 46. Теодолитная съёмка. Абрис теодолитной съёмки.

- § 47. Камеральная обработка полевых измерений. Распределение невязок.
- § 48. Камеральные работы при оформлении результатов теодолитной съемки
- § 49. Тахеометрическая съемка.
- § 50. Понятие о наземной, воздушной фототопографических и спутниковой съёмках.  
Спутниковая геодезия.

## Глава 11.

### Краткие сведения из теории погрешностей

- § 51. Грубые, систематические и случайные погрешности измерений.
- § 52. Свойство случайных погрешностей. Среднее арифметическое из результатов измерений. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности. Средняя квадратическая погрешность измеренных величин. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины.
- § 53. Выражение средней квадратической погрешности через вероятнейшие.

## Глава 12. Нивелирование.

- § 54. Способы нивелирования.
- § 55. Принцип и способы геометрического нивелирования.
- § 56. Сложное нивелирование.
- § 57. Устройство нивелира.
- § 58. Поверки и юстировки нивелира.
- § 59. Тригонометрическое нивелирование

## Глава 13. Использование современных геодезических приборов в решении геодезических задач.

- § 60. Автоматические теодолиты и нивелиры.
- § 61. Принципы работы автоматических геодезических приборов.
- § 62. Автоматическая система теодолитной съемки.
- § 63. Автоматическая система нивелирования.

### 4.2 Практические занятия

№	Тема учебного занятия	Отведено часов
1	Работа с топографической картой. Определение площадей по карте	2
2	Работа с топографической картой. Рисовка рельефа горизонталями по числовым отметкам точек	2
3	Работа с теодолитом. Установка. Поверки и юстировка.	2

4	Работа с теодолитом. Снятие отсчета по горизонтальному кругу. Измерение горизонтальных углов.	2
5	Работа с теодолитом. Снятие отсчета по вертикальному кругу. Измерение вертикальных углов. Определение место нуля МО.	2
6	Работа с теодолитом. Измерение расстояний	2
7	Работа с нивелиром. Установка. Поверки и юстировка. Снятие отсчета по рейке.	2
8	Работа с нивелиром. Измерение превышений. Метод двойного нивелирования.	2
9	Работа с нивелиром. Метод нивелирования с середины.	2
	<b>Итого:</b>	<b>18</b>

### 4.3 Лабораторные работы

№	Тема учебного занятия	Отведено часов
1	Работа с топографической картой	2
2	Работа с топографической картой	2
3	Работа с топографической картой	2
4	Работа с теодолитом. Установка. Поверки и юстировка. Снятие отсчета по горизонтальному кругу. Измерение горизонтальных углов.	2
5	Работа с теодолитом. Снятие отсчета по вертикальному кругу. Измерение вертикальных углов. Определение место нуля МО.	2
6	Работа с теодолитом. Обработка материалов теодолитной съемки и составление плана участка	2
7	Работа с нивелиром. Обработка журнала нивелирование трассы и составление профиля	2
8	Работа с нивелиром. Обработка журнала нивелирование трассы и составление профиля	2
9	Работа с нивелиром. Обработка журнала нивелирование трассы и составление профиля	2

<b>Итого:</b>	<b>18 часа</b>
---------------	----------------

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Основная литература:

1. Попов В. Н., Букринский В. А., Бруевич П. Н., Геодезия и маркшейдерия: учебник для вузов- М: Горная книга, 2010г.
2. Попов В. Н., Чекалин С. И., Геодезия: учебник для студ. вузов обуч. по спец. "Маркшейдерское дело" напр. "Горное дело"-М.: Горная книга, 2012г.
3. Кулешов Д.А., Стрельников Г.Е., Рязанцев Г.Е. Инженерная геодезия – М. Картгеоцентр – Геодезиздат, 1996 г.
4. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и её применение. – Тверь, ООО ИПП «АЛЕН», 2006.
5. FlexLine\_plus\_User Manual.66178-3.0.0ru.Перевод исходного текста (766166-3.0.0en) Напечатано в Швейцарии. © 2011 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland
6. Leica NA320/24/32\_User Manual. Перевод исходного текста (837861-1.0.0en. ) Напечатано в Швейцарии. © 2015 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland

### 5.2. Дополнительная литература:

7. Парамонов А.Г., Черноглазов Н.В., Сомов В.Д. Основы топографии и аэрофотосъемки. – М., Недра, 1991 г.
8. Глинский С.П., Гречанинова Г.И., Данилевич В.М. и др. Геодезия. – М.: Геодезиздат, 1995 г.
9. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1: 2000, 1:1000, 1:500.-М.; Недра, 2000 г.
10. Федотов Г.А. Инженерная геодезия – М. «Высшая школа», 2004г.

### 5.3. Информационно-телекоммуникационные ресурсы

1.	Определение положения точек земной поверхности. Понятие о системах координат.	<a href="https://youtu.be/IOoncSAY8WU">https://youtu.be/IOoncSAY8WU</a> <a href="https://youtu.be/3JAxwyeIMpU">https://youtu.be/3JAxwyeIMpU</a>
2.	Ориентирование линий на местности	<a href="https://youtu.be/Y_I4EQmrWnY">https://youtu.be/Y_I4EQmrWnY</a>
3.	Основные геодезические чертежи. Понятие о плане, карте, профиле и разрезе. Практическое использование плана (карты) для решения инженерно-технических задач.	<a href="https://youtu.be/3TE8yIilgdk">https://youtu.be/3TE8yIilgdk</a>
4.	Измерение углов.	<a href="https://youtu.be/InZ5TpTPHVA">https://youtu.be/InZ5TpTPHVA</a> <a href="https://youtu.be/eU8wQvbzw-4">https://youtu.be/eU8wQvbzw-4</a>
5.	Нивелирование	<a href="https://youtu.be/P0wiHI0HXUk">https://youtu.be/P0wiHI0HXUk</a> <a href="https://youtu.be/p5xEu_JkfqM">https://youtu.be/p5xEu_JkfqM</a>

### 5.3 Материально-техническое обеспечение дисциплины

В образовательном процессе используются: - учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, комплект мультимедийного оборудования, включающий мультимедийный проектор экран, компьютер для демонстрации презентаций; учебно-наглядные пособия обеспечивающие тематические иллюстрации и аудиторная мебель (столы, стулья, доска аудиторная); - библиотека для самостоятельной работы оснащены компьютерными столами, стульями, доской аудиторной, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно образовательную среду университета.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Система оценки знаний студентов преследует выполнение следующих задач:

- организация систематического и своевременного усвоения предмета;
- регулярное оценивание успеваемости студентов;
- объективная и точная оценка знаний студентов;
- регулярное оповещение студентов и анализ результатов оценки.

### 6.1. Виды и формы рейтинговой системы

Оценка успеваемости студентов по предмету осуществляется регулярно и достигается следующими видами контроля:

- текущий контроль (ТК);
- промежуточный контроль (ПК);
- итоговый контроль.

**Текущий контроль** предусматривает оценку знаний и практических навыков по каждой теме дисциплины и осуществляется на практических и лабораторных занятиях.

**Промежуточный контроль** оценивает теоретические знания студентов после проведения занятий в 8 (ПК-1) и 17 (ПК-2) неделях и определяет способность студента ответить на вопросы по пройденным темам дисциплины. Форма ПК – письменная контрольная работа.

**Итоговый контроль** осуществляется по всему курсу предмета в конце семестра.

Оценочный фонд формируется по 100 балльной шкале. 100 баллов распределяется следующим образом:

- |  |           |
|--|-----------|
| - текущий контроль                     | 50 баллов |
| - промежуточный контроль (ПК-1 + ПК-2) | 10 балла  |
| - итоговый контроль                    | 40 баллов |

Учитываются следующие типовые критерии оценки знаний студентов:

Балл	Оценка	Уровень знаний студента
86-100	Отлично (5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- принятие решения и выводы;</li> <li>- умение творчески мыслить;</li> <li>- самостоятельное мышление</li> <li>- умение практического применения полученных знаний;</li> <li>- понятие сути вопроса, знание и умение излагать;</li> <li>- иметь представление об изучаемом предмете.</li> </ul>
71-85	Хорошо (4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельное мышление</li> <li>- умение практического применения полученных знаний;</li> <li>- понятие сути вопроса;</li> <li>- умение излагать полученные знания.</li> </ul>
55-70	Удовлетворительно (3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- понятие сути вопроса;</li> <li>- умение излагать полученные знания;</li> <li>- иметь представление об изучаемом предмете.</li> </ul>

0-54	Неудовлетворительно	- не умение точного представления; - не знание дисциплины
------	---------------------	--

### 6.2 Порядок оценивания знаний студентов:

- **сдача работ на практических и лабораторных занятиях** (описание работы и его защита) - максимально оценивается до 50 баллов за выполнение и защиту лабораторных и практических работ: работа №1 -20 баллов; работа №2 -15 баллов, работа №3 -15 баллов;
- **промежуточная контрольная работа** (письменная)- максимально оценивается в 5 баллов каждый ПК. В течение семестра проводятся две промежуточные контрольные работы (ПК-1 и ПК-2) в 8 и 17 неделях - максимально можно набрать - 10 баллов;
- **итоговая контрольная работа** - письменная работа максимально оценивается в 40 баллов.

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Организация занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» возможна как по обычной технологии по видам работ (лекции, практические занятия, лабораторный практикум, текущий контроль) по расписанию, так и по дистанционному обучению через платформу АФ НИТУ «МИСиС».

При изложении теоретического материала используются мультимедийные иллюстративные материалы.

Лабораторные занятия проводятся с использованием лабораторного оборудования.

Для самостоятельной работы используется учебно-методические материалы, подготовленные преподавателями.

Обучение организуется в соответствии с настоящей программой.. Защита студентами практических и лабораторных занятий проводится во время проведения этих работ или внеаудиторное время. Три контрольных работ проводиться в письменном виде..

Для самостоятельной работы студентам предоставляются компьютерные классы АФ НИТУ МИСиС. В процессе самостоятельной работы студенты используют компьютерные классы АФ НИТУ МИСиС.

## 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Лекционные и практические занятия проводятся с использованием мультимедийных средств. Лабораторные занятия проводятся в лабораторных классах с соблюдением требования безопасности. Текущая аттестация предполагает сдачу тем практических и лабораторных занятий.

### 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Специализированные лаборатории и классы, основные установки и стенды

9.2. Средства обеспечения освоения дисциплины (модуля)

## 10 ЛЕКЦИИ

### Глава 1

### Определение положения точек земной поверхности

#### § 1. Краткий исторический очерк развития геодезии.

*Геодезия* – наука, изучающая фигуру и гравитационное поле Земли, планет Солнечной системы, методы и способы определения положения точек в принятой системе координат и занимающаяся точными измерениями на местности, необходимыми для создания карт и планов земной поверхности, решения разнообразных производственно – технических задач народного хозяйства и обороны страны.

Научные и практические задачи геодезии решаются на основе геодезических измерений при помощи геодезических приборов.

В геодезии выделяют следующие разделы:

- высшая геодезия;
- топография;
- инженерная геодезия.

*Высшая геодезия* – наука, которая занимается изучением формы Земли и ее внешнего гравитационного поля, определением координат отдельных точек земной поверхности в единой системе, а так же изучает горизонтальные и вертикальные движения земной коры. Эта область геодезии занимается также изучением фигур планет Солнечной системы и их гравитационных полей.

В высшей геодезии для изучения фигуры земли и ее внешнего гравитационного поля разрабатываются теория и методы:

- высокоточных измерений на земной поверхности расстояний и высот, горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на земной поверхности;
- измерения силы тяжести;
- наблюдения искусственных спутников Земли с целью определения их положения в околоземном пространстве;
- определения географических широт, долгот и направлений меридианов в результате наблюдения спутников и астрономических светил;
- получения количественных характеристик вертикальных и горизонтальных тектонических движений земной коры.

Точки на поверхности Земли, координаты которых определены методами высшей геодезии, образуют государственную геодезическую сеть. Государственная геодезическая сеть является основой для съемочной сети, создаваемой при топографической съемке.

*Топография* (от греч. место и пишу) – научная дисциплина, изучающая земную поверхность, т.е. элементы физической поверхности суши и расположенные на ней объекты деятельности человека в геометрическом отношении, а также способы ее изображения.

В задачи топографии входит:

- организация измерений на местности, обработка их результатов с целью создания топографических карт (масштабы 1:100 000 и крупнее) и географическое изучение снимаемой местности;
- создание на местности съемочной сети, состоящей из пунктов, положение которых определено в единой системе координат;
- организация и выполнение съемочных работ наземными методами;
- организация и разработка методов выполнения съемочных работ с использованием материалов наземной и воздушной стереофотосъемок.

Основным видом съемки для составления топографических карт в настоящее время является аэрофототопографическая съемка – фотографирование местности с воздуха с последующей обработкой фотографических снимков.

*Инженерная геодезия* изучает методы геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных инженерных сооружений; при разведке, разработке и эксплуатации природных богатств страны и ее недр.

В инженерной геодезии используют методы высшей геодезии, топографии, фотограмметрии.

Топография и аэротопография занимаются разработкой методов создания планов и карт по фотоснимкам и аэроснимкам местности.

Область науки, техники и производства, охватывающая изучение, создание и использование карт называется *картографией*.

Задачи инженерной геодезии и топографии решаются при помощи специальных измерений. Измерения следует выполнять с необходимой, обоснованной точностью. Измерения, выполненные с завышенной точностью, приводят к излишним затратам сил, средств, времени, а с недостаточной точностью - к ошибкам и браку в работе. Поэтому перед проведением измерений проводится инженерный расчет с целью выбора методики получения результатов с заданной точностью.

Геодезия возникла в глубокой древности, когда для развития человеческого общества появилась необходимость в измерении площадей обрабатываемых полей, в изучении земной поверхности для хозяйственных целей. В Древнем Египте еще в 18 в. до н.э. существовало руководство по решению арифметических и геометрических задач, возникающих при измерении и определении площадей земельных

участков. Есть сведения, что в Китае около 10 в. до н.э. существовало учреждение для топографических съемок страны. В Вавилоне и Ассирии (7 в. до н.э.) общегеографические и специальные карты составлялись на глиняных дощечках. Строительство каналов и оросительных систем невозможно было выполнить без геодезических измерений и съемок местности, выполняемых с достаточно высокой точностью.

После того, как Пифагором (580-500 гг. до н.э.) и Аристотелем (384-322 гг. до н.э.) были высказаны предположения о шарообразности Земли, Эратосфеном (276-195 гг. до н.э.) были сделаны определения радиуса Земли. Эти определения были основаны на геометрическом методе, который получил название градусных измерений. Во 2 в. до н.э. астрономы и математики установили понятия географической широты и долготы места, разработали первые картографические проекции с сеткой меридианов и параллелей на картах, дали методы определения положения точек земной поверхности из астрономических наблюдений.

Первые сведения о выполнении геодезических измерений в России относятся к 1068 г., когда по приказанию князя Глеба между городами Керчью и Таманью по льду была измерена ширина Керченского пролива. В сборнике законов Древней Руси «Русская Правда», относящемся к 11-12 вв., содержатся постановления о земельных границах, которые устанавливались измерениями на местности. В период царствования Ивана Грозного (1530-1584) «служилые люди» были обязаны производить съемку и составлять описание тех мест, куда они направлялись. По этим материалам была составлена карта Московского государства в масштабе 1:1 800 000, известная под названием Большой чертеж.

Развитие геодезии и геодезических работ в России усилилось при Петре I. В 1701 г. он основал в Москве одну из первых в России астрономических обсерваторий и Школу математических и навигационных наук, подготовившую астрономов, геодезистов, географов, гидрографов и навигаторов. В 1701 году С.У. Ремизовым и его сыновьями составлена «Чертежная книга Сибири», представлявшая собой первый русский географический атлас (23 карты). В 1745 г. при Академией наук издается Атлас Российский. В 1797 г. при Генеральном штабе армии было организовано депо карт. В 1822 г. создан Корпус военных топографов. Все основные астрономо-геодезические и топографические работы на территории России в 19 и начале 20 вв. выполнялись специалистами этого учреждения. В результате работ Корпуса военных топографов были созданы топографические карты пограничных районов России в масштабе 1 и 2 версты в дюйме, 3-верстная карта Западной Сибири, 10-верстная карта Европейской части России и Западной России.

В Советский период геодезисты выполнили огромный объем работ, отвечающих потребностям социалистического строительства. Советским ученым М.С. Молоденским разработана новая теория изучения фигуры Земли и ее внешнего гравитационного поля, поставившая советскую геодезию в отношении решения ее основной проблемы на первое место в мире. Советскими геодезистами под руководством Ф.Н. Красовского получены новые параметры фигуры Земли. В своем развитии геодезические науки опираются на достижения других научных дисциплин, в первую очередь физики, высшей математики, электроники. Новая эра в развитии геодезии открылась с запуском в СССР первого в мире искусственного спутника Земли. Спутниковые системы определения местоположения различных объектов, съемка поверхности Земли из космоса, широкое применение радиоэлектронных, лазерных и оптических электронных систем и приборов позволяют по-новому оперативно и с высокой точностью выполнять геодезические измерения, топографические и специальные съемки.

## § 2. Понятие о форме и размерах Земли.

Геодезия и топография играют особую роль при решении различных задач в народном хозяйстве, например, при изыскании, проектировании и строительстве крупных гидротехнических сооружений, промышленных комплексов, железных и автомобильных дорог, аэродромов, городов и населенных пунктов, наземных и подземных коммуникаций, трубопроводов, при освоении месторождений различных природных ископаемых.

Топографо-геодезические работы являются составной частью работ по поиску, разведке и освоению месторождений нефти и газа. В последнее время возрастает объем геолого-геодезических исследований по освоению морских месторождений нефти и газа. Планирование и осуществление этих работ невозможно без использования геодезических методов и современных автоматизированных навигационных и геодезических систем, позволяющих с необходимой точностью оперативно определять положение исследовательских судов и самолетов, находящихся на большом удалении от берега.

В ходе эксплуатации нефтяных и газовых месторождений происходят деформации земной поверхности на территории этих месторождений. Данные, позволяющие наблюдать динамику этого процесса, получают из повторных геодезических наблюдений сети специальных точек.

*Топографические карты* – подробные, единые по содержанию, оформлению и математической основе; географические карты, отображающие основные природные и социально-экономические объекты (рельеф, растительность, населенные пункты, дороги, хозяйственные объекты и т.п.), создаются на единой геодезической основе. Значение топографических карт трудно переоценить – они дают возможность изучать местность без ее непосредственного наблюдения и являются той основой, на которой отображаются результаты исследований в геологии, геофизике, геоморфологии и других науках, изучающих Землю. На основе топографических карт составляют географические, геологические и другие специальные карты. Топографические карты используются при государственном планировании, для проектирования инженерных сооружений, при разведке природных богатств, организации эксплуатации месторождений нефти, газа и полезных ископаемых.

Топографические карты разных лет, дополненные материалами дистанционных съемок в разных зонах спектра электромагнитных колебаний, используются при изучении процессов, происходящих в природе под воздействием хозяйственной деятельности человека, для решения вопросов экологии.

При поисках и разведке месторождений нефти и газа топографические карты используются для предварительного изучения территории с целью планирования геологических и геофизических исследований. В ходе проведения поисковых и разведочных геологических и геофизических работ топографические карты необходимы для ориентирования на местности и для привязки точек геологических исследований. По топографической карте проектируют геофизические маршруты (профили), а затем с помощью геодезических методов положение этих маршрутов обозначают на местности.

В ходе разработки нефтяного или газового месторождения геодезическими методами определяют положение всех скважин, наземных и подземных сооружений, трубопроводов, линий электропередач и связи. Затем эти объекты наносят на карту или план месторождения.

В процессе аэротопографической съемки получают аэрофотоснимки земной поверхности с высоким качеством изображения. Эти снимки можно использовать не только в целях составления топографических карт, но и для геологического изучения территории.

Характеристику аэрофотосъемке, как методу изучения природных ресурсов, приводил академик А.Е. Ферсман в 1928 г. Аэрофотосъемка дает точный и объективный фотографический снимок территории, она позволяет повторить съемки в разные периоды и установить изменения, которые вносят природа и хозяйственная деятельность человека в течение определенного промежутка времени.

Космические изображения дают большой объем информации по структурному строению территорий. По ним можно выделить складчатые структуры и разломы разных порядков: от глобальных и региональных, не прослеживающихся по аэрофотоснимкам, до локальных, с размерами в несколько километров.

Выдающийся советский ученый-геолог академик И.М. Губкин, отмечая важность топографических работ, писал о том, что топографические карты и планы служат необходимым условием для последующего успешного осуществления работ геолога, разведчика, гидролога, гидротехника, географа, почвовед, лесовода, инженера-проектировщика, строителя и т.д.

Первое в истории науки определение размеров Земли, как шара, было проведено в Древнем Египте Эратосфеном. Во второй половине 17 в. была открыта центробежная сила и обнаружена зависимость периода колебаний физического маятника от его длины и ускорения силы тяжести. Были установлены факты изменения длины секундного маятника с изменением широты места. Обобщение этих сведений и открытие закона всемирного тяготения привели к предположению о сплюснутости Земли в направлении полюсов.

Для проверки этого предположения Парижской академией наук были организованы экспедиции в Перу и Лапландию (1735-1742 гг.) для выполнения градусных измерений. Результаты этих измерений подтвердили сплюснутость Земли в направлении полюсов и дали еще одно доказательство справедливости закона всемирного тяготения.

К середине 18 в. французский математик Клеро вывел дифференциальное уравнение 2-го порядка, связывающее плотность и сжатие внутренних сфероидальных слоев Земли. Дифференциальное уравнение Клеро, впоследствии надлежащим образом уточненное, служит и теперь для определения сжатия Земли на основании предположения о ее внутреннем строении. Таким образом, был открыт закон распределения силы тяжести на поверхности земного эллипсоида и установлена связь между сжатием земного эллипсоида и распределением силы тяжести на его поверхности.

В 1785 г. во Франции А.М. Лежандр ввел понятие о потенциальной функции, положившее начало развитию теории потенциала и имеющее большое значение для геодезии при изучении фигуры Земли.

В 1792-1799-х годах П. Мешен и Ж. Деламбр (Франция) измерили дугу меридиана от Дюнкерка до

Барселоны для установления длины метра как  $1/10\,000\,000$  доли четверти земного меридиана. По результатам этих измерений впервые достаточно точно были определены размеры земного эллипсоида.

В 1816 г. началось и в 1855 г. закончилось градусное измерение в России. Возглавлял работы известный астроном В.Я. Струве. Протяженность измеренной дуги меридиана от устьев Дуная до берегов Ледовитого океана составила  $25^\circ$  по широте.

Помимо дуги Струве на территории России в 1848-1858 гг. были проведены градусные измерения по параллели  $48^\circ$  от Кишинева до Астрахани протяженностью около  $20^\circ$ , а в 1861-1870 гг. по параллели  $52^\circ$  от западных границ до Орска протяженностью по долготе около  $39^\circ$ . По данным этих градусных измерений в 1893 г. А.М. Жданов произвел одно из известных определений размеров земного эллипсоида. Ранее ученые разных стран, такие как Бессель, Кларк, Хейфорд, определяли параметры земного эллипсоида.

В 1828 г. Гаусс предложил принять за математическую поверхность Земли уровенную поверхность потенциала силы тяжести, совпадающую со средним уровнем моря. Обнаружившиеся в ходе определений параметров земного эллипсоида расхождения результатов, полученных разными авторами, показали, что фигура Земли имеет сложный вид и не может быть точно представлена какой-нибудь геометрической фигурой. В 1873 г. немецким физиком Листингом для характеристики фигуры Земли было предложено понятие геоид.

### § 3. Эллипсоид Ф.Н.Красовского.

**Фигуры Земли.** Размеры и форму физической поверхности планеты Земля относят к той или иной ее геометрически правильной модели, поверхность которой используется в качестве основы для установления глобальных, региональных или же частных систем координат для выполнения геодезических работ и картографирования.

Реальная поверхность земной коры представляет собой рельеф, выраженный сочетаниями неровностей различной величины и формы. Воды Мирового океана покрывают более 71% твердой поверхности Земли, поэтому поверхность его послужила основой для создания физической модели Земли, представляющей фигуру нашей планеты. Гладкая, всюду выпуклая поверхность, образованная уровнем воды Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия, мысленно продолженная под сушей, называется *геоидом*. Поверхность геоида в каждой своей точке перпендикулярна направлению силы тяжести (отвесной линии), т.е. повсюду горизонтальна и представляет *основную уровенную поверхность*, относительно которой отсчитывают высоты точек на земной поверхности в принятой системе. В связи с тем что в различных странах положение геоида определяется от уровня воды в ближайшем море или океане, принимаются различные системы высот. Например, у нас в Беларуси принята Балтийская система высот, за отсчетную поверхность в которой взята поверхность геоида, проходящая через нуль Кронштадтского футштока, фиксирующего средний уровень поверхности воды Финского залива Балтийского моря. Из-за неравномерного распределения плотности в земной коре и рельефа поверхность геоида имеет глобальные и локальные волны и не имеет строгого геометрического описания, поэтому невозможно решение на ней задач вычисления и передачи координат точек земной поверхности. Для решения этих задач в геодезии используют математическую модель - общий земной эллипсоид, представленный эллипсоидом вращения, сжатым у полюсов, ось вращения которого и геометрический центр совпадают с осью вращения и центром масс Земли на определенную эпоху (рис. 1., а).

Системы геодезических (географических) координат (широт  $\varphi$ , долгот  $X$ ), отнесенные к поверхности такого эллипсоида, называют *общеземными геоцентрическими*.

В 1940 г. на основе градусных измерений, выполненных на территории СССР и в ряде других стран, под научным руководством профессора Ф.Н. Красовского были получены наиболее точные для того времени параметры общего земного эллипсоида: размеры его большой полуоси  $a = 6\,378\,245$  м и полярное сжатие  $\alpha = \frac{a-b}{a} = 1/298,3$ . Данный эллипсоид был

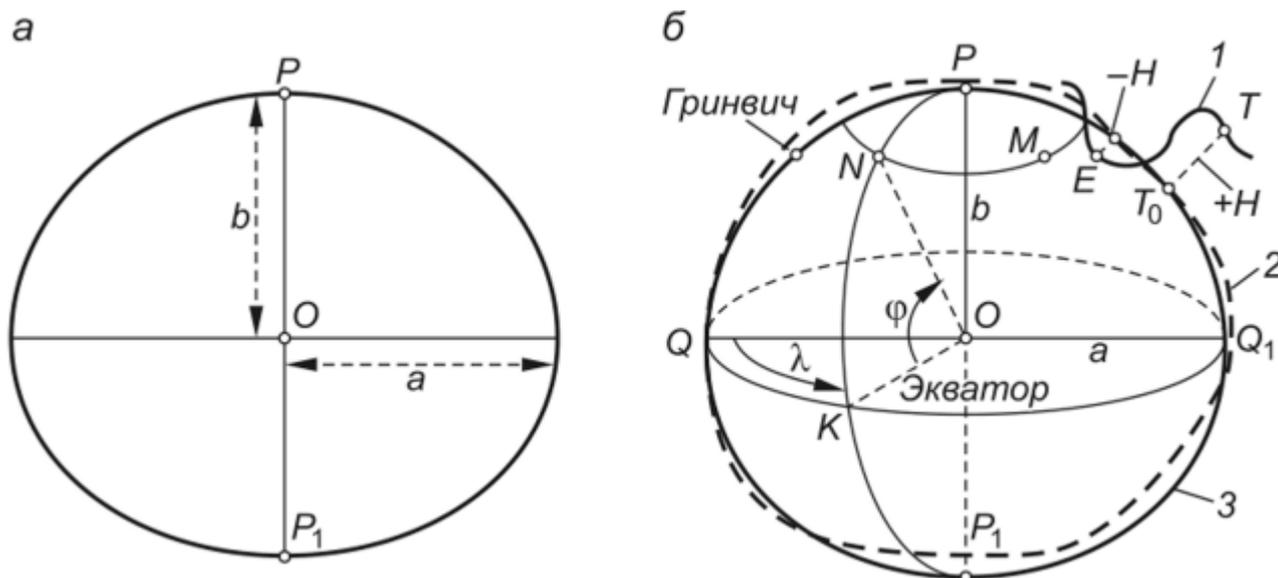


Рис. 1. Земной эллипсоид:

*a* - эллипсоид вращения; *б* - географические координаты (изучаемые поверхности: 1 - Земли; 2 - геоида; 3 - земного эллипсоида)

ориентирован относительно геоида под условием минимальных отклонений их поверхностей только на территории СССР. Эллипсоиду с указанными параметрами и ориентировкой в теле Земли присвоено наименование «референц-эллипсоид Красовского». Этот термин указывает на то, что данный эллипсоид является наиболее подходящим к геоиду не на всей поверхности Земли, а только на ее части. На его поверхность проецировали центры геодезических пунктов полигонов триангуляции 1-го класса Государственной геодезической сети СССР, вычислили их координаты, используя геометрию и параметры этого эллипсоида. Таким образом была закреплена на территории СССР **система координат СК-42**, которая до настоящего времени используется на территории Республики Беларусь. После совместной математической обработки сплошной астро-номо-геодезической сети 1-2-го классов на территории СССР, выполненной к 1990-м гг., а также с использованием данных спутниковых определений, накопленных к тому времени, на поверхности эллипсоида Красовского была закреплена референцная система геодезических координат СК-95. К настоящему времени с бурным развитием спутниковых методов в геодезии получены современные общеземные геоцентрические системы координат. Примерами таких систем служат WGS-84 (США), ПЗ-90 (Россия).

Высотная координата  $H$  точки  $T$  земной поверхности в инженерно-геодезических работах определяется вдоль отвесной линии  $\gamma_U$  относительно поверхности геоида (рис. 1, б).

Во многих практических маркшейдерско-геодезических расчетах общий земной эллипсоид и референц-эллипсоид заменяются их более простой моделью - земным шаром радиуса  $R = 6371$  км (объем земного шара равен объему земного эллипсоида). Длина экватора  $L$  на эллипсоиде Ф.Н. Красовского равна  $2\pi a$ , или 40 075 км, на земном шаре  $2\pi R$ , или 40 030 км (« 40 000 км).

#### § 4. Принцип изображения земной поверхности на плоскости.

*Уровенная поверхность* - поверхность, во всех точках которой потенциал силы тяжести имеет одинаковую величину. Направление нормали к уровенной поверхности совпадает с направлением силы тяжести, т.е. с отвесной линией. Таких поверхностей можно представить множество. *Геоидом* называется уровенная поверхность, совпадающая с поверхностью океанов и морей при спокойном состоянии водных масс и мысленно продолженная под материками.

Вследствие неравномерного распределения масс внутри Земли поверхность геоида является весьма сложной, и установить его форму и размеры не представляется возможным. Поскольку форму геоида во многом определяет вращение Земли с постоянной скоростью вокруг своей оси, при решении практических задач поверхность геоида заменяют поверхностью эллипсоида вращения.

Параметры общего земного эллипсоида, определенные под руководством советского ученого-геодезиста Феодосия Николаевича Красовского в 1940 г., следующие:

$a$  – большая полуось, 6 378 245 м;

$b$  – малая полуось, 6 356 863 м;

сжатие  $\alpha = (a-b)/a = 1/298,3$ .

При выводе параметров использовались материалы градусных измерений СССР, Западной Европы и США. Были использованы имевшиеся к тому времени материалы гравиметрической съемки. Сжатие, определяемое из спутниковых наблюдений, получается очень близкое по величине к тому, что получено Ф.Н. Красовским. В 1980 г. Международным астрономическим союзом были приняты новые значения эллипсоида:  $a = 6\,378\,137$  м;  $\alpha = 1/298,25\,722$ .

Для того чтобы земной эллипсоид ближе подходил к геоиду, его надо соответственно расположить в теле Земли или, иначе говоря, ориентировать.

Эллипсоид вращения с определенными параметрами, ориентированный в теле Земли таким образом, чтобы отклонения его поверхности от геоида для данной территории были минимальными, называется референц – эллипсоидом. Постановлением Совета Министров СССР № 760 от 7 апреля 1946 г. эллипсоид Красовского принят в качестве референц – эллипсоида для геодезических и картографических работ в СССР. За исходный пункт был принят центр круглого зала Пулковской обсерватории с установленными широтой, долготой, азимутом.

Значения параметров эллипсоида, полученные другими авторами:

1841 г., Бессель (Германия):  $a = 6\,377\,397$  м;  $b = 6\,356\,079$  м;  $\alpha = 1/299,2$ ;

1880 г., Кларк (Великобритания):  $a = 6\,378\,249$  м;  $b = 6\,356\,515$  м;  $\alpha = 1/293,5$ ;

1909 г., Хейфорд (США):  $a = 6\,378\,388$  м;  $b = 6\,354\,912$  м;  $\alpha = 1/297,0$ .

На рис. 3 показано взаимное расположение эллипсоида, геоида и физической поверхности Земли. Угол  $\xi$  между нормалью к эллипсоиду и направлением силы тяжести называется *уклонением отвесной линии*. Для эллипсоида Красовского в среднем  $\xi = 3 - 4''$ , только в отдельных районах  $\xi = 1'$ . Отступления эллипсоида от геоида по высоте не превышают 100 – 150 м.

Системы отсчета бывают общеземные и референчные. Общеземные геодезические системы отсчета включают в себя параметры земного эллипсоида, гравитационного поля Земли и гринвичскую геоцентрическую прямоугольную систему координат.

Важнейшими параметрами Земли являются:

$f \cdot M_3$  – произведение гравитационной постоянной на массу;  $\omega_3$  – угловая скорость вращения;  $a$  – большая полуось (экваториальный радиус) и  $\alpha$  – сжатие земного эллипсоида (сжатие  $\alpha = (a-b)/a$ , где  $b$  – малая полуось эллипсоида);  $C_0$  – скорость распространения электромагнитных колебаний в вакууме.

В таблице 1 приведены физические параметры Земли ПЗ – 90.

Физические параметры Земли ПЗ -90 табл1

$fM_3$	$398600,44 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$
$\omega_3$	$7292115 \cdot 10^{-11} \text{ рад}$
$C_0$	$299792458 \text{ м/с}$

Геометрические параметры эллипсоидов, используемых в настоящее время приведены в таблице 2 .

Табл2

Название эллипсоида	Полуось $a$ , м	Сжатие $\alpha$
СК – 42, СК – 95	6 378 245	1/298,3
ПЗ – 90	6 378 136	1/298,257839303
WGS - 84	6 378 137	1/298,257223563
GRS - 80	6 378 137	1/298,257222101

Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г для геодезических и картографических работ с 1 июля 2002 г устанавливается единая система координат СК – 95, для обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач – геоцентрическая система координат ПЗ – 90. до завершения перехода используется СК – 42 (эллипсоид Красовского). Координатная система СК – 95 построена в результате совместной обработки 164 тысяч пунктов Астрономо – Геодезической сети, 134 пунктов доплеровской и 26 пунктов космической геодезических сетей. Она построена на эллипсоиде Красовского, оси которого в отличие от СК – 42, ориентированы параллельно соответствующим координатным осям ПЗ -90.

## § 5. Высоты точек земной поверхности.

Ранее были рассмотрены две системы высот: геодезическая высота и ортометрическая высота. Расхождение между этими высотами обусловлено отступлением эллипсоида от геоида.

Разности высот точек земной поверхности, получаемые из нивелирования, определяют разность потенциалов силы тяжести между этими точками. Если известно значение потенциала в начальной точке  $W_0$ , то по результатам нивелирования легко вычислить значение потенциалов силы тяжести в соответствующих точках Земли по формуле

$$W_B = W_0 - \int_0^B g dh, \quad (1)$$

где  $g$  – значение силы тяжести.

Знание высот необходимо для изображения рельефа земной поверхности, а также для перехода от величин, измеренных на этой поверхности (углы, линии), к величинам, им соответствующим на поверхности эллипсоида.

Из непосредственных измерений получают разности высот точек Земли. Для вычисления высот необходимо знать высоту точки, принимаемой за исходную. Считается, что высота исходной точки известна. В СССР в качестве начала счета высот принят нуль Кронштадтского футштока (Балтийская система высот).

Геодезическую высоту  $H$  можно рассматривать как сумму двух слагаемых: расстояния от референц – эллипсоида до поверхности геоида (или квазигеоида) и расстояния от этой поверхности до соответствующей точки поверхности Земли. Эти слагаемые располагаются по нормали к поверхности референц – эллипсоида. Из рис.6 геодезическая высота точки  $M$  будет равна

$$H_M = H_M^{\xi} + \xi^{M_1}; \quad (2)$$

$$H_M = H_M^V + \xi^M, \quad (3)$$

где  $H_M^{\xi}$  – ортометрическая высота,  $\xi^{M_1}$  – высота точки  $M_1$  над поверхностью эллипсоида.

Исследования Молоденского показали, что без привлечения гипотез о внутреннем строении Земли оба слагаемых выражения нельзя вычислить. Зато можно вычислить точно оба слагаемых выражения, в котором  $H_M^V$  – нормальная высота,  $\xi^M$  – аномалия высоты или высота квазигеоида над поверхностью референц – эллипсоида. Для вычисления геодезических высот  $H$  в СССР в настоящее время применяется формула, предусматривающая использование системы нормальных высот  $H^V$  и аномалий высот  $\xi$ .

Выделение в высоте  $H$  двух слагаемых связано с практической необходимостью отсчета высот от уровня моря. В системе ортометрических высот поверхностью уровня моря является поверхность геоида, а в системе нормальных высот за поверхность моря принимается вспомогательная поверхность квазигеоида.

Точно высоту  $H^V$  определяют методом геометрического нивелирования – метода, при котором с помощью горизонтального луча визирования вначале определяют разности высот двух соседних точек, а затем по известной высоте одной из них находят высоту второй точки. Влияние непараллельности уровенных поверхностей поверхности квазигеоида учитывается по гравиметрическим данным (в принципе, аномалии высот можно вычислить по формуле Брунса:  $\xi = T/\gamma$ , в которой  $T$  – возмущающий потенциал,  $\gamma$  – значение нормальной силы тяжести для точки поверхности эллипсоида. Более подробно см. П.С. Закатов. Курс высшей геодезии – М.: Недра, 1976). В публикуемых каталогах приводятся нормальные высоты  $H^V$  реперов и центров триангуляции.

## § 6. Географическая система координат. Меридианы и параллели. Географическая широта и долгота.

Географическую широту определяют с помощью параллелей. Широта может быть северной (те параллели, которые находятся севернее экватора) и южной (те параллели, которые лежат южнее экватора). Значение широт измеряется в градусах и минутах. Географическая широта может иметь значения от 0 до 90 градусов.

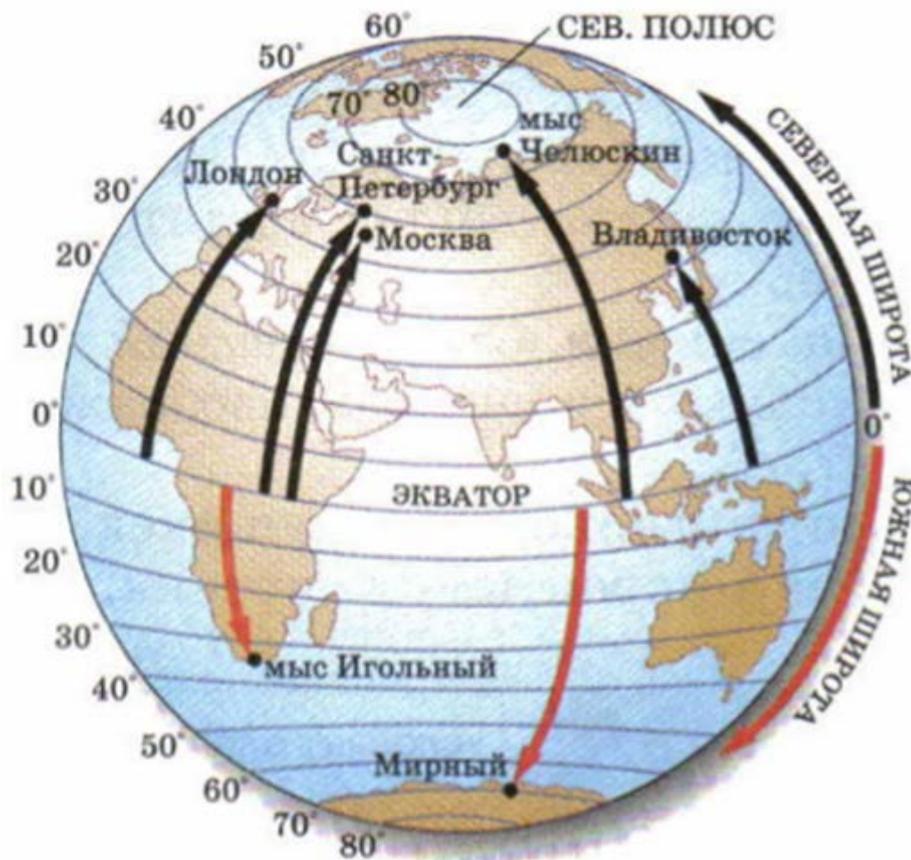


Рис. 2. Определение широт

**Географическая широта** – длина дуги в градусах от экватора до заданной точки.

Чтобы определить широту объекта, надо найти параллель, на которой находится этот объект.

Например, широта Москвы – 55 градусов и 45 минут северной широты, записывается это так: Москва 55°45' с.ш.; широта Нью-Йорка – 40°43' с.ш.; Сидней – 33°52' ю.ш.

Географическая долгота

Географическую долготу определяют по меридианам. Долгота может быть западной (от 0 меридиана на запад до 180 меридиана) и восточной (от 0 меридиана на восток до 180 меридиана). Значение долгот измеряется в градусах и минутах. Географическая долгота может иметь значения от 0 до 180 градусов.

**Географическая долгота** – длина дуги экватора в градусах от начального меридиана (0 градусов) до меридиана заданной точки.

Начальным меридианом считается Гринвичский меридиан (0 градусов).

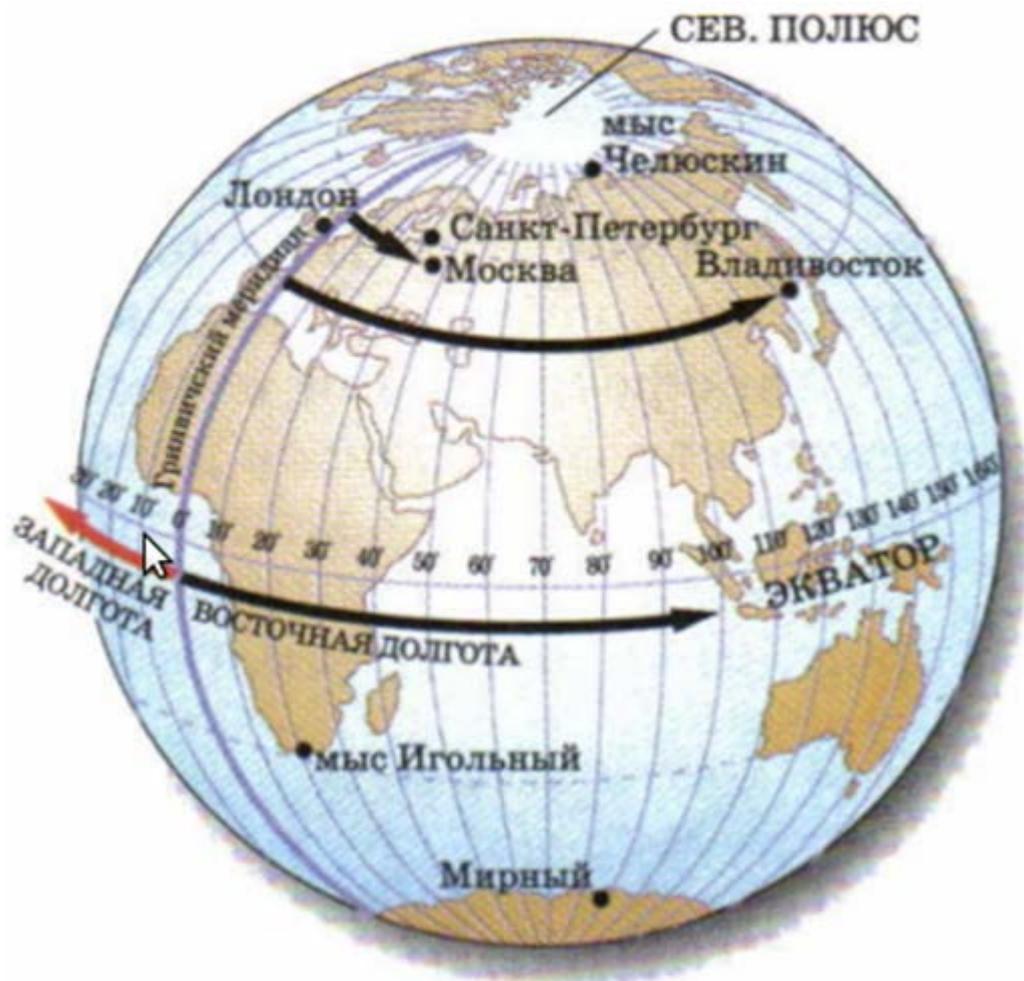


Рис. 3. Определение долгот

Чтобы определить долготу, нужно найти меридиан, на котором находится заданный объект.

Например, долгота Москвы – 37 градусов и 37 минут восточной долготы, записывается это так:  $37^{\circ}37'$  в.д.;  
долгота Мехико –  $99^{\circ}08'$  з.д.

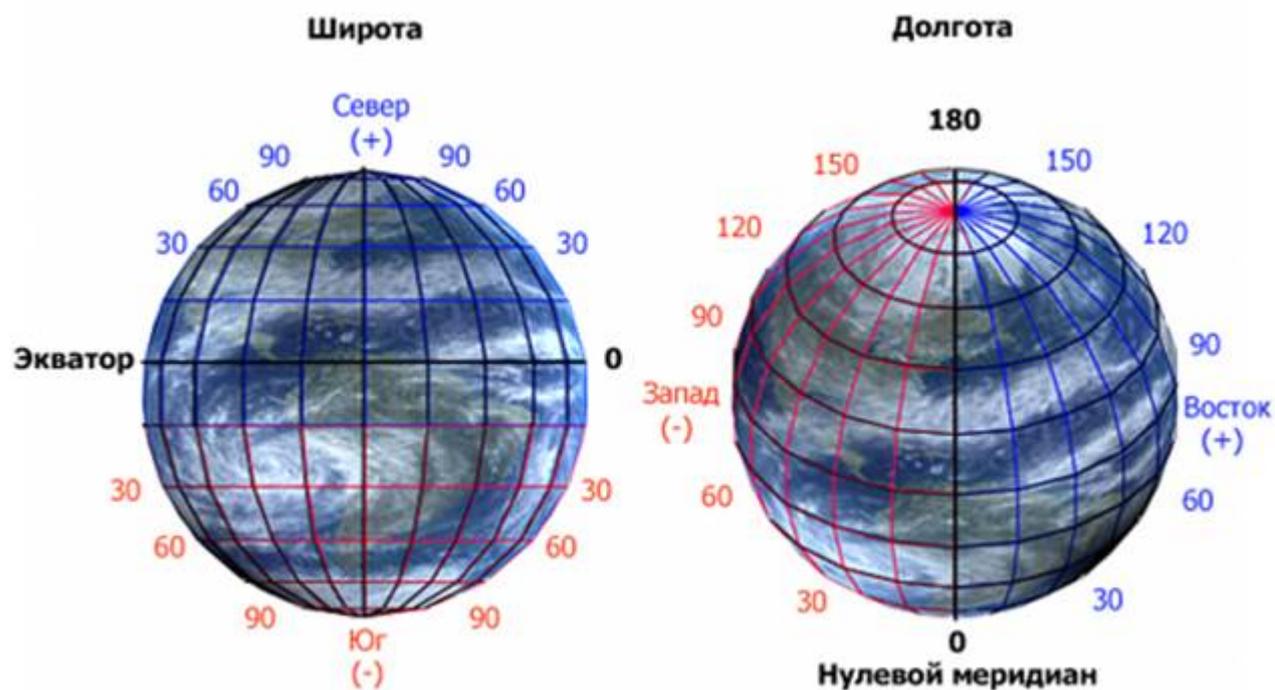


Рис. 4. Географическая широта и географическая долгота

### Географические координаты

Для точного определения местонахождения объекта на поверхности Земли надо знать его географическую широту и географическую долготу.

**Географические координаты** – величины, определяющие положение точки на земной поверхности с помощью широт и долгот.

Например, Москва имеет следующие географические координаты:  $55^{\circ}45'$  с.ш. и  $37^{\circ}37'$  в.д. Город Пекин имеет следующие координаты:  $39^{\circ}56'$  с.ш.  $116^{\circ}24'$  в.д. Сначала записывается значение широты.

Иногда требуется найти объект по уже заданным координатам, для этого надо сначала предположить, в каких полушариях находится данный объект.

## **§ 7. Система плоских прямоугольных координат. Проекция Гаусса – Крюгера. Распределение шестиградусных зон. Зональная система прямоугольных координат. Преобразованные ординаты. Координатная сетка.**

### *Геодезическая система координат*

За основную поверхность, на которой определяется положение точек Земли, принимается поверхность референц – эллипсоида. Координатными плоскостями, относительно которых определяют координаты точек, являются плоскость экватора земного эллипсоида и плоскость начального меридиана (рис. 5).

*Геодезическая широта  $B$  ( $f$ )*– угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора. Счет широт идет от экватора от  $0$  до  $90^{\circ}$ , в северном полушарии – со знаком плюс, в южном – со знаком минус.

*Геодезическая долгота  $L$  ( $l$ )*– двугранный угол между плоскостью начального (нулевого) меридиана и плоскостью меридиана данной точки.

*Геодезической высотой точки  $H$*  называется расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до данной точки.

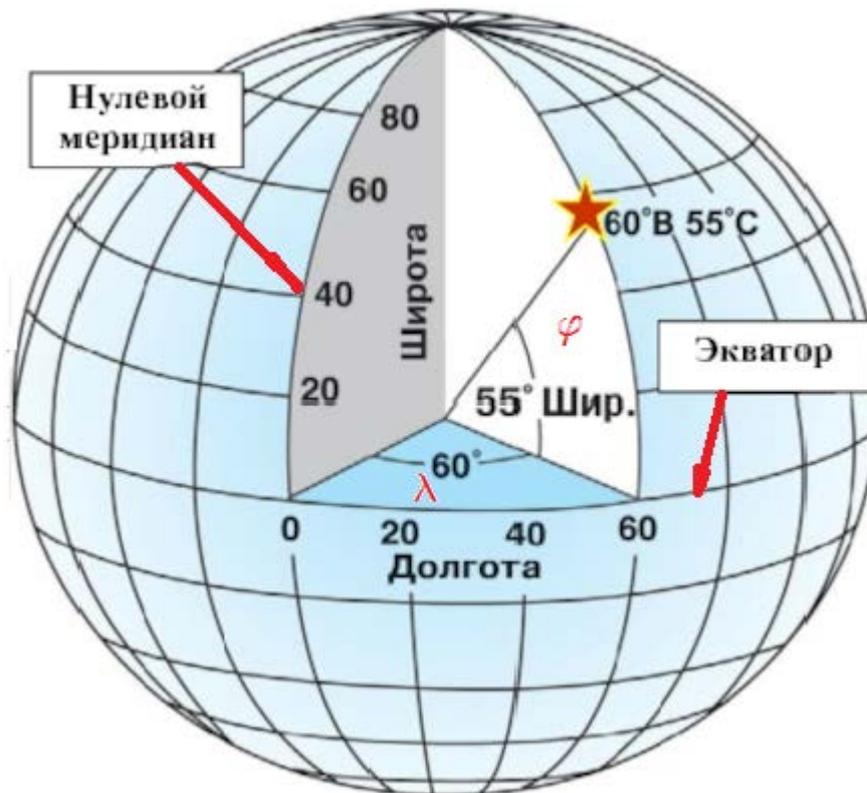


Рис 5. Геодезическая широта и долгота.

#### *Астрономическая система координат*

В отличие от геодезической системы координат в астрономической системе определяют относительно отвесных линий в точках земной поверхности.

*Астрономическая широта  $\varphi$*  – угол, образованный отвесной линией в данной точке с плоскостью экватора (рис. 5).

*Астрономическая долгота  $\lambda$*  – двугранный угол между плоскостью начального астрономического меридиана и плоскостью астрономического меридиана данной точки.

В этой системе третьей координатой является *ортометрическая высота  $H_g$*  – высота точки над поверхностью геоида.

В мелкомасштабном картографировании различие между астрономическими и геодезическими координатами обычно пренебрегают и употребляют широты и долготы, как координаты общей системы географических координат.

#### *Система прямоугольных координат*

В пространственной системе прямоугольных координат  $X, Y, Z$  с началом в центре земного эллипсоида ось  $Z$  располагается по полярной оси, оси  $X, Y$  – в плоскости экватора. Ось  $X$  располагается в сечении начального меридиана, ось  $Y$  перпендикулярна к ней. Система применяется для определения координат космических аппаратов в околоземном пространстве.

В системе плоских прямоугольных координат ось абсцисс  $X$  обычно совмещают с полуденной линией

(меридианом) точки  $O$ , называемой началом координат. За положительное направление этой оси принимают направление на север. За положительное направление оси ординат  $Y$  принимают направление на восток. Четверти нумеруются по ходу часовой стрелки. Первая четверть северо – восточная. Иногда ось абсцисс  $X$  не совмещают с полуденной линией точки  $O$ , а дают этой линии другое, более удобное для проведения работ, направление. Такая система называется *условной системой координат*.

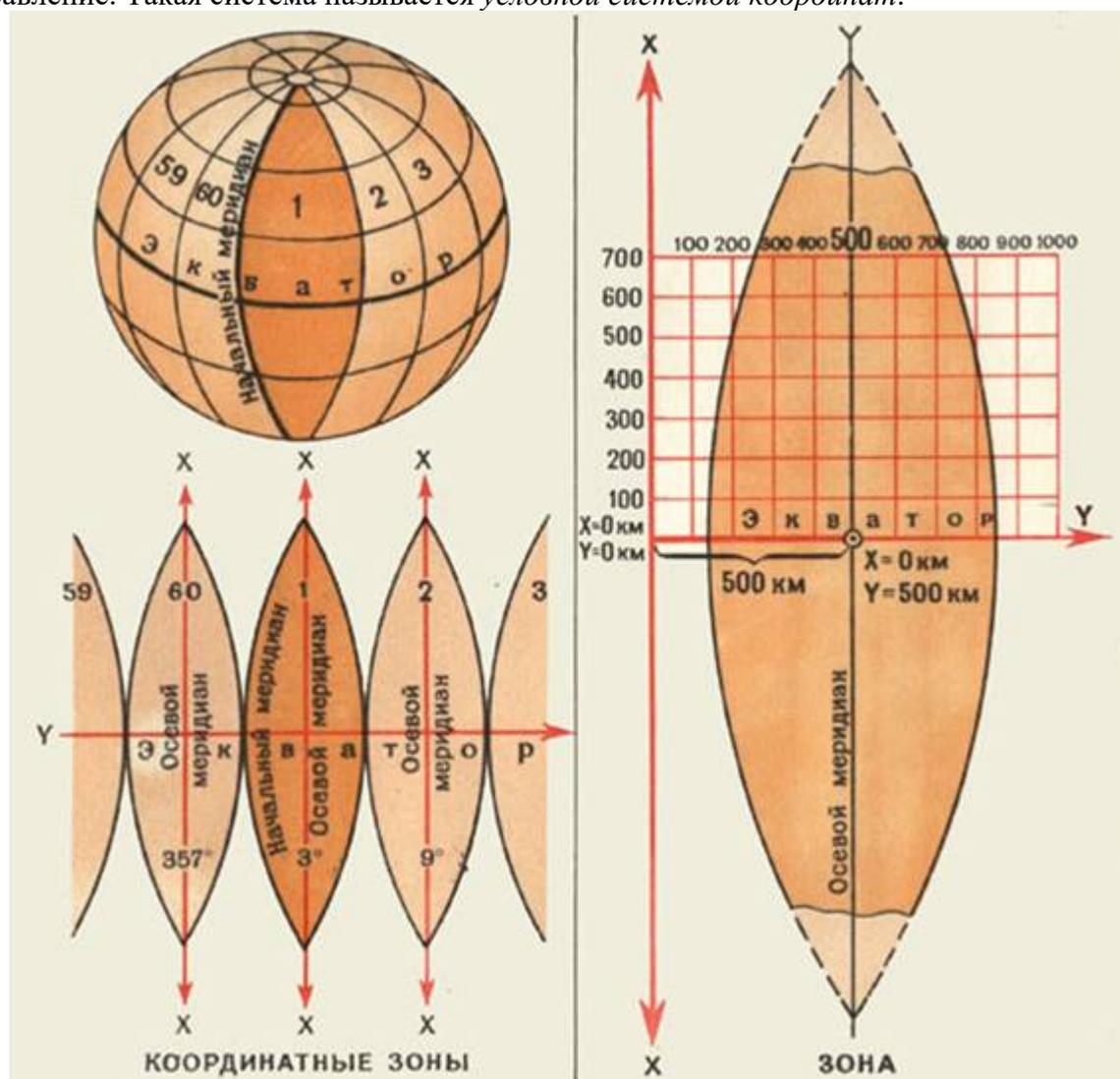


Рис. 6. Система плоских прямоугольных координат

### проекция Гаусса – Крюгера

В Российской Федерации для составления топографических карт масштабов 1:1 000 000 и крупнее применяется проекция Гаусса – Крюгера (равноугольная, поперечная, цилиндрическая).

В 1825 г. была опубликована работа Гаусса, впервые решившего общую задачу об изображении одной поверхности на другой с сохранением подобия в бесконечно малых частях. Частным случаем этой общей задачи является картографическая задача – изображение поверхности эллипсоида вращения на плоскости. В 1912 г. Крюгер разработал рабочие формулы этой проекции. Поэтому такую проекцию теперь называют проекцией Гаусса – Крюгера.

В проекции Гаусса – Крюгера поверхность земного эллипсоида проектируется на плоскость по частям – зонам. Зона занимает  $6^\circ$  по долготе (иногда применяются зоны, занимающие  $3^\circ$  по долготе). Нумерация зон

ведется от нулевого меридиана на восток (рис. 15). Каждая зона в отдельности проектируется на плоскость так, чтобы сохранялось подобие бесконечно малых фигур. Центральный меридиан зоны и экватор (см. рис. 15) изображаются в виде взаимно перпендикулярных прямых, образующих координатные оси  $X$  и  $Y$ . остальные меридианы и параллели изображаются кривыми, причем меридианы симметричны относительно осевого меридиана, параллели симметричны относительно экватора. В этой проекции длина осевого меридиана передается без искажений, длины остальных линий получаются длиннее, по сравнению с их горизонтальными проекциями на уровенную поверхность. Величину искажения (удлинения) линий на плоскости можно вычислить по формуле

$$\Delta S = \frac{y_{cp}^2}{2R^2} S, \quad (4)$$

В которой  $y_{cp}$  – расстояние от центрального меридиана зоны до средней точки линии;  $S$  – длина кривой на поверхности эллипсоида;  $R$  – радиус земного шара.

По мере удаления от осевого меридиана искажения линий возрастают и достигают 0,14% на краях зоны (в трехградусных зонах эти искажения примерно в 4 раза меньше).

Если известен номер колонны  $Q$ , то номер координатной зоны проекции Гаусса – Крюгера  $n$  определяется из выражения:

$$n = Q - 30. \quad (5)$$

Долгота осевого меридиана листа карты масштаба 1:1 000 000 или долгота осевого меридиана координатной зоны  $L_o$  вычисляется по формуле

$$L_o = 6^\circ Q - 183^\circ \text{ или } L_o = 6^\circ n - 3. \quad (6)$$

Для вычисления прямоугольных координат проекции Гаусса – Крюгера по широте и долготе точки существуют специальные таблицы, например, «Таблицы координат Гаусса – Крюгера для широт от 32 до 80° через 5' и долгот от 0 до 3,5° через 7,5' и таблицы рамок и полщадей трапеций».

На территории России все абсциссы положительны. Чтобы ординаты точек были тоже положительными, ординату начала координат принимают равной 500 км. А для того, чтобы было ясно, о какой зоне идет речь, к ординатам точек приписывают номер зоны, например:  $y = 7\ 381\ 252$  м – зона седьмая, точка находится к западу от осевого меридиана на 118 748 м.

Ординаты точек, тсправленные на 500 км и имеющие номер зоны, называются преобразованными ординатами. Для облегчения определения прямоугольных координат точек на картах, параллельно осям  $X$  и  $Y$ , проведены линии сетки прямоугольных координат.

При изображении земной поверхности в проекции Гаусса – Крюгера между соседними зонами образуются разрывы, поэтому при работе с картами на границах смежных зон возникают определенные неудобства. Эти неудобства устраняются введением полос перекрытия шириной 2° вдоль западной и восточной границ каждой зоны. На всех листах топографических карт, расположенных в пределах этих полос, даются выходы координатной сетки своей зоны и дополнительно наносятся выходы координатной сетки соседней зоны.

## Система плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера

Данную систему координат используют при крупномасштабном изображении значительных частей земной поверхности на плоскости, следовательно, и, при решении большинства задач, связанных с проектированием строительных комплексов.

Поверхность разбивают меридианами на зоны широты 3 или 6 градусов по долготе. Земной шар вписывают в цилиндр так, чтобы плоскость экватора совместилась с осью цилиндра. Каждая зона из центра Земли проектируется на боковую поверхность цилиндра. После проектирования боковую поверхность цилиндра разворачивают в плоскость, разрезав её по образующим, проходящим через земные полюса. На полученном изображении средние меридианы зон и экватор-прямые линии, остальные меридианы и параллели-кривые.

Система координат в каждой зоне одинаковая. Для территории России расположенной в северном полушарии, абсциссы всегда положительны. Для того чтобы и ординаты были всегда положительны начало координат смещают на запад на 500 км. В этом случае все точки к востоку и западу от осевого меридиана будут иметь положительные ординаты. Такие ординаты называются *преобразованными*.

### Зональная система координат Гаусса-Крюгера.

В основу этой системы положено поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса-Крюгера (названа по имени немецких ученых ее предложивших). В этой проекции поверхность земного эллипсоида меридианами делят на шестиградусные зоны и нумеруют с 1-й по 60-ю от Гринвичского меридиана на восток (рис.6). Средний меридиан шестигральной зоны принято называть осевым.

Его совмещают с внутренней поверхностью цилиндра и принимают за ось абсцисс. Чтобы избежать отрицательного значения ординат ( $y$ ), ординату осевого меридиана принимают не за нуль, а за 500 км, т.е. перемещают на запад на 500 км. Перед ординатой указывают номер зоны.

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

## § 8. Влияние кривизны земли на измеряемые расстояния и высоты точек.

Физическая поверхность Земли, на которой выполняются геодезические измерения, в различных точках по-разному отступает от референц-эллипсоида, поэтому в высшей геодезии при математической обработке результатов измерений их относят на поверхность референц-эллипсоида. Расстояние  $S$  между точками  $A$  и  $B$  (рис. 7,а) поверхности Земли при проектировании на поверхность референц-эллипсоида будет равно  $S_0$ . При решении многих задач в топографии и картографии поверхность Земли принимается за поверхность шара, а в некоторых случаях даже за плоскость.

Определим размеры участка, на котором уровенную поверхность можно считать плоскостью. На рис. 7, б изображена касательная в точке  $A$  к дуге  $CAB$  радиуса  $R$ . Расстояние по дуге  $AB$  равно  $S$ , расстояние по касательной равно  $t$ . Разность между расстоянием по касательной и по дуге  $\Delta S = t - s$ .

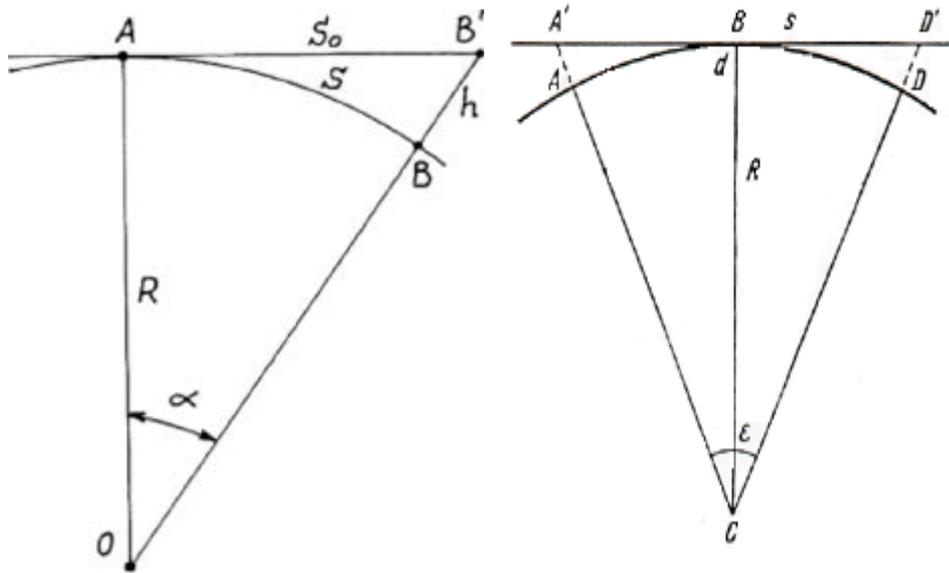


Рис 7 а,б- Влияние кривизны Земли и его определение

Из прямоугольного треугольника  $OAB$ :  $t = R \operatorname{tg} \alpha$ . С другой стороны,  $S = R\alpha$ , где угол  $\alpha$  выражен в радианах, тогда

$$\Delta S = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha). \quad (7)$$

Раскладывая  $\operatorname{tg} \alpha$  в ряд и ограничиваясь вследствие малости угла  $\alpha$  первыми двумя членами разложения, получаем

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{1}{3}\alpha^3. \quad (8)$$

После подстановки значения  $\operatorname{tg} \alpha$  в предыдущую формулу получаем

$$\Delta S = R \frac{\alpha^3}{3}, \quad (9)$$

Но  $\alpha = \frac{S}{R}$ , следовательно,

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \approx \frac{t^3}{3R^2}. \quad (10)$$

Ниже приведены значения  $\Delta S$  и относительные ошибки  $\Delta S / S$  при различных значениях  $t$  ( $R = 6371$  км).

$t$ , км.....	10	50	100
$\Delta S$ , см.....	0,82	26	820
$\Delta S/S$ .....	1/1 218 000	1/195 000	1/12 200

В настоящее время предельная точность измерений линий характеризуется относительной ошибкой 1/1 000 000. Таким образом, на участке радиусом 10 км влияние кривизны Земли во всех случаях при измерении горизонтальных расстояний можно не учитывать, т.е. поверхность Земли можно считать плоской.

При определении высот замена урванной поверхности  $CAB$  (см. рис. 7, б) касательной  $t$  приводит к ошибке  $\Delta h$  в высоте определяемой точки.

Из прямоугольного треугольника  $OAB_1$ :

$$t^2 = (R + \Delta h)^2 - R^2; \quad (11)$$

$$t^2 = R^2 + 2R\Delta h - R^2; \quad (12)$$

$$t^2 = 2R\Delta h + \Delta h^2; \quad (13)$$

$$t^2 = \Delta h(2R + \Delta h); \quad (14)$$

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h}. \quad (15)$$

Поскольку  $\Delta h$  мало по сравнению с  $R$  и  $t$ ,

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R}. \quad (16)$$

Для примера, при расстоянии  $t = 1000$  м получается  $\Delta h = 7,8$  см. точность определения высот в топографических измерениях порядка 5 см, поэтому влияние кривизны Земли необходимо учитывать.

## Глава 4

### Основные геодезические чертежи

#### § 12. Понятие о плане и карте.

До недавнего времени карту определяли как уменьшенное изображение земной поверхности на плоскости. Но такое определение неточно и неполно. Карту от других изображений земной поверхности отличают следующие особенности: математически определенное построение, использование особых знаковых систем (картографических символов), отбор и обобщение изображаемых явлений, а так же системное отображение действительности. Математически определенное построение карт заключается в установлении строгой математической зависимости между географическими координатами точек земной поверхности и прямоугольными – тех же точек на плоскости. Этот процесс включает в себя два действия – проецирование физической поверхности Земли, отличающейся сложным рельефом, картографируемых явлений и объектов на математическую поверхность, за которую принимают поверхность референц – эллипсоида, а также изображение поверхности эллипсоида в требуемом масштабе на плоскости. Для перехода от поверхности эллипсоида к плоскости используют те или иные математические способы, называемые картографическими проекциями.

Топографическим планом называется уменьшенное и подобное картографическое изображение на плоскости ортогональной проекции небольшого участка местности, в пределах которого кривизна урванной поверхности не учитывается.

При составлении плана измеренные на местности линии ортогонально проецируются на горизонтальную плоскость. Горизонтальную проекцию линии  $D$  – горизонтальное проложение  $d$  (рис. 8,б) определяют по

формуле

$$d = D \cos \nu, \quad (17)$$

где  $D$  – расстояние, измеренное между точками  $A$  и  $B$  на местности;  $\nu$  – угол наклона местности.

Иначе этот метод называется методом горизонтальной проекции и применяется при выполнении геодезических работ для отображения их данных на горизонтальной плоскости в виде числовых величин и картографических чертежей. Точки контура  $ABCM$  земной поверхности (рис. 8, а) проецируют на уровенную поверхность  $P_y$  отвесными линиями. На уровенной поверхности точки  $a', b', c', t'$  линии  $t'a', t'c', a'b', \dots$ , а также контур  $a'b'c't'$  представляют отвесные проекции соответствующих элементов контура  $ABCM$ . Для ограниченной территории на горизонтальной плоскости  $P_r$  ортогональная проекция осуществляется практически параллельными вертикальными лучами: получаются точки  $a, b, c, t$ ; линии  $ta, tc, ab, \dots$ , а также контур  $abct$ . В инженерной практике горизонтальную плоскость  $P_r$  приближают к уровенной поверхности на территории города, промышленного предприятия.

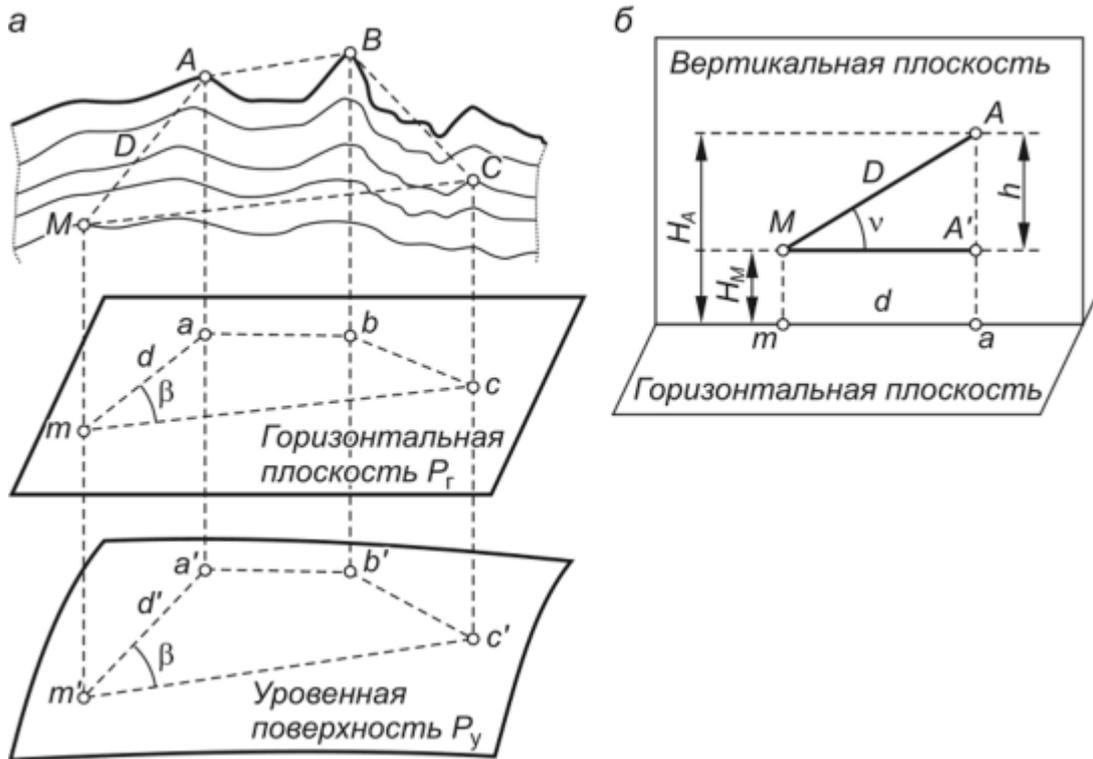


Рис. 8 Ортогональная проекция местности:

а - на горизонтальную плоскость и уровенную поверхность;

б - горизонтальное проложение

### § 13. Масштабы.

*Масштабом плана* называется отношение длины отрезка на плане к длине горизонтального проложения соответствующего отрезка на местности. Масштаб плана постоянен во всех его частях. На картах различают частный масштаб и главный масштаб.

*Частный масштаб* есть отношение бесконечно малого отрезка  $\Delta d$  на карте (на плоскости) к

соответствующему ему отрезку на поверхности эллипсоида  $\Delta S$ :

$$\frac{1}{m} = \frac{\Delta d}{\Delta S}. \quad (18)$$

Масштаб карты различен в разных ее точках: на карте указывается обычно единственное значение масштаба – *главный* (или *общий*) *масштаб*. На картах, охватывающих большие территории, имеются значительные отклонения частных масштабов от главного. Поэтому на таких картах указывают точки или линии картографической сетки, на которых соблюдается главный масштаб. Например, масштаб 1:2 000 000 на параллели 45°. Главным масштабом можно пользоваться по всей карте без ущерба для точности при работе с топографическими (картами масштабов 1:1 000 000 и крупнее).

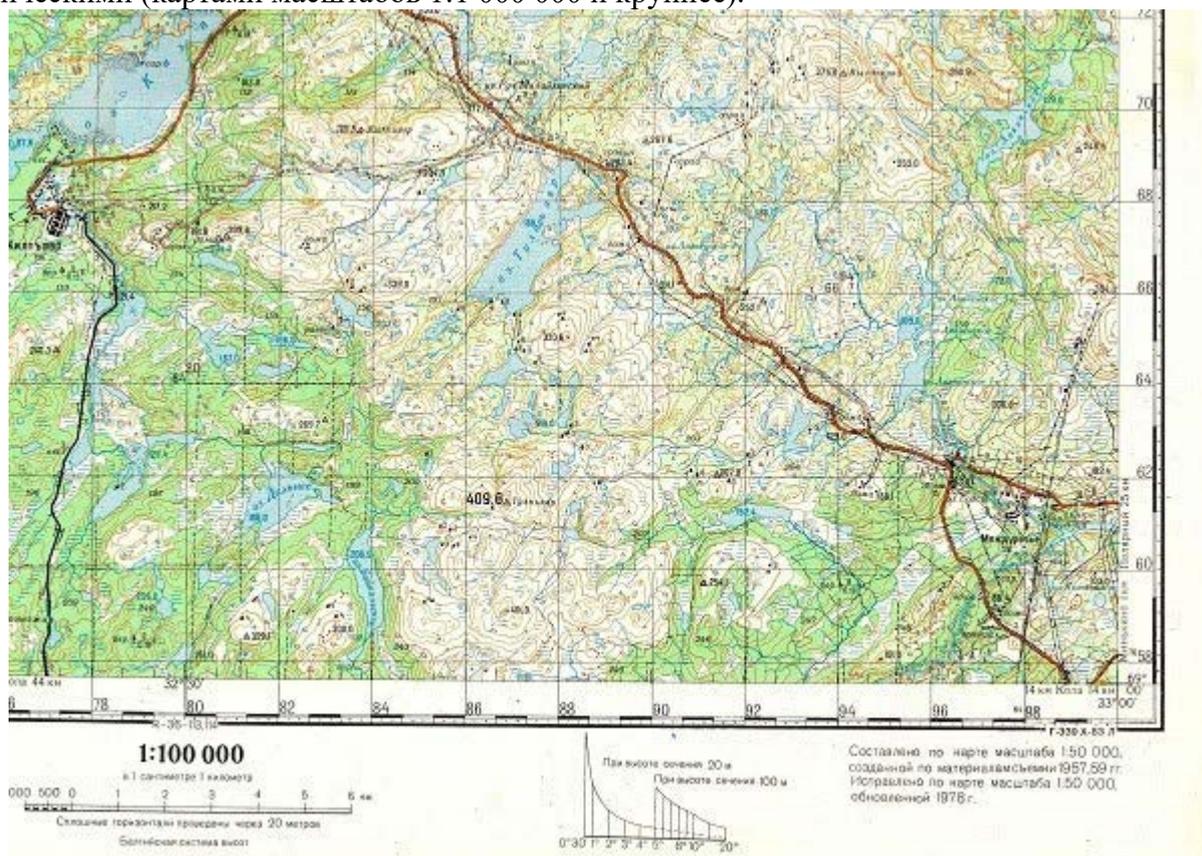


Рис.9. Изображение масштабов на листе топографической карты.

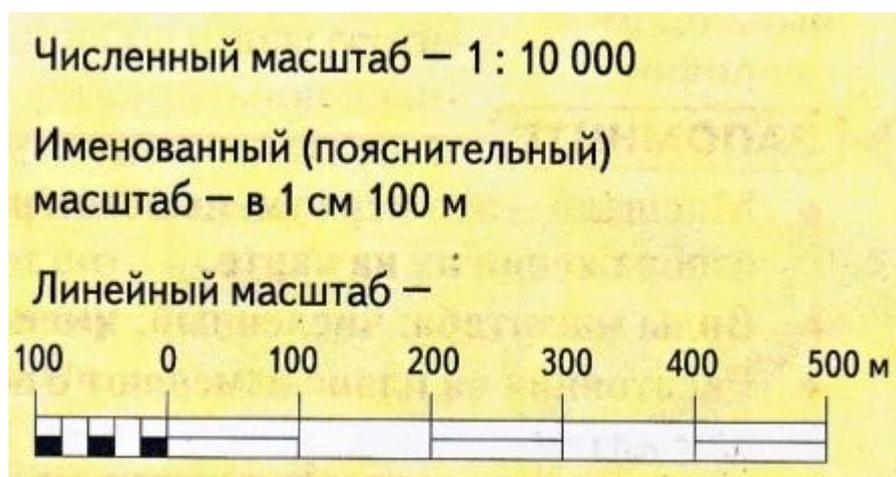


Рис.10. Численный, именованный и линейный масштабы.

По способу выражения различают численный, графический и именованный масштабы.

Численный масштаб выражают в виде простой дроби  $1/M$ . Знаменатель масштаба является отвлеченным

числом, показывающим, во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения линий местности при изображении их на карте. Чем больше знаменатель численного масштаба  $M$ , тем масштаб мельче, и наоборот, чем меньше знаменатель  $M$ , тем крупнее масштаб.

При пользовании численным масштабом приходится выполнять вычисления, которые при большом объеме работ занимают значительное время. В этих случаях пользуются графическим масштабом (линейным или поперечным).

Именованный масштаб указывает длину линии на местности, соответствующую определенному отрезку на карте (например, в 1 см 10 км).

### *Точность масштаба*

Невооруженный глаз может различать на карте отрезок не менее 0,1 мм. Горизонтальный отрезок на местности, соответствующий на карте 0,1 мм, называется точностью масштаба. Точность масштабов 1:1 000 000, 1:100 000 и 1:25 000 соответственно равна 100, 10 и 2,5 м.

Картографическая проекция – математически определенный способ изображения поверхности земного эллипсоида на плоскости, при котором каждой точке земного эллипсоида соответствует взаимно-однозначная точка плоскости.

Общие формулы картографических проекций, связывающие геодезические координаты точки  $B, L$  на эллипсоиде с прямоугольными координатами ее на плоскости, следующие:

$$x = f_1(B, L), \quad (19)$$

$$y = f_2(B, L). \quad (20)$$

Эти формулы позволяют вычислять прямоугольные координаты изображаемой точки по геодезическим координатам  $B$  и  $L$ . Число проекций и, следовательно, формул проекций множество. Необходимым условием каждой проекции является однозначное соответствие точек с координатами  $B, L$  на эллипсоиде точкам с координатами  $x, y$  на плоскости и непрерывность изображения.

Поверхность эллипсоида (или шара) невозможно развернуть на плоскость без деформаций (сжатия или растяжения), поэтому требование непрерывности и однозначности изображения приводит к деформации поверхности эллипсоида при изображении ее на плоскости. В результате масштаб изображения поверхности на плоскости в разных частях получается разным. Из теории математической картографии известно, что бесконечно малая окружность на поверхности эллипсоида изображается на плоскости эллипсом, называемом *эллипсом искажений*.

Масштаб изображения зависит не только от положения точки, он изменяется от точки к точке в зависимости от направления. На карте различают главный (или общий) масштаб и частный масштаб. Отличие частного масштаба от главного характеризует искажение длины.

Искажение площади характеризуется отношением площади эллипса искажений  $dP'$  на карте к площади  $dP$  соответствующего бесконечно малого круга на эллипсоиде.

$$n = \frac{dP'}{dP}. \quad (21)$$

Искажением угла называют разность между углом, образованным двумя линиями на эллипсоиде, и изображением этого угла на карте. Искажения углов различны для различных направлений, выходящих из точки. В качестве характеристики искажения углов в данной точке указывается наибольшее значение искажения.

Картографических проекций без искажений не существует. В проекциях без искажений сохранялись бы подобие и пропорциональность геометрических фигур на всей земной поверхности, что возможно только на модели земного эллипсоида. Однако имеются проекции, свободные от искажений углов или искажений площадей.

Проекции классифицируют по двум признакам: по характеру искажений и по виду координатной сетки. По характеру искажений различают равноугольные, равновеликие и произвольные проекции.

*Равноугольные проекции* передают без искажения углы геометрических фигур.

*Равновеликие проекции* сохраняют площади (масштаб площадей в каждой точке одинаков), но сильно

нарушают подобие фигур.

Имеется множество проекций, которые не являются ни равновеликими, ни равноугольными и которые называются *произвольными*.

В большинстве случаев при создании карт пользуются географическими координатами – широтой  $\varphi$  и долготой  $\lambda$ . В картографической проекции (на карте) географическая система координат задается картографической сеткой параллелей и меридианов, которая называется *основной*. Кроме основной в картографии пользуются нормальной картографической сеткой.

Во многих проекциях основная и нормальная сетки совпадают, но иногда более простой вид в проекции имеет какая – либо другая сетка, которую можно построить на поверхности шара или эллипсоида. Для шара, например, применяется система сферических координат, аналогичная географической системе, однако ее полюс с географическими координатами  $\varphi_0$ ,  $\lambda_0$  может занимать различные положения. Координатные линии нормальной системы, аналогичные параллелям, называются альмукантаратами, а линии, аналогичные меридианам, – *вертикалами*.

Когда полюс нормальной системы совпадает с географическим полюсом ( $\varphi_0 = 90^\circ$ ), сеть вертикалов и альмукантаратов сливается с сетью меридианов и параллелей, основная и нормальная сетки совпадают и проекция называется нормальной. При совпадении полюса сферической системы с экватором ( $\varphi_0 = 0^\circ$ ) вертикалы и альмукантараты не совпадают с меридианами и параллелями, и проекция называется поперечной. В том случае, когда полюс сферической системы находится между полюсом и экватором ( $0 < \varphi_0 < 90^\circ$ ), вертикалы и альмукантараты также не совпадают с меридианами и параллелями, и проекция называется косою.

По виду меридианов и параллелей нормальной сетки различают проекции азимутальные, конические, цилиндрические, псевдоконические, поликонические, круговые и др.

Рассмотрим примеры некоторых картографических проекций.

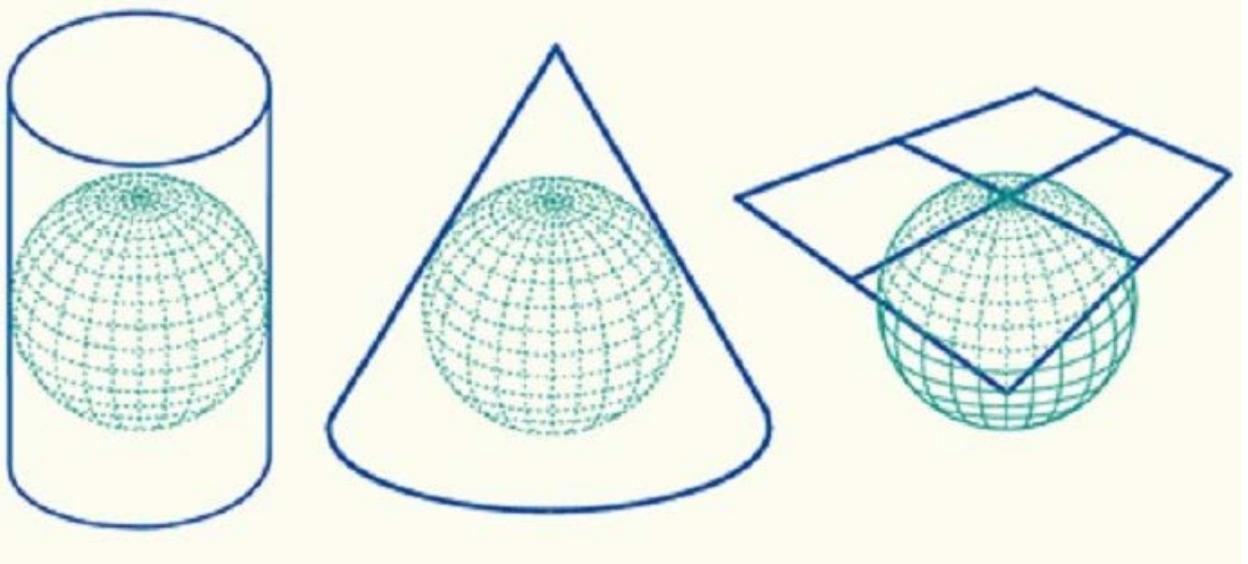


Рис.11. Виды проекций: цилиндрическая, конусная и азимутальная

#### *Азимутальные проекции*

В азимутальных проекциях альмукантараты изображаются концентрическими окружностями, вертикалы – в виде прямых, выходящих из центра этих окружностей; углы между вертикалами на проекции равны соответствующим углам в натуре. По положению центра сферических координат они могут быть нормальными, поперечными и косою.

Для примера на рис. 11в, приведена нормальная азимутальная проекция, применяющаяся для изображения полярных областей земного шара. В ней альмукантараты совпадают с параллелями, а вертикалы – с меридианами.

По характеру искажений азимутальные проекции могут быть самыми разнообразными.

#### *Конические проекции*

В конических проекциях альмукантараты сферической системы координат изображаются дугами концентрических окружностей, а вертикалы – прямыми, сходящимися в общем центре окружностей; углы между вертикалами пропорциональны соответствующим углам в натуре, коэффициент пропорциональности может принимать значения  $0 < k < 1$ . На рис. 11б, показана нормальная коническая проекция (в ней меридианы

совпадают с вертикалями, а параллели – с альмукантаратами).

Для пояснения построения конических проекций можно представить, что поверхность эллипсоида или шара изображается на боковой поверхности конуса (касательной или секущей), определенным образом ориентированной относительно оси вращения эллипсоида или шара. Затем поверхность конуса разворачивается в плоскость.

В косых и поперечных конических проекциях меридианы и параллели изображаются сложными кривыми.

#### *Цилиндрические проекции*

Схематически построение таких проекций можно пояснить, если представить, что поверхность эллипсоида (или шара) проектируется на боковую поверхность цилиндра, касательную или секущую, и определенным образом ориентированную относительно эллипсоида или шара. Боковая поверхность цилиндра разрезается по одной из образующих и разворачивается в плоскость.

При совпадении оси цилиндра с осью эллипсоида получается нормальная цилиндрическая проекция. При пересечении этих осей под прямым углом получается поперечная. Когда ось цилиндра и ось земного эллипсоида пересекаются под острым или тупым углом, получаются косые цилиндрические проекции.

На рис. 11а, показана нормальная цилиндрическая проекция. В этой проекции меридианы изображены прямыми, параллельными между собой и отстоящими друг от друга на расстояниях, пропорциональных разности соответствующих долгот, а параллели изображены прямыми, перпендикулярными к меридианам.

При этом земную поверхность разделяют меридианами и параллелями на правильные трапеции, размер сторон которых устанавливается в зависимости от масштаба карты, для обозначения трапеций используется специальная система.

Поверхность Земли, заключенная в трапеции, изображается на плоскости с использованием одной из проекций (конической, поликонической и т.д.).

## § 14. Условные знаки и их классификация.

Картографическими условными знаками называют графические символы, применяемые на картах для обозначения различных объектов и их характеристик. Кратко их называют условными знаками. Они указывают: вид объекта (колодец, шоссе, болото и т.д.); количественные и качественные характеристики его (дебит колодца, вид покрытия, ширину проезжей части шоссе, проходимость болота и т.д.); пространственное положение, плановые размеры и форму объекта.

Различают внемасштабные, линейные и площадные условные знаки. *Внемасштабные знаки* определяют местоположение (точку) предмета, а размеры предметов по ним определить нельзя, например, родники, геодезические пункты, отдельно стоящие деревья.

*Линейными условными знаками* изображают объекты, имеющие значительную протяженность (границы, дороги, линии связи, трубопроводы и др.). *Площадными (масштабными) условными знаками* обозначают объекты, изображение которых подобно оригиналу (по ним можно определить размеры и форму объектов).

Для топографических карт каждого масштаба применяются единые топографические условные знаки. Условные топографические знаки выбираются такими, чтобы они давали ясное и наглядное представление о местности и по своему начертанию напоминали бы вид и характер изображаемых предметов. Хорошее знание условных знаков необходимо для того, чтобы по карте можно было представить изображаемую местность. Примеры условных топографических знаков приведены на рис. 12.

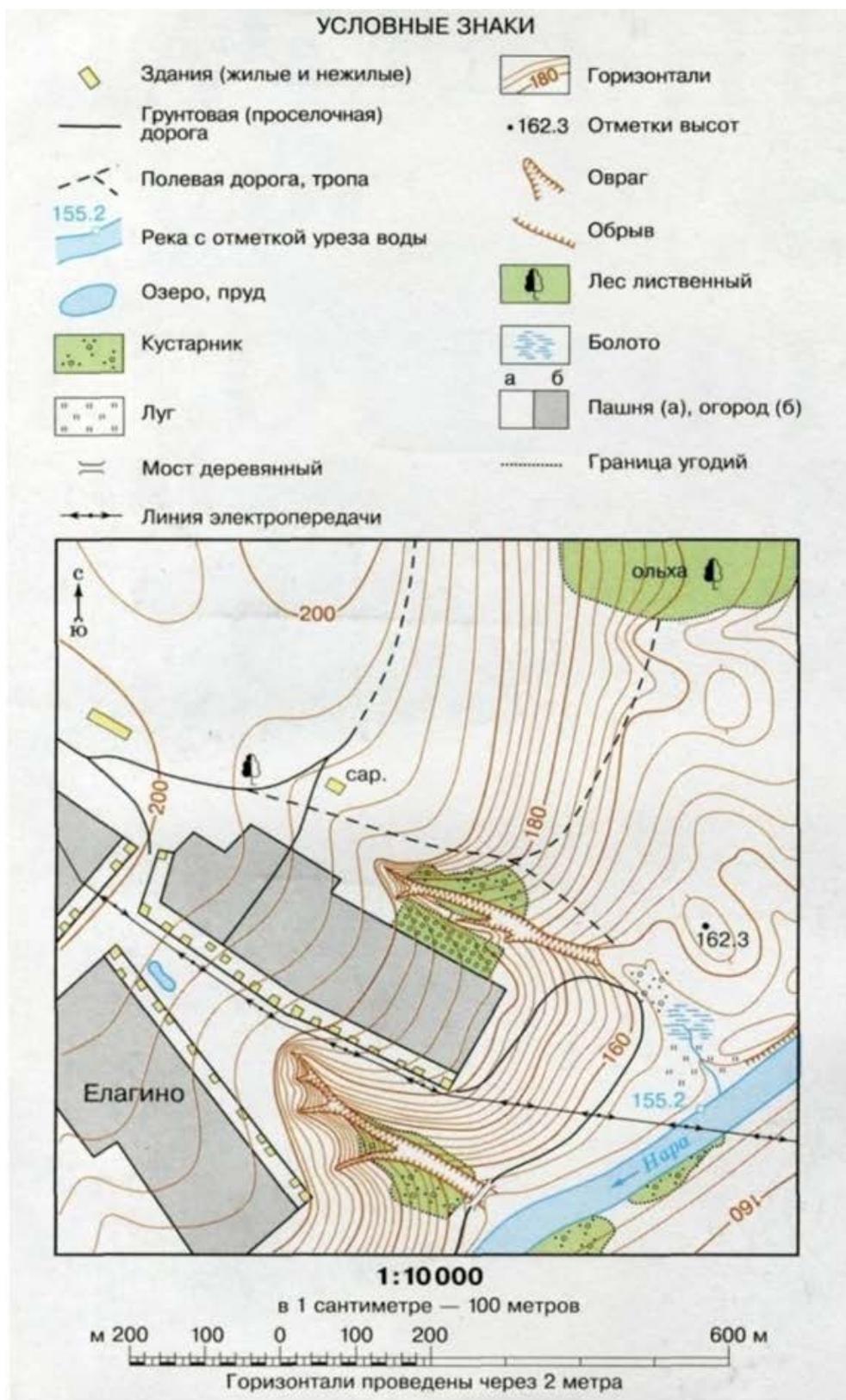


Рис.12. Пример условных знаков

Условные знаки, которые применяются на топографических картах и планах, являются обязательными для всех организаций, ведущих топографические работы.

В зависимости от масштаба создаваемого плана или карты используются и соответствующие условные знаки. В нашей стране в настоящее время действующими условными знаками являются:

Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10000. М.: Недра, 1977.

Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М.: Недра, 1973.

Условные знаки, образцы шрифтов и сокращения для топографических карт масштабов 1:25000, 1:50000, 1:100000. М.: Недра, 1963.

Условные знаки для удобства пользования сгруппированы по однородным признакам и помещены в таблицы, состоящие из порядкового номера, названия условного знака и его изображения. В конце таблиц помещены пояснения по применению и *вычерчиванию условных знаков*, а также алфавитный указатель условных знаков с их порядковыми номерами, перечень сокращений пояснительных надписей, образцы рамочного оформления и образцы шрифтов с указанием названия шрифта, его размера и индекса по "Альбому картографических шрифтов".

### § 15. Изображение рельефа на планах и картах.

Рельеф местности – это совокупность неровностей земной поверхности. Рельеф – весьма сложная для изображения поверхность. Сложность изображения рельефа связана с тем, что обычно мы наблюдаем его в перспективе, тогда как на карте его изображают ортогонально. Для топографических карт основным методом изображения рельефа является метод горизонталей (изогипс).

*Горизонталь* – замкнутая кривая линия, изображающая геометрическое место точек земной поверхности одинаковой высоты. Отдельно взятая горизонталь недостаточна для изображения элементов рельефа. Для передачи поверхности необходима система таких линий. Чтобы представить геометрическую сущность горизонталей, вообразим бассейн, в середине которого находится участок земной поверхности. Отметим береговую линию уреза воды, далее будем снижать уровень воды равными ступенями и отмечать полученные замкнутые кривые, представляющие собой горизонталю (рис. 17). Расстояние между соседними горизонталями по отвесной линии  $h$  называется *высотой сечения рельефа*; значение высоты сечения указывается на каждом листе карты под линейным масштабом. Расстояние между горизонталями в плане  $d$  называется *заложением*.

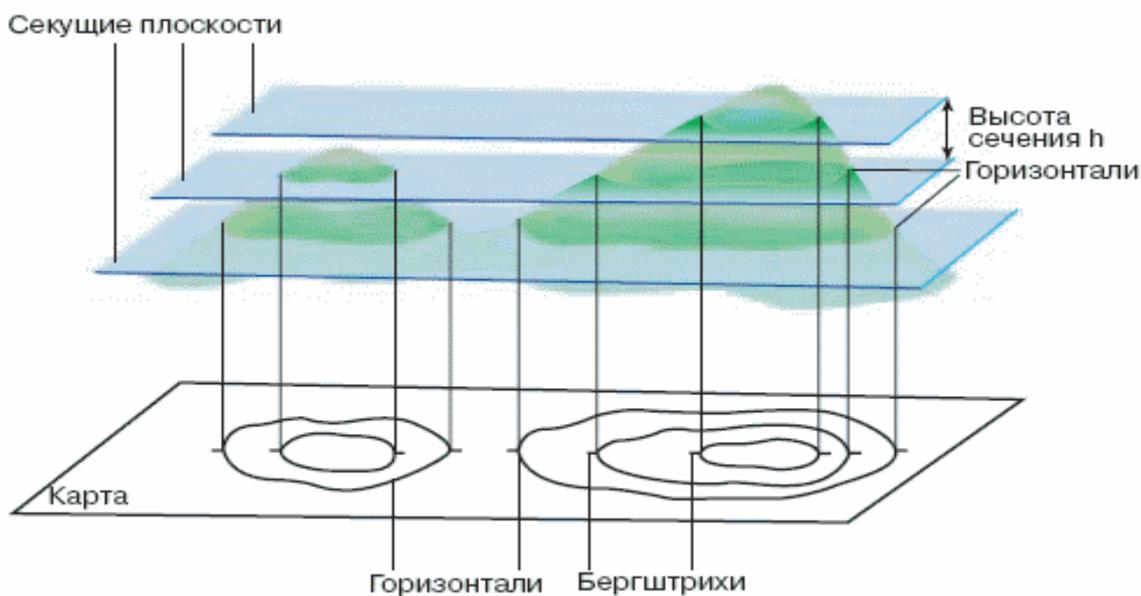


Рис 13. Построения горизонталей

Из определения горизонталей вытекают следующие их свойства: горизонталю – замкнутые кривые; горизонталю не могут пересекаться; чем меньше расстояние между горизонталями на карте данного масштаба, тем круче скат на местности.

Выбор высоты сечения рельефа связан с масштабом карты и характером рельефа. На обзорных картах важно видеть крупные и средние формы рельефа, для изображения которых применяется относительно большая высота сечения. На картах крупного масштаба должны быть показаны и малые формы, поэтому для их изображения применяют небольшую высоту сечения.

Получается, что чем меньше высота сечения, тем подробнее изображается рельеф. Существует определенное ограничение в изображении крутых склонов. Так, в 1 мм практически невозможно провести более четырех параллельных линий, с тем чтобы зрительно они воспринимались отдельно. Если предположить, что  $\nu$  – предельный угол склона участка местности, изображаемой горизонталями, а  $AC$  – минимальное горизонтальное расстояние между соседними горизонталями (0,25 мм на карте и 0,25 м, мм в натуре, где  $m$  – знаменатель численного масштаба карты), то значение минимальной высоты сечения (в мм) можно определить по формуле

$$h = AC \operatorname{tg} \nu = 0,25 m \operatorname{tg} \nu. \quad (22)$$

Для топографических карт приняты высоты сечения рельефа, указанные в табл. 2.

Средняя ошибка съемки рельефа – 1/3 высоты сечения. Средние ошибки высот характерных точек, подписываемых на карте, не должны превышать 75% средних ошибок съемки рельефа, а в горных и высокогорных районах должно соблюдаться соответствие числа горизонталей разности высот между перегибами склона.

Средние ошибки в положении горизонталей по высоте, относительно ближайших точек съемочного обоснования, на картах масштабов 1:50 000 и 1:100 000 плоскоравнинных районов не должны превышать соответственно 3 и 6 м, а равнинных, пересеченных и всхолмленных районов, с преобладающими углами наклона поверхности до 6° - 4 и 9 м. Предельные ошибки по высоте, превышающие удвоенные значения средних ошибок, на картах недопустимы.

Таблица 3 **Высота сечения рельефа на топографических картах**

Характеристика территории	Высота сечения рельефа (м) для масштабов				
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000
Плоскоравнинные с уклоном местности до 1°	1,0	2,5	10	20	20
Равнинные с уклоном	1,0*; 2,0	2,5; 5,0**	10	20	20 местности от 1 до 2°
Равнинные пересеченные и всхолмленные с уклоном местности от 2 до 6°	2,0 (2,5)	2,5***; 5,0	10	20	20
Высокогорные	–	10	20	40	80

\* В районах мелиоративного строительства

\*\* В залесенных районах

\*\*\* В открытых районах при уклонах до 4°

Ошибки в положении горизонталей на картах залесенных районов не должны превышать удвоенных ошибок, установленных для карт соответствующих незалесенных районов.

На картах горных, высокогорных районов, а также районов песчаных пустынь горизонтали должны географически правильно отображать формы рельефа, согласовываться с подписанными на картах отметками высот и высотами, определенными на перегибах склонов.

При помощи приведенных в табл. 3 сечений изображают склоны, крутизна которых не превышает 40°, при большей крутизне горизонтали сливаются.

В некоторых случаях установленные высоты сечения не обеспечивают передачу характерных особенностей рельефа. Для преодоления этих трудностей используют дополнительные горизонтали или применяют разные сечения рельефа для горных и равнинных районов.

Дополнительные горизонтали вычерчиваются прерывистыми линиями и применяются по мере

необходимости для изображения деталей и форм, характерных для данного рельефа, но не изображенных основными горизонталями. Если необходимо, на картах проводят полугоризонталы или четвертьгоризонталы, т.е. горизонталы, кратные половине или четверти основного сечения. Иногда введение полугоризонталей или четвертьгоризонталей оказывается недостаточным. Так, в Прикаспийской низменности эти горизонталы не всегда отражают такие характерные формы рельефа, как лиманы (обширные понижения глубиной 1-2 м). В таких случаях вводят вспомогательные горизонталы произвольного сечения с обязательной подписью их высоты. Обычно на топографических картах в пределах отдельного листа высота сечения остается постоянной. Это необходимо для правильной передачи крутизны склонов. Изменение высоты сечения при изображении рельефа на отдельном листе создало бы на граничной горизонтали впечатление перегиба скатов.

Из табл. 3 следует, что высота сечения рельефа увеличивается с уменьшением масштаба карты. Увеличение сечения, пропорциональное уменьшению масштаба на картах мелкомасштабных, приводит к тому, что рельеф низменностей не изображается. Чтобы избежать этого, применяют так называемую шкалу горизонталей, в которой высота сечения увеличивается с увеличением высоты местности. Для карт масштабов 1:500 000 и 1:1 000 000 в России применяется шкала горизонталей, приведенная ниже.

Высотные пояса, м.....	150 – 500	500 – 1000	выше 1000
		(500 - 2000 для 1:500 000)	(выше 2000 для 1:500 000)
Высота сечения, м .....	50	100	200

Шкалу горизонталей выбирают в результате изучения рельефа изображаемой территории. При этом используют профили местности по характерным направлениям. Для правильного изображения рельефа необходимо, чтобы высота сечения была бы меньше относительной высоты форм рельефа, изображение которых обязательно, иначе на карте вместо расчлененных горных систем может изображиться плато. Помимо чисто математической передачи горизонталями рельефа как линиями равных высот, горизонталы своими очертаниями передают тип рельефа. Резким формам рельефа соответствуют извилистые и угловатые горизонталы, мягким формам – круглые и плавные.

Из многообразных форм рельефа в топографии выделяют следующие характерные формы (рис. 14).

*Гора, холм, стопка.* Основание горы называется подошвой, а ее наивысшая точка – вершиной. Вершина, имеющая форму пощадки, называется плато, а остrokонечная вершина – пиком.

*Котловина или впадина* – это чашеобразное, замкнутое со всех сторон, углубление. Самая низкая часть котловины называется дном, верхняя ее часть называется бровкой.

*Хребет* – вытянутая возвышенность, постепенно понижающаяся в одном направлении. Если на карте провести линию через точки с наибольшей кривизной горизонталей, изображающих хребет, то получится линия водораздела.

*Лощина* – вытянутое углубление местности, постепенно понижающееся в одном направлении. По лощине через точки с наибольшей кривизной горизонталей проходит линия водотока (водослив или тальвег).

*Седловина* – понижение между двумя соседними вершинами. В горах перевалы обычно приурочены к седловинам.

Вершина горы, дно котловины, низкая точка седловины называются характерными точками рельефа, а водораздел и тальвег – *характерными линиями рельефа*.

Очертания горизонталей, изображающих гору и котловину, лощину и хребет, похожи, поэтому для облегчения чтения рельефа на некоторых горизонталях проводят короткие черточки в направлении ската, называемые *бергштрихами*. Надписи высот горизонталей делают таким образом, чтобы основания цифр были направлены в сторону понижения местности.

Горизонталы удобны для изображения форм рельефа со сравнительно плавными изменениями высоты, но они не подходят для передачи резких изменений высот, например, обрывов, скалистых гребней, трещин, крутостенных оврагов. С помощью горизонталей невозможно показать микроформы рельефа и немасштабные объекты, даже если их относительная высота больше сечения рельефа.

Для преодоления этих недостатков на топографических картах применяют специальные условные знаки. Так, например, при изображении микроформ рельефа (кочковатых поверхностей, болотных бугров, подвижных гряд песков) указывают внешний контур микроформ и, если надо, указывают количественные характеристики

этих микроформ. При изображении микроформ стремятся не только показывать границы распространения определенных форм, но и отражают закономерности их образования и размещения, например, ориентирование грядовых песков, барханов, дюн.

Выявление и правильное изображение микроформ рельефа и их динамики является одной из задач топографического дешифрирования аэро – и космических снимков. Единичные формы рельефа, не выражающиеся в масштабе карты, но имеющие значения ориентиров или являющиеся препятствиями при движении по местности, показывают немасштабными условными знаками. Сюда относятся скалы – останцы, валуны, курганы, пещеры, уступы, промоины, карстовые воронки. Для изображения естественных форм рельефа условным знакам присваивают коричневый цвет, а для форм, возникших в результате деятельности человека, – черный (карьеры, терриконы, дамбы, дорожные насыпи и выемки и т.д.). специальные знаки применяются для изображения динамических форм рельефа, например, барханов, оползневых склонов, растущих оврагов.

Для определения высот точек местности по горизонталям необходимо знать их высоты, поэтому подписи высот горизонталей делают так, чтобы легко можно было найти высоту любой горизонтали. Нахождение высот горизонталей облегчается, когда некоторые из них (например, пятые) утолщены.

С целью повышения наглядности изображения рельефа горизонталями применяют способ гипсометрической или послойной окраски (отмывки). При разработке шкалы послойной окраски важно, чтобы ступени шкалы (цвета и оттенки) ясно различались между собой, а расцветка всех ступеней шкалы, независимо от разнообразия красок, была гармоничной.

Шкалы гипсометрической окраски на картах масштабов 1:500 000 и 1:1 000 000 применяются в зависимости от высоты горных районов, начиная с 500 м. Отмывка горного рельефа производится при абсолютных высотах более 500 м и превышениях более 300 м, а рельефа высокогорных районов – при превышениях более 500 м.

Карты можно классифицировать по ряду признаков: масштабу, территориальному охвату, теме, назначению, математической основе и т.п.

При классификации карт по тематике (содержанию) прежде всего различают карты общегеографические и тематические. В свою очередь общегеографические карты подразделяются на обзорные, обзорно – топографические и топографические.

Если классифицировать карты по масштабу, то можно выделить : мелкомасштабные (мельче 1:1 000 000), среднемасштабные (мельче 1:200 000) и крупномасштабные (1:200 000 и крупнее).

Топографические карты имеют свое деление по масштабам: мелкомасштабные (1:50 000; 1:100 000; 1:200 000), среднемасштабные (1:10 000; 1:25 000), крупномасштабные или топографические планы (1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000).

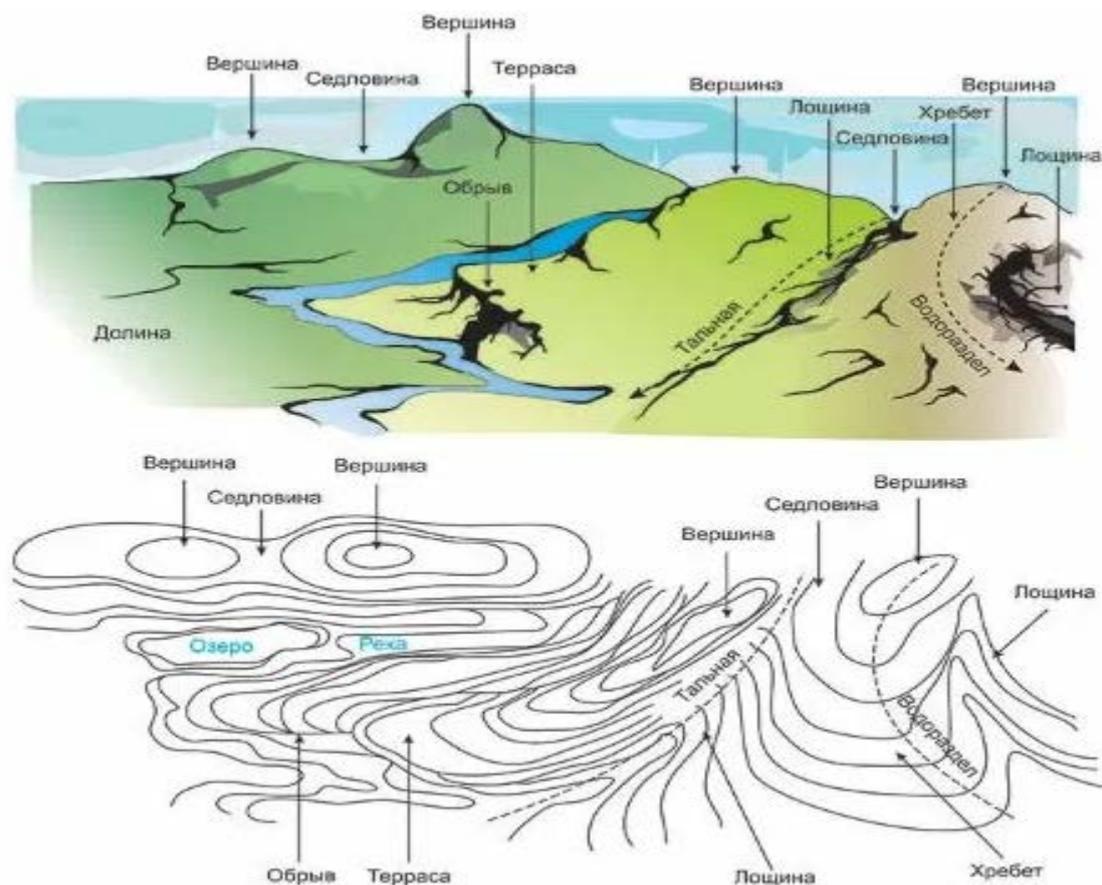


Рис 14 . Основные формы рельефа

### § 16. Номенклатура карт и планов.

Топографические карты России создаются в равноугольной поперечно – цилиндрической проекции Гаусса – Крюгера. Система высот на этих картах Балтийская. Поскольку топографические карты многолистные, для обозначения каждого листа карты применяется специальная система обозначений листов – *номенклатура*.

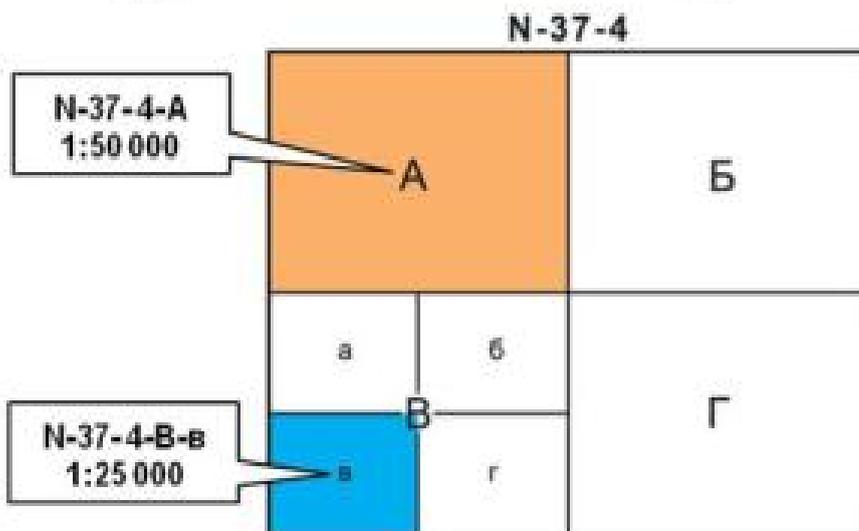
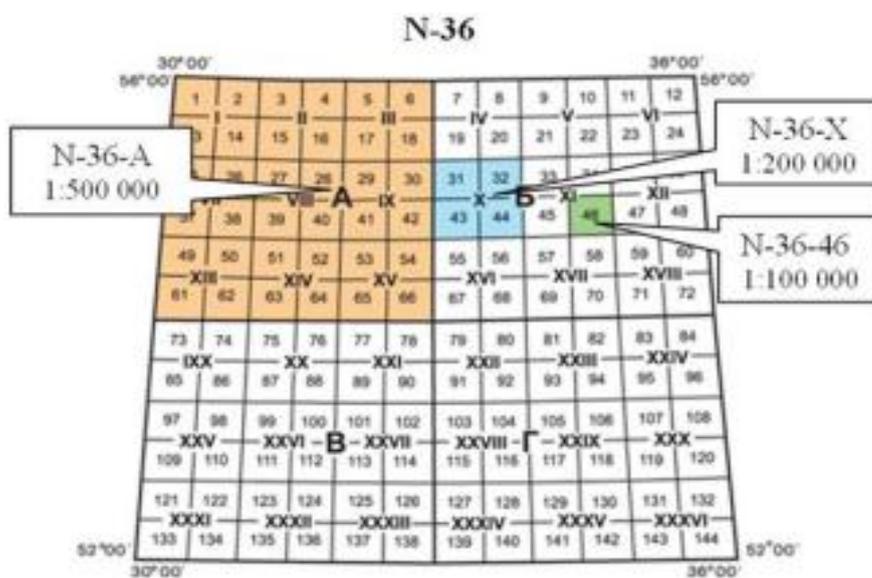
Система деления карт на листы называется разграфкой. Для топографических карт и планов используют две системы разграфки. Так, для карт мелких, средних и большинства крупных масштабов границами листов карт служат линии картографической сетки (линии меридианов и параллелей). А для некоторых планов масштабов 1:1000 и 1:500 границами листов служат линии прямоугольной координатной сетки (координатные линии).

Таблица 5

Масштаб	Размеры листа		Средняя площадь листа на широте, 54, км <sup>2</sup>	Количество листов в одном листе карты 1:1 000 000	Номенклатура
	По широте	По долготe			
1:1 000 000	4°	6°	175 104	1	N - 38
1:500 000	2°	3°	43 776	4	N - 38 - A
1:200 000	40'	1°	4864	36	N - 38 - XXII
1:100 000	20'	30'	1216	144	N - 38 - 133

1:50 000	10'	15'	306	576	<i>N</i> – 38 – 133 - A
1:25 000	5'	7°30'	76	2304	<i>N</i> –38–133–A–a
1:10 000	2'30"	3'45"	19	9216	<i>N</i> –38–133–A–a–2
1:5000	1'15"	1'52,5"	–	–	<i>N</i> –38–133–(251)
1:2000	25"	37,5"	–	–	<i>N</i> –38–133–(125–e)

В основу номенклатуры российских карт положена международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Лист карты этого масштаба занимает  $4^\circ$  по широте и  $6^\circ$  по долготе (табл.5). При делении поверхности земного шара (рис. 15) параллелями от экватора через  $4^\circ$  получаются *пояса*, которые обозначаются буквами латинского алфавита от A до V, начиная от экватора к северу и к югу. А при делении меридианами через  $6^\circ$  образуются *колонны*, которые нумеруются арабскими цифрами, начиная от меридиана с долготой  $180^\circ$  в направлении с запада на восток. Номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000 складывается из буквы, которой обозначен пояс, и из номера колонны. На рис. 15 лист имеет номенклатуру *N* – 36.



## N-37-144

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17		19		21		23		25		27		29			32
33			36		38		40		42		44		46		48
49		51		53		55		57		59		61			64
65			68		70		72		74		76		78		80
81		83		85		87		89		91		93			96
97			100		102		104		106		108		110		112
113		115		117		119		121		123		125		127	128
129	130		132		134		136		138		140		142		144
145		147		149		151		153		155		157		159	160
161			164		166		168		170		172		174		176
177		179		181		183		185		187		189		191	192
193			196		198		200		202		204		206		208
209		211		213		215		217		219		221		223	224
225			228		230		232		234		236		238		240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256

M 1:10 000

Рис 15 а,б,в. Разграфка и номенклатура листов карт

Разграфка листов карты масштаба 1:500 000 производится делением каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 на четыре части (рис. 15, а). Номенклатура листа карты этого масштаба складывается из номенклатуры листа карты масштаба 1:1 000 000 и соответствующей заглавной буквы русского алфавита от А до Г. на рис. 15, а штриховкой показан лист карты масштаба 1:500 000 с номенклатурой N – 38.

Разграфка листов карты масштабов 1:200 000 и 1:100 000 выполняется делением каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 параллелями и меридианами соответственно на 36 и 144 части. На рис. 15,а – лист карты масштаба 1:200 000 с номенклатурой N – 36 – X. На рис. 15, в показана разграфка и обозначение листов карты масштаба 1:100 000, заштрихован лист с номенклатурой N–36–46.

Номенклатура карты масштаба 1:50 000 получается делением листа карты масштаба 1:100 000 (рис. 15,а) на четыре части, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита. На рис. 15, а показан цветом лист карты масштаба 1:50 000 с номенклатурой N–37–4–А.

Номенклатура листов карты масштабы 1:25 000 получается делением листа карты масштаба 1:50 000 на четыре части и обозначением частей строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, (рис. 15, б).

Номенклатура листов карты масштаба 1:10 000 образуется делением листа карты масштаба 1:25 000 на четыре части и обозначением получившихся частей арабскими цифрами 1, 2, 3, 4. на рис. 15, б штриховкой показан лист карты масштаба 1:25 000 с номенклатурой N–37–4–В-в и лист карты масштаба 1:10000 с номенклатурой N–37–144–Г-а -3.

Для разграфки масштаба 1:5000 лист карты масштаба 1:100000 делят на 256 частей, которые обозначают арабскими цифрами в скобках. А для разграфки карты масштаба 1:2000 лист карты масштаба 1:5000 делят на 9 частей и обозначают строчными буквами русского алфавита от а до и (Рис.16 а,б).

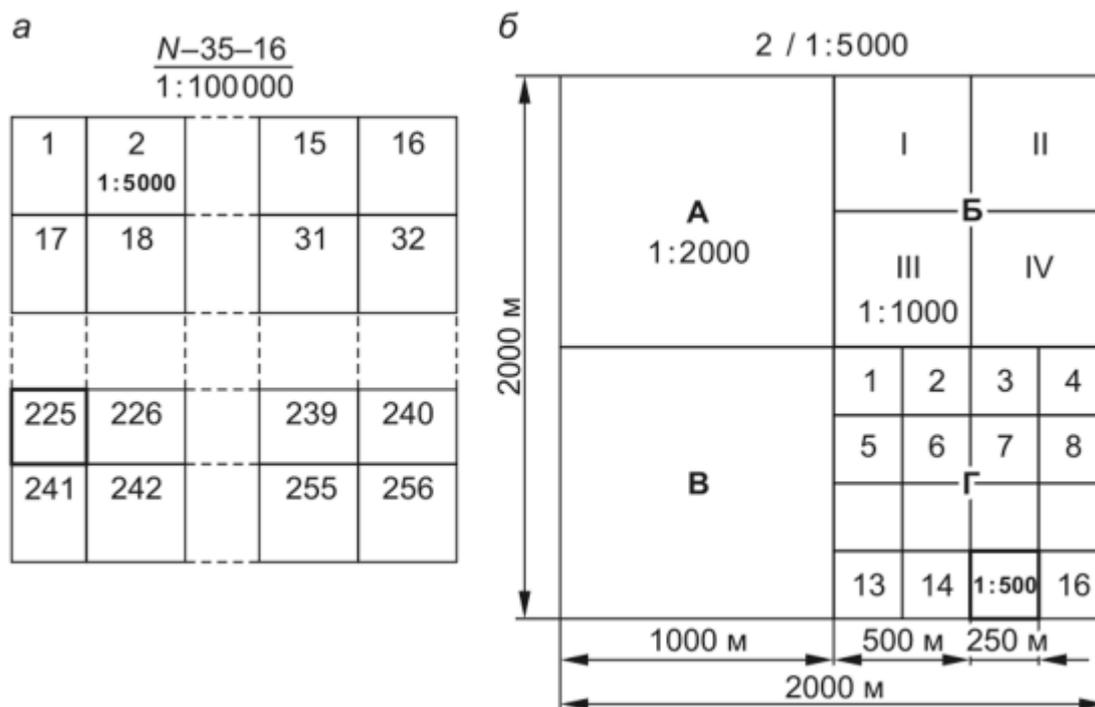


Рис.16 а,б. Разграфки карт масштаба 1:5000, 1:2000 и 1:1000

В высоких широтах листы топографических карт получаются узкими и неудобными для практического использования. Поэтому было принято, что к северу от параллели  $60^\circ$  листы топографических карт составляются и издаются сдвоенными по долготе, а севернее параллели  $76^\circ$  - счетверенными. В табл.1 приведены данные о разграфке листов топографических карт и планов различных масштабов.

Специфичной является разграфка и номенклатура морских навигационных карт. Размеры листов и их границы выбираются такими, чтобы каждый лист включал полностью определенную в навигационно – географическом отношении часть побережья или моря. Поэтому листы морских карт различны по своим размерам. Кроме того, листы морских карт имеют взаимные перекрытия (находы). Это делается для облегчения (при прокладке пути корабля) перенесения места корабля при переходе с одного листа на другой. Листам морских карт присваиваются в каждой стране свои порядковые номера (называемые гидрографическими и адмиралтейскими) по мере изготовления новых листов, независимо от их масштаба и моря.

Рамки всех навигационных карт, имеющих для бассейна, и номера, присвоенные картам (не повторяющихся на картах, издаваемых гидрографической службой страны), обозначаются на мелкомасштабной карте бассейна, которая называется *сборным листом*.

По сборному листу видна обеспеченность бассейна навигационными картами и по нему можно выбрать необходимые для навигации карты. Гидрографические службы разных стран издают каталоги карт, в которых помещают сборные листы. Каталоги карт сопровождают лоции – руководства для плавания, в которых содержатся описания водных бассейнов, поясняющие и дополняющие морские навигационные карты.

Генерализация в переводе обозначает обобщение. *Картографическая генерализация* – это отбор и обобщение изображаемых на карте объектов, соответственно назначению и масштабу карты и особенностям картографируемой территории.

Назначение карты воздействует на ее содержание. Например, общегеографическая карта и карта для преподавания географии в школе отличаются тем, что на первой помещено множество географических объектов, изображенных достаточно точно и детально, в то время как на второй число объектов значительно меньше и они показаны схематичнее и крупнее. Применение крупных условных знаков и шрифтов, и в связи с этим большая степень генерализации, вызваны назначением карты, демонстрируемой в классе на значительном расстоянии.

Масштаб карты во многом определяет размер изображенной на карте территории. Карты мелкого масштаба охватывают значительные территории. Карты крупного масштаба изображают в рамках отдельных листов небольшие участки земной поверхности, для больших территорий необходимо большое число листов

таких карт. Различный пространственный охват приводит к различному подходу в изображении деталей. То, что для участков небольшого размера является важной деталью, для больших территорий может оказаться второстепенным или совсем потерять значение. Например, на административной карте района подробно показывается сеть местных дорог, в том числе и грунтовых. На карте республики эти дороги явились бы балластом, поскольку на ней важно отчетливо показать дорожную сеть, связывающую районные и областные центры. Отсюда следует, что генерализация, связанная с масштабом, с уменьшением общего размера изображения, необходима не только из-за недостатка места, но и для перехода к обобщающим явлениям более высокого уровня.

Для пояснения фактора генерализации – отображения на карте особенностей картографируемой территории – укажем на то, что одни и те же объекты по – разному оцениваются для различных ландшафтов или для изображения различных явлений. Например, колодцы в населенных пунктах европейской территории СССР на топографических картах мелкого масштаба, как правило, не показывают, а на тех же картах пустынных и полупустынных районов – важнейший элемент содержания. При изображении рельефа в горной местности на картах применяют высоту сечения в два – четыре раза большую, чем в плоскоравнинной.

Задача генерализации состоит не только в устранении избыточной информации, но и в выявлении основных, существенных характеристик картографируемых явлений.

#### *Виды (принципы) генерализации*

В процессе генерализации отбирают картографируемые явления, обобщают их количественные и качественные характеристики, графически обобщают контуры изображаемых объектов и переходят от простых объектов к более сложным, применяют их собирательные обозначения.

Отбор картографируемых явлений связан с тем, что карта всегда отображает лишь некоторые явления действительности, существенные с точки зрения назначения карты, ее тематики, масштаба и особенностей территории. В ходе отбора руководствуются цензами, устанавливающими уровни отбора объектов разных категорий. Применяются исключительные цензы, по которым с карты устраняются объекты (например, все реки длиной менее 1 см в масштабе карты) и избирательные цензы, указывающие объекты, обязательно изображаемые на карте (например, все районные административные центры).

В ходе отбора устанавливают норму отбора или «норму представительства», т.е. назначают количество сохраняемых объектов, например, устанавливают для данной территории количество населенных пунктов, показываемых на 1 дм<sup>2</sup> карты (количество населенных пунктов, показываемых на 1 дм<sup>2</sup> карты масштаба 1:100 000, изменяется от 140 до 60 в зависимости от плотности и величины населенных пунктов на местности).

Обобщение количественной характеристики изображаемых объектов заключается в переходе от непрерывной шкалы к ступенчатой, в укрупнении интервалов (ступеней), внутри которых изменения количественной характеристики не находят на карте отражения. Например, на картах масштабов 1:10 000 – 1:100 000 четырехступенчатая градация сельских населенных пунктов (более 1000 жителей, от 500 до 1000 жителей, от 100 до 500 жителей и менее 100 жителей) заменяется двухступенчатой при переходе к карте масштаба 1:1 000 000 (более 1000 жителей и менее 1000 жителей).

Обобщение качественной характеристики применяется для сокращения качественных различий в данной категории объектов. Например, это достигается посредством замены дробных классификаций обобщенными (например, при переходе от карт топографических к географическим, заменяют особые знаки для лесов хвойных, лиственных и смешанных единым знаком леса), а также за счет исключения низких ступеней классификации (например, при характеристике населенных пунктов по административному признаку исключают особые знаки для районных центров и сельсоветов).

Геометрическая пространственная генерализация заключается в продуманном упрощении плановых очертаний изображаемых объектов – линейных, площадных – с сохранением особенностей очертаний, характерных для данного объекта. Один из приемов геометрической пространственной генерализации – применение внемасштабных условных знаков для изображения объектов «точечных» в натуре, или площади которых не выражаются в масштабе карты (геодезические пункты, указатели дорог, родники).

Замена отдельных объектов собирательными обозначениями, т.е. замена отдельных объектов обозначениями обобщающими, например, замена перемежающихся мелких контуров кустарника и луга обобщающим знаком кустарника по лугу без указания границ отдельных контуров.

Генерализация в передаче рельефа на карте необходима для выявления и отображения с помощью горизонталей и других способов типичных черт и характерных особенностей поверхности картографируемой местности. Поверхность земли обычно имеет множество мелких неровностей частного характера, избыток которых затемняет общие закономерности строения более крупных форм. В процессе генерализации за счет

исключения некоторых элементов и форм рельефа сохраняют и изображают на карте общие черты строения рельефа.

На картах разного масштаба одной и той же территории генерализация в изображении рельефа проявляется в увеличении высоты сечения рельефа и в результате обобщения очертания горизонталей. За счет этого на карте не изображаются мелкие формы рельефа, оказывающиеся внутри увеличенных высотных ступеней. В табл. 2 показаны высоты сечения рельефа, назначаемые в зависимости от масштаба топографической карты и характеристики территории.

Очень важно сохранить особенности картографируемых объектов, поэтому на картах стремятся выделять структурные линии рельефа: водоразделы, тальвеги, бровки и подошвы склонов. Этим достигается правильная передача взаимосвязей форм рельефа.

Горные склоны с угловатыми характеристиками расчленяющих форм передают на картах угловатыми изгибами горизонталей в полном соответствии с натурой.

## Глава 5

### Практическое использование карты (плана)

#### § 17. Определение координат точек по карте. Определение географических координат.

##### Определение прямоугольных координат.

Положение в точке  $A$  в системе географических координат  $(\varphi, \lambda)$  будет определено, если будут известны широта параллели и долгота меридиана, проходящих через эту точку.

Изображение местности на отдельном листе топографической карты ограничено линиями внутренней рамки карты: параллелями – с юга и с севера, меридианами – с запада и с востока. В вершинах углов рамки подписаны их широта и долгота. Внутри листа карты линии меридианов и параллелей не нанесены. Однако их можно построить, используя специальную разграфку линий по широте и по долготы, имеющуюся за внутренней рамкой листа топографической карты (рис. 17).

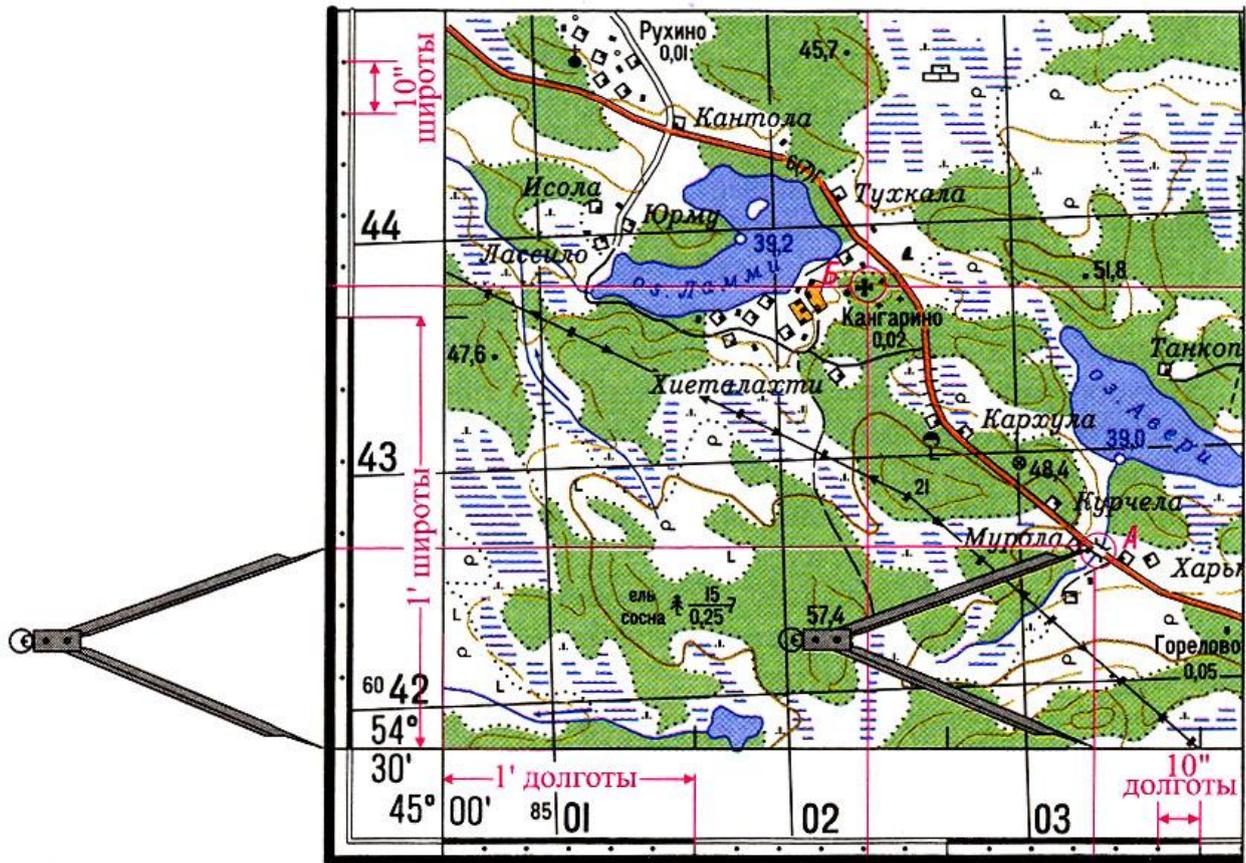


Рис 17. Определение долготы и широты точки по карте

Для определения широты ( $\varphi_A$ ) точки  $A$  проводят по карте через одноименные минуты западной и восточной сторон рамки ближайшую к точке с юга параллель. Для определения секунд широты из точки  $A$  опускают на эту параллель перпендикуляр  $AA_1$  (Рис. 17) и измеряют его длину  $l$  в мм. Измеряют по минутной рамке отрезок параллели, соответствующий одной минуте широты –  $L$  мм. Пользуясь измеренными величинами, составляют пропорцию:

$$L, \text{ мм} - 60'' , l, \text{ мм} - \Delta\varphi''$$

и определяют число секунд широты  $\Delta\varphi''$ :

$$\Delta\varphi = \frac{60''l}{L} = 0'14'', \quad (23)$$

которое надо прибавить к широте параллели для получения окончательного значения широты точки  $A$  –  $\varphi_A = 54^\circ 41' + \Delta\varphi'' = 54^\circ 41'14''$ .

Определение долготы ( $\lambda_A$ ) точки  $A$  выполняют в той же последовательности, проводя ближайший к точке с запада меридиан через одноименные минуты долготы северной и южной рамки, и опускают на него перпендикуляр  $AA_2$ , длину которого  $l_1$  (мм) сравнивают с протяженностью  $l'$  долготы  $L_1$  (мм), получая значение

$$\Delta\lambda'' = \frac{60''l_1}{L_1}, \quad (24)$$

и окончательно

$$\lambda_A = 18^\circ 01' + \Delta\lambda'' = 18^\circ 01'12''.$$

Для того, чтобы точность определения географических координат по топографическим картам была сопоставима с точностью этих карт, расчеты по формулам (6) и (7) для карт масштабов 1:10 000 – 1:50 000

производятся с округлением до  $0,1''$ , а для карт масштабов 1:100 000 – до  $1''$ .

*Определение прямоугольных координат.* Для определения координат точки в системе плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера используют нанесенную на карту сетку квадратов. Вертикальные линии сетки параллельны оси абсцисс – осевому меридиану зоны, горизонтальные параллельны оси ординат – изображению экватора на плоскости. Расстояния между ближайшими линиями координатной сетки (сторона квадрата) кратны определенному числу километров на местности, поэтому сетку прямоугольных координат принято называть километровой сеткой. В масштабах 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 сторона квадрата сетки равна 1 км, в масштабе 1:100 000 – 2 км, в масштабе 1:200 000 – 10 км. На карты масштабов 1:500 000 – 1:1 000 000 километровые сетки не наносятся. У концов (выходов) линий сетки за рамкой листа карты подписаны значения их координат в км (рис. 17). Значения абсцисс и преобразованных ординат крайних на листе линий километровой сетки подписаны полностью (четырёхзначными числами), а промежуточные – двумя последними цифрами – десятками и единицами километров. Номер зоны в зональной системе координат приписывается слева к значению преобразованных ординат.

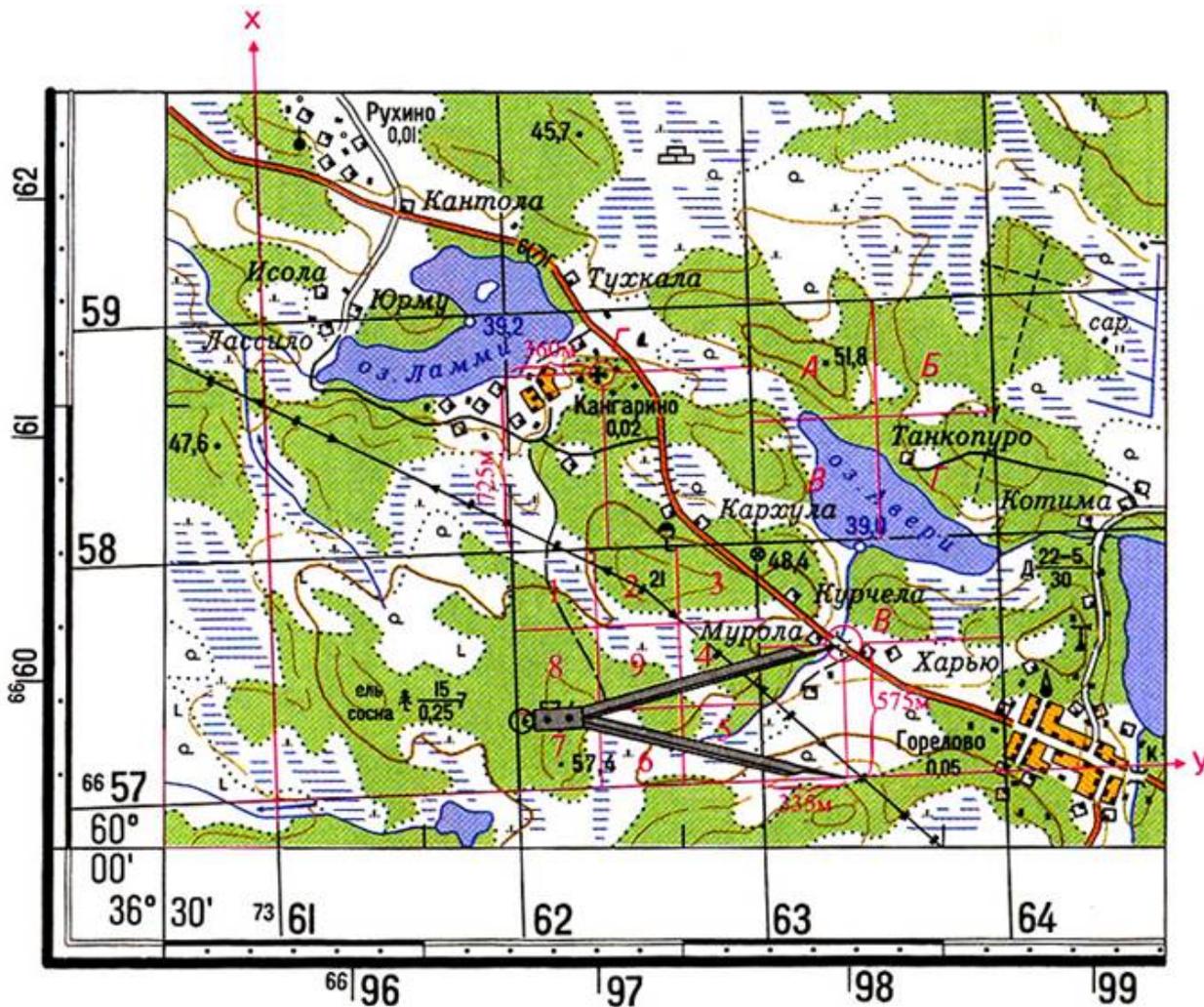


Рис.18. Определения прямоугольных координат ( $x, y$ ) точки

Для определения прямоугольных координат ( $x, y$ ) точки  $B$  находят по оцифровке линий километровой сетки значения координат (в км) юго – западного угла квадрата, в котором находится точка. Опускают из точки  $B$  на южную и западную стороны квадрата перпендикуляры и измеряют их длины с точностью до  $0,1\text{мм}$ , которые с учетом масштаба карты выражают в метрах. Окончательное значение координат складывается из цифр подписанных на карте значения линии сетки (в км) и длины измеренного перпендикуляра (в м). При этом

абсцисса точки покажет расстояние этой точки от экватора (в м), ордината – номер зоны и увеличенное на 500 км расстояние от осевого меридиана зоны (в м), так как ордината осевого меридиана равна +500 км.

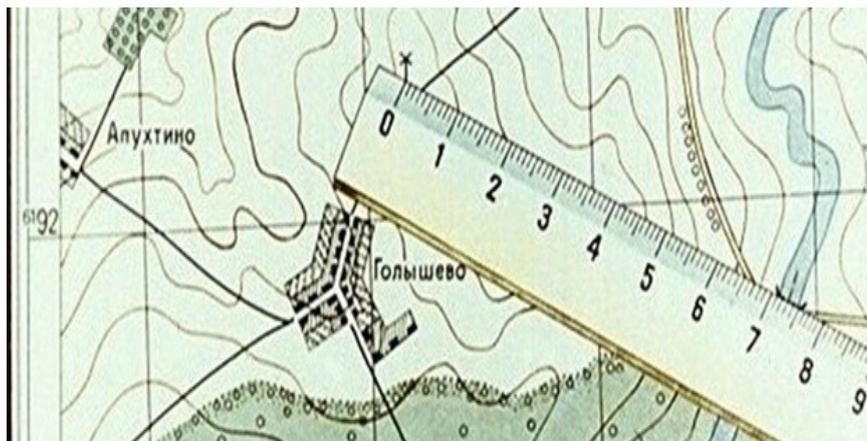
Довольно часто район исследований расположен на стыке двух зон (например, Ромашкинское месторождение), в связи с чем возникает необходимость определения прямоугольных координат в смежной *зональной системе координат*. В этом случае строят квадрат километровой сетки с определяемой точкой *C* внутри него, соединив выходы координатных линий смежной зоны, расположенные на противоположных сторонах внешней рамки карты. Относительно этого квадрата, применяя прием, описанный выше, определяют прямоугольные координаты точки *C* в системе смежной зоны.

Иногда для примерных расчетов бывает полезно знать соотношение между прямоугольными и географическими координатами. Представление о нем можно получить, воспользовавшись следующими зависимостями: известно, что 1 м, как единица длины, соответствует 1/40 000 000 части Парижского меридиана или в угловой мере 0,0324", следовательно, можно с некоторым приближением принять, что длина дуги меридиана в 1° соответствует 111 км. Поэтому для получения абсциссы точки по известной широте этой точки достаточно значение широты точки, выраженное в градусах, умножить на 111 км и наоборот, разделив известную абсциссу точки на 111 км, получим искомое значение широты точки в градусах.

Как отмечалось выше, на карте изображаются не непосредственно измеренные на физической поверхности Земли расстояния, а их проекции – горизонтальные проложения. Измерение по карте горизонтальных проложений осуществляется циркулем – измерителем, в раствор которого берется расстояние между измеряемыми точками на карте, переводимое в метры местности с помощью масштаба (численного или линейного, или поперечного). При этом выполняют следующее преобразование:

$$d' = M d, \quad (25)$$

где  $d'$  – горизонтальное проложение линии на местности;  $d$  – длина линии на карте, измеренная по миллиметровой шкале линейки;  $M$  – знаменатель численного масштаба карты.



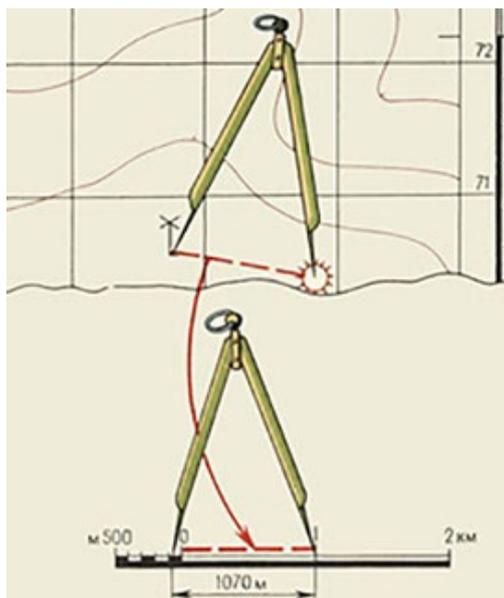


Рис. 19. Определение расстояния по карте

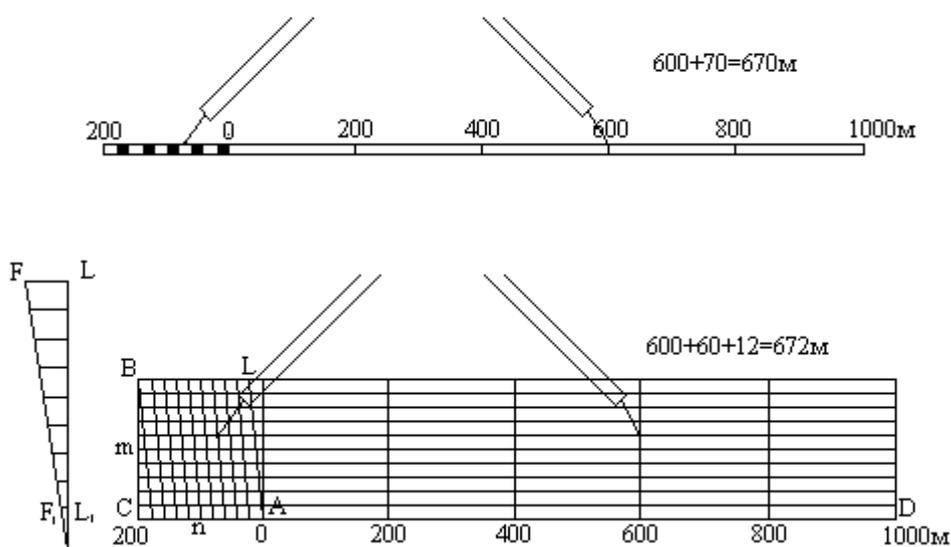


Рис. 20. а) определение расстояния линейного , б) с помощью поперечного масштаба.

Допустим, на карте масштаба 1:10 000 длина отрезка равна  $d = 123,1$  мм. На местности ему будет соответствовать проложение  $d' = 123,1 \text{ мм} \cdot 10\,000 = 1231 \text{ м}$ .

При большом объеме работ, чтобы избежать вычислений, связанных с использованием численного масштаба (рис. 20, б), измерения ведут с помощью линейного или, если необходима высокая точность, с помощью поперечного масштаба.

Линейный масштаб изображен на рис. 20, а. Каждый отрезок линейного масштаба, равный 2 см, называется *основанием масштаба*. Подписи отрезков сделаны в соответствии с численным масштабом карты 1:25 000. Первый отрезок для повышения точности измерений разделен дополнительно на несколько частей. На рис. 20, б цена самого маленького деления равна 25 м. Длина отмеченного на этом рисунке горизонтального проложения  $AB$  линии местности равна

$$AB = 1500 + 380 = 1880 \text{ м.}$$

Поперечный масштаб изображен на рис. 20, в. основание масштаба, равное 2 см, соответствует на местности 500 м. Первое основание разделено на 10 частей, каждая часть соответствует на местности 50 м.

Горизонтальные параллельные линии делят перпендикулярно  $OF$  на 10 частей. Отрезок  $P_1 F_1$  соответствует на местности 5 м; так как  $\Delta OP_1 F_1$  подобен  $\Delta OPF$ , то

$$OF_1 = \frac{OF}{10}; \quad P_1 F_1 = \frac{PF}{10} = \frac{50}{10} = 5 \text{ м.}$$

Для измерения по карте горизонтальных проложений линий местности с карты берут эту линию в раствор циркуля – измерителя; ставят его на поперечный масштаб таким образом, чтобы одна иголка попадала на перпендикуляр справа от нуля, а другая на наклонную линию (трансверсаль) слева от нуля, причем, обе иголки надо располагать на одной горизонтальной линии. Горизонтальное проложение линий местности  $AB$  и  $A_1 B_1$ :

$$AB = 1500 \text{ м} + 50 \text{ м} \cdot 7 + 5 \text{ м} \cdot 9 = 1895 \text{ м};$$

$$A_1 B_1 = 500 \text{ м} + 50 \text{ м} \cdot 6 + 5 \text{ м} \cdot 5,5 = 827,5 \text{ м.}$$

Если необходимо, то по горизонтальному проложению линии  $d'$  можно определить наклонное расстояние  $S$  на местности по формуле

$$S = \frac{d'}{\cos \nu}, \quad (26)$$

где  $\nu$  – угол наклона линии к горизонту.

Ошибка определения расстояния между точками по карте с помощью циркуля – измерителя и масштабной линейки зависит от точности карты и графической точности измерения.

Ошибка определения по топографической карте наклонного расстояния (с использованием формулы (9)) зависит также от ошибки определения по карте угла наклона  $\nu$ , однако влияние последней будет заметно лишь для условий горной местности, в остальных случаях определяющей остается точность карты.

Следует, однако, подчеркнуть, что если положение точек на карте ошибочно, то расстояния между этими точками будут определены ошибочно независимо от способа определения.

Измерение длины криволинейных контуров (рек, извилистых участков дорог) можно выполнять с помощью курвиметра. Однако при этом результаты измерения будут очень приближенными, так как точность показаний зависит от качества бумаги карты и сцепления колесика курвиметра с бумагой. Более точные результаты можно получить при использовании для этих целей циркуля – измерителя с малым раствором (шагом). Поставив одну ножку циркуля в начальную точку, а другую на контур, начинают «шагать» по контуру, поворачивая последовательно циркуль вокруг одной из игл. Общая длина контура равна числу «шагов», умноженному на длину «шага», плюс остаток, измеренный по линейному масштабу. Если кривые плавные, то их разбивают на ряд малых отрезков, позволяющих пренебречь разницей между длиной хорды и дуги в каждом из них. Измерение криволинейного контура при этом сводится к измерению ломаной линии.

В связи с изучением морских месторождений нефти и газа может возникнуть необходимость в измерении расстояний по морским картам. На морских картах, которые строятся в проекции Меркатора, не дается линейный масштаб. Его роль выполняют восточная или западная сторона рамки карты, представляющие собой меридианы, разбитые через  $1'$  по широте. У моряков расстояние оценивается обычно в милях. Морская миля – это средняя длина дуги меридиана в  $1'$  по широте, равная 1852 м. Следовательно, рамки морской карты фактически разбиты на морские мили. Определив расстояние между двумя точками карты в минутах дуги меридиана, получают действительное расстояние в морских милях.

Если точки  $A$  и  $B$ , между которыми измеряется расстояние, расположены на разных меридианах, поступают следующим образом. Раствор циркуля, соответствующий измеряемому расстоянию, переносят на рамку так, чтобы обе иглы циркуля отстояли на одинаковых расстояниях от концов проекций измеряемой линии. Для этого находят середину (точка  $K$ ) отрезка  $AB$  и проектируют ее на боковую сторону рамки (точка  $K_1$ ). От этой точки откладывают на рамке отрезки  $K_1A_1 = KA$  и  $K_1B_1 = KB$ . Расстояние  $AB$  в милях будет равно разности отсчетов широт точек  $A_1$  и  $B_1$ . в нашем случае оно равно  $55^\circ 17' = 48^\circ 25' = 6^\circ 52' = 412'$  или 412 милям.

### § 18. Ориентирование линий. Определение дирекционного угла линии, географического и магнитного азимутов

Под ориентированием обычно понимают действия, позволяющие найти направление линии относительно другого направления, принятого за исходное. В геодезии исходными направлениями для ориентирования являются: истинный (географический) меридиан, магнитный меридиан и осевой меридиан зоны. В соответствии с этим углы, определяющие направление линий, называются *истинным азимутом*, *магнитным азимутом*, *дирекционным углом*.

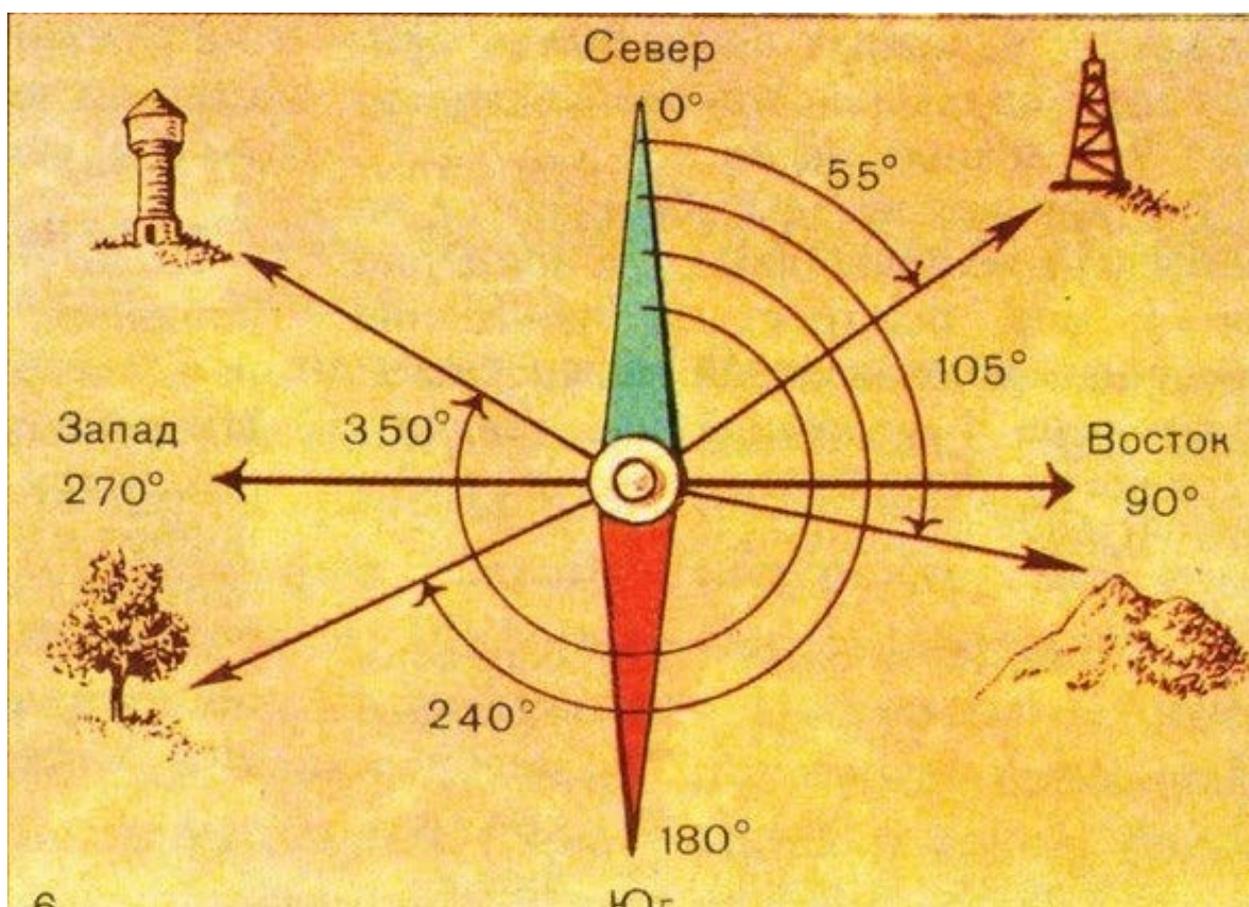


Рис. 21. Ориентирование линий. Определение дирекционного угла линии, географического и магнитного азимутов

Под *истинным азимутом* ( $A_u$ ) понимают горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана до определяемого направления. Азимуты изменяются от 0 до  $360^\circ$  и могут быть прямыми (азимуты линии  $AB$ ) и обратными (азимут линии  $BA$ ). В соответствии с этим угол  $A_{AB}$  – прямой азимут  $AB$  в точке  $A$ , угол  $A_{BA}$  – обратный азимут той же линии в точке  $B$  (рис. 21). Линии меридианов не параллельны между собой, поэтому азимут линии, не совпадающей с меридианом в каждой точке, имеет разное значение. Угол между направлением меридианов двух данных точек называется *углом сближения меридианов*  $\gamma$  (в пределах зоны – угол между направлением осевого меридиана и направлением любого другого меридиана внутри этой зоны). Зависимость между прямым и обратным азимутом определяется

выражением

$$A_2 = A_1 + 180^\circ + \gamma. \quad (27)$$

Азимуты определяются из астрономических наблюдений и с помощью гироскопических приборов.

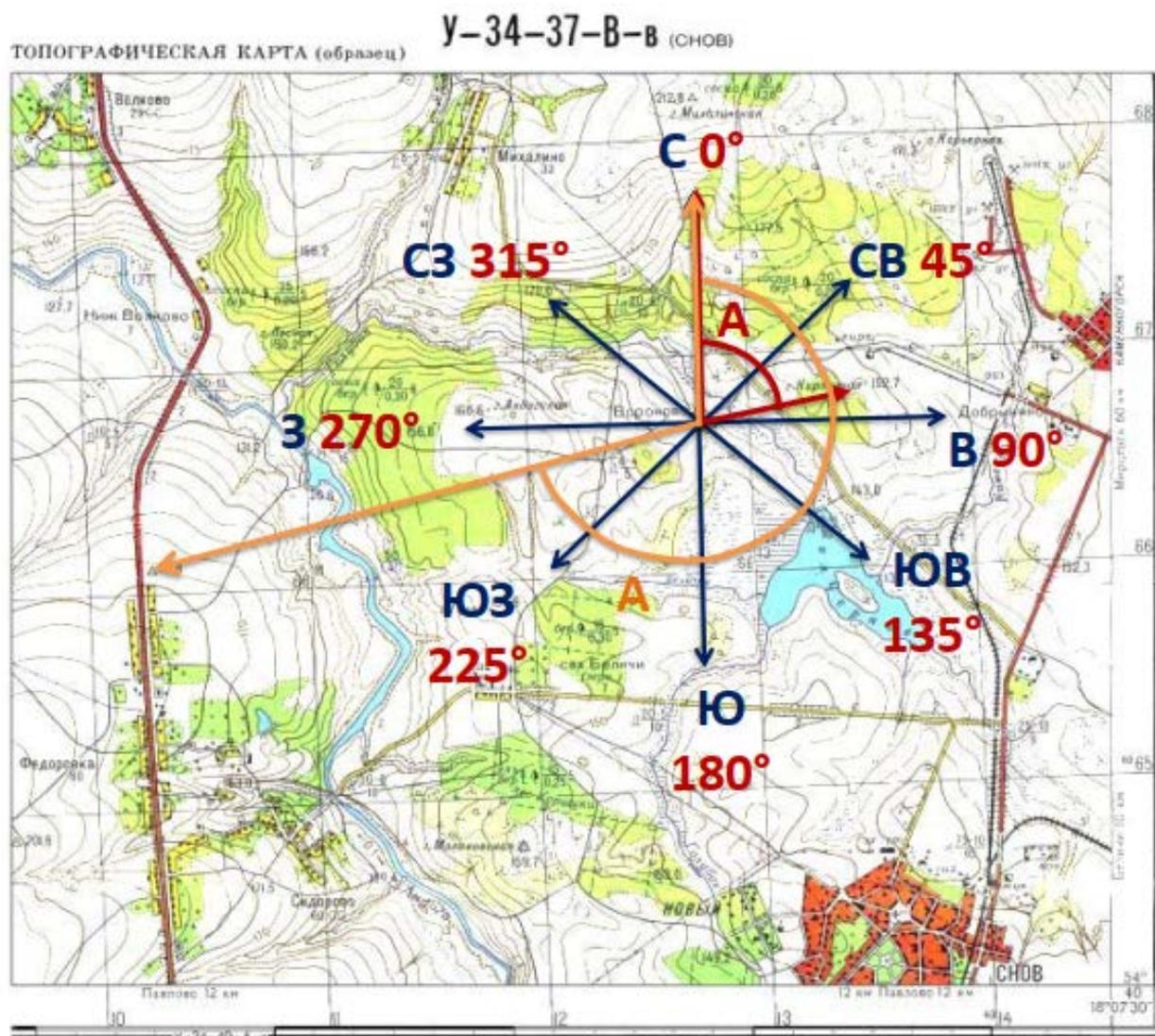


Рис. 22. Ориентирование линий. Определение дирекционного угла линии, географического и магнитного азимутов по топографической карте

*Магнитный азимут*  $A_m$  – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до определяемого направления. Направление магнитного меридиана, фиксируемое магнитной стрелкой компаса, в общем случае не совпадает с направлением истинного меридиана. Поэтому магнитный азимут отличается от истинного. Отклонение магнитной стрелки компаса от направления истинного меридиана называется *магнитным склонением*. Оно может быть *восточным*, если северный конец стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, и *западным* – при отклонении северного конца стрелки от географического меридиана к западу. Соответственно восточное склонение положительное (+), западное – отрицательное (-). Связь между истинным и магнитным азимутами выражается уравнением

$$A_u = A_m + \delta, \quad (28)$$

где  $\delta$  - магнитное склонение (со своим знаком). Величина и знак склонения обычно указаны на графике ориентирования (рис.22), помещенном под южной стороной листа топографической карты. Следует также учитывать годовое изменение склонения.

Сведения о магнитном склонении стрелки в данном районе можно получить на ближайшей метеорологической станции или в геофизических обсерваториях, а также установить по специальным картам склонений магнитного поля.

Вследствие того, что магнитное поле изменчиво, например, амплитуда только суточных изменений составляет около  $15'$ , магнитные азимуты определяются весьма приблизительно – до градусов или их долей, и пользоваться ими целесообразно для приближенного ориентирования на местности.

При определении направления линий по карте удобнее всего пользоваться плоскостным ориентирным углом, называемым дирекционным.

*Дирекционный угол  $\alpha$*  – горизонтальный угол на плоскости, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана (или линии, ему параллельной) до определяемого направления. Связь между истинным азимутом и дирекционным углом устанавливается уравнением

$$A_u = \alpha + \gamma, \quad (29)$$

где  $\gamma$  – сближение меридианов (со своим знаком) в точке  $A$  это угол между изображениями осевого меридиана (вертикальной линии километровой сетки карты) и истинного меридиана данной точки. Угол  $\gamma$  для точек, расположенных к востоку от осевого меридиана, положителен (+), к западу – отрицателен (-).

Среднюю (для данного листа карты) величину и знак сближения меридианов можно определить, воспользовавшись графиком ориентирования (рис.23).

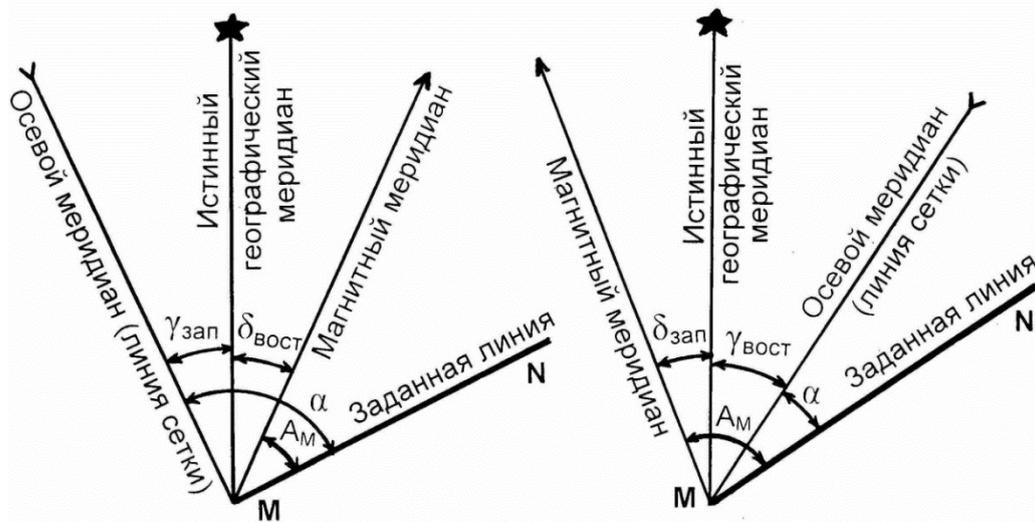


Рис. 23. График ориентирования

Из уравнений связи (28) и (29):

$$A_u = A_m + \delta \quad \text{и} \quad A_u = \alpha + \gamma,$$

на основании равенства их левых (а следовательно, и правых) частей можно установить зависимости между всеми членами уравнений, например, из

$$A_m + \delta = \alpha + \gamma \quad (30)$$

следует

$$A_m = \alpha + \gamma - \delta \quad (31)$$

и

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma. \quad (32)$$

Приближенное значение  $\gamma$  можно получить из формулы

$$\gamma_A = (\lambda_A - \lambda_{oc}) \sin \varphi_A. \quad (33)$$

Здесь  $\lambda_A$  и  $\varphi_A$  – соответственно географическая широта и долгота точки  $A$ ;  $\lambda_{oc}$  – долгота осевого меридиана зоны, в которой находится точка  $A$ .

*Румбы* – острые ориентирные углы, которыми иногда пользуются на практике вместо азимутов и дирекционных углов. Румб – острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) направления меридиана до определяемого направления.

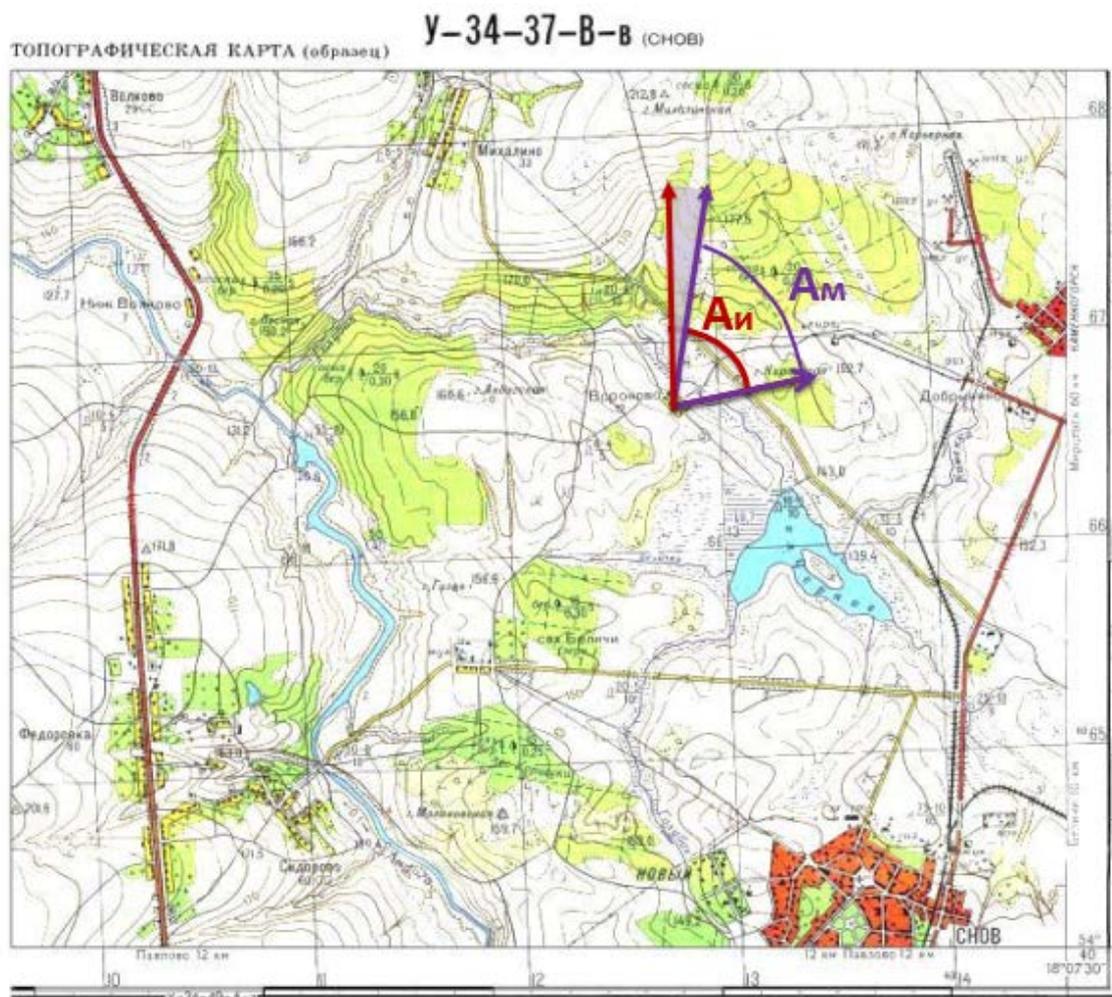


Рис. 24. Определение дирекционного угла линии и магнитного азимуты

В зависимости от названия меридиана, от которого идет отсчет, направления могут быть истинными, магнитными и просто румбами (при отсчете от осевого меридиана).

Связь между азимутами (дирекционными углами) и румбами приведена в табл.3.

### Связь между азимутами и румбами

Таблица 3

Азимут (дирекционные углы), угл. Градус	Румб	Четверть и название румба
0 – 90	$r_I = A$	I - СВ
90 – 180	$r_{II} = 180^\circ - A$	II - ЮВ
180 – 270	$r_{III} = A - 180^\circ$	III - ЮЗ
270 – 360	$r_{IV} = 360^\circ - A$	IV - СЗ

Определение истинных азимуты и дирекционных углов линий по топографической карте производится измерением с помощью транспортира соответствующих ориентирных углов между направлениями истинного (или осевого) меридиана и линией, направление которой определяется. Например, для определения истинного азимута линии  $AB$  через точку  $A$  необходимо провести направление истинного меридиана; используя минутные деления северной и южной сторон рамки. Если при этом меридиан не проходит непосредственно через точку  $A$ , проводят ближайший к ней меридиан, а затем проводят через точку  $A$  линию, параллельную меридиану и считают ее меридианом точки  $A$ .

Совместив линию  $0 - 180^\circ$  транспортира с меридианом, проходящим через  $A$ , от его северного направления по ходу часовой стрелки до линии, направление которой определяют, отсчитывают значение угла, являющегося искомым азимуты.

Для измерения дирекционного угла линии необходимо через ее начальную точку провести линию, параллельную вертикальной линии координатной сетки, и, пользуясь транспортиром, измерить по ходу часовой стрелки от ее северного направления до определяемого направления искомый угол. Румбом этой линии будет острый угол. Так как дирекционный угол в каждой точке линии постоянен, можно воспользоваться любым пересечением линии с вертикальной линией координатной сетки и в этой точке измерить дирекционный угол.

### § 19. Определение высотного положения точек. Интерполирование.

*Определение высоты сечения рельефа.* На современных топографических картах рельеф местности изображается горизонталями. Высота сечения рельефа тесно связана с точностью масштаба карты. Невооруженным глазом на карте воспринимается отрезок в 0,2 мм, который глаз в состоянии разделить пополам. Но уже половина этого отрезка воспринимается как точка. Наименьшее расстояние на карте между двумя последовательными горизонталями (заложение) не может быть меньше 0,2 мм, следовательно, при знаменателе численного масштаба карты  $M$ , угле наклона (крутизне ската)  $\nu$ , разность высот между смежными горизонталями (высота сечения рельефа)  $h$  должна быть равна

$$h = 0,2 M \operatorname{tg} \nu. \quad (34)$$

Максимальная крутизна ската, при котором рельеф на картах изображается горизонталями, равна  $\nu = 45^\circ$ . Отсюда нормальная высота сечения рельефа, м

$$h = 0,2 M, \quad (35)$$

где  $M$  – число тысяч в знаменателе масштаба карты. Например, для карты масштаба  $1:25\,000$  она равна  $h_{25\text{ тыс}} = 0,2 \cdot 25 = 5$  м. Высота любой горизонтали всегда кратна высоте сечения рельефа.

На топографических картах черным цветом подписывают высоты характерных точек местности: вершин, седловин, бровок и т.д. По высотам этих точек, зная высоту сечения рельефа и направление ската, можно определить высоту горизонталей. При этом следует помнить, что разность между высотой точки и высотой ближайшей к ней горизонтали всегда меньше высоты сечения рельефа (или, крайне редко, равна ей). Например, на рис. 27, а при высоте сечения рельефа  $h = 5$  м изображен холм, вершина которого имеет высоту 217,5 м, следовательно, высота ближайшей к этой точке горизонтали будет равна 215.

При определении высот точек местности по горизонталям карты возможны три варианта расположения точки по отношению к горизонталям.

1. Точка находится на горизонтали. Высота этой точки, очевидно, равна высоте горизонтали.
2. Точка расположена между горизонталями (рис. 25) с разными высотами. Высоту точки определяют интерполированием между высотами этих горизонталей. Из рисунка видно, что

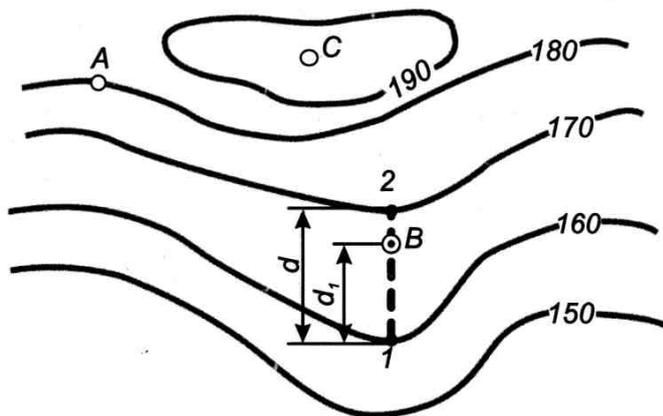
$$H_C = H_r + \Delta h = H_r + \frac{a}{d} h, \quad (36)$$

где  $H_C$  – искомая высота точки;  $\Delta h$  – превышение точки  $C$  над плоскостью горизонтали;  $a$  – отрезок от точки  $C$  до ближайшей к ней горизонтали;  $d$  – заложение ската;  $h$  – высота сечения рельефа;  $H_r$  – высота горизонтали.

На практике величина  $\frac{a}{d} h$  оценивается на глаз.

3. Точка расположена внутри замкнутой горизонтали или между одноименными горизонталями – на седловине. Высота точки определяется приближенно – считают, что она больше (или меньше – в зависимости от формы рельефа) высоты, ближайшей к точке горизонтали на  $0,5 h$ .

1. Точка лежит на горизонтали  $H_A = 180$  м  
Отметка точки равна отметке горизонтали



$$M_1 : 1000 \text{ т. е. } 1 \text{ см} = 10 \text{ м}$$

$$d_1 = 1,3 \text{ см} \cdot 10 = 13 \text{ м}$$

$$d = 1,7 \text{ см} \cdot 10 = 17 \text{ м}$$

$$H_r = 160 \text{ м}; h_{\text{сеч}} = 10 \text{ м};$$

$$H_B = 160 + \frac{13}{17} \cdot 10 = 167,65 \text{ м}$$

2. Точка лежит между горизонталями, где  $H_B = H_r + \frac{d_1}{d} h_{\text{сеч}}$ ;

$H_r$  – отметка нижележащей горизонтали;

$h_{\text{сеч}}$  – высота сечения рельефа;

$d_1$  – расстояние между определяемой точкой и нижележащей горизонталью в масштабе

$d$  – расстояние между горизонталями в масштабе

Рис. 25. Определении высот точек местности

### § 20. Крутизна ската.

Для определения *крутизны ската*, которая характеризуется углом наклона линии местности к горизонтальной плоскости  $v$ , измеряют величину заложения  $d$  и используют выражение

$$\operatorname{tg} v = \frac{h}{d}, \quad (37)$$

где  $h$  – высота сечения,  $d$  – заложение. Угол наклона линии местности  $v$  также определяется через тангенс:

$$\operatorname{tg} v_1 = \frac{h_1}{ac}, \quad (38)$$

где  $ac$  – длина линии местности, измеренная на карте между двумя точками, превышение между которыми

Крутизну ската можно характеризовать не углом наклона, а уклоном  $i$ , который равен

$$i = \operatorname{tg} v. \quad (39)$$

Уклон линии обычно выражают в процентах или в промилле (тысячные доли единицы); он представляет собой превышение на единицу длины. Например, если  $i = 0,05$  (5%), то это значит, что на 1 м длины превышение составляет 5 см. в промилле уклон  $i = 0,015$  запишется в виде 15‰.

Для определения крутизны ската обычно пользуются графиком, называемым графиком заложений, который находится под южной стороной рамки карты. В основе его построения лежит формула

$$d = h \operatorname{ctg} v. \quad (40)$$

Для построения графика на горизонтальной прямой последовательно откладывают произвольные, но равные отрезки, подписывая их цифрами градусов в порядке возрастания значений  $v$ . Из полученных точек возводят перпендикуляры, на которых в масштабе карты откладывают значения  $d$ , вычисленные по формуле (35) при принятой для данной карты высоте сечения рельефа. Концы перпендикуляров соединяют плавной кривой.

Для определения крутизны ската (угла наклона  $v$ ) в раствор циркуля – измерителя (рис. 26) берут заложение между двумя горизонталями в интересующем направлении и переносят его на график таким образом, чтобы одна ножка измерителя была на горизонтальной линии, другая – на кривой. При этом обе ножки циркуля лежат на прямой, параллельной линиям заложений графика. Значение угла наклона определяют по надписи у горизонтальной прямой.

*Построение на карте линии с заданным уклоном.* При выборе по карте, например, маршрута движения ставится задача, чтобы уклон линии движения не превышал определенной величины.

Эта линия прокладывается на карте с соблюдением двух требований – сохранения уклона в требуемых пределах и обеспечения наименьшей протяженности маршрута.

Сущность решения задачи сводится к определению расчетным путем заложения, соответствующего заданному уклону, и сравнению его с фактическими заложениями – расстояниями между соседними горизонталями – по линии намечаемого маршрута.

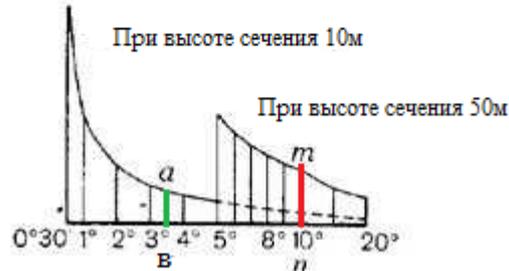
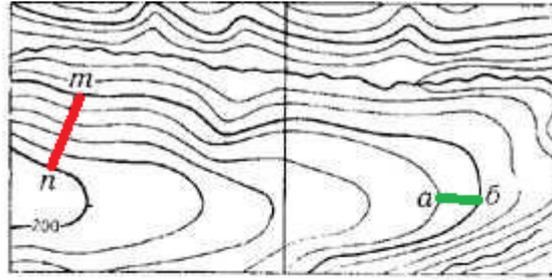


Рис. 26 . Определение крутизны ската с пощю графика заложения

Например, на всем участке маршрута  $AB$  необходимо выдержать уклон, не превышающий  $0,050$ . Заложение, соответствующее уклону  $i = 0,050$ , в масштабе карты  $1: M$  определится из выражения:

$$d = \frac{h}{i} \frac{1}{M}, \quad (41)$$

где  $h$  – высота сечения рельефа;  $M$  – знаменатель численного масштаба карты. Например, для карты масштаба  $1:25\,000$  заложение будет равно

$$d = \frac{5_M}{0,050} \frac{1}{25000} = 4 \text{ мм.}$$

### § 21. График заложения.

Полученную величину заложения берут в раствор циркуля – измерителя и проверяют расстояние между горизонталями по линии  $AB$  (рис. 27). В тех местах, где расстояние между соседними горизонталями меньше вычисленного значения  $d$  (участки  $A - 1, 2 - 3$ ), уклон превышает допустимый. Для уменьшения уклона изменяют направление движения и добиваются того, чтобы расстояние между горизонталями было равно  $d$ . Там, где расстояние между горизонталями больше  $d$ , уклон меньше допустимого и маршрут совпадает с направлением  $AB$  (участки  $1 - 2, 3 - B$ ).

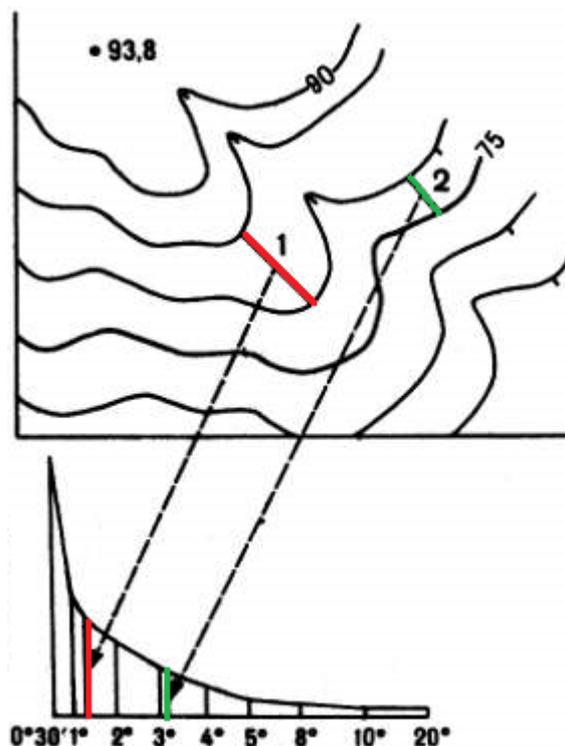


Рис. 27. График заложения.

## § 22. Уклоны.

Уклон (или угол наклона) — это показатель крутизны склона, который равен отношению превышения (перепада высот) к заложению (горизонтальному проложению). Т.е. уклон — это показатель крутизны склона, а наклон — это угол между данной прямой горизонталью. В общих чертах одно и то же, но, говоря про крутизну склона, правильно говорить либо "уклон равен..." либо "угол наклона равен...".

Уклон (или угол наклона) вычисляется либо в процентах, промилле или десятичной дроби через отношение перепада высот к горизонтальному проложению (не путать с длиной трассы) либо в градусах через  $\text{arctg}$ . Проценты (уклон) и градусы (угол наклона)! % и °! Не путайте, пожалуйста!

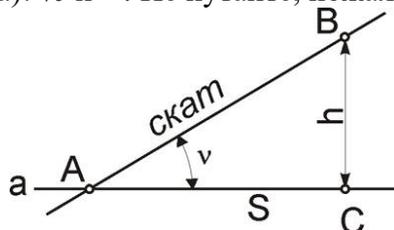


Рис.28. Определение ската

Для вычисления процента уклона для начала необходимо вычислить горизонтальное проложение через теорему прямоугольного треугольника Пифагора, зная перепад высот и длину трассы (или участка трассы). А после этого разделить перепад высот на горизонтальное проложение (получится десятичная дробь) и умножить на 100 (получится процент) или 1000 (получится промилле).

Уклон  $i = h/S \cdot 100$  (в процентах). При уклоне в 100% горизонтальное расстояние местности увеличивается на 1 метр при подъёме по вертикали на 1 м. В таком случае угол наклона будет равен 45 градусам. Уклон может быть больше 1000% и до бесконечности (при 90-градусном обрыве), но не на общедоступных горнолыжных трассах.

Чтобы получить угол наклона в градусах, необходимо найти тангенс угла наклона через аналогичное отношение превышения к заложению  $h/S$  и взять от него  $\text{arctg}$ . В итоге  $i = \text{arctg } h/S$  (в градусах). В градусах угол наклона может быть по модулю от 0 до 90 °.

### § 23. Построение профиля местности

*Построение профиля по заданному направлению.* При проведении инженерных изысканий часто возникает необходимость высотной характеристики местности по какому – то определенному направлению. Удобнее всего эти сведения получить, построив по карте между точками *A* и *B* профиль местности – вертикальный разрез земной поверхности (рис. 29).

Построение начинают с того, что на линии профиля *AB* отмечают точки ее пересечения с характерными линиями рельефа – водоразделами, тальвегами, отмечают также точки изменения крутизны скатов, определяемые по изменению заложения горизонталей, и др. Затем линию *AB*, называемую *основанием профиля*, переносят на лист миллиметровой бумаги (с сохранением масштаба карты), и из отмеченных на ней точек восстанавливают перпендикуляры. На перпендикулярах, в масштабе в 10 раз более крупном, чем масштаб карты, откладывают расстояния, соответствующие высотам точек карты, нанесенным на профиль. Полученные при этом точки соединяют прямыми линиями.

Для сокращения длины перпендикуляров высоту линии основания профиля условно принимают равной нулю, а какому – то круглому числу – условному горизонту – удобному для построения профиля (на рис. 29 – 120м).

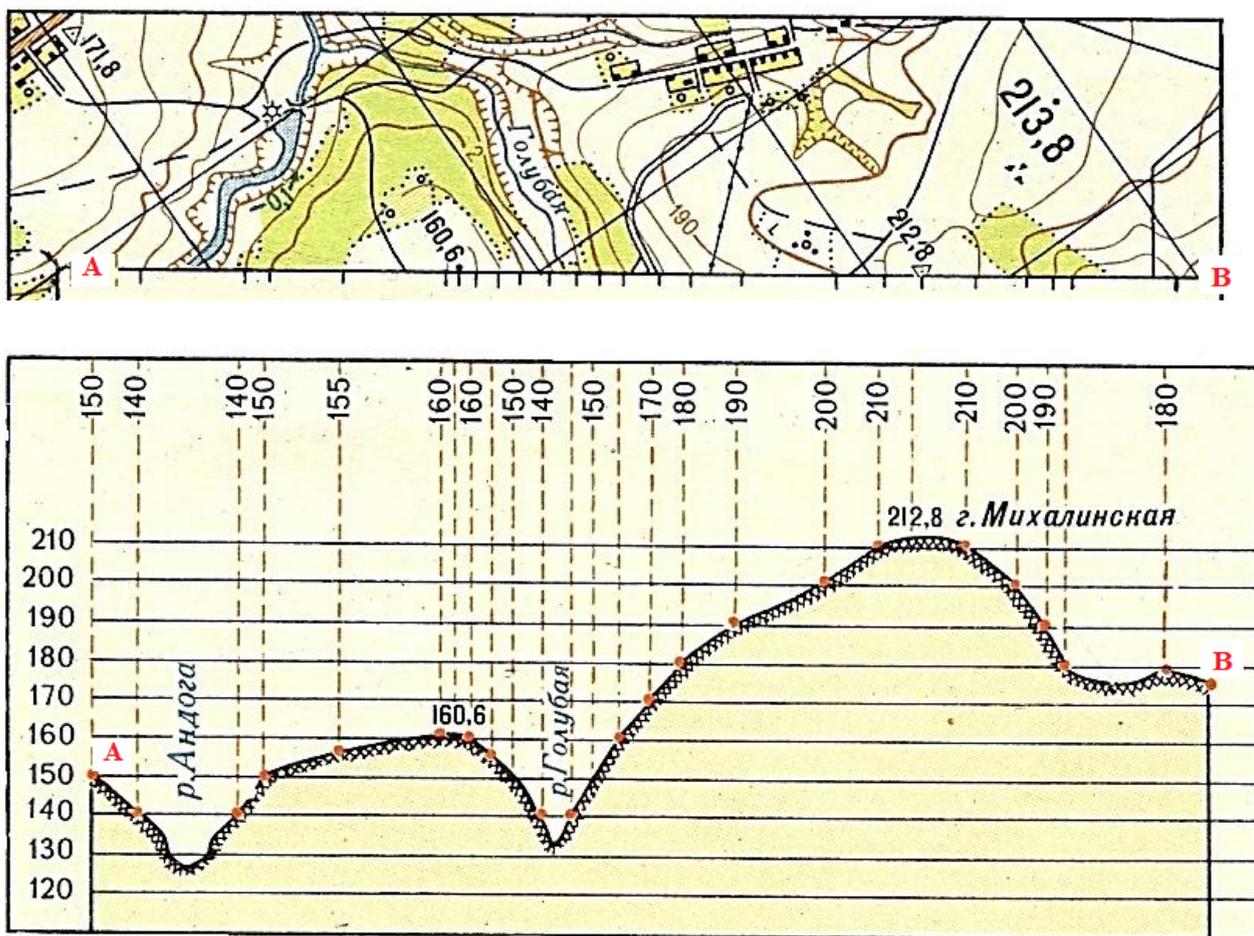


Рис. 29. Построение профиля по заданному направлению *AB*

### § 24. Определений площадей по плану.

Существует несколько способов определения площадей участков местности по топографической карте.

*Графический*, при котором участок на карте разбивается на ряд элементарных геометрических фигур, и по результатам измерения элементов фигур (например, высоты и основания треугольника, сторон прямоугольника и т.д.) вычисляется площадь каждой из них. Общая площадь участка равна сумме площадей всех фигур. К графическому относится также способ определения площадей палетками.

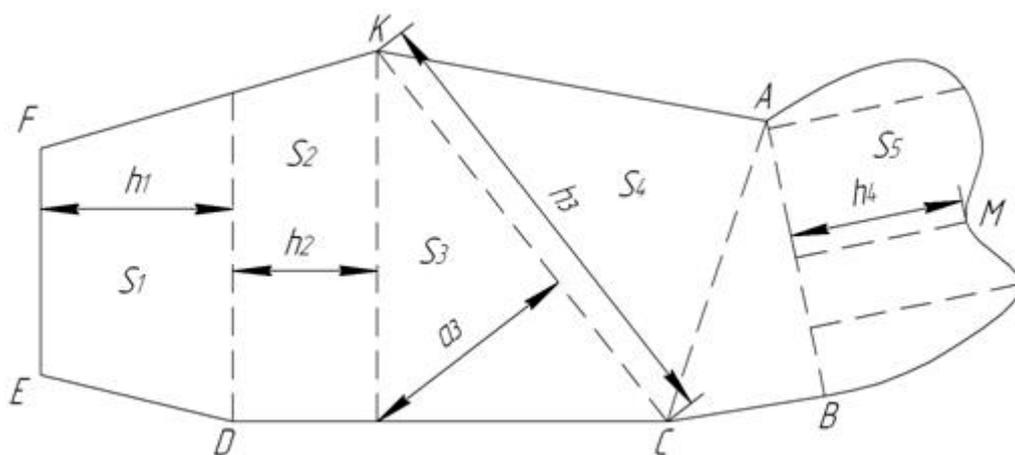


Рис. 30. Графический способ определения площадей. Разбивка на элементарные геометрические фигуры.

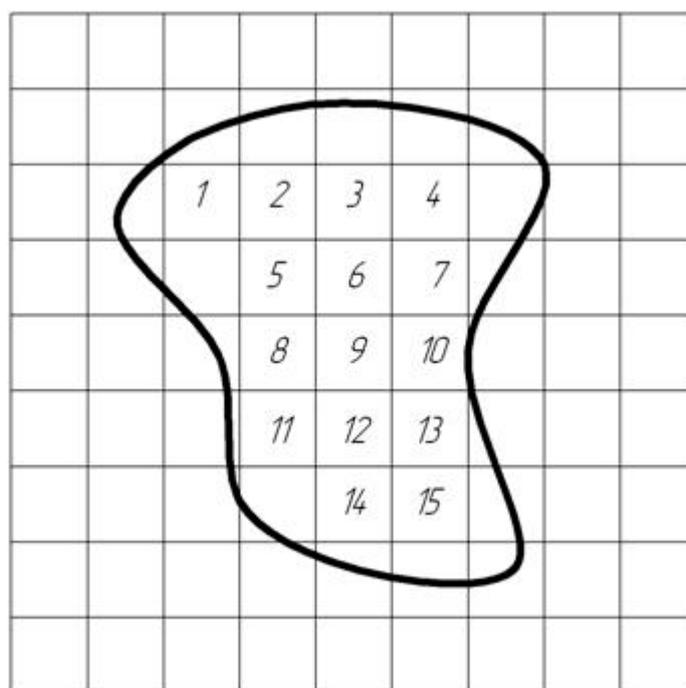


Рис.31. Графический способ определения площадей. Определение площади способом палетки.

*Аналитический*, при котором площади участков вычисляются по координатам вершин полигонов. Эти координаты обычно определяются графически.

*Механический*, при котором площадь участка измеряется с помощью специального прибора – планиметра.

Возможны сочетания нескольких способов. Наибольшей точностью обладает аналитический способ. Наиболее приемлем в практике – механический.

Представляет интерес одна из разновидностей *графического способа* – определение площадей с помощью палеток. Рассмотрим ее на примере использования параллельной палетки.

Палетка с параллельными линиями обладает определенным преимуществом при сравнении с другими типами палеток (точечной, квадратной) в связи с тем, что не требует подсчета большого количества точек или квадратов и их частей. Для определения площади участка палетку накладывают на его контур так, чтобы крайние точки  $v$ ,  $w$  оказались посередине между параллельными линиями палетки. При этом участок расчленяется на фигуры, близкие к трапециям с одинаковыми высотами  $h$ , а линии палетки  $ab$ ,  $cd$ ,... представляют собой средние линии этих трапеций.

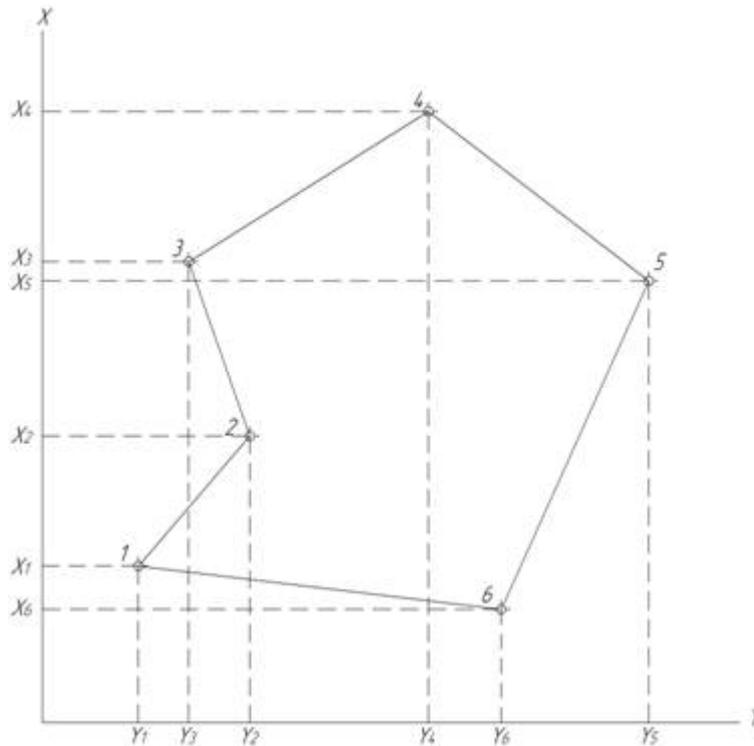


Рис.32. .Вычисление площади многоугольника по координатам

Общая площадь участка равна сумме площадей всех трапеций, находящихся внутри контура:

$$P = (a b h + c d h + \dots + m n h) = h(ab + cd + \dots + mn). \quad (42)$$

Сумму отрезков  $ab, cd, \dots$  определяют измерителем, для чего первый отрезок  $ab$  берут в раствор измерителя, совмещают правую иголку измерителя с началом следующего отрезка и при неподвижной левой иголке берут его в раствор измерителя движением правой ножки и т.д. до тех пор, пока в раствор измерителя не будут набраны все отрезки.

При *аналитическом способе* вычисления площадей используются широко известные из геометрии аналитические зависимости. Так, например, если известны координаты  $X, Y$  вершин замкнутого полигона (рис.32), то его площадь может быть определена как алгебраическая сумма площадей трапеций  $122'1'$ ,  $233'2'$ ,  $344'3'$ . Удвоенная площадь трапеции равна произведению ее высоты  $(y_2 - y_1)$  на сумму оснований  $(x_1 + x_2)$ , следовательно

$$2P = (y_2 - y_1)(x_1 + x_2) + (y_3 - y_2)(x_2 + x_3) - (y_3 - y_1)(x_1 + x_3), \quad (43)$$

после преобразования

$$P = (1/2) [x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)] \quad (44)$$

или

$$P = (1/2) [y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)]. \quad (45)$$

По аналогии для многоугольника с числом вершин  $n$ :

$$P = (1/2) \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (46)$$

или

$$P = (1/2) \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}) \quad (47)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Для контроля вычисления площади выполняют дважды – по обеим формулам. Точность определения площади аналитическим способом зависит от точности определения координат. Если используются координаты вершин теодолитного хода, то относительная погрешность определения площади этим способом – 1:1000 – 1:2000.

Определение площадей *механическим способом* осуществляется с помощью планиметра. Широко используемый в практике полярный планиметр (рис.33) состоит из двух рычагов – полюсного 4 и обводного 7. На конце рычага 4 укреплен груз 5 с иглой – полюсом, на другом – штифт 3 с шаровой пятой, вставляемый в гнездо каретки 1 счетного механизма 8 обводного рычага 7. На другом конце обводного рычага находится обводной шпиль 6 или линза с нанесенной окружностью и обводной точкой, которые в процессе определения площади совмещаются с линией контура и скользят по ней. Счетный механизм состоит из счетного колеса 9, верньера 10 и счетчика целых оборотов 2.

Определение площади контура планиметром производится в следующей последовательности:

- устанавливают планиметр на карте таким образом, чтобы его полюс находился вне измеряемого контура, а обводная точка (шпиль) – в начальной (любой) точке контура;
- берут отсчет  $u_1$  по счетному механизму. Отсчет всегда состоит из 4 цифр: 1-ая – ближайшая к указателю счетчика оборотов младшая цифра (целые тысячи делений планиметра); 2-ая и 3-ья – на счетном колесе до нулевого штриха верньера (сотни и десятки делений); 4-ая – номер совпадающего штриха верньера;
- обводят контур, ведя обводную точку по контуру до начальной точки, и берут второй отсчет  $u_2$ .

Разность отсчетов  $u_2 - u_1$  дает площадь контура в делениях планиметра.

Зная цену деления планиметра  $c$  ( $\text{мм}^2$ ) или приведенную к масштабу карты относительную цену деления  $c_1$  ( $\text{м}^2$ ) местности, определяют площадь в квадратных миллиметрах на карте:

$$P = c(u_2 - u_1) \quad (48)$$

или в квадратных метрах на местности

$$P = c_1(u_2 - u_1). \quad (49)$$

Если полюс планиметра установить внутри контура, то по аналогии с описанным получим площадь фигуры:

$$P = c(u_2 - u_1) + q, \quad (50)$$

где  $q$  – постоянная планиметра, равная площади круга, описанного радиусом  $r$ , равным расстоянию от полюса до обводной точки, когда плоскость ободка счетного колеса  $\mathcal{Q}$  проходит через полюс (см. рис. 26). При таком положении перемещение обводной точки по окружности указанного радиуса не вызывает вращения счетного колеса  $\mathcal{Q}$ , а следовательно, и отсчета площади, т.е. площадь круга такого радиуса планиметром не учитывается.

Цену деления планиметра определяют обводом контура с заранее известной площадью:

$$c = \frac{P}{u_2 - u_1}, \quad (51)$$

где  $P$  в  $\text{мм}^2$ .

Для этой цели можно использовать, например, квадраты километровой сетки карты, площадь которых известна. Обводят квадрат 3 раза, беря вначале и после каждого обвода отсчеты  $u_1, u_2, u_3, u_4$ . Затем вычисляют разности  $u_2 - u_1; u_3 - u_2; u_4 - u_3$ , которые не должны отличаться друг от друга более чем на 3 единицы последнего знака, и вычисляют среднее арифметическое значение:

$$u_2 - u_1 = \frac{(u_2 - u_1) + (u_3 - u_2) + (u_4 - u_3)}{3}, \quad (52)$$

после чего вычисляют среднее значение цены деления:

$$c = \frac{P}{u_2 - u_1}, \quad (53)$$

где  $P$  – известная площадь квадрата километровой сетки карты.

При определении цены деления записывают длину обводного рычага  $R$ , которому она соответствует. Для удобства можно цену деления  $c$  изменить и сделать «круглой», равной, например,  $10 \text{ мм}^2$ . для этого из пропорции  $R_0 = 10 R_1/c$  находят длину рычага, соответствующую искомому «круглому» значению, и изменяют длину рычага, перемещая по нему счетный механизм на отсчет, равный  $R_0$ .

Примеры записей определения цены деления планиметра и определения площади контура приведены в табл. 4 и 5 соответственно.

Например, для получения цены деления  $c = 10 \text{ мм}^2$  необходимо изменить длину обводного рычага и сделать ее равной

$$R_0 = \frac{174,5 \cdot 10}{9,69} = 180,1 \text{ мм}.$$

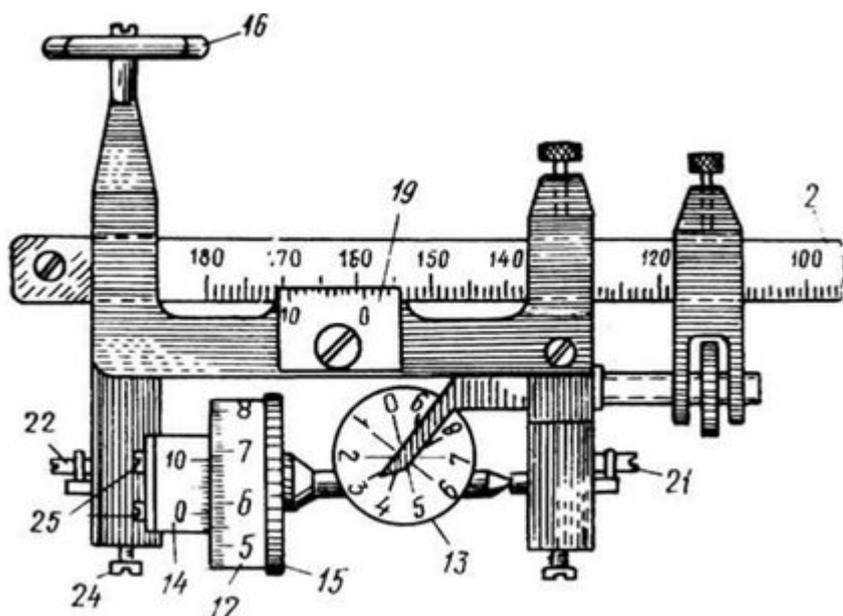


Рис.33. Механический планиметр.

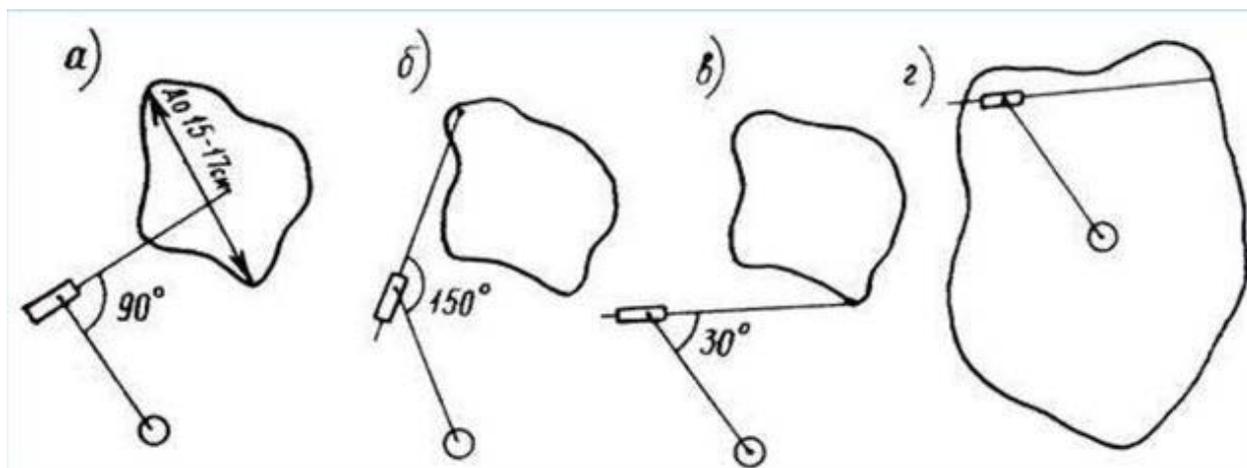


Рис.34. Схема установки планиметра.

Таблица 4

### Определение цены деления планиметра

Отсчет	Разность отсчетов	Среднее	Площадь контура, мм <sup>2</sup>	Цена деления планиметра	Длина рычага, мм
4225	1031		Квадрат километро- вой сетки карты	$c = 10\,000 \text{ мм}^2 / 1032 =$	
5256	1033	1032	М 1:10 000;	$= 9,69 \text{ мм}^2$	174,5
5289			100 м · 100 мм =		
7321	1032		10 000 мм <sup>2</sup>		



Рис.35. Электронный планиметр

Таблица 5 **Определение площади контура**

Отсчет $u_1$	Разность отсчетов	Среднее значение разности	Относительная цена деления для масштаба 1:10 000	Площадь, га	Длина рычага, мм
1204	732		$1 \text{ мм}^2 - 100 \text{ м}^2$	$1000 \cdot 72,7 /$	
1936	733	732,7	$10 \text{ мм}^2 - 1000 \text{ м}^2$	$/ 10\ 000 = 73,27$	180,1
2669	733		$c = 1000 \text{ м}^2$		
3402					

В процессе обвода контура углы между полюсным и обводным рычагами должны быть не менее 30 и не более 150°. Для определения постоянной планиметра  $q$  обводят контур при двух положениях полюса – «полюс вне контура» и «полюс внутри контура» (размеры контура должны обеспечивать эту возможность). В соответствии с выражениями (22) и (24) площадь контура в первом случае равна  $P = c (u_2 - u_1)$ , во втором  $P = c (u'_2 - u'_1) + q$ , откуда

$$q = c (u_2 - u_1) - c (u'_2 - u'_1), \quad (54)$$

где  $u_2 - u_1$  и  $u'_2 - u'_1$  – разность отсчетов при полюсе вне фигуры и при полюсе внутри фигуры соответственно.

В ответственных случаях в целях контроля и повышения точности результатов измерений обводку контура выполняют при двух положениях полюса планиметра относительно счетного механизма: первый раз – при положении «полюс лево» (ПЛ), второй раз – при положении «полюс право» (ПП). Положения ПЛ и ПП относятся к фиксированному относительно обводного рычага полюсу планиметра, если смотреть вдоль обводного рычага со стороны отсчетного механизма.

Для надежности при каждом положении полюса обводку выполняют дважды – один раз по ходу часовой стрелки, второй раз – против хода.

Допускаемые расхождения между разностями отсчетов в делениях планиметра: 2 – при площади до 200 единиц; 3 – при площади от 200 до 2000 единиц; 4 – при большей площади.

При измерении участков малой площади целесообразно цену деления планиметра уменьшить в 2 - 3 раза путем изменения длины обводного рычага.

## Глава 6 Измерение углов

### § 25. Принцип измерения углов на местности.

Геодезические измерения проводятся с целью определения взаимного расположения точек земной поверхности.

Они бывают линейные, угловые и высотные. По результатам измерений вычисляют координаты точек съемочного обоснования, составляют топографические планы и карты, вычерчивают планы и профили объектов нефтегазового хозяйства.

Угловые измерения выполняются с целью определения горизонтальных и вертикальных углов линий на земной поверхности и в пространстве.

Высотные измерения (нивелирование) выполняют для определения превышений и высот точек.

#### Единицы измерений.

Единица линейных измерений – метр  $\frac{1}{4000000}$  часть длины дуги меридиана. Введена в 1799 году по предложению Парижской Академии Наук. В 1960 на XI Генеральной конференции по мерам и весам принято новое определение метра: длина равна  $1650763,73$  длины волны излучения в вакууме, соответствующего переходу между уровнями  $2p^{10}$  и  $2d^5$ , атома криптона – 86.

Единицы угловых измерений – окружность и ее доли.

$$\text{Градус} \quad 1^\circ = \frac{1\text{окр}}{360}; \quad 1' = \frac{1^\circ}{60}; \quad 1'' = \frac{1'}{60}.$$

Град (предложена Парижской Академией Наук в 1799 году)

$$1^g = \frac{1\text{окр}}{400}; \quad 1' = \frac{1^g}{100}; \quad 1'' = \frac{1'}{100}.$$

Радян – центральный угол, опирающийся на дугу окружности, длина которой равна ее радиусу

$$\rho = 57,2958^\circ = 3437,75' = 206264,8''.$$

В России угломерные приборы выпускают с градусной оцифровкой кругов, в некоторых странах выпускаются приборы с оцифровкой кругов в градах.

### § 26. Теодолит.

Угловые измерения выполняют теодолитом. Теодолит – это прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов. Теодолиты различаются по точности и по конструкции.

По точности различают: высокоточные Т05, Т1; точные Т2, Т5, технические Т15, Т30. Цифры показывают среднюю квадратическую ошибку измерения угла одним приемом в секундах.

По конструкции различают теодолиты оптические, электронные и лазерные. В оптических теодолитах отсчеты по угломерным кругам выполняются наблюдателем. В электронных теодолитах на угломерных кругах



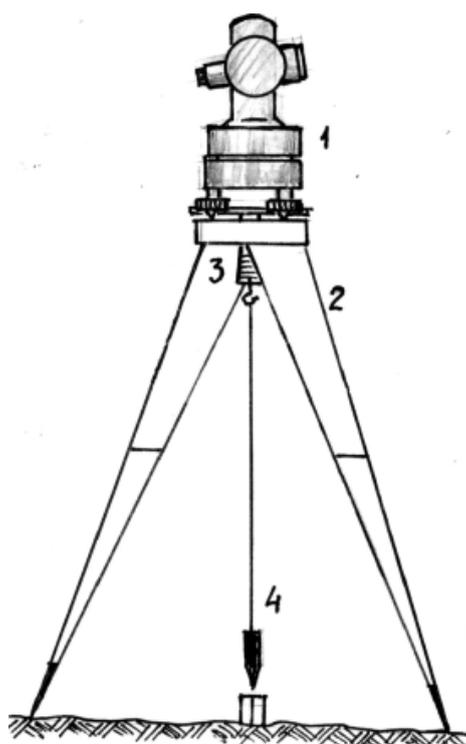


Рис. 36. Установка теодолита.

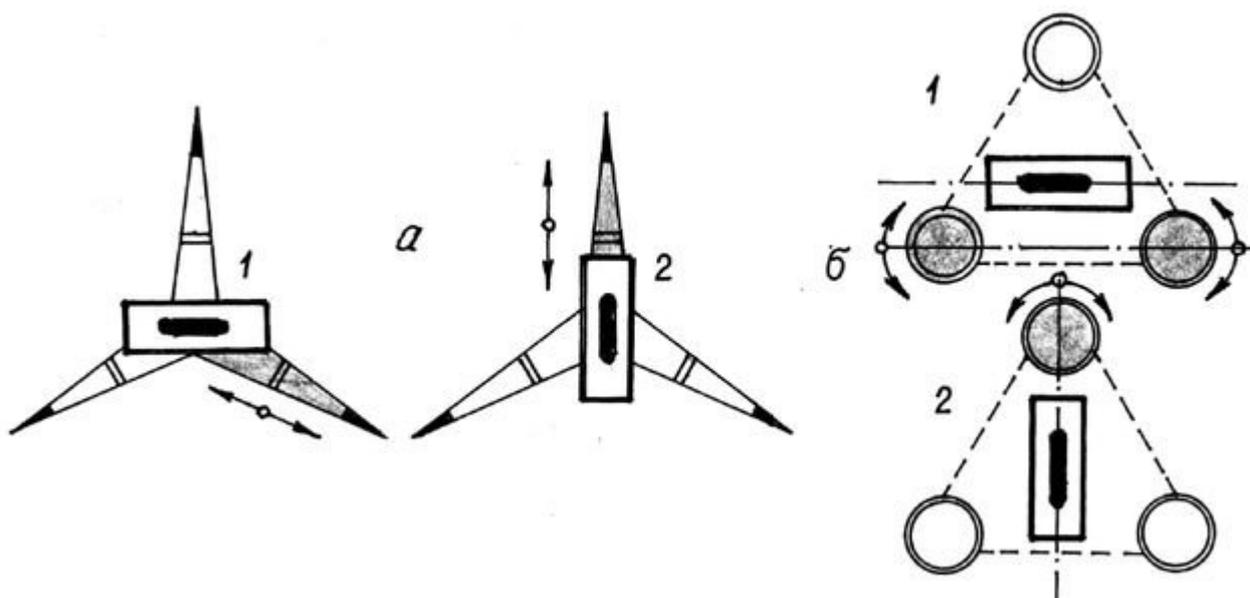


Рис.37. Горизонтирование теодолита а - предварительное горизонтирование ножками штатива; б - горизонтирование подъемными винтами подставки

Вертикальная ось теодолита устанавливается в отвесное положение (а плоскость лимба в горизонтальное положение) по цилиндрическому уровню вращением подъемных винтов 3 (всего 3 винта) (Рис. 37 б).

Теодолит устанавливается на штативе 2 и закрепляется на нем станковым винтом 3.

Центрирование теодолита, т.е. установка теодолита так, чтобы его вертикальная ось проходила через вершину измеряемого угла, осуществляется с помощью отвеса 4 (или для теодолита Т30 при помощи зрительной

трубы, направленной вертикально вниз).

Для измерения углов наклона (вертикальных углов) теодолит имеет вертикальный круг .

В процессе измерения горизонтального угла вращением алидады и трубы последовательно наводят зрительную трубу на точки  $A$  и  $C$  местности и берут с помощью отсчетного устройства отсчеты по лимбу. Разность этих отсчетов и есть значение горизонтального угла.

#### *Зрительная труба*

Для визирования на удаленные предметы в геодезических приборах применяют зрительные трубы. Иногда используют трубы с обратным изображением, иногда – с прямым изображением.

Зрительная труба на рис. 34, а имеет объектив 1, фокусирующую линзу 2, которая перемещается с помощью кремальеры 3. Лучи, идущие от наблюдаемого объекта, ограничиваются диафрагмой 4 и фокусируются в плоскости сетки нитей 5, затем они поступают в окуляр 7. Сетка нитей выполнена в виде штрихов на стеклянной пластинке и закреплена в трубе юстировочными винтами 6. На рис. 34б изображена сетка штрихов: 2 и 3 – соответственно горизонтальный и вертикальный штрихи, 1 – биссектор, 4 – дальномерные штрихи.

Воображаемая линия, соединяющая оптический центр объектива и перекрестье сетки нитей, называется *визирной осью* трубы.

Для подготовки трубы к наблюдениям устанавливают трубу «по глазу» - наводят трубу на светлый фон и поворачивают окулярное колечко, добиваясь четкого изображения штрихов сетки. Устанавливают трубу «по предмету» - наводят трубу на предмет и, вращая кремальеру, добиваются четкого изображения предмета. При перемещении глаза у окуляра перекрестье сетки не должно сходить с изображения наблюдаемой цели. В противном случае имеет место параллакс сетки нитей, который возникает вследствие того, что плоскость изображения не совпадает с плоскостью сетки. Параллакс устраняется небольшими поворотами кремальеры и окулярного кольца.

*Некоторые характеристики зрительной трубы.* Видимым или угловым увеличением зрительной трубы называется отношение угла  $\beta$ , под которым изображение рассматриваемого предмета видно в трубу, к углу  $\alpha$ , под которым предмет виден невооруженным глазом, т.е.

$$\Gamma = \frac{\beta}{\alpha} \quad \text{или} \quad \Gamma = \frac{f_{об.}}{f_{ок.}}, \quad (56)$$

где  $f_{об.}$  – фокусное расстояние объектива;  $f_{ок.}$  – фокусное расстояние окуляра.

Увеличение зрительной трубы можно определять также по формуле

$$\Gamma = \frac{D}{d}, \quad (57)$$

где  $D$  – диаметр входного отверстия объектива;  $d$  – диаметр выходного отверстия трубы.

Считается, что погрешность визирования невооруженным глазом равна  $1'$ . Погрешность визирования через зрительную трубу  $m_v$  уменьшается пропорционально увеличению трубы

$$m_v = \frac{60''}{\Gamma}. \quad (58)$$

Для технических теодолитов  $\Gamma = 20^\times$ ,  $m_v = 3''$ .

*Поле зрения трубы* называется пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении. Оно ограничивается диаметром диафрагмы трубы. Угол поля зрения трубы  $\varepsilon$  (в угл. градусах) можно определить по формуле

$$\varepsilon = \frac{38,2^\circ}{\Gamma}. \quad (59)$$

Чем больше увеличение трубы, тем меньше угол поля зрения. Для зрительной трубы, увеличение которой  $\Gamma = 20^\times$ , угол поля зрения  $\varepsilon \approx 2^\circ$ .

Результаты теодолитной съемки фиксируются (регистрируются) в абрисе, или в нескольких абрисах теодолитной съемки

Абрисом в геодезии (и не только) называется схематический чертеж (зарисовка) изучаемого объекта, выполненный «в поле» (т.е. непосредственно на объекте, в полевых условиях) от руки.

Если снимаемый участок мал, то можно составлять один общий абрис на весь участок. Но обычно абрисы составляются для каждого отдельного фрагмента участка, снимаемого только с двух или трех близлежащих пунктов и сторон съемочного обоснования.

На абрисе теодолитной съемки изображаются соответствующие пункты и стороны съемочного обоснования, вся снимаемая с них ситуация и, главное, записываются результаты всех полевых геодезических измерений, показываемые таким образом, чтобы было четко понятно каким способом и от каких пунктов и сторон съемочного обоснования произведена съемка той или иной контурной точки местности.

Абрис теодолитной съемки является единственным полевым документом, содержащим ее результаты, и потому он должен оформляться грамотно и аккуратно, так чтобы любое другое лицо (а не только исполнитель съемки) могло составить план отснятой ситуации по этому абрису. И естественно, абрисы нельзя терять: это обесценит всю соответствующую полевую работу.

### Линейные измерения

Измерения длин линий выполняются приборами механическими, физико – оптическими и электромагнитными.

Механические мерные приборы. К ним относятся жезлы, инварные проволоки, ленты и рулетки. Точность измерения линий указанными приборами характеризуется относительными ошибками соответственно  $\frac{1}{1000000}$ ;  $\frac{1}{10000} - \frac{1}{50000}$  (до  $\frac{1}{1000000}$ );  $\frac{1}{1000} - \frac{1}{5000}$  (до  $\frac{1}{10000}$ ).

В измерениях для технических целей чаще всего применяют ленты 20 – и 24 – метровой длины и рулетки длиной 10, 20, 30 и 50 м.

Перед началом работ производят компарирование мерного прибора, то есть сравнение его с контрольным мерным прибором. В результате сравнения узнают поправку за компарирование, которую учитывают при измерениях.

На местности конечные точки измеряемых линий закрепляют в зависимости от срока и важности работ деревянными кольями, металлическими штырями или бетонными монолитами.

В отворе линии (вертикальной плоскости, проходящей через конечные точки линии) выставляют вехи (на равнине примерно через 100 м, а в пересеченной местности – в пределах прямой видимости). Вешение выполняют на глаз, в некоторых случаях при помощи теодолита, устанавливая вехи от дальнего конца линии «на себя». Для вычисления горизонтальных проложений измеряют углы наклона местности. Линию измеряют дважды – в прямом и обратном направлениях. Длина линии определяется по формуле

$$D = l \cdot n + r, \quad (60)$$

где  $l$  – длина мерного прибора,

$n$  – число уложений мерного прибора в измеряемой линии,

$r$  – остаток.

Горизонтальные проложения вычисляют по известной формуле

$$d = D \cos v \quad (61)$$

( $v$  – угол наклона местности) .

Точность измерения линий мерной лентой в зависимости от условий характеризуется относительными ошибками (1/1000 – 1/3000).

Оптические дальномеры. В основу определения расстояния оптическими дальномерами положено решение параллактического треугольника  $AMC$  (рис. 37), в котором  $\varphi$  – параллактический угол,  $e$  – база,  $D$  – определяемое расстояние. Из рис. 37 следует:

$$D = \frac{e}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \quad (62)$$

Учитывая, что угол  $\varphi$  мал (обычно не превышает  $1^\circ$ ), можно записать:

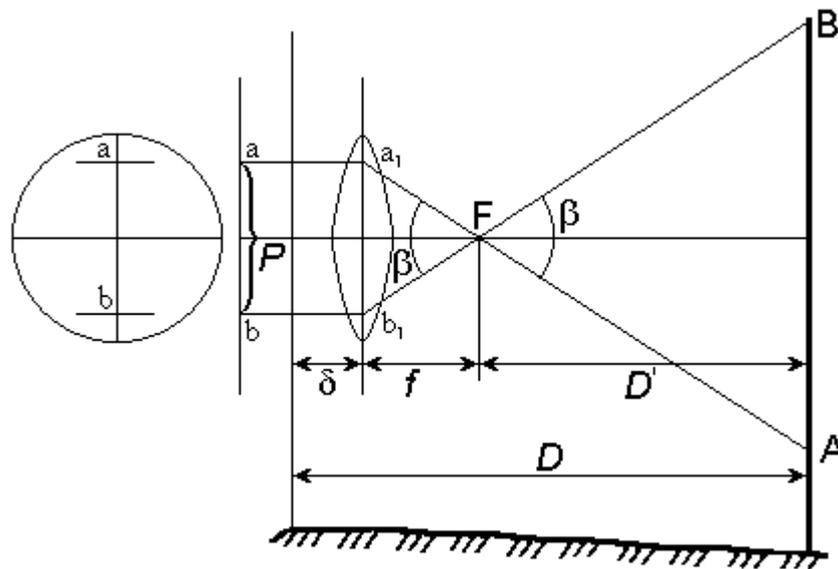
$$D = \frac{e\rho}{\varphi}, \quad (63)$$

где  $\rho$  – радиан.

В зависимости от решения параллактического треугольника различают следующие типы оптических дальномеров:

- с постоянным параллактическим углом и измеряемой базой;
- с постоянной базой и измеряемым параллактическим углом;
- с измеряемым углом и измеряемой базой.

Нитяной дальномер. Нитяной дальномер относится к дальномерам с постоянным параллактическим углом и измеряемой базой. Он имеется в зрительных трубах большинства геодезических приборов и представляет собой штрихи сетки: верхний  $a$  и нижний  $b$ , – обеспечивающие постоянный параллактический угол. Для измерения расстояния на одном конце линии устанавливают прибор, а на другом – дальномерную рейку.



Лучи от штрихов  $a$  и  $b$  проходят через объектив, пересекаются в переднем фокусе объектива  $F'$  и пересекают рейку в точках  $B$  и  $A$ . Расстояние между точками  $B$  и  $A$  (база) есть разность отсчетов по дальномерным штрихам, обозначается через  $n$ . Длину измеряемой линии можно определить из выражения

$$D = D' + f + \delta, \quad (64)$$

где  $D'$  – расстояние от точки  $F'$  до рейки,

$f$  – переднее фокусное расстояние объектива,

$\delta$  – расстояние от объектива до вертикальной оси вращения прибора.

Из подобия треугольников  $ABF'$   $a'e'F'$  можно записать

$$\frac{D'}{n} = \frac{f}{p} \quad \text{или} \quad D' = \frac{f}{p} \cdot n, \quad (65)$$

$$p = a'b'$$

где  $p$  – расстояние между дальномерными штрихами.

Обозначим через  $k = \frac{f}{p}$  – коэффициент дальномера и через  $c = (f + \delta)$  – постоянную поправку дальномера,

тогда

$$D = k \cdot n + c. \quad (66)$$

В современных геодезических приборах  $k = 100$  и  $c \approx 0$ .

Это удобно при измерениях – отсчет по рейке в сантиметрах легко переводить в метры расстояния.

Измерения линий нитяным дальномером выполняются с относительной ошибкой  $1/100 - 1/300$ .

Приведение к горизонту расстояний, измеренных нитяным дальномером. При измерениях на местности расстояний нитяным дальномером необходимо учитывать угол наклона (практически при углах наклона более  $2^\circ$ ).

При визировании на рейку получается отсчет  $n = AB$ . Для определения наклонного расстояния  $D$  необходимо, чтобы рейка располагалась под прямым углом к визирной оси. В этом положении отсчет по рейке будет равен  $n' = A'B'$ . Но следует

$$n' = n \cdot \cos \nu \quad \text{откуда} \quad D = n' \cdot k + c \quad \text{и} \quad D = n \cdot k \cdot \cos \nu + c. \quad (67)$$

Горизонтальное положение определяется по формуле

$$d = D \cdot \cos \nu \quad \text{или} \quad d = n \cdot k \cdot \cos^2 \nu + c \cdot \cos \nu. \quad (68)$$

Если значение  $c$  близко к нулю, то горизонтальное положение линий, измеряемых нитяным дальномером, можно определять по формуле

$$d = n \cdot k \cdot \cos^2 \nu. \quad (69)$$

Электромагнитные дальномеры. Под электромагнитными дальномерами подразумевают приборы для измерения расстояния по времени распространения электромагнитных колебаний между конечными точками линии.

В зависимости от используемого диапазона электромагнитных колебаний различают светодальномеры и радиодальномеры. В зависимости от характера электромагнитного излучения различают импульсные и фазовые дальномеры.

Импульсный дальномер работает следующим образом. На одном конце измеряемой линии устанавливается дальномер, а на другом отражатель. В дальномере имеется передатчик, приемник и индикатор времени. Передатчик излучает электромагнитный импульс (радио или световой) в направлении отражателя. Импульс после отражения возвращается в приемник. Индикатор времени измеряет время  $\tau$  прохождения импульса по дистанции туда и обратно. Расстояние определяют по формуле

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \tau, \quad (70)$$

в которой  $c$  – скорость распространения электромагнитных колебаний в атмосфере, определяемая по формуле

$$c = \frac{c_0}{n}, \quad (71)$$

где  $c_0$  – скорость распространения электромагнитных колебаний в вакууме, равная 299792458 м/с.

$n$  – показатель преломления воздуха.

Импульсные дальнометры применяют при аэрофотосъемке, как высотомеры, для определения высоты полета в момент фотографирования. При измерениях отражателем импульсов является поверхность земли. Ошибка определения высоты радиовысотомерами в равнинных районах около 1 – 2 м. В горной местности радиовысотомеры не применяют из-за больших ошибок определения высоты, возникающих вследствие отражения радиоволн не от точки, над которой находится самолет, а от ближайших к нему вершин.

В этом дальнометре время распространения электромагнитных колебаний по дистанции и обратно  $\tau$  измеряется косвенно, после сравнения фазы непрерывных колебаний, уходящих на дистанцию и возвращающихся после отражения.

Передатчик дальнометра излучает в направлении отражателя свет, модулированный по амплитуде частотой  $f$ . После отражения эти колебания поступают в приемник.

На фазометре сравнивается фаза сигнала, уходящего на дистанцию,  $\varphi_1$ , и фаза сигнала, приходящего с дистанции,  $\varphi_2$ .

Фаза уходящего на дистанцию сигнала равна

$$\varphi_1 = \omega t + \varphi_0, \quad (72)$$

где  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$  – фазы гармонического колебания в начальный момент и момент времени  $t$ ;  $\omega$  – угловая частота колебаний. Известно, что  $\omega = 2\pi / T = 2\pi f$ . Следовательно,

$$\varphi_1 = 2\pi f t + \varphi_0 \quad (73)$$

Фаза сигнала, приходящего с дистанции, определяется выражением

$$\varphi_2 = 2\pi f (t - \tau) + \varphi_0. \quad (74)$$

Разность фаз этих колебаний, определяемая по фазометру, равна

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi f \tau, \quad \text{откуда } \tau = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f}. \quad (75)$$

При известном значении  $\tau$  расстояние  $D$  определяют по формуле (70).

Имеется одна особенность фазового дальнометра. Разность фаз в общем случае состоит из целого числа периодов  $N$  и доли периода  $\Delta\varphi$ . Величину  $\Delta\varphi$  определяют по фазометру в пределах одного периода. За время, равное одному периоду, колебание распространяется на расстояние, равное длине волны  $\lambda = cT$ . Следовательно, по  $\Delta\varphi$  однозначно можно определить расстояние, не превышающее  $1/2 \lambda$ . Для определения  $N$  выполняют измерения на нескольких частотах. Сначала на низкой частоте определяют приближенное расстояние в пределах  $\frac{1}{2} \lambda$ , затем уточняют его на более высоких частотах (число периодов будет известно). Обычно хватает измерений на трех частотах. Применяемые частоты модуляции лежат в диапазоне от 10 до 40 мГц.

Точность измерений фазовыми дальномерами во многом зависит от выбора длины волны. Для коротких волн более точно можно определять влияние атмосферы. Но использование этих волн вызывает трудности по измерению разности фаз и разрешению многозначности. В фазовых светодальномерам это противоречие разрешается за счет амплитудной модуляции световых волн, при которой на волны высокой (несущей) частоты накладываются волны низкой (измерительной) частоты. Несущая частота позволяет достаточно надежно учитывать влияние атмосферы, а измерительная – облегчает определение домеров фазовых циклов и разрешение многозначности.

В практике инженерно – геодезических работ получили распространение лазерные безотражательные дальномеры, которые измеряют расстояние до любого (практически) объекта без установки на нем отражателя.

Основная особенность лазерных дальномеров по сравнению со светодальномерами – большая дальность действия и возможность в некоторых случаях определять расстояния до объектов без установки на них отражателей. При этом отражателем является поверхность самого объекта. С использованием отражателя дальность действия приборов увеличивается.

#### Основные характеристики некоторых лазерных безотражательных дальномеров

Таблица 7

Марка прибора	Фирма-изготовитель	Дальность без отражат./с отражат	Точность	Масса, кг
Data Disto	Leica Швейцария	30 м / 100 м	3 мм	0,6
Power Disto	Leica Швейцария	60 м / 140 м	3 мм	0,67
Minimeter MM30	Sokkia Япония	30 м / 100 м	3 мм	0,58
LEM 30	Jenoptik Германия	30 м / 100 м	3 мм	0,36
PULSAR 50	Sokkia Япония	50 м / 14 км	3 мм + 5 ppm	1,7
PULSAR 100	Sokkia Япония	100 м / 10 км	5 мм + 5 ppm	1,7
PULSAR 500	Sokkia Япония	500 м / 15 км	10 мм + 5 ppm	1,85

С помощью светодальномеров можно измерять расстояние между двумя точками в пределах прямой видимости, поэтому дальность действия даже лазерных светодальномеров на земной поверхности ограничена вследствие влияния кривизны Земли. Радиоволны обладают способностью огибать препятствия и земную поверхность, поэтому с помощью дальномеров и систем, в которых используется радиоволновый диапазон электромагнитных колебаний, можно измерять более длинные линии. Однако вследствие большой расходимости радиоволн отраженный от отражателя в конечной точке сигнал придет в начальную точку слабым и его будет очень трудно выделить на фоне помех, поэтому в радиодальномерам применяют активный отражатель – ретранслятор. Этот ретранслятор называют ведомой станцией.

#### Принцип работы радиодальномеров

Передатчик радиодальномерам генерирует колебания несущей частоты  $\omega_1$ , которые модулируются колебаниями масштабной частоты кварцевого генератора  $\Omega_1$ . модулированные колебания излучаются

параболической антенной в направлении ведомой станции.

Предположим, ведущая станция расположена в точке  $A$ , а ведомая станция находится в точке  $B$ . текущая фаза колебаний кварцевого генератора в точке  $A$  определяется выражением

$$\varphi_1^A = \Omega_1 t + \varphi_{01}, \quad (76)$$

где  $\varphi_{01}$  – начальная фаза.

При прохождении расстояния  $D$  до ведомой станции фаза этих колебаний в точке  $B$  будет следующей:

$$\varphi_1^B = \Omega_1 (t - \tau_D) + \varphi_{01}, \quad (77)$$

где  $\tau_D = D/c$ .

Колебания, излучаемые ведомой станцией в направлении ведущей, модулируются своим кварцевым генератором и имеют фазу

$$\varphi_2^B = \Omega_2 t + \varphi_{02}. \quad (78)$$

После прохождения расстояния  $D$  до ведущей станции фаза этих колебаний в точке  $A$  будет равна

$$\varphi_2^A = \Omega_2 (t - \tau_D) + \varphi_{02}. \quad (79)$$

Предположим, что  $\Omega_1 > \Omega_2$ . После амплитудного детектирования на ведущей станции выделяется и подается на фазометр низкочастотный (НЧ) сигнал с фазой

$$\varphi_{\Gamma^A} = \varphi_1^A - \varphi_2^A = (\Omega_1 - \Omega_2)t + \Omega_2 \tau_D + (\varphi_{01} - \varphi_{02}) - \psi_1, \quad (80)$$

где  $\psi_1$  – дополнительная фазовая задержка в цепях ведущей станции. Аналогично на ведомой станции, после амплитудного детектирования, образуется НЧ сигнал с фазой

$$\varphi_{\Pi^B} = \varphi_1^B - \varphi_2^B = (\Omega_1 - \Omega_2)t - \Omega_1 \tau_D + (\varphi_{01} - \varphi_{02}) - \psi_2, \quad (81)$$

где  $\psi_2$  – дополнительная фазовая задержка в цепях ведомой станции.

Этот НЧ – сигнал, выделенный на ведомой станции, передается на ведущую при помощи дополнительной модуляции и после детектирования в частотном детекторе подается на фазометр. При этом его фаза будет равна фазе с учетом задержки, полученной в результате прохождения расстояния  $D$ , и соответствующих цепей обеих станций:

$$\varphi_{\Pi^A} = (\Omega_1 - \Omega_2)t - \Omega_1 \tau_D + (\varphi_{01} - \varphi_{02}) - \psi_2 - (\Omega_1 - \Omega_2) \tau_D - \psi_3, \quad (82)$$

где  $\psi_3$  – фазовые задержки в цепях станций.

Следовательно, на фазометр поступают сигналы с разностью фаз

$$\varphi = \varphi_{\Gamma^A} - \varphi_{\Pi^A} = 2\Omega_1 \tau_D - \psi_1 + \psi_2 + \psi_3. \quad (83)$$

Эта формула получена в предположении, что  $\Omega_1 > \Omega_2$ , т.е. разность  $\Omega_1 - \Omega_2 = \Omega$  положительна. В радиодальномере на ведомой станции имеются две переключаемые частоты модуляции  $\Omega_2^+$  и  $\Omega_2^-$ , одна из которых меньше, а другая больше частоты модуляции ведущей станции  $\Omega_1$  на одинаковую небольшую величину  $\Omega$ . При измерении на частоте модуляции  $\Omega_2^-$  получим фазу сигнала

$$\varphi' = -2 \Omega_1 \tau_D - \psi_1 + \psi_2 + \psi_3. \quad (84)$$

Если измерить величины  $\varphi$ ,  $\varphi'$  и вычислить их полуразность, получим

$$\frac{\varphi - \varphi'}{2} = 2\Omega_1 \tau_D. \quad (85)$$

Это выражение можно записать в виде

$$\frac{\varphi - \varphi'}{2} = \Omega_1 \tau_{2D}, \quad (86)$$

где  $\tau_{2D} = 2 \tau_D$ .

Полное время прохождения двойного расстояния  $\tau_{2D}$  равно

$$\tau_{2D} = NT + \tau, \quad (87)$$

где  $N$  – целое число периодов  $T$  частоты  $\Omega_1$ ;  $\tau$  – доля периода. По фазометру измеряют только долю фазового цикла – величину, не превышающую  $2\pi$ , т.е. результаты измерения дают  $\tau$  – дробную часть периода. Для определения целого числа периодов  $N$  в выражении (46) выполняют измерения на других частотах модуляции.

### § 27. Геометрические оси и условия теодолита.

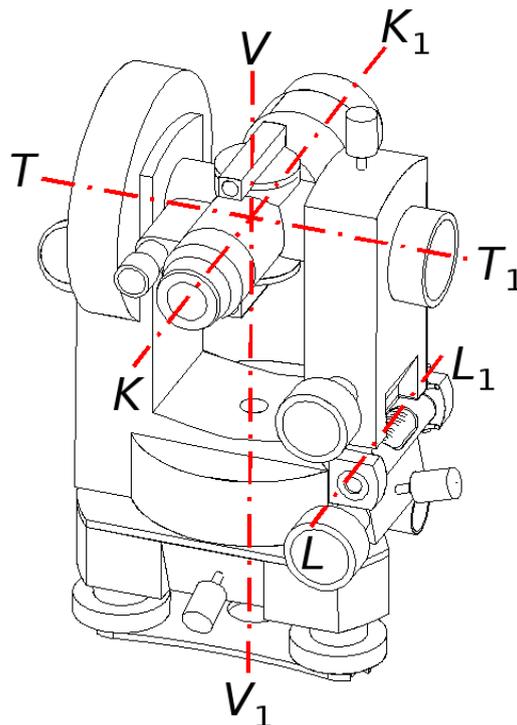


Рис. 38. Основные оси теодолита

VV1– вертикальная ось вращения алидады горизонтального круга; проектируется по отвесной линии в вершину измеряемого горизонтального угла (центрируется).

ТТ1- горизонтальная ось вращения зрительной трубы.

LL1– ось цилиндрического уровня- касательная к внутренней поверхности ампулы уровня в средней точке – нульпункте; горизонтальна, когда пузырек уровня находится в нульпункте.

КК1– визирная ось зрительной трубы; фиксирует направление на цель; при вращении вокруг оси ТТ1 образует плоскость, называемую коллимационной.

Основные геометрические условия соотношения осей теодолита

ось вращения алидады VV1 должна быть перпендикулярной оси уровня LL1 при любом ее направлении; ось вращения зрительной трубы ТТ1 должна быть перпендикулярной оси вращения алидады VV1; визирная ось зрительной трубы КК1 должна быть перпендикулярной оси вращения зрительной трубы ТТ1.

Выполнение этих условий регулярно проверяют в процессе эксплуатации прибора (поверка) и при необходимости приводят оси в соответствующее положение (юстировка).

#### *Поверки теодолита*

Для получения правильных результатов измерений в теодолите должны соблюдаться определенные геометрические условия. Наличие этих условий выявляют в результате поверки прибора. Если выясняется, что то или другое геометрическое условие не выполняется, производят *юстировку* (регулировку) прибора. Выполняют следующие проверки.

1. *Ось цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита, т.е. должно соблюдаться условие  $VV1 \perp LL1$  (рис. 38).*

Поворотом алидады устанавливают цилиндрический уровень параллельно линии, соединяющей два подъемных винта, и приводят ими пузырек уровня в нуль – пункт. Затем поворачивают алидаду с уровнем на  $180^\circ$ . Если после поворота пузырек уровня остался в нуль – пункте или отклонился не более одного деления, то условие выполнено. При смещении пузырька более чем на одно деление юстировочными винтами уровня перемещают его пузырек по направлению к нуль – пункту на половину дуги отклонения.

Перед выполнением следующих проверок необходимо привести вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль – пункт. Затем поворачивают алидаду на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом приводят пузырек на середину алидады. Эти действия повторяют до тех пор, пока пузырек не будет оставаться на середине алидады при любом положении алидады (допускается отклонение до одного деления).

2. *Визирная ось должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита (оси вращения трубы), т.е. требуется выполнение условия  $RR1 \perp TT1$ .*

Если указанное условие выполняется, то при вращении трубы вокруг горизонтальной оси визирная ось описывает плоскость, называемую коллимационной. В случае несоблюдения условия визирная ось описывает не плоскость, а две конические поверхности. Угол отклонения визирной оси от перпендикуляра называется *коллимационной ошибкой*.

Для проверки данного условия выбирают удаленный ясно видимый предмет и визируют на него при положении вертикального круга справа (КП) от окуляра, берут отсчет по лимбу  $E_1$ , затем визируют на эту же

точку при круге лево (КЛ), берут отсчет  $E_2$ .

Вычисляют коллимационную ошибку по формуле

$$c = \frac{E_2 - E_1 \pm 180^\circ}{2}. \quad (88)$$

Если она не превышает двойной точности отсчитывания по лимбу (для теодолита Т30 не более  $2'$ ), то условие считается выполненным. Если же превышает – то производят юстировку. Вычисляют правильный отсчет по формуле

$$E = \frac{E_1 + E_2 - 180^\circ}{2}. \quad (89)$$

Поворотом алидады устанавливают этот отсчет на лимбе горизонтального круга. При этом перекрестье сетки нитей сместится с изображения наблюдаемой точки. Ослабляют вертикальные юстировочные винты сетки и, действуя боковыми юстировочными винтами, передвигают перекрестье сетки до совмещения его с наблюдаемой точкой. После юстировки рекомендуется повторить проверку.

3. *Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита – условие  $TTI \perp LLI$ .* Соблюдение этого условия необходимо для того, чтобы в ходе измерения горизонтального угла коллимационная плоскость занимала отвесное положение.

Для поверки данного условия теодолит устанавливается на расстоянии 10 -20 м от стены здания. Выбирают на стене высоко расположенную точку  $M$  и наводят на нее трубу. Затем проецируют точку  $M$  вниз до уровня, близкого к уровню горизонтальной оси теодолита, и отмечают на стене проекцию точки  $M'$ . При втором положении вертикального круга повторяют эти же действия и получают вторую проекцию точки  $M''$ . Допускается несовпадение точек  $M'$  и  $M''$  в пределах полосы биссектора. Юстировка выполняется в заводских условиях или в специализированных мастерских. Следует иметь в виду, что среднее из отсчетов по лимбу, взятых при наведении на точку при двух положениях трубы (КП и КЛ), свободно от влияния наклона оси вращения трубы.

4. *Поверка сетки нитей – вертикальный штрих сетки нитей должен располагаться в коллимационной плоскости трубы, или иначе, горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярным к оси вращения теодолита.,*

Наводят перекрестье сетки нитей на ясно видимую точку. Поворачивая алидаду наводящим винтом, наблюдают за положением точки. Если изображение точки остается на среднем горизонтальном штрихе сетки – условие выполнено. Для юстировки открепляют винты сетки и соответствующим образом поворачивают ее, после чего винты закрепляют, а оверку повторяют.

Если производилась юстировка (поворот) сетки, то после этой поверки необходимо повторить проверку перпендикулярности визирной оси к горизонтальной оси теодолита.

## **§ 28. Теодолит и его устройство. Отсчетное устройство. Лимб и алидада. Отсчетный микроскоп. Сетка нитей.**

В геодезии такие приборы, как теодолиты. С их помощью во время геодезических работ специалисты измеряют горизонтальные, вертикальные углы и расстояния.

В основе прибора стоит визирная труба, а также отсчетные круги (горизонтальный и вертикальный). Труба имеет определенную кратность увеличения и работает по принципу подзорной. Она крепится на двух колонках, они же, в свою очередь, закреплены на специальном основании. Оно устанавливается на подставку, называемую трегером.

**Теодолит включает в себя такие составные элементы:**

- лимб – это угломерный круг, имеющий деления от 0 до 360 градусов, во время измерений играет роль рабочей меры;
- алидада – подвижная часть конструкции, которая несет систему отсчитывания по кругу и удерживает визирную трубу;

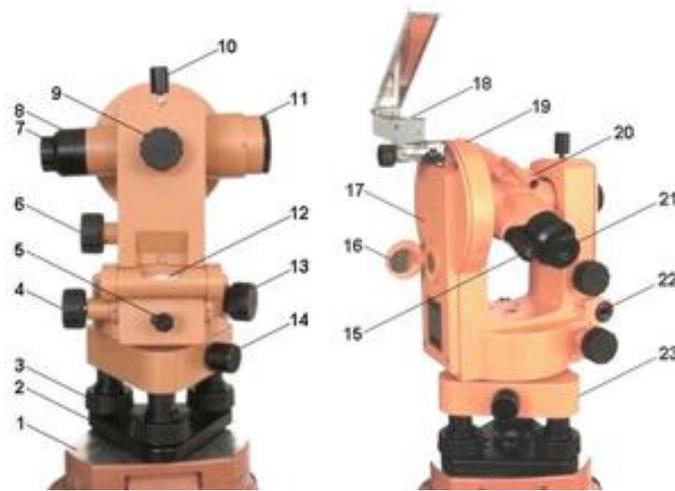


Рис.40. Вид теодолита, его узлов и деталей

- зрительная труба – она прикрепляется подставками к алидадной части;
- осевая система – помогает двигаться алидадной части и лимбу вокруг оси;
- вертикальный круг – помогает измерять вертикальные углы;
- подставка, оснащенная несколькими подъемными винтами;
- наводящие и зажимные винты подвижных частей. Наводящие также называются микрометренными, а зажимные – закрепительными;
- штатив и крючок для отвеса, вместе с площадкой под подставку и станковым винтом;
- винт перестановки круга;
- уровни для вертикального и горизонтального круга;
- винт фокусировки;
- микроскопический окуляр для отсчетного прибора.

Устройства различаются по типу точности, сферам использования и конструктивным особенностям. При этом каждая классификация определяет, для чего предназначен теодолит и в каких работах он будет полезнее.

**По точности они бывают:**

- высокоточными — погрешность составляет менее 1,5";
- точными — показатель погрешности колеблется в пределах от 1,5 до 10";
- оптическими (техническими) — погрешность от 10" и выше.

**По сфере использования конструкции подразделяются на:**

- автоколлимационные;
- гироскопические;
- маркшейдерские;
- буссольные;
- геодезические;
- астрономические.

По конструктивным особенностям оптической системы трубы бывают с обратным или прямым изображениям.

Стоит упомянуть об отличиях теодолита от нивелира. Разница заключается в том, что теодолитом можно выполнять не только горизонтальную нивелировку, но также измерять вертикальные углы.

**Теодолиты менялись со временем.** Самые первые образцы имели в центре угломерного круга линейку на острие иглы, которая свободно на нем вращалась. На линейке имелись вырезы, также на них были натянутые нити, выступающие в роли отсчетных индексов. А центр угломерного круга устанавливался в вершину угла и крепко закреплялся.

При повороте линейки ее совмещали с первой стороной угла, далее брался отсчет по шкале угломерного круга. А потом линейка совмещалась с другой стороной угла, и брался второй отсчет. Разница двух значений соответствует значению угла. С целью совмещения линейки с разными частями угла использовали простые визирсы.

**В наши дни конструкция прибора значительно усовершенствовалась.** Так, для совмещения линейки со сторонами угла используют трубу, которая двигается по высоте и азимуту. Для отсчета также используется специальное приспособление, его современная конструкция, которая в отличие от своих «предков» покрыта защитным кожухом из металла.

Для обеспечения плавных вращений подвижных элементов применяется осевая система, сами же движения регулируются посредством наводящих и зажимных винтов. Теодолит устанавливается на земле на штативе, а центр с отвесной линией совмещен посредством нитяного отвеса или оптического центрира.

Стороны угла, который подлежит измерению, проектируется на плоскость круга с помощью вертикальной движущейся плоскости (коллимационной). Она образуется через визирную ось трубы при ее вращении вокруг своей оси. Визирная ось является воображаемой линией, что проходит через центр нитевой сетки и оптический центр объектива.

**Электронные теодолиты** являются современными приборами для измерения углов. Их применение исключает ошибки при снятии отсчета, поскольку значения отображаются на специальном экране в виде цифр. Отображение осуществляется за счет того, что в горизонтальный и вертикальный круги встроены специальные датчики.

Работать с таким устройством намного проще, чем с обычным. Некоторые электронные модели оснащены дополнительными функциями для автоматизации работы. Однако простые оптические конструкции в некоторых ситуациях все же более предпочтительны:

- они не нуждаются в подзарядке;

- способны стабильно работать даже в экстремальных условиях.

А вот устройства электронного типа нельзя использовать в условиях низких температур (менее 30 градусов ниже нуля).

То, для чего нужен теодолит, определяется его точностью. **Основными областями использования прибора являются:**

геодезические сети сгущения;  
 триангуляция;  
 полигонометрия;  
 прикладная геодезия; конструкций элементов машин и механизмов);  
 строительство промышленных объектов и не только.

- В штриховом микроскопе теодолита Т30 в середине поля зрения виден штрих, относительно которого осуществляется отсчет по лимбу (рис.41, а). Перед отсчетом по лимбу необходимо определить цену деления лимба. В теодолите Т30 цена деления лимба составляет 10 угловых минут, так как градус разделен на шесть частей. Число минут оценивается на глаз в десятых долях цены деления лимба. Точность отсчета составляет 1'.
- В шкаловом микроскопе в поле зрения видна шкала, размер которой соответствует цене деления лимба (рис.41, б, в). Для теодолита технической точности размер шкалы и цена деления лимба равны 60'. Шкала разделена на двенадцать частей и цена ее деления составляет 5 угловых минут. Если перед числом градусов знака минус нет, отсчет производится по шкале от 0 до 6 в направлении слева направо (рис.41, б). Если перед числом градусов стоит знак минус, то минуты отсчитываются по шкале вертикального круга от -0 до -6 в направлении справа налево (рис.41, в). Десятые доли цены деления шкалы берутся на глаз с точностью до 30".

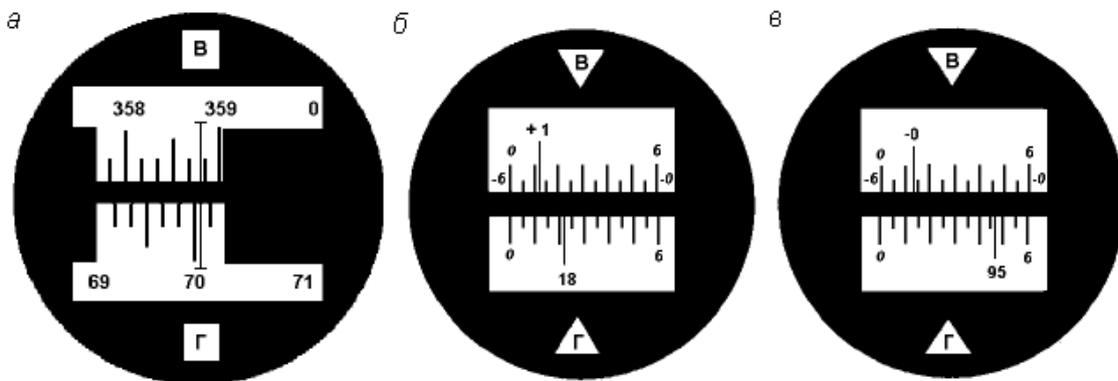


Рис.41. Поле зрения отсчетных устройств: а – штрихового микроскопа с отсчетами по вертикальному кругу  $358^{\circ}48'$ , по горизонтальному  $70^{\circ}04'$ ; б – шкалового микроскопа с отсчетами: по вертикальному кругу  $1^{\circ}11,5'$ , по горизонтальному  $18^{\circ}22'$ ; в – по вертикальному кругу – минус  $0^{\circ}46,5'$ , по горизонтальному  $-95^{\circ}47'$

Чтобы теодолит обеспечивал получение неискаженных результатов измерений, он должен удовлетворять соответствующим геометрическим и оптико-механическим условиям. Действия, связанные с проверкой этих условий, называют **поверками**. Поверки теодолита выполняются в соответствии с паспортом-инструкцией, прилагаемой к прибору, или инструкцией по проведению технологической поверки геодезических приборов.

Если какое-либо условие не соблюдается, с помощью исправительных винтов производят **юстировку** прибора.

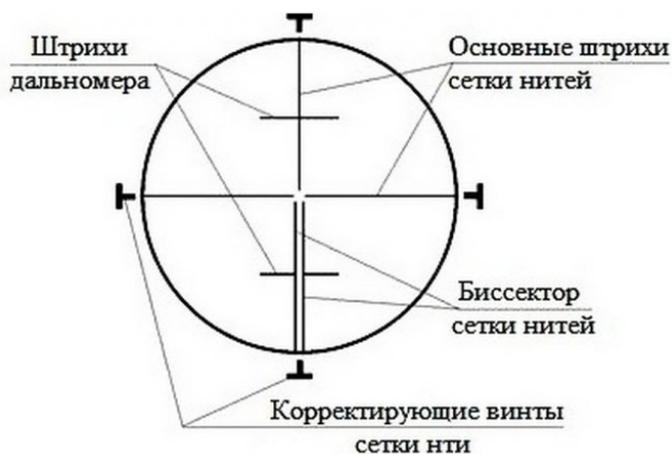


Рис.42. Сетка нитей

## Глава 7

### Поверки и юстировки теодолита

#### § 29. Поверки и юстировки теодолита. § 30. Порядок выполнения проверок.

До начала работы с теодолитом внешним осмотром проверяют его устойчивость на штативе, плавность хода подъемных и наводящих винтов, а также прочность фиксации вращающихся частей закрепительными винтами.

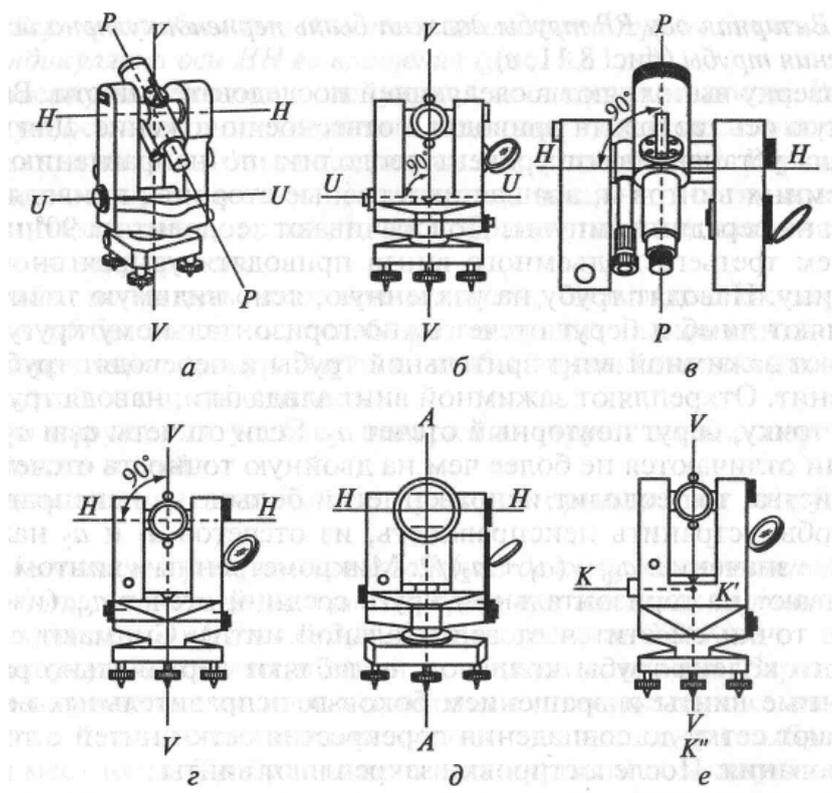


Рис.43 . Схемы (а, б, в, г, д) геометрических осей теодолита.

Если теодолит получен с завода, после ремонта или от другого специалиста, то до ввода теодолита в эксплуатацию выполняют проверки. В процессе проверок удостоверяются в правильном взаимном

расположении осей прибора (рис.43, а).

1. Ось  $UU$  цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси  $VV$  вращения прибора (рис.43, б).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Теодолит устанавливают на штативе так, чтобы уровень был расположен по направлению двух любых подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт, затем поворачивают горизонтальный круг теодолита на  $180^\circ$ . Если пузырек остался на середине или отклонился не более чем на одно деление, то уровень исправен, если более чем на одно деление — неисправен.

Для устранения неисправности пузырек перемещают исправительными винтами уровня к нуль-пункту на одну половину дуги отклонения, а подъемными винтами — на вторую.

После выполнения поверки удостоверяются, что теодолит сохранил рабочее положение. Для этого горизонтальный круг поворачивают на  $90^\circ$ , приводят пузырек цилиндрического уровня на середину и поворачивают горизонтальный круг в произвольном направлении. Если при различных положениях круга относительно подъемных винтов пузырек остался на середине, то поверка считается выполненной.

2. Визирная ось  $PP$  трубы должна быть перпендикулярна оси  $HH$  вращения трубы (рис.43, в).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Вертикальную ось теодолита приводят в отвесное положение. Для этого сначала устанавливают уровень теодолита по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек на середину ампулы. Поворачивают теодолит на  $90^\circ$  и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек снова на середину. Наводят трубу на удаленную, ясно видимую точку, закрепляют лимб и берут отсчет  $a_1$  по горизонтальному кругу. Отпускают зажимной винт зрительной трубы и переводят трубу через зенит. Открепляют зажимной винт алидады и, наводя трубу на ту же точку, берут повторный отсчет  $a_2$ . Если отсчеты  $a_1$  и  $a_2$  равны или отличаются не более чем на двойную точность отсчетного устройства, то теодолит исправен, если больше — неисправен.

Чтобы устранить неисправность, из отсчетов  $a_1$  и  $a_2$  находят среднее значение:  $a_{\text{ср}} = (a_1 + a_2)/2$ . Микрометренным винтом устанавливают на горизонтальном круге средний отсчет  $a_{\text{ср}}$  (изображение точки сместится от вертикальной нити). Снимают с окулярного колена трубы колпачок, ослабляют вертикально расположенные винты и вращением боковых исправительных винтов смещают сетку до совпадения перекрестия сетки нитей с точкой визирования. После юстировки закрепляют винты.

Можно измерять угол и при нарушенном соотношении осей. В этом случае отсчеты берут при двух положениях трубы — левом ( $L$ ) и правом ( $P$ ) и из этих отсчетов определяют среднее.

3. Ось  $HH$  вращения трубы должна быть перпендикулярна оси  $VV$  вращения прибора (рис.43, г).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Теодолит устанавливают на расстоянии 10... 15 м от стены здания. Вертикальную ось вращения приводят в отвесное положение. Трубу наводят на точку, высоко расположенную на здании, и закрепляют горизонтальный круг. Трубу плавно опускают до горизонтального положения. На стене отмечают проекцию точки. Переводят трубу через зенит, опускают закрепительный винт алидады и снова наводят на ту же точку. Проецируют точку на тот же уровень и закрепляют. Если проекции точки совпадают, то теодолит исправен, если не совпадают — неисправен.

Условия этой поверки гарантируются заводом-изготовителем. При нарушении условий прибор направляют в мастерскую для ремонта.

При работе с нарушенным соотношением осей измерения делают только при двух положениях круга. При подъеме трубы до  $30^\circ$  и расстоянии до проектируемой точки до 20 м допускается несовпадение проекций до 30 мм; за окончательный результат принимают среднее из двух наведений.

4. Вертикальная нить  $AA$  сетки зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси  $HH$  ее вращения (рис.43, д).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Вертикальную ось вращения теодолита приводят в отвесное положение. На расстоянии 8... 10 м от теодолита закрепляют отвес. Вертикальную нить наводят на отвес. Если вертикальная нить сетки совпадает с нитью отвеса, то теодолит исправен, если отклонилась от отвеса — неисправен.

Чтобы исправить соотношение осей, снимают с окулярного колена трубы колпачок, ослабляют исправительные винты сетки и поворачивают диафрагму так, чтобы вертикальная нить сетки совместилась с нитью отвеса. При нарушении условия поверки визируют только перекрестием сетки нитей.

После выполнения этой поверки повторно делают вторую поверку.

5. Визирные оси оптических визиров должны быть параллельны визирной оси зрительной трубы.

Выполнение этого условия необходимо для удобства работы с теодолитом и сокращения времени

визирования на наблюдаемые объекты. Поверку выполняют следующим образом. Визируют зрительной трубой на четкую удаленную точку, которая хорошо видна также и невооруженным глазом. Далее рассматривают эту точку без трубы одним глазом и одновременно рассматривают перекрестие визира другим глазом. Если изображение перекрестия визира совмещается с изображением наблюдаемой точки, то условие выполнено.

Если условие невыполнено, то ослабляют винты, крепящие визир к корпусу зрительной трубы, и поворачивают его в нужном направлении. Затем винты заворачивают.

### § 31. Измерение горизонтального угла.

Измерение начинают с того, что теодолит закрепляют на штативе и центрируют над точкой с помощью отвеса (нитяного или оптического). Подъемными винтами приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение, закрепляют лимб. Подготавливают трубу для наблюдений. Затем наводят трубу на точки (вращается алидада), отсчитывают по лимбу, вычисляют значение угла. Рассмотрим два способа измерения горизонтальных углов.

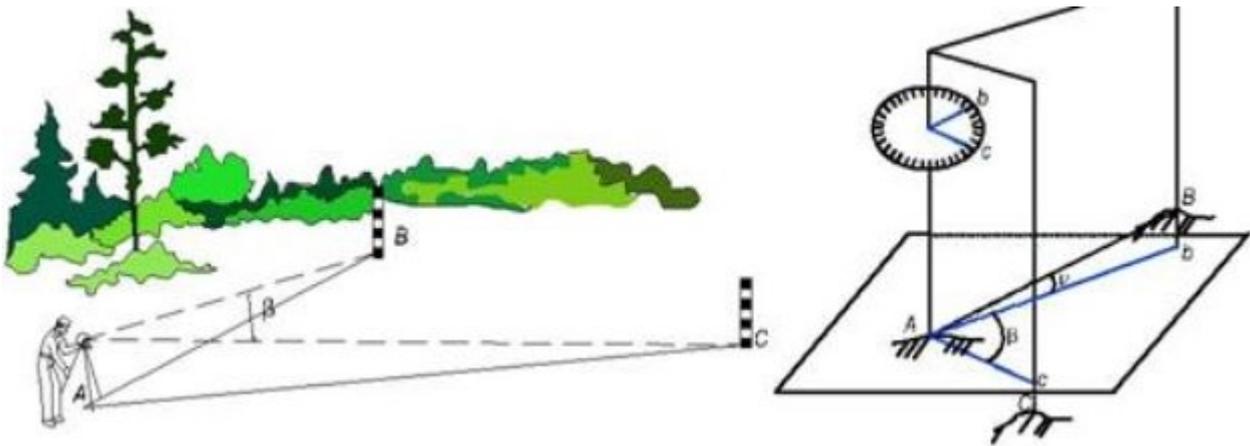


Рис.44. Измерение горизонтальных углов способом приемов

*Способ приемов, первый полуприем.* При неподвижном лимбе, поворачивая алидаду, визируют на точку  $A$  (рис.44) и получают отсчет по лимбу  $a_1$ , наблюдают на точку  $c$  и получают отсчет  $c_1$ . вычисляют значение угла  $\beta$  из первого полуприема  $\beta = c_1 - a_1$ .

*Второй полуприем.* Переводят трубу через зенит и, поворачивая алидаду, наблюдают вначале на точку  $C$ , получают отсчет  $c_2$ , а затем на точку  $A$ , получают отсчет  $a_2$ . значение угла из второго полуприема

$$\beta' = c_2 - a_2. \quad (90)$$

Если расхождение между  $\beta$  и  $\beta'$  не превышает двойной точности отсчитывания, вычисляют среднее значение измеренного угла

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{\beta + \beta'}{2}. \quad (91)$$

В противном случае повторяют измерения, предварительно повернув и закрепив в другом положении лимб.

#### *Способ круговых приемов*

Данный способ применяется, когда наблюдаемых направлений больше трех. Для облегчения вычислений устанавливают лимб теодолита так, чтобы отсчет по первому направлению  $a_1$  был близок к нулю, затем при закрепленном лимбе визируют на точки и записывают отсчеты  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , а в конце для контроля еще раз наводят на первую точку.

Во втором полуприеме трубу переводят через зенит и визируют на все направления в обратном порядке – против хода часовой стрелки. Значения направлений в полуприемах вычисляют относительно первого направления, принимая первое за нулевое (из всех отсчетов вычитают отсчет  $a_1$ ). Затем вычисляют средние значения направлений из полуприемов. Расхождения значений направлений в полуприемах допускаются в пределах двойной точности отсчитывания.

### § 32. Измерение вертикального угла

Вертикальный угол — это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости. К вертикальным углам относятся угол наклона и зенитное расстояние. Угол между горизонтальной плоскостью и направлением линии местности называется углом наклона и обозначается буквой  $v$ . Углы наклона бывают положительные и отрицательные.

Вертикальный угол измеряют при помощи вертикального круга, закрепленного на оси вращения зрительной трубы. Нулевой отсчет лимба вертикального круга, жестко скрепленного с осью трубы, устанавливается параллельно визирной оси трубы. При нарушении геометрических условий вертикального круга возникает инструментальная ошибка, называемая местом нуля вертикального круга (см. проверки геодалита), и вертикальные углы отсчитываются не от нулевого диаметра лимба.

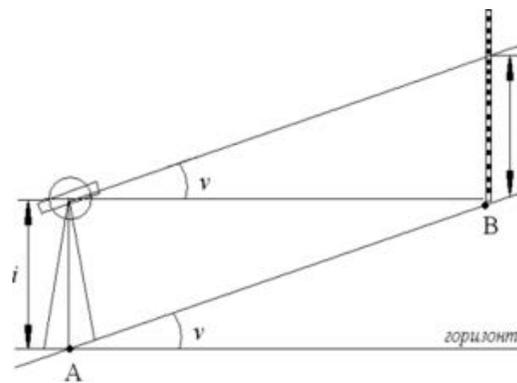


Рис.45. Схема измерения вертикального угла

Измерения начинают с установки прибора (теодолита) в точке А. Приводят его в рабочее положение и при помощи рулетки измеряют высоту прибора  $i$  (расстояние от оси вращения трубы до точки, над которой установлен прибор). В точке В вертикально устанавливают рейку, на которой отмечают высоту прибора  $i$ . Визируют на высоту инструмента и измеряют вертикальный угол, который будет равен углу наклона местности.

Способ измерений зависит от конструкции и оцифровки вертикального круга теодолита.

Первый способ. Если вертикальный круг не имеет уровень при алидаде, то после приведения прибора в рабочее положение, визируют на определяемую точку. Например, при КЛ наводящим винтом алидады вертикального круга приводят в нуль-пункт уровень при вертикальном круге и берут отсчет по лимбу вертикального круга. Трубу переводят через зенит и действия повторяют при другом положении вертикального круга. Вычисляют значение места нуля (МО) вертикального круга (см. формулу (6)) и вертикальный угол:

$$v = KJ - M_0, y = M_0 - KP. \quad (92)$$

Контролем правильности измерений служит постоянство МО, колебания которого могут быть в пределах удвоенной точности прибора ( $M_0 = \text{const}, \Delta M_0 < 2t'$ ).

Второй способ применяется в случае, если алидада вертикального круга не имеет уровня, и его функции выполняет уровень при алидаде горизонтального круга (ТЗО, 2ТЗО). Прибор приводят в рабочее положение, предварительно визируют на определяемую точку; подъемным винтом, расположенным ближе всего к визирной

оси, приводят в нуль-пункт пузырек уровня при ГК; производят точное визирование и берут отсчет по шкале вертикального круга. Действие повторяют при другом положении вертикального круга. Вычисляют вертикальный угол и МО по формулам (6) и (7). Контроль - постоянство МО.

Третий способ можно использовать, если алидада вертикального круга не имеет уровня и вместо него используется компенсатор (алидада автоматически становится горизонтально). Порядок измерений: прибор приводят в рабочее положение, визируют на определяемую точку и берут отсчет по шкале вертикального круга. Визирную трубу переводят через зенит и действия повторяют. Вычисляют вертикальный угол и МО. Контроль - постоянство МО.

### § 33. Место нуля (МО)

При этом линия, относительно которой берется отсчет, будет занимать определенное, но не обязательно горизонтальное, положение. Казалось бы, что при приведении оси уровня в горизонтальное положение отсчет по вертикальному уровню должен быть равен нулю, поскольку отсчет вертикального угла ведется от горизонтальной плоскости. Однако в силу разного рода причин этого не происходит, и отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси и оси уровня отличается от нуля. Так же, как и в ряде физических приборов, может иметь место так называемый «нулевой отсчет» - положение, при котором стрелка прибора еще до начала измерений устанавливается не на нуле, а на какой – то другой цифре. Этот «нулевой отсчет» в геодезии называют место нуля (МО). Его необходимо учитывать, как поправку к отсчетам, при измерении вертикальных углов. Так, например, для теодолита Т30 угол наклона визирной оси трубы и отсчет Л по вертикальному кругу при КЛ связаны (рис. 45) соотношением

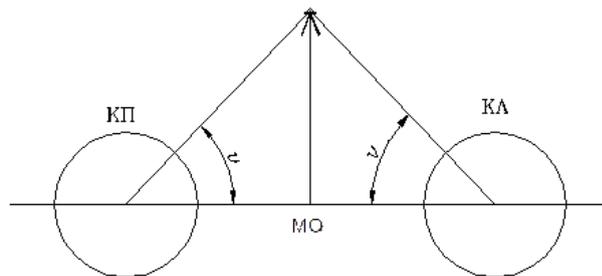


Рис.46.Схема проверки место нуля

$$v = Л - МО. \quad (93)$$

Связь между углом наклона  $v$  и отсчетом  $\Pi$  при КП будет следующей для теодолита Т30:

$$v = 360^\circ - (\Pi + 180^\circ) + МО = МО - (\Pi + 180^\circ). \quad (94)$$

У теодолита Т30 деления на вертикальном круге возрастают против хода часовой стрелки, поэтому к отсчету при КП добавляют  $180^\circ$ .

Решив эти два уравнения относительно  $v$  и МО, получим:

$$v = \frac{\text{Л} - \text{П} - 180^\circ}{2} \quad (95)$$

и

$$\text{МО} = \frac{\text{Л} + \text{П} + 180^\circ}{2}. \quad (96)$$

Из формулы (95) следует, что при  $\text{МО} = 0$  отсчеты по вертикальному кругу соответствуют измеряемым углам наклона. Следовательно, место нуля – это отсчет по вертикальному кругу теодолита при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и оси уровня.

В зависимости от оцифровки вертикального круга теодолитов разных моделей формулы (93) и (94) несколько изменяются; они приведены в паспорте каждого прибора.

При визировании на точки с разными высотами место нуля должно оставаться постоянным. Постоянство  $\text{МО}$  служит контролем правильности измерений.

Проверка постоянства  $\text{МО}$  производится следующим образом. Визируют на несколько различно удаленных от прибора местных предметов при КП и КЛ, и по полученным при этом отсчетам по вертикальному кругу вычисляют значения места нуля по формуле (96). Полученные результаты должны быть одинаковыми в пределах двойной точности отсчетного приспособления.

Вычисления углов наклона по формуле (96) можно упростить, если значение места нуля равно или близко к 0.

Для приведения места нуля к нулю в теодолите Т30 после определения значения места нуля при положении КЛ устанавливают на вертикальном круге значение угла наклона, вычисленное по формуле (96). В результате горизонтальная нить сетки сместится с наблюдаемого предмета. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают среднюю нить сетки с изображением наблюдаемого предмета. После исправления значения места нуля определяют его вновь и если необходимо, исправляют повторно.

### § 34. Электронные тахеометры.

В настоящее время в практике геодезических работ получили широкое применение приборы, сочетающие в себе цифровой теодолит, электронный дальномер, процессор и программное обеспечение по обработке результатов измерений. В этих приборах имеется также запоминающий блок, накапливающий всю полученную информацию.

Электронный тахеометр последнего поколения имеет встроенный лазерный безотражательный дальномер, позволяющий определять координаты любой точки местности (или объекта), на которую наведена труба. При работе с отражателем для облегчения наведения на установленный отражатель используются сервоприводы, а сам процесс наведения на отражатель осуществляется автоматически. Таким образом присутствие наблюдателя у прибора становится необязательным.

Геодезист устанавливает тахеометр на станции, приводит его в рабочее положение. Затем вводит в процессор координаты точки стояния, значение дирекционного угла при наведенной трубе на соседнюю станцию и прибор готов к работе. В другом варианте прибор устанавливают в удобном для работы месте, наводят трубу последовательно на три точки, координаты которых известны и внесены в память процессора, и измеряют направления и расстояния до этих точек. Положение точки стояния определяется обратный угловой и линейной засечкам с этих трех точек.

Специалист, ведущий топографическую съемку, устанавливает отражатель в точке местности. Тахеометр находит отражатель, определяет его координаты (координаты точки) и по сигналу топографа запоминает номер точки, координаты и ее код (обозначение, например угол дома, люк канализации и т.д.)

Если необходимо координаты снимаемой точки можно получить по радиоканалу и в точке установки отражателя. Для этого на штанге отражателя закреплен пульт с дисплеем.

Электронные тахеометры – универсальные приборы, их можно применять при создании планово – высотного обоснования съемки, в процессе тахеометрической съемки, а также при выполнении разбивочных

работ.

### Лазерные тахеометры

Оформился новый класс тахеометров – лазерные тахеометры.

Более правильно называть их тахеометры с безотражательным лазерным дальномером. С появлением лазерной рулетки возникла идея объединить ее с тахеометром. На первом этапе лазерную рулетку с помощью специального кронштейна закрепляли на трубе теодолита. В зависимости от способа закрепления возможны два решения. Луч лазера направлялся параллельно визирной оси в вертикальной плоскости или параллельно визирной оси в плоскости перпендикулярной оси вращения трубы. Такие решения были вынужденными и создавали определенные затруднения, связанные с необходимостью редукации результатов измерений, а также с тем, что при выполнении измерений безотражательным методом могли возникать ошибки, связанные с разнесением визирной оси и оси лазерного луча.

Разработанные лазерные тахеометры имеют лазерный безотражательный дальномер, лазерный пучок которого совмещен с визирной осью трубы. Работа с таким тахеометром возможна как в безотражательном режиме так и с отражателем. В последнем случае дальность действия прибора значительно возрастает.

Таблица 14 Электронные тахеометры

Технические характеристики	SET 4110 R SOKKIA Япония	ELTA <sup>(R)</sup> C Zeiss Германия	NIKON DTM – 450 Япония	Trimble 5601 США
Ошибка угл.изм., "	5	2/3	5	1
Компенсатор наклона оси вращения	2 - осевой	2 - осевой	1 - осевой	–
Рабочий диапазон	3'	5'	3'	–
Ошибка линейных измерений мм + мм/км	5 + 3	2 + 2	2 + 2	2 + 2
Время измерений С	–	–	–	–
Дальность с одним отражателем, м	1000	2500	2700	2500
Максимальная, м	4000	3000	4400	3500
Безотражательн., м	100	–	–	600
Клавиатура (число клавиш)	28	28	15	27
Масса прибора, кг	5,6	6,2	6,2	7,5

Выпускаются две модели : AUTLOCK – автонаведение на отражатель и отслеживание его до 2200 м; ROBOTIC – роботизация измерений в одиночку (связь точки установки отражателя с тахеометром по радиоканалу).

## Глава 8

### Геодезические задачи

#### § 35. Прямая геодезическая задача.

Определение координат (прямоугольных) точки по известным координатам другой точки, дирекционному углу и горизонтальному положению между ними.

В геодезии часто приходится передавать координаты с одной точки на другую. Например, зная исходные координаты точки А (рис.47), горизонтальное расстояние SAB от неё до точки В и направление линии, соединяющей обе точки (дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  или румб  $r_{AB}$ ), можно определить координаты точки В. В

такой постановке передача координат называется прямой геодезической задачей.

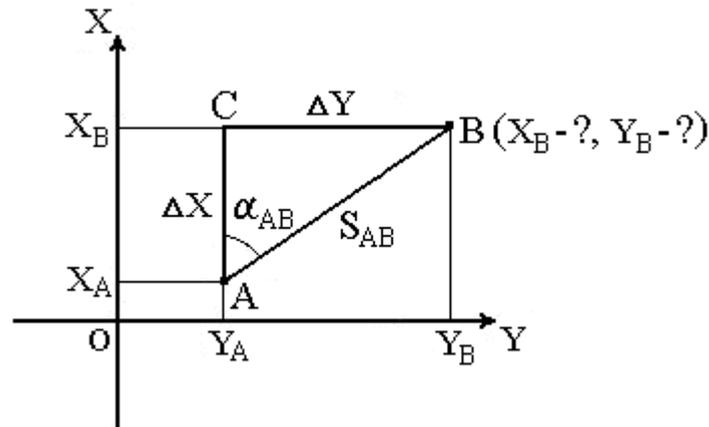


Рис. 47. Прямая геодезическая задача

Для точек, расположенных на сфероиде, решение данной задачи представляет значительные трудности. Для точек на плоскости она решается следующим образом.

Дано: Точка  $A(X_A, Y_A)$ ,  $S_{AB}$  и  $\alpha_{AB}$ .

Найти: точку  $B(X_B, Y_B)$ .

Непосредственно из рисунка имеем:

$$\Delta X = X_B - X_A ; \quad (97)$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A . \quad (98)$$

Разности  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  координат точек последующей и предыдущей называются приращениями координат. Они представляют собой проекции отрезка  $AB$  на соответствующие оси координат. Их значения находим из прямоугольного треугольника  $ABC$ :

$$\Delta X = S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} ; \quad (99)$$

$$\Delta Y = S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} . \quad (100)$$

При вычислениях знаки приращений будут зависеть от направления ( $\alpha_{AB}$ ).

### § 36. Обратная геодезическая задача.

Обратная геодезическая задача заключается в том, что при известных координатах точек  $A(X_A, Y_A)$  и  $B(X_B, Y_B)$  необходимо найти длину  $S_{AB}$  и направление линии  $AB$ : румб  $r_{AB}$  и дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  (рис.24).

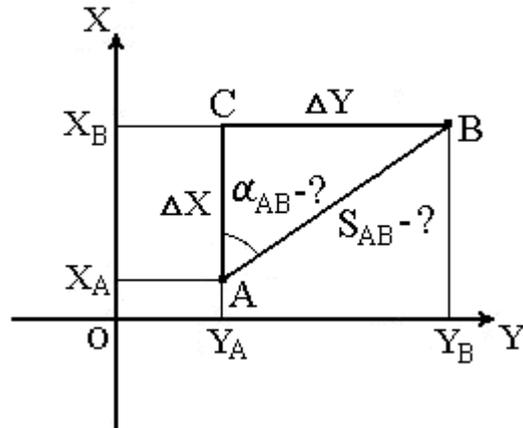


Рис. 48. Обратная геодезическая задача

Данная задача решается следующим образом.

Сначала находим приращения координат:

$$\Delta X = X_B - X_A ; \quad (101)$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A . \quad (102)$$

Величину угла  $r_{AB}$  определим из отношения

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \operatorname{tg} r_{AB} \quad (103)$$

По знакам приращений координат вычисляют четверть, в которой располагается румб, и его название.

Используя зависимость между дирекционными углами и румбами, находим  $\alpha_{AB}$ .

Для контроля расстояние  $S_{AB}$  дважды вычисляют по формулам:

$$S_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{AB}} = \Delta X \cdot \sec \alpha_{AB} = \Delta Y \cdot \operatorname{cosec} \alpha_{AB} \quad (104)$$

$$\frac{\Delta X}{\cos r_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin r_{AB}} = \Delta X \cdot \sec r_{AB} = \Delta Y \cdot \operatorname{cosec} r_{AB} \quad (105)$$

Расстояние  $S_{AB}$  можно определить также по формуле:

$$S_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} . \quad (106)$$

### § 37. Определение знаков приращений координат и тригонометрических функций.

Знаки приращений координат  $\delta x$  и  $\delta y$

Приращения координат	Четверть окружности, в которую направлена линия			
	I (СВ)	II (ЮВ)	III (ЮЗ)	IV (СЗ)
$\Delta X$	+	-	-	+

$\Delta Y$	+	+	-	-
------------	---	---	---	---

Используя зависимость между дирекционными углами и осевыми румбами (рис.49), находим  $\alpha_{AB}$ .

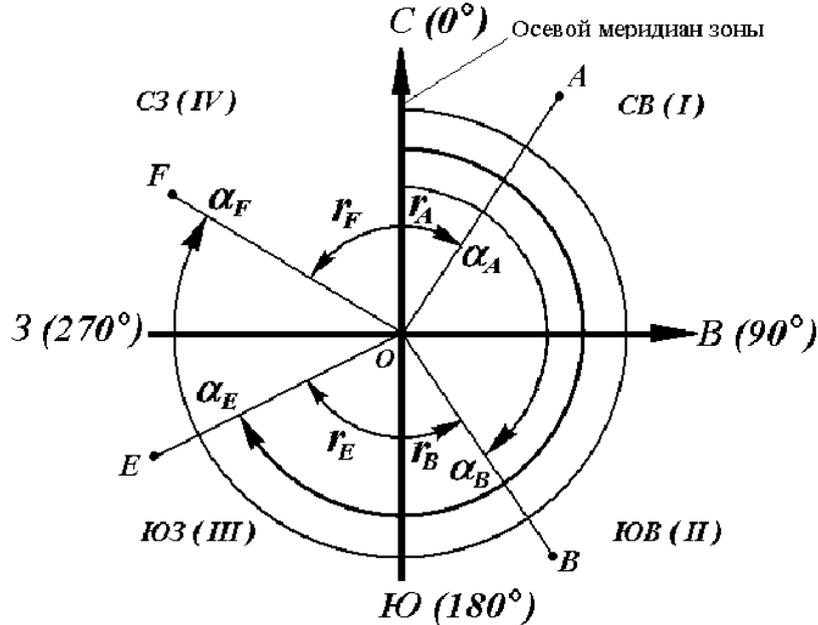


Рис. 49. Осевые румбы и дирекционные углы

Зависимость между дирекционными углами и румбами определяется для четвертей по следующим формулам:

$$\text{I четверть (СВ)} \quad r = \alpha, \quad (107)$$

$$\text{II четверть (ЮВ)} \quad r = 180^\circ - \alpha, \quad (108)$$

$$\text{III четверть (ЮЗ)} \quad r = \alpha - 180^\circ, \quad (109)$$

$$\text{IV четверть (СЗ)} \quad r = 360^\circ - \alpha. \quad (110)$$

Расстояние  $S_{AB}$  определяем по формуле

$$S_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (111)$$

Для контроля расстояние  $S_{AB}$  вычисляют дважды по формулам:

$$S_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{AB}} = \Delta X \sec \alpha_{AB} = \Delta Y \operatorname{cosec} \alpha_{AB}, \quad (112)$$

$$S_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos r_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin r_{AB}} = \Delta X \sec r_{AB} = \Delta Y \operatorname{cosec} r_{AB}. \quad (113)$$

Таким образом можно найти координаты любого числа точек по правилу: координаты последующей точки равны координатам предыдущей точки плюс соответствующие приращения.

### § 38. Способы определения положения точек на местности.

Способ прямоугольных координат (способ перпендикуляров).

Ближайшая к контуру сторона хода принимается за ось абсцисс, точка А – за начало координат. Положение каждой точки определяется прямоугольными координатами X и Y.

Абсциссы отмеряют обычно с помощью мерной ленты, а ординаты – с помощью рулетки. Способ перпендикуляров применяется в основном при съемке вытянутых в длину контуров.

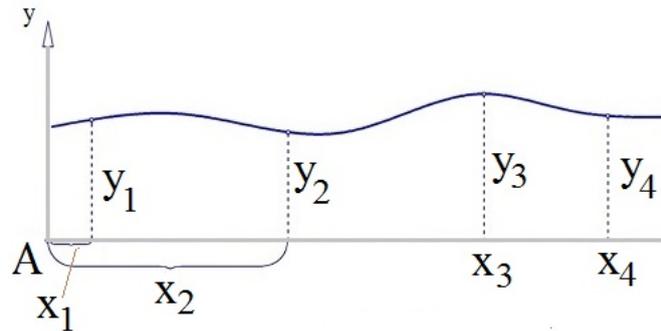


Рис.50. Способ прямоугольных координат (способ перпендикуляров).

Способ полярных координат (полярный способ).

В этом случае ближайшая к контуру сторона теодолитного хода принимается за полярную ось, начало линии – за полюс. Положение точек 1, 2, 3 определяется полярными углами  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ; радиус – векторами  $d_1, d_2, d_3$ .

Полярные углы измеряются с помощью теодолита одним полуприемом, причем лимб ориентируется по сторонам хода, стороны измеряются с помощью нитяного дальномера. При съемке особо важных контуров – с помощью ленты.

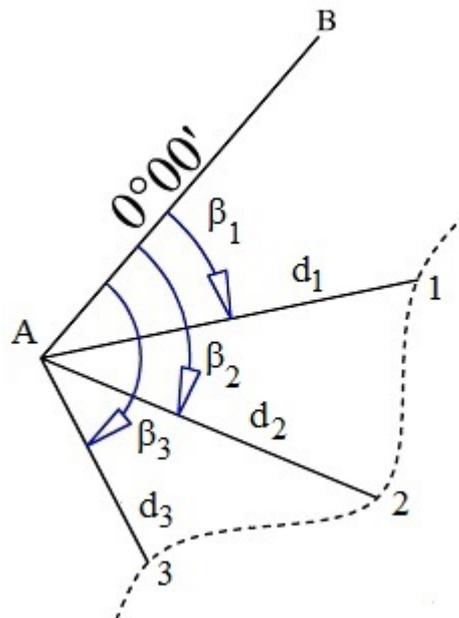


Рис.51. Способ полярных координат (полярный способ).

Способ линейных засечек

Треугольники стараются делать близкими к равносторонним. Линейная засечка применяется часто при съемке строений. В этом случае расстояния измеряются лентой или рулеткой.

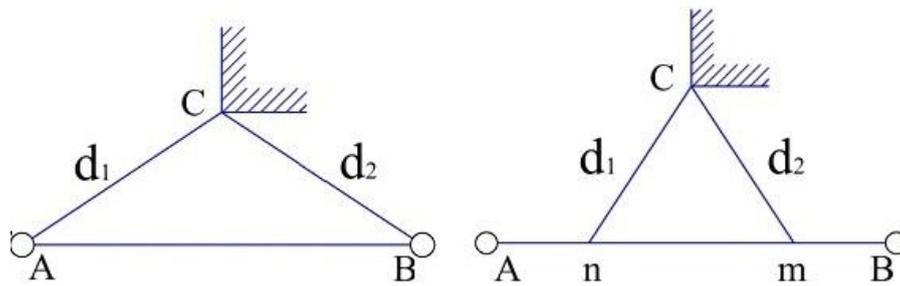


Рис.52. Способ линейных засечек

Способ угловых засечек

Способ угловых засечек применяется в тех случаях, когда определить положение точки при помощи линейных измерений не удастся.

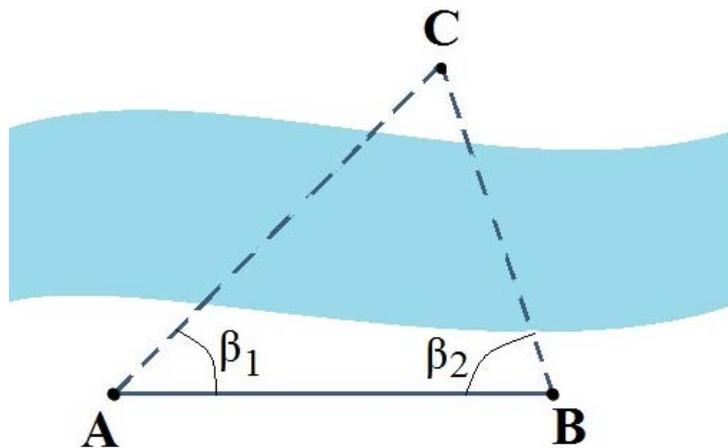


Рис.53. Способ угловых засечек

Способ створов. Положение точки P определяется расстоянием 2-P вдоль линии 2-E. Положение створной линии определяется расстоянием 4-E.

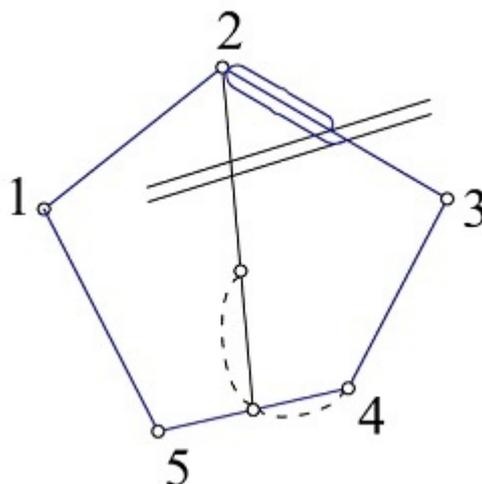


Рис.54. Способ створов.

При съемке ситуации составляется абрис.

### § 39. Вычисление дирекционного угла.

Предлагается следующая схема для их вычисления. Имеются 2 привязочных пункта полигонометрии ПП 87, ПП 88. Дирекционный угол  $\alpha$  этой линии является исходным и для каждого варианта дается отдельно. Имея исходный дирекционный угол и журнал измерения горизонтальных углов, как основного полигона, так и привязочного хода, можно вычислить все дирекционные углы полигона по следующей схеме, рисунок 55.

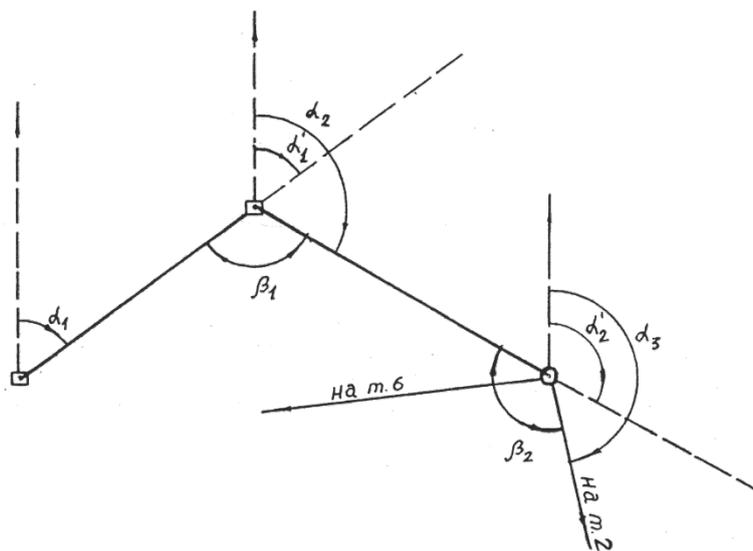
Найти углы можно по формуле:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_1 + 180^\circ - \beta_{i \text{ ИСПРАВ}}, \quad (114)$$

где  $\alpha_{i+1}$  - дирекционный угол последующей стороны теодолитного хода;

$\alpha_1$  - дирекционный угол предыдущей стороны теодолитного хода;

$\beta_{i \text{ ИСПРАВ}}$  - правый по ходу угол между названными сторонами теодолитного хода.



- $\alpha_1$  – исходный дирекционный угол;
- $\beta_1, \beta_2$  – углы привязки (правые по ходу);
- $\alpha_2$  – дирекционный угол привязки;
- $\alpha_3$  – дирекционный угол линии 1-2 основного полигона.

Рис.55. Схема вычисления дирекционных углов

Контролем вычисления дирекционных углов служит получение дирекционного угла линии между вершинами 1 и 2 основного полигона, который вычисляется дважды, в начале и в конце ведомости координат с одинаковым результатом. После вычисления дирекционных углов их переводят в румбы. Перевод дирекционных углов в румбы приведен в таблице 1.1.

Таблица 1. Перевод дирекционных углов в румбы

Четверть	Знак		Зависимость между румбами и дирекционными углами
	x	y	
I СВ	+	+	$r = \alpha$

II ЮВ	-	+	$r = 180^\circ - \alpha$
III ЮЗ	-	-	$r = \alpha - 180^\circ$
IV СЗ	+	-	$r = 360^\circ - \alpha$

## Глава 9

### Геодезические сети

#### § 40. История, структуры и законодательная база государственной картографической службы

Для обеспечения возможности картографирования страны (в том числе и геологического), решения научных и практических задач на территории Узбекистана размещена сеть точек, образующая систему надежно закрепленных на местности пунктов, координаты которых получены с высокой точностью в единой системе. Она составляет *государственную геодезическую опорную сеть*, реализованную на основе следующих основных принципов: непрерывности; необходимой густоты пунктов; точности, достаточной для решения научных и практических задач.

Государственная геодезическая сеть подразделяется на плановую и высотную (нивелирную). Первая служит для определения плановых координат (x, y), вторая – для определения абсолютных высот. Основным принципом построения сетей – от общего к частному – от крупных высокоточных к более мелким и менее точным.

В соответствии с этим геодезические сети подразделяются на государственные сети, сети сгущения и съемочные.

Существующая плановая и высотная геодезическая основа и картографическая обеспеченность территории Республики Узбекистан. Старая Государственная геодезическая сеть • Старая Государственная геодезическая сеть (плановая основа) Республики Узбекистан является фрагментом общей ГГС на территории Содружества Независимых Государств (СНГ) и состоит из следующих сетей: • астрономо–геодезическая сеть (АГС) – разомкнутые полигональные ряды триангуляции 1 класса, ряды триангуляции 2 класса; • геодезические сети сгущения (ГСС) 3 и 4 классов. • Плотность пунктов ГГС 1, 2, 3 и 4 классов (без учета городских сетей) составляет 1 пункт на 32 кв. км. • Высоты пунктов ГГС определены из геометрического или тригонометрического нивелирования. • Уравнивание АГС выполнялось поэтапно отдельными блоками (так называемым «нанизыванием») по мере завершения полевых работ. • Всего на территории Республики Узбекистан имеется 14 145 пунктов старой сети.

Новая спутниковая геодезическая сеть • На территории Республики Узбекистан в 2005 – 2007 г.г. построены пункты и выполнены измерения высокоточной спутниковой геодезической сети СГС – 0. Сеть состоит из 20 пунктов, включая исходный пункт Китаб. Пункт Китаб входит во Всемирную космическую сеть и данные его эфемерид ежедневно публикуются в Интернете. • Пункты СГС – 0 равномерно расположены на территории Республики Узбекистан и обеспечивают в качестве исходных определение спутниковых пунктов сгущения для производства топографогеодезических и кадастровых работ.

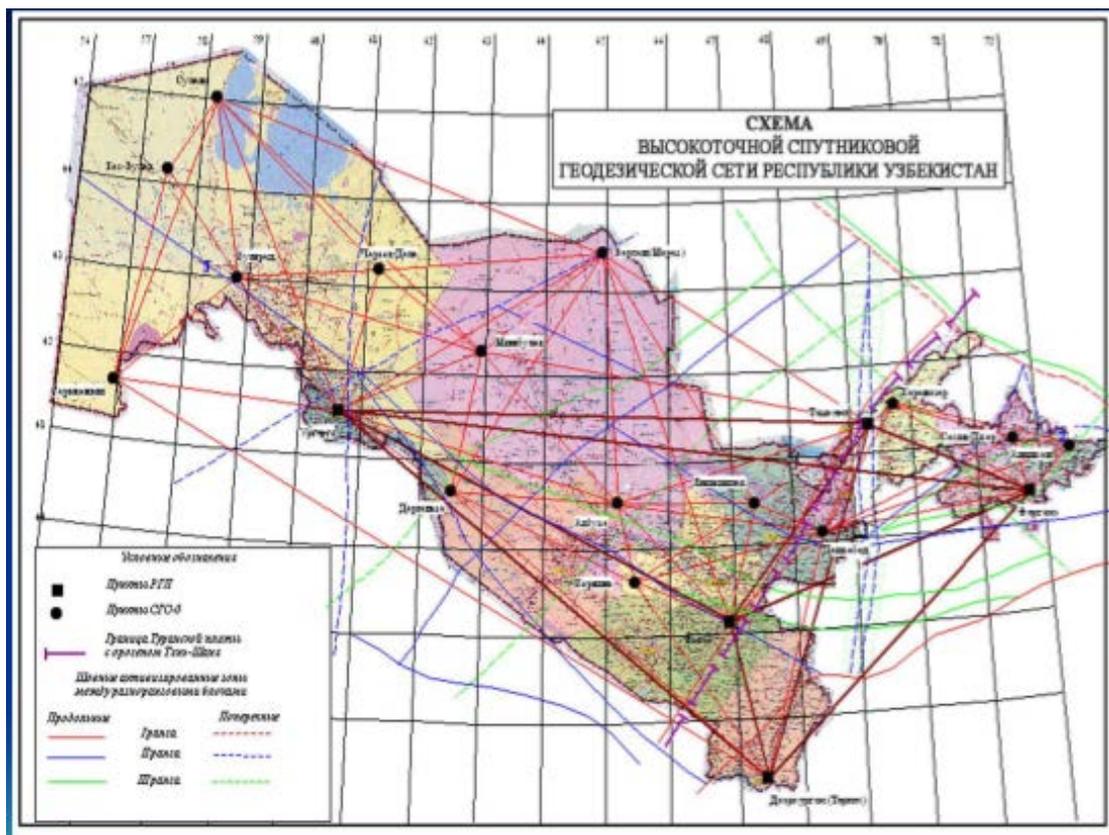


Рис.56 . Схема высокоточной спутниковой геодезической сети Республики Узбекистан

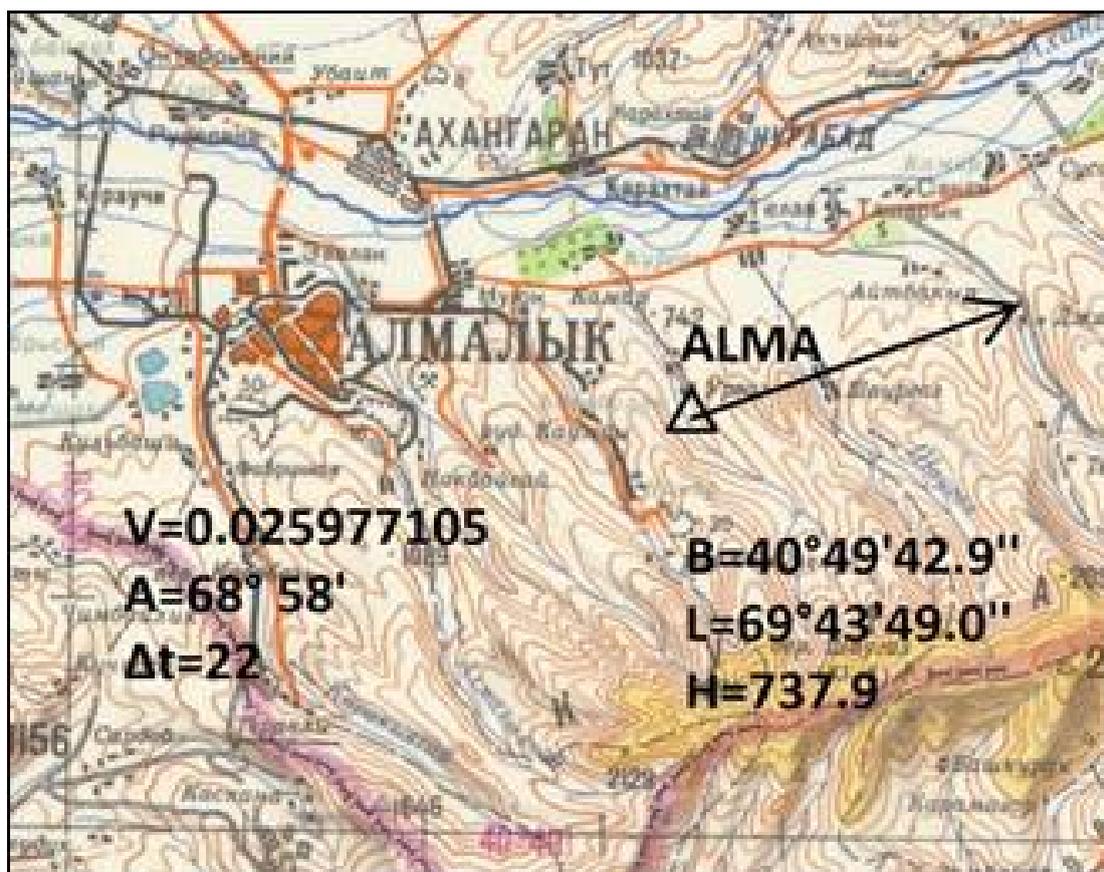
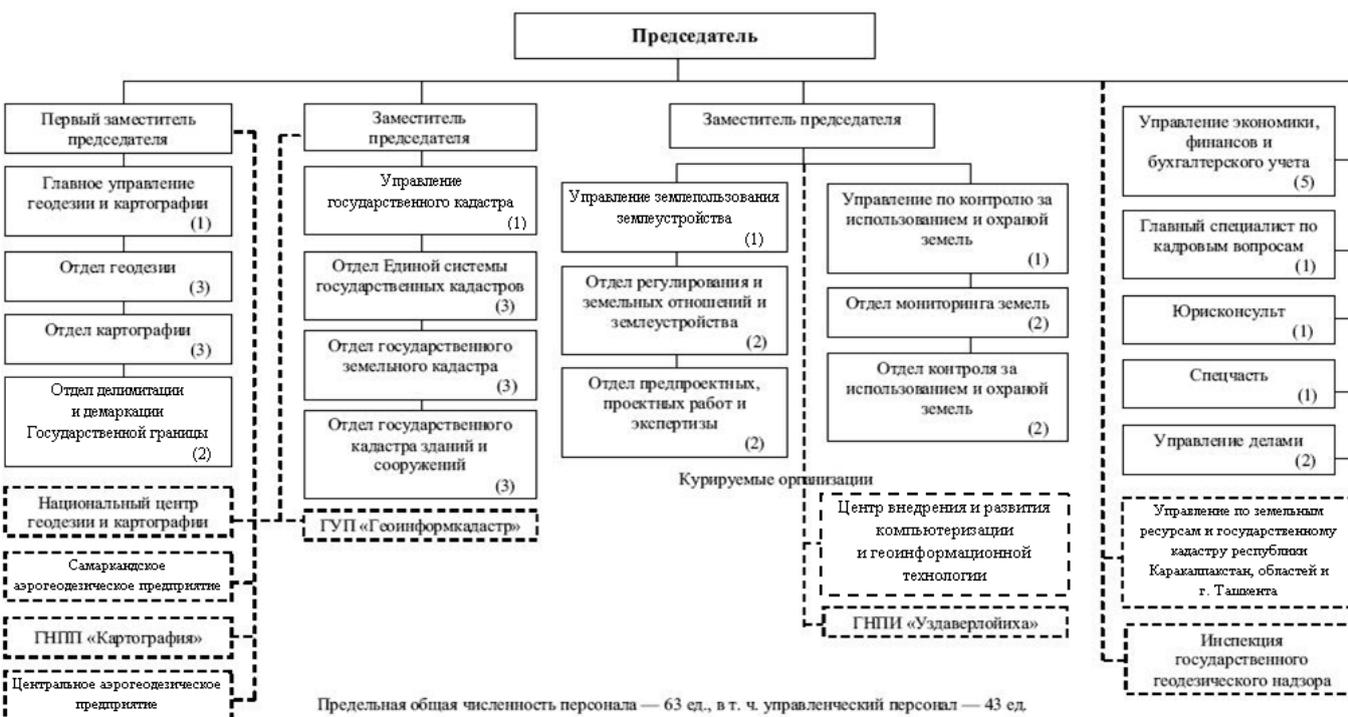


Рис.57. Обозначение на топографических картах пунктов ГГС

Структура картографической службы:



## Закон о геодезии и картографии

### Статья 1. Цель настоящего Закона

Настоящий Закон устанавливает правовые основы деятельности в области геодезии и картографии в Республике Узбекистан и направлен на создание условий для удовлетворения потребностей государства, юридических и физических лиц в геодезической и картографической продукции.

### Статья 2. Законодательство Республики Узбекистан о геодезии и картографии

Регулирование отношений в области геодезической и картографической деятельности осуществляется настоящим Законом и иными актами законодательства Республики Узбекистан.

Если международным договором Республики Узбекистан установлены иные правила, чем те, которые предусмотрены в законодательстве о геодезии и картографии, применяются правила международного договора.

### Статья 3. Объекты и субъекты правовых отношений в области геодезической и картографической деятельности

Объектами геодезической и картографической деятельности являются территория Республики Узбекистан, космическое пространство, включая естественные небесные тела.

К субъектам геодезической и картографической деятельности относятся органы государственной власти и управления, в соответствии со своей компетенцией регулирующие геодезическую и картографическую деятельность, юридические и физические лица, являющиеся заказчиками или исполнителями геодезических и картографических работ либо держателями геодезических и картографических материалов (данных), а также реализующие геодезическую и картографическую продукцию.

### Статья 4. Компетенция Правительства Республики Узбекистан в области геодезической и картографической деятельности

Правительство Республики Узбекистан:

координирует геодезическую и картографическую деятельность всех ее субъектов на территории Республики Узбекистан;  
 организует выполнение геодезических и картографических работ общегосударственного назначения, а также работ специального (отраслевого) назначения по заказам органов государственной власти и управления;  
 устанавливает единые государственные системы координат, высот, гравиметрических измерений, масштабного ряда государственных топографических карт и планов;  
 определяет государственный орган, осуществляющий управление геодезической и картографической деятельностью;  
 осуществляет иные функции в пределах своей компетенции.

#### **Статья 5. Основные задачи государственного геодезического надзора**

Основными задачами государственного геодезического надзора являются:  
 надзор за соблюдением всеми субъектами геодезической и картографической деятельности требований нормативно-технических документов;  
 надзор за правильным отображением государственной границы и территории Республики Узбекистан на картографических планах и других документах;  
 регистрация геодезических и картографических работ;  
 учет геодезических пунктов;  
 обеспечение функционирования государственного картографо-геодезического фонда;  
 ведение дежурной справочной карты Республики Узбекистан.

Должностные лица государственного геодезического надзора для осуществления задач, предусмотренных частью первой настоящей статьи, имеют право:  
 требовать устранения выявленных нарушений порядка организации и производства геодезических и картографических работ, а также концентрации, учета, хранения, использования и реализации материалов (данных), полученных в результате производства этих работ и аэрокосмических съемок;  
 доступа на предприятия, в учреждения и организации для ознакомления со всеми необходимыми документами по вопросам геодезической и картографической деятельности;  
 получать от предприятий, учреждений и организаций информацию, необходимую для осуществления функций, предусмотренных настоящим Законом.

Положение о государственном геодезическом надзоре в Республики Узбекистан утверждается Правительством Республики Узбекистан.

#### **Статья 6. Геодезические и картографические работы государственного назначения**

К геодезическим и картографическим работам государственного назначения относятся:  
 определение параметров фигуры Земли и внешнего гравитационного поля;  
 создание, обновление и издание государственных топографических карт и планов в графической, цифровой, фотографической и иных формах;  
 создание, развитие и поддержание в рабочем состоянии государственных геодезических и нивелирных сетей;  
 дистанционное зондирование и геодинамические исследования Земли;  
 формирование и ведение картографо-геодезического фонда Республики Узбекистан;  
 создание и ведение географических информационных систем;  
 составление и издание общегеографических, политико-административных, научно-справочных и других тематических карт и атласов межотраслевого назначения, учебных картографических пособий;  
 геодезическое, топографическое, картографическое и гидрографическое обеспечение делимитации, демаркации и проверки прохождения линии государственной границы Республики Узбекистан;  
 метрологическое обеспечение геодезических, топографических и картографических работ;  
 стандартизация, учет и упорядочение применения географических названий;  
 организация серийного производства геодезической и картографической техники.

#### **Статья 7. Геодезические и картографические работы специального назначения**

К геодезическим и картографическим работам специального (отраслевого) назначения относятся:  
 создание и обновление топографических планов, предназначенных для составления генеральных планов городов, населенных пунктов, участков строительства различных объектов, подземных сетей и сооружений, привязки зданий и сооружений к участкам строительства, а также для выполнения иных специальных работ;  
 создание и ведение географических информационных систем специального назначения;  
 издание тематических карт и атласов специального назначения;

проведение геодезических, топографических, аэросъемочных и других специальных работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации различных сооружений, межевании земельных участков, ведении кадастров и иных изысканиях.

#### **Статья 8. Нормативно-технические акты в области геодезической и картографической деятельности**

Нормативно-технические акты в области геодезической и картографической деятельности устанавливают порядок организации геодезических и картографических работ, технические требования к ним, нормы и правила их выполнения и утверждаются Правительством Республики Узбекистан или уполномоченным им органом.

Нормативно-технические акты в области геодезической и картографической деятельности обязательны для исполнения всеми субъектами геодезической и картографической деятельности.

#### **Статья 9. Метрологическое обеспечение геодезической и картографической деятельности**

Обеспечение единства геодезических измерений, осуществление деятельности по испытаниям средств геодезических измерений, участие в работах по стандартизации указанных средств и проведенных работ по обязательной сертификации геодезической, топографической и картографической продукции, проведении метрологического надзора в области геодезической и картографической деятельности возлагаются на орган, осуществляющий управление геодезической и картографической деятельностью.

#### **Статья 10. Финансирование геодезической и картографической деятельности**

Геодезическая и картографическая деятельность государственного назначения финансируется за счет средств государственного бюджета.

Геодезическая и картографическая деятельность специального назначения финансируется за счет средств заказчика.

Геодезическая и картографическая продукция, в том числе топографические, гидрографические, аэрокосмосъемочные, геодезические и гравиметрические материалы (данные), полученные в результате деятельности, осуществляемой за счет средств государственного бюджета, являются государственной собственностью.

#### **Статья 11. Картографо-геодезический фонд Республики Узбекистан**

В составе картографо-геодезического фонда Республики Узбекистан находятся государственный и ведомственные картографо-геодезические фонды.

Государственный картографо-геодезический фонд составляет материалы (данные), имеющие общегосударственное, межотраслевое значение, и находится в ведении органа, осуществляющего управление геодезической и картографической деятельностью.

Ведомственные картографо-геодезические фонды составляют материалы (данные), имеющие специальное (отраслевое) назначение, и находятся в ведении соответствующих органов.

Положения о государственном и ведомственных картографо-геодезических фондах и перечни содержащихся в них материалов (данных) утверждаются в порядке, устанавливаемом Правительством Республики Узбекистан.

Материалы (данные) государственного картографо-геодезического фонда Республики Узбекистан, отнесенные в установленном порядке к составу Архивного фонда Республики Узбекистан, хранятся в соответствии с законодательством.

Передача третьим лицам материалов (данных) государственного картографо-геодезического фонда Республики Узбекистан и их копирование не допускается без разрешения органов, в ведении которых находятся эти материалы (данные).

Юридические и физические лица, осуществляющие геодезическую и картографическую деятельность на территории Республики Узбекистан, обязаны безвозмездно передавать один экземпляр созданных ими геодезических и картографических материалов (данных) в соответствующие картографо-геодезические фонды.

Государственный геодезический надзор за передачей юридическими и физическими лицами материалов (данных) в соответствующие картографо-геодезические фонды, хранение и использование этих материалов (данных), ведение государственного реестра ведомственных картографо-геодезических фондов производит орган, осуществляющий управление геодезической и картографической деятельностью.

Пользователи материалов (данных) картографо-геодезического фонда Республики Узбекистан обязаны обеспечивать сохранность полученных материалов (данных), возвращать их в установленные сроки и не разглашать содержащиеся в них сведения, составляющие государственные секреты.

Плата за пользование материалами (данными) государственного картографо-геодезического фонда Республики Узбекистан производится в порядке, установленном законодательством.

#### **Статья 12. Авторское право на геодезическую и картографическую продукцию**

Авторские права на геодезическую и картографическую продукцию, включая топографические, гидрографические и аэрокосмосъемочные материалы, геодезические и гравиметрические данные, полученные в результате геодезической и картографической деятельности, регулируются законодательством.

#### **Статья 13. Лицензирование геодезической и картографической деятельности**

Геодезическая и картографическая деятельность подлежит лицензированию в порядке, установленном законодательством.

Осуществление юридическими и физическими лицами геодезической и картографической деятельности без лицензии либо с нарушением условий, указанных в лицензии, влечет ответственность в соответствии с законодательством.

Действия государственных органов и их должностных лиц по лицензированию геодезической и картографической деятельности могут быть обжалованы в суд.

#### **Статья 14. Охрана пунктов государственных геодезических сетей**

Наземные знаки и центры астрономо-геодезических, геодезических, нивелирных и гравиметрических пунктов, в том числе геодезические пункты, размещенные на световых маяках, навигационных знаках и других инженерных конструкциях, являются государственной собственностью и находятся под охраной государства.

Собственники земли, владельцы и пользователи земельных участков, на которых размещены геодезические пункты, обязаны извещать орган, осуществляющий государственный геодезический надзор, о всех случаях повреждения или уничтожения геодезических пунктов, а также предоставлять возможность подъезда (подхода) к геодезическим пунктам при проведении геодезических и картографических работ.

Отвод земельных участков для размещения на них геодезических пунктов осуществляется в соответствии с законодательством.

Положение об охране геодезических пунктов утверждается Правительством Республики Узбекистан.

#### **Статья 15. Возмещение ущерба, причиненного в результате геодезической и картографической деятельности**

Ущерб, причиненный личности либо имуществу юридического или физического лица в результате геодезической и картографической деятельности, подлежит возмещению в порядке, установленном законом.

#### **Статья 16. Ответственность за нарушение законодательства о геодезической и картографической деятельности**

Нарушение законодательства о геодезической и картографической деятельности влечет ответственность в соответствии с законодательством.

### **§ 41. Виды геодезических сетей. Государственная геодезическая сеть (ГГС). Геодезическая сеть сгущения (ГСС). Съёмочная геодезическая сеть (СГС)**

С точки зрения геометрии любая **геодезическая сеть** – это группа зафиксированных на местности точек, для которых определены плановые координаты (X и Y или B и L) в принятой двумерной системе координат и отметки H в принятой системе высот или три координаты X, Y и Z в принятой трехмерной системе пространственных координат.

Геодезическая сеть России создавалась в течение многих десятилетий; за это время изменились не только классификация сетей, но и требования к точности измерений в них.

Геодезические сети по назначению и точности построения подразделяются на три большие группы

- государственные геодезические сети (ГГС);
- геодезические сети сгущения (ГСС);
- геодезические съёмочные сети.

Насущной задачей нынешнего периода является создание единой классификации всех существующих и перспективных геодезических сетей, которая бы соответствовала международным стандартам.

**Государственная геодезическая сеть (ГГС)** является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства и обороны страны при решении соответствующих научных и инженерно-технических задач. Плановая сеть создается методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации и их сочетаниями; высотная сеть создается построением нивелирных ходов и сетей геометрического нивелирования. Государственная геодезическая сеть подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4-го классов, различающиеся точностью измерений углов, расстояний и превышений, длиной сторон сети и порядком последовательного развития.

Государственная геодезическая сеть 1-го класса, называемая еще **астрономо-геодезической сетью (АГС)**, строится в виде полигонов периметром около 800...1000 км, образуемых триангуляционными или полигонометрическими звеньями длиной не более 200 км и располагаемыми по возможности вдоль меридианов и параллелей.

Государственная геодезическая сеть 2-го класса строится в виде триангуляционных сетей, сплошь покрывающих треугольниками полигоны, образованные звеньями триангуляции или полигонометрии.

Требования к точности измерения горизонтальных углов и расстояний в триангуляции приведены в таблице 1, в полигонометрии – в таблице 2.

Таблица 1. – Точность измерения горизонтальных углов и расстояний в триангуляции.

Класс сети	Ср. кв. ошибка измерения углов, угл. мин	Относительная ошибка базисных сторон	Длина стороны треугольника, км
1	0,7	1:400 000	>20
2	1,0	1:300 000	7...20
3	1,5	1:200 000	5...8
4	2,0	1:200 000	2...5

Таблица 2. – Точность измерения горизонтальных углов и расстояний в полигонометрии.

Класс сети	Ср. кв. ошибка измерения углов, угл. мин	Относительная ошибка стороны хода	Длина стороны хода, км
1	0,4	1:300 000	>20...25
2	1,0	1:250 000	7...20
3	1,5	1:200 000	>3
4	2,0	1:150 000	>2

Кроме того, должны быть выполнены условия по количеству сторон в ходе, по длине периметра полигонов и некоторые другие.

Средние квадратические ошибки измерения превышений на 1 км хода в нивелирных ходах и сетях I, II, III, IV классов равны 0.8; 2.0; 5 и 10 мм соответственно; предельные ошибки на 1 км хода приняты равными 3; 5; 10 и 20 мм соответственно.

Для топографических съемок в Инструкции 1966 г. установлены следующие нормы плотности пунктов ГГС:

для съемок в масштабах 1:25 000 и 1:10 000 – один пункт на 50...60 км<sup>2</sup>;

для съемок в масштабах 1:5 000 – один пункт на 20...30 км<sup>2</sup>;

для съемок в масштабах 1:2 000 и крупнее – один пункт на 5...15 км<sup>2</sup>.

В труднодоступных районах плотность пунктов ГГС может быть уменьшена, но не более чем в 1.5 раза.

На территории городов, имеющих не менее 100 000 жителей или занимающих площадь в пределах городской черты не менее 50 км<sup>2</sup>, плотность пунктов ГГС должна быть доведена до одного пункта на 5...15 км<sup>2</sup>.

**Геодезические сети сгущения (ГСС)** являются плано-высотным обоснованием топографических съемок масштабов от 1:5 000 до 1:500, а также служат основой для производства различных инженерно-геодезических работ. Они создаются методами триангуляции и полигонометрии. По точности измерения углов и расстояний полигонометрия ГСС бывает 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов (таблица 3).

Таблица 3. – Точности измерения углов и расстояний полигонометрии 4-го класса, 1-го, 2-го разрядов.

Разряд сети и класс	Ср. кв. ошибка измерения углов, угл. мин	Относительная ошибка измерения расстояний
4-й класс	3,0	1:25 000
1-й разряд	5,0	1:10 000
2-й разряд	10,0	1:5 000

Следует подчеркнуть, что измерения в 4-м класс полигонометрии ГСС выполняются со значительно меньшей точностью, чем в 4-м классе ГГС.

Плотность пунктов ГСС должна быть доведена до одного пункта на 1 км<sup>2</sup> на незастроенной территории и до четырех пунктов на 1 км<sup>2</sup> на территории населенных пунктов и на промплощадках.

Государственную геодезическую сеть 4-го класса можно считать переходным видом сетей между ГГС и ГСС.

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

**Геодезические съемочные сети** служат непосредственной основой топографических съемок всех масштабов. Они создаются всеми возможными геодезическими построениями; плотность их пунктов должна обеспечивать высокое качество съемки. Отметки пунктов съемочных сетей разрешается получать из технического нивелирования (при высоте сечения рельефа  $h \leq 1$  м) или из тригонометрического нивелирования (при высоте сечения  $h \geq 1$  м).

На территории России кроме ГГС, ГСС, ГНС (государственной нивелирной сети) существуют и другие виды геодезических сетей:

фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС);

государственная фундаментальная гравиметрическая сеть (ГФГС);

доплеровская геодезическая сеть (ДГС);  
 космическая геодезическая сеть (КГС);  
 спутниковая геодезическая сеть 1-го класса (СГС-1);  
 спутниковая дифференциальная геодезическая сеть (СДГС).

Создание геодезических сетей любого класса и разряда осуществляется по заранее разработанным и утвержденным проектам. В проекте должна быть составлена схема сети (схема размещения пунктов сети и их связей), обоснованы типы центров и знаков, определены объемы измерений и их точность, выбраны приборы для измерения углов, расстояний, превышений и разработана методика измерений.

Проектирование триангуляции, трилатерации и сложных произвольных сетей выполняется, как правило, на ЭВМ по специальным программам

#### **§ 42. Принцип построения государственной геодезической сети.**

При создании государственной геодезической сети неизбежно возникают три основных вопроса, имеющие принципиальное значение: выбор схемы построения государственной геодезической сети на всей территории страны; установление плотности геодезических пунктов, а также точности определения взаимного положения смежных пунктов в сети. Каждый из этих вопросов необходимо рассматривать совместно, причем с двух точек зрения: с точки зрения решения основных научных задач геодезии, а также задач картографирования территории страны. Это связано с тем, что при решении этих задач предъявляются разные требования к опорной геодезической сети. Поэтому необходимо найти в определенном смысле оптимальный вариант построения сети, позволяющий на должном научном уровне и с требуемой точностью решать задачи обеих групп.

Используя методы космической геодезии, получают достаточно обобщенные, т. е. сглаженные характеристики фигуры и гравитационного поля всей Земли в целом. Более детально фигуру Земли в пределах территории одной страны или группы стран изучают путем создания астрономо-геодезических сетей, в которых выполняют комплекс геодезических, астрономических и гравиметрических измерений. До недавнего времени в странах с большой территорией астрономо-геодезические сети строились в виде рядов триангуляции, прокладываемых по направлениям меридианов и параллелей и образующих замкнутые полигоны. В результате совместной математической обработки всех видов измерений, выполняемых в астрономо-геодезической сети, получают высоты квазигеоида и его профили вдоль рядов триангуляции 1 класса. При этом внутри каждого полигона форма поверхности квазигеоида остается неизученной. Для устранения этого недостатка необходимо создавать на территории страны не полигональную, а сплошную астрономо-геодезическую сеть с более или менее равномерным распределением пунктов по всей территории.

Для геодезического обеспечения топографических съемок, выполняемых в целях картографирования всей территории страны, необходимо на ее поверхности построить сплошную опорную геодезическую сеть. При этом расстояния между соседними пунктами должны быть гораздо меньше, чем в астрономо-геодезической сети, особенно при крупномасштабном картографировании.

Таким образом, для решения как научных, так и практических задач геодезии и картографии необходимо иметь на территории страны сплошную государственную геодезическую сеть с выделенной в ней астрономо-геодезической сетью как главной и наиболее точной, используемой для решения как практических, так и научных задач геодезии, в том числе, связанных с детальным изучением фигуры и гравитационного поля Земли в пределах территории одной или группы стран.

В высшей геодезии сложился и хорошо оформился определенный принцип или схема построения государственной геодезической сети, предназначенной для решения как научных, так и инженерно-технических задач народнохозяйственного значения. Государственную геодезическую сеть создают поэтапно, постадийно, соблюдая принцип перехода от общего к частному. Сначала строят главную, т. е. астрономо-геодезическую сеть, состоящую из крупных геодезических построений в виде либо замкнутых полигонов, либо сравнительно больших треугольников. Измерения в астрономо-геодезической сети выполняют с наивысшей возможной точностью. Затем данную сеть принимают за исходную и на ее основе строят геодезическую сеть второго порядка с более детальными геометрическими построениями и с меньшей относительной точностью измерений, однако, с сохранением величины абсолютной ошибки определения взаимного положения смежных пунктов, как

и в сети первого порядка. При этом имеются в виду среднестатистические значения ошибок. Далее сеть второго порядка принимают за исходную и на ее основе создают сеть третьего порядка с еще большей детализацией геометрических построений при меньшей относительной точности измерений, но, как и ранее, с той же абсолютной ошибкой определения взаимного положения смежных пунктов. Так поступают до тех пор, пока не будет построена геодезическая сеть с требуемой плотностью пунктов.

Таким образом, при соблюдении принципа перехода от общего к частному государственную геодезическую сеть неизбежно подразделяют на геодезические сети разных классов 1, 2, 3... Число классов рекомендуется свести к минимуму для уменьшения влияния ошибок исходных данных на уравненные элементы сети низшего класса.

#### § 43. Методы построения плановых геодезических сетей. Триангуляция. Трилатерация. Полигонометрия.

*Методы создания плановой государственной сети.*

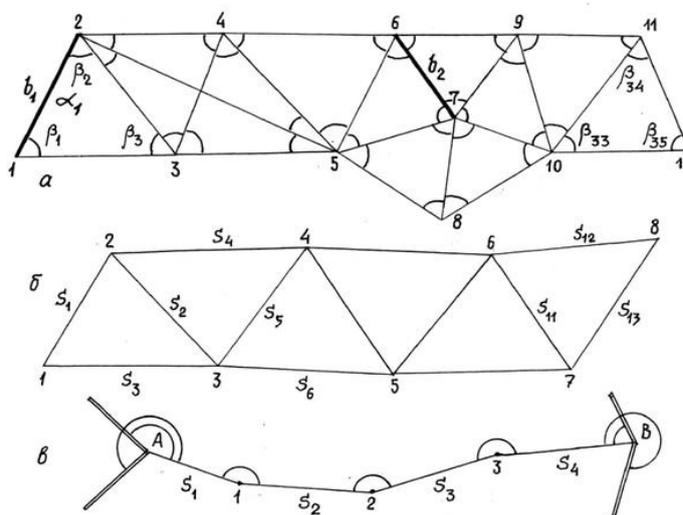


Рис.58. а) метод триангуляции; б) метод трилатерации; в) метод полигонометрии

1. Триангуляция – метод создания сети в виде треугольников, в которых измерены все углы и некоторые из сторон. Длины остальных вычисляются по теореме синусов. На рис. 58 длины сторон  $AB$  –  $b_1$  и  $CD$  –  $b_2$  измерены (базисы). По сторонам и дирекционным углам вычисляют координаты вершин треугольников.

2. Полигонометрия – метод построения плановой геодезической сети путем измерения углов и расстояний между геодезическими пунктами (рис.58). Стороны измеряют дальномерами.

Сеть создается в виде отдельных ходов или систем ходов.

3. Трилатерация – метод создания геодезической сети в виде треугольников (рис.58), стороны которых измеряют свето – и радиодальномерами (чаще последними, когда нет прямой видимости между пунктами). Из решения треугольников по теореме косинусов находят значения всех углов.

Плановая государственная геодезическая сеть к настоящему времени, в основном, построена. Она подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов, различающихся между собой точностью измерений, расстояниями между пунктами сети и порядком развития (рис.58).

Сеть 1 класса служит для научных исследований и определяет единую для всей страны систему координат. Она представляет собой четырехугольные полигоны периметром 800 – 1 000 км, стороны которых ориентированы преимущественно по меридианам и параллелям. Каждая сторона (звено) полигона длиной 200 – 250 км состоит (в основном) из рядов триангуляции. На стыке звеньев измерены базисные стороны, на концах которых определены астрономические широты, долготы и азимуты. Расстояния между пунктами в звеньях 20 – 80 км. На некоторой части территории построена не полигональная (рис. 59), а сплошная сеть триангуляции 1 класса с длиной сторон в треугольнике 20 – 70 км.

Все измерения – высокоточные. В каждом треугольнике измерены все углы со средней квадратической погрешностью  $0''$ , 7. Линии длиной в 20 – 25 км определены с погрешностью 7 – 10 см. погрешность определения астрономических широт –  $0,3''$ , долгот –  $0,5''$ , азимутов –  $0,5''$ . Относительная среднеквадратическая погрешность базисной стороны  $1/400\ 000$ .

Полигоны государственной сети 1 класса заполняются сплошной сетью триангуляции (полигонометрии)

второго класса. Расстояния между пунктами сторон равны 7 – 20 км. В каждом полигоне 1 класса измерены 4 – 5 базисных сторон триангуляции 2-го класса, равномерно расположенных внутри полигона. В концах каждой базисной стороны измерены астрономические широты, долготы и вычислены геодезические азимуты. Относительная среднеквадратическая ошибка измерения углов в триангуляции 2-го класса –  $1,0''$ ; относительная среднеквадратическая погрешность базисной стороны  $1/300\,000$ . Назначение триангуляции второго класса – быть опорой для геодезических сетей более низких (3 и 4) классов.

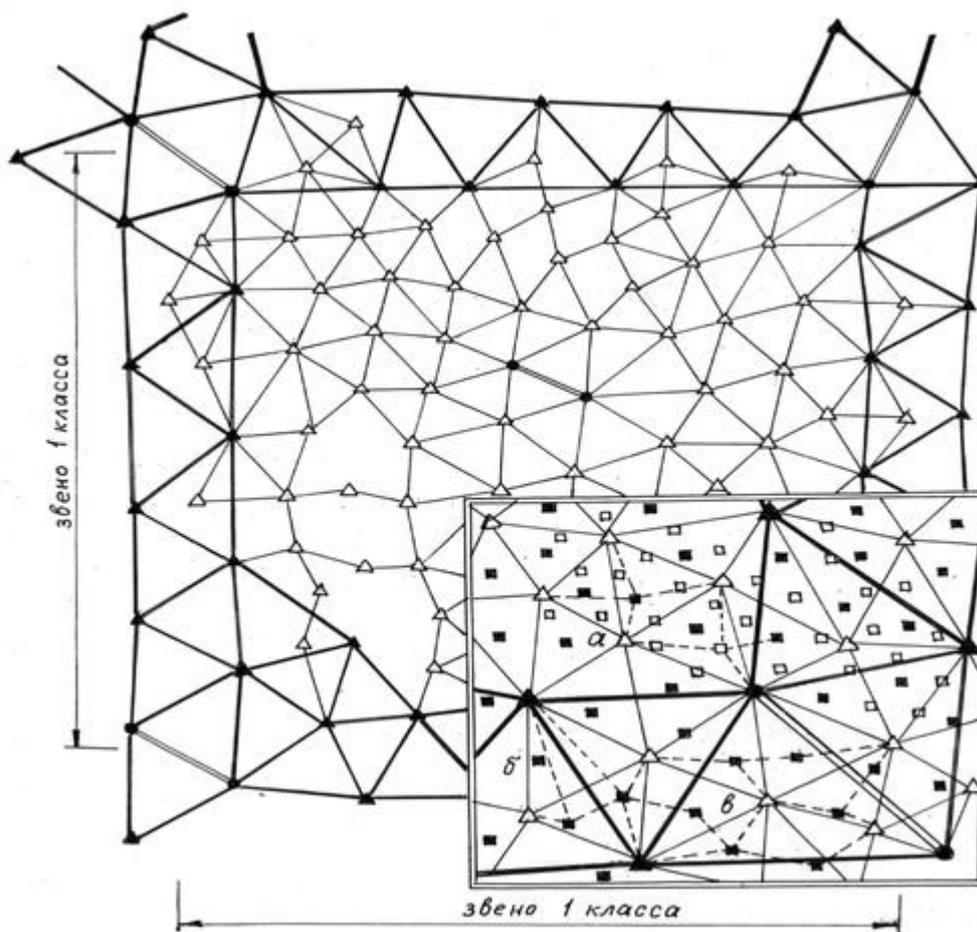


Рис.59. Схема построения ГГС: пункты Лапласа; пункты 1 класса; пункты 2 класса; пункты 3 класса; пункты 4 класса;

При построении сетей 3 и 4 классов также использованы методы триангуляции и полигонометрии. Расстояния между пунктами 3 и 4 классов соответственно 5 – 8 и 2 – 5 км; погрешность измерения углов  $1,5''$  и  $2,0''$  соответственно. Относительная среднеквадратическая погрешность измерения базисных сторон –  $1/200\,000$ .

Для ориентирования на каждом пункте государственной сети имеется по два ориентирных пункта, закрепленных на местности, на расстоянии 250 – 1 000 м от пункта триангуляции, направления на которые измерены с погрешностью  $2,5''$ .

В качестве ориентирных пунктов могут быть использованы и местные предметы (шпиль башни, колокольня), расположенные не далее 3 км от пункта геодезической сети и хорошо видимые с земли.



Рис.60 . Пункты государственной геодезической сети

Пункты государственной геодезической сети закрепляются на местности специальными подземными знаками – центрами, при этом предпринимаются меры, способствующие сохранению их стабильности. Так, например, знаки закладывают в скальные грунты, в условиях значительного увлажнения – в крупнозернистые грунты; сами знаки делаются облегченными сверху, с массивным якорем в нижней части. Нижнее основание знака устанавливается на 0,5м ниже границы наибольшего промерзания грунта, а в районах мерзлоты – на 1 м ниже границы наибольшего оттаивания, и др. Над подземными строят наружные знаки – пирамиды, сигналы – обеспечивающие взаимную видимость между пунктами и являющиеся хорошими ориентирами на местности. Они могут быть деревянными, металлическими, реже – железобетонными.

Таблица 11      **Некоторые характеристики триангуляции**

Основные параметры триангуляции	2 класс	3 класс	4 класс
$m_\beta$	1"	1,5"	2"
$m_s / v$	1/300 000	1/200 000	1/100 000
длина стороны , км	8 – 20	5 – 8	2 - 5

#### § 44. Государственные нивелирные сети.

Данная сеть устанавливает единую систему высот на всей территории России и является основой топографических съемок и геодезических измерений, выполняемых для решения научных и практических задач.

Она позволяет: решать задачи создания сети пунктов с известными высотами; определять разности уровней внутренних и внешних морей и океанов; изучать современные движения земной коры.

За начальную отсчетную уровенную поверхность в СССР принята поверхность Балтийского моря – поверхность, проходящая через нуль Кронштадского футштока.

Государственная нивелирная сеть разделяется на сети I, II, III, и IV классов.

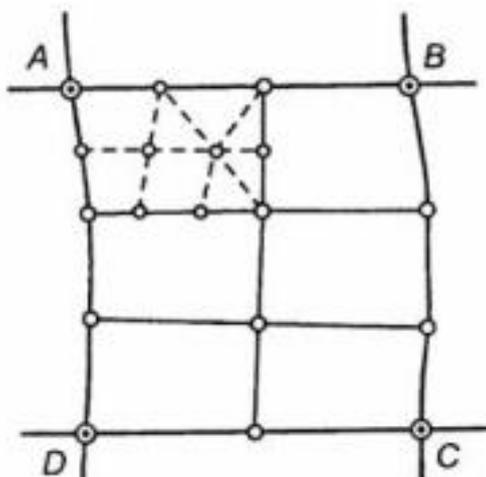


Рис.61.Схема сетей I,II,III и IV классов.

### Классификация нивелирования

Сеть нивелирования создается геометрическим нивелированием в виде отдельных ходов или замкнутых ходов – «полигонов».

Государственная нивелирная высотная сеть создается по специально разработанной схеме и бывает I, II, III, IV классов, затем идет технического нивелирование. Точность нивелирования характеризуется средней квадратической погрешностью на 1 км хода и обозначается  $\eta$ . Допустимая невязка превышений в ходах нивелирования принимается равной удвоенной средней квадратической ошибке. В таблице приведены характеристики точности нивелирования различных классов.

Таблица 12

### Характеристика классов нивелирования

Класс нивелирования	Предельный периметр полигона (длина хода), км	Средняя квадратическая ошибка на 1 км двойного хода, $\eta$ , мм	Допустимая невязка полигона (хода), мм
I	–	0,5	–
II	500 – 600	2,0	$5\sqrt{L}$
III	150 – 200	5,0	$10\sqrt{L}$
IV	25	10,0	$20\sqrt{L}$
Техническое нивелирование		25,0	$50\sqrt{L}$

Здесь  $L$  – длина нивелирного хода в км.

Ходы нивелирования I класса прокладываются по специально разработанной программе, предусматривающей:

- создание на территории страны сети исходных пунктов для развития нивелирования II и других классов;
- обеспечение связи водомерных постов морей и океанов;
- изучение геодинамических процессов вертикальных перемещений земной коры.

Ходы нивелирования II класса прокладываются в виде полигонов периметром 500 – 600 км. Они опираются на реперы I класса.

Ходы нивелирования III класса разбивают полигон II класса на 6 – 9 полигонов периметром 150 - 200 км.

Нивелирование I класса осуществляется по направлениям, географическое положение которых наилучшим образом отвечает решениям упомянутых выше задач. Для обеспечения наивысшей точности нивелирование выполняют по трассам железных, шоссейных и улучшенных грунтовых дорог, а в труднодоступных районах – по тропам, заимкам, вдоль берегов больших рек. В целях модернизации и получения данных о современных движениях земной коры через 25 лет проводятся повторные нивелировки по всем линиям I класса и некоторым линиям II класса.

Нивелирные пункты всех классов закрепляются на местности знаками – глубинными, грунтовыми (рис.63) или стенными *нивелирными реперами*. Их закладывают через 5 – 7 км. Кроме того, пункты I и II классов закрепляются особо устойчивыми фундаментальными реперами через 50 – 80 км.

Построение государственной нивелирной сети России к настоящему времени, в основном, завершено.

*Геодезические сети сгущения.*

Эти сети создаются в тех случаях, когда густота пунктов государственной геодезической сети не обеспечивает решение конкретных задач исследований. Они подразделяются на аналитические сети I и II разряда, развиваемые методом триангуляции, полигонометрические сети, развиваемые полигонометрическими методами. Высотные сети сгущения – это сети технического нивелирования, создаваемые методом геометрического нивелирования.

*Геодезические сети местного значения.*

Служат для дальнейшего сгущения государственной плановой геодезической сети I, II, III и IV классов. Развиваются по мере необходимости. Создаются методами триангуляции и полигонометрии и бывают I и II разрядов.

Показатели	1 разряд	2 разряд
Средняя квадратическая погрешность измерения угла	5"	10"
Относительная погрешность базисных сторон	1/50000	1/25000

*Плановое съемочное обоснование*

Строится в развитие сетей высших порядков с целью сгущения сети до плотности, необходимой для данного масштаба съемки, а также с целью создания обоснования для инженерно – геодезических работ (на всех этапах строительства трубопровода или для освоения крупного месторождения).

Методы создания:

1. Микротриангуляция.
2. Геоодолитные ходы (аналогия полигонометрии).
3. Геодезические засечки (прямая, обратная, комбинированная).

#### **§ 45. Закрепление пунктов геодезических сетей на местности.**

Пункты плановых геодезических сетей закрепляют на местности путем установки специального центра, который закладывают на глубину, превышающую не менее чем на 0,5 м глубину промерзания грунта, либо не менее чем на 1 м сезонную глубину оттаивания грунта в районах вечной мерзлоты. В верхней части центра армируют марку, на которой имеется метка в виде отверстия диаметром 2 мм. К этой метке и относят координаты пункта. Для различных районов страны и условий закладки центра существуют стандартные типы центров.

Над центром устанавливают сигнал, ось визирного цилиндра I которого совпадает по отвесной линии с меткой марки.

Весьма важным при постройке и эксплуатации пункта является обеспечение устойчивости самого центра и сигнала. В первом случае устойчивость определяется свойствами грунтов, изменениями его влажности, наличием грунтовых вод, возможными воздействиями человека и природы. Во втором - как особенностями грунтов основания сигнала, так и периодическими воздействиями на него ветровой нагрузки (особенно в моменты наблюдений), нагрева солнечными лучами, воздействия влажности и т. п., что вызывает изгибы, колебания, дрожания и кручение конструкции сигнала. Исследованиями установлено, например, что при воздействии температуры в некоторых случаях кручение сигнала по азимуту в течение рабочего дня может достигать нескольких угловых минут. При точности измерений, например, от  $0,7''$  до  $5,0''$  - это весьма существенная величина.

В геодезических сетях используют различные конструкции знаков: простая пирамида, пирамида со штативом, простой сигнал, сложный сигнал, тур.

Простые пирамиды и пирамиды со штативом строят в случаях, когда на соседние знаки есть прямая видимость с земли (с переносного штатива). Если прибор необходимо поднять над поверхностью земли на 2-3 м, то строят простую пирамиду с изолированным от нее штативом 2. Наблюдатель перемещается у столика по специальному настилу 3, закрепляемому на столбах пирамиды. Опоры пирамиды закрепляют в грунт к якорю 4.

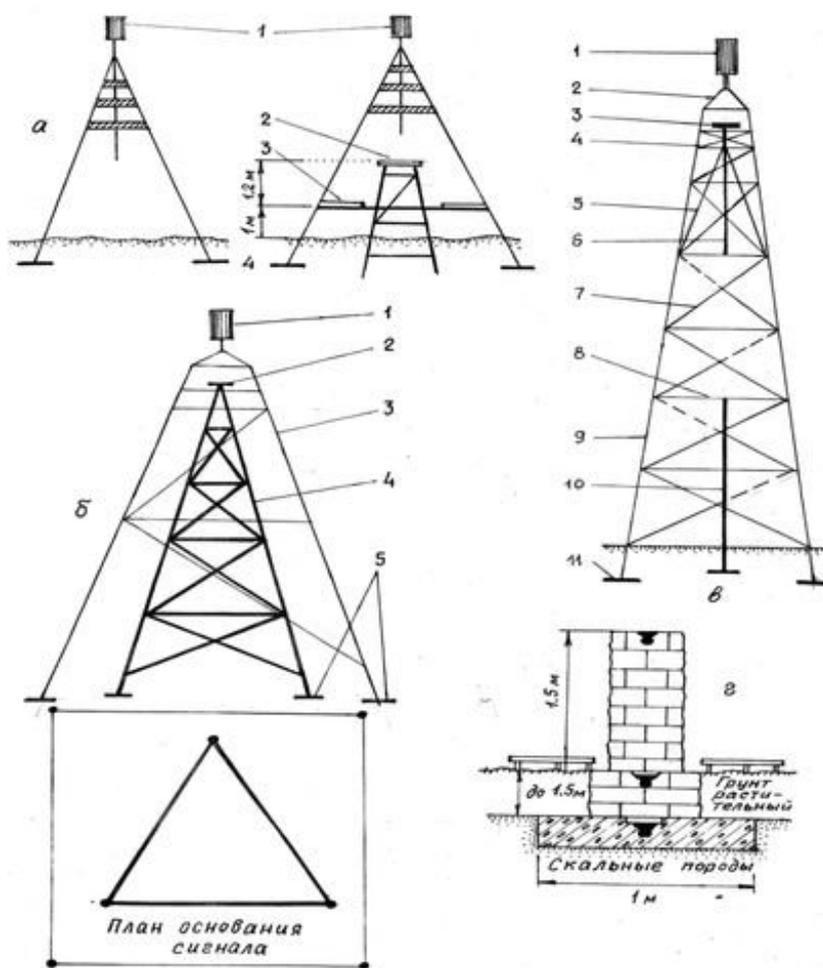


Рис.62. Конструкции сигналов: а - простые пирамиды; б - простые сигналы; в - сложные сигналы; г - туры.

Простые сигналы используют в тех случаях, когда прибор необходимо поднять над землей на высоту от 4 до 10 м. Простой сигнал состоит из двух изолированных сооружений: внешнего 3 и внутреннего 4, имеющего площадку 2 для наблюдателя. Внешняя часть имеет четыре опоры, внутренняя - три опоры, закрепленные якорями 5 в грунте.

Простые сигналы могут быть деревянными и металлическими. Они могут быть также постоянными и разборными. Разборные сигналы перевозят с точки на точку в районах, где нет препятствий для использования транспорта.

Сложные сигналы имеют значительную высоту. Их строят тогда, когда прибор следует поднять на высоту от 11 до 40 м. Внутренняя пирамида 5 сложного сигнала опирается не на землю, а на конструкцию 9 внешней пирамиды. На внутренней пирамиде находится столик 3 для установки прибора. Наблюдатель находится на специальной площадке 4.

Высота внутренней пирамиды порядка 7 - 7,5 м. Прочность конструкции обеспечивают связи, образованные крестовинами 7, венцами 8, скрепленными с основными столбами 9. Внутренняя пирамида имеет свою стойку 5 с болванкой 6. Фрагмент 2 называется крышей знака. Элемент 10 представляет собой промежуточный столб знака. Опоры внешней пирамиды и промежуточный столб знака закреплены в грунте на якорях 11.

Сложные сигналы в настоящее время изготавливают только трехгранными, что облегчает их полную сборку на земле и установку в рабочее положение уже в полностью собранном виде.

Туры устанавливают в тех местах, где имеется скальный грунт на глубине не более 1,5 м, а также обеспечивается хорошая видимость по всем необходимым для измерений направлениям. Над туром устанавливают простую пирамиду с визирным цилиндром. Иногда визирный цилиндр закрепляют непосредственно на туре. При измерениях на таких турах визирный цилиндр временно снимают.

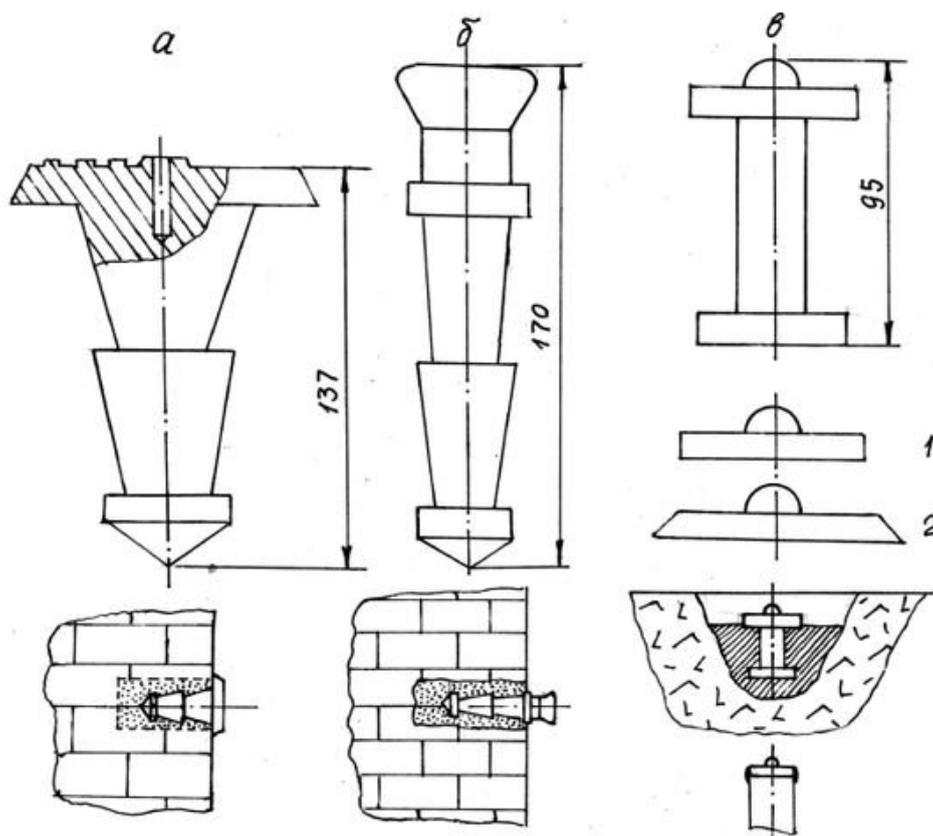


Рис.63. Типы реперов нивелирной сети: а - стенная марка; б - стенной репер; в - марка для бетонных и скальных реперов; 1 и 2 - марки для установки на трубчатых реперах

На дисках марок или реперов помещают надпись, содержащую в себе аббревиатуру организации и номер данного репера.

## **Теодолитная, тахеометрическая съемки Понятие о наземной, воздушной фотограмметрических и спутниковой съёмках.**

### **§ 46. Теодолитная съемка. Абрис теодолитной съемки.**

Теодолитной называется горизонтальная (контурная) съемка местности, в результате которой получаем план с изображением ситуации местности (контуров и местных предметов) без рельефа.

Масштабы выполнения съемки: 1:5000- 1:500.

Съемка применяется на равнинной местности в условиях сложной ситуации и на застроенной территории; в населенных пунктах, на строительных площадках.

Точками планового съемочного обоснования служат точки теодолитного хода.

Теодолитный ход - ломаная линия, где точки поворота закреплены на местности временными знаками (деревянными колышками), между которыми измерены расстояния и горизонтальные углы. Они разделяются по точности и по форме.

По точности теодолитные ходы подразделяются на ходы 1-го и 2-го разрядов:

- ходы 1-го разряда характеризуются относительной погрешностью не ниже 1/2000;
- ходы 2-го разряда - с относительной погрешностью не хуже 1/1000.

По форме построения различают следующие виды ходов:

- разомкнутый ход (начало и конец опираются на пункты опорной сети - рис. 65, а);
- замкнутый ход - сомкнутый многоугольник, обычно примыкающий к пункту опорной сети (рис. 65,б);
- висячий ход - один из концов которого примыкает к пункту опорной сети (рис.65,в).

Выбор формы хода зависит от характера территории объекта. Проложение висячих ходов допускается в отдельных случаях при съемке неотчетливых объектов.

По содержанию теодолитная съемка включает работы подготовительные, полевые и камеральные.

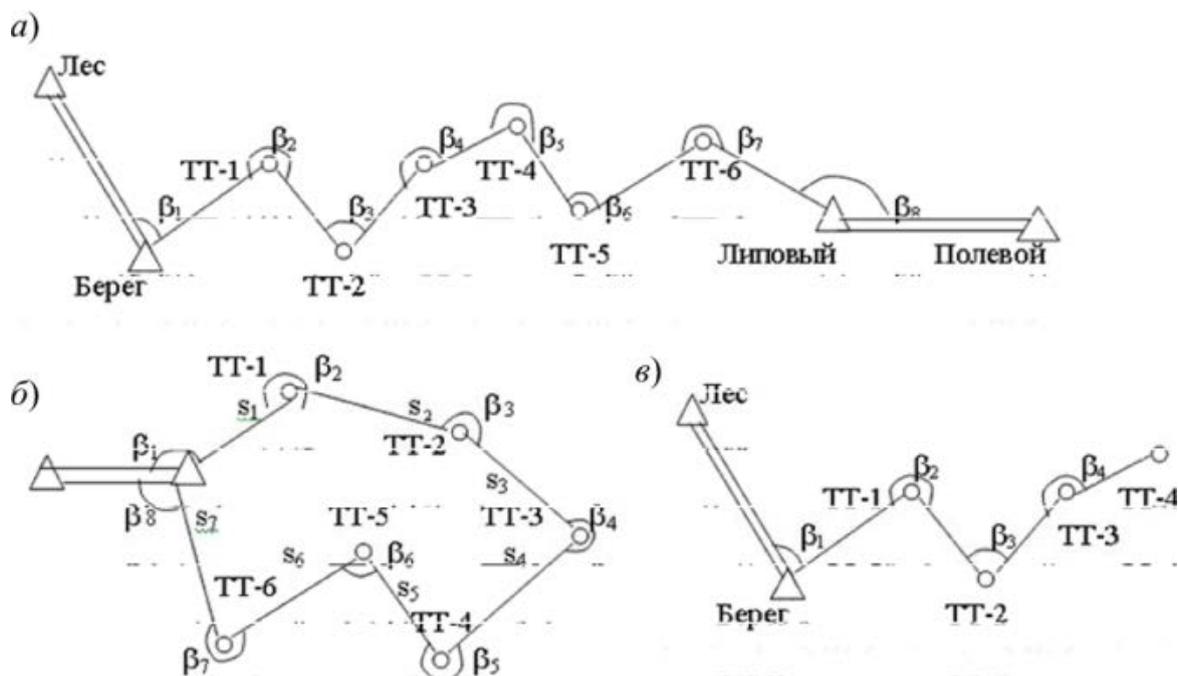


Рис.65 . Виды теодолитных ходов: а - разомкнутый ход; б - замкнутый ход; в - висячий ход

*Подготовительные работы включают следующие этапы:*

- выбор масштаба съемки исходя из требуемой точности отображения ситуации, подбор и изучение имеющихся планов, карт, профилей, опорной сети;
- составление схемы опорной сети;
- составление схемы теодолитных ходов (разработка предварительного проекта полевых работ);
- подготовка приборов (теодолит, лента, колышки).

*Этапы полевых работ:*

- рекогносцировка местности и закрепление точек теодолитных ходов;
- привязка теодолитных ходов к пунктам опорной сети;
- прокладка теодолитных ходов на местности;
- съемка ситуации местности.

*Камеральные работы включают следующие этапы:*

- вычисление координат вершин теодолитного хода;
- построение плана теодолитной съемки.

*Последовательность полевых работ:*

1. Рекогносцировка местности и закрепление точек теодолитных ходов предусматривает: осмотр местности с целью знакомства с объектами съемки; отыскание пунктов опорной сети, окончательный выбор точек теодолитного хода.

Требования при выборе точек теодолитного хода: взаимная видимость между смежными точками; удобство измерения расстояния между точками; длины сторон 20-350 м; углы наклона местности минимальные - до 50 промилле.

Закрепление точек хода представлено на рис. 66.

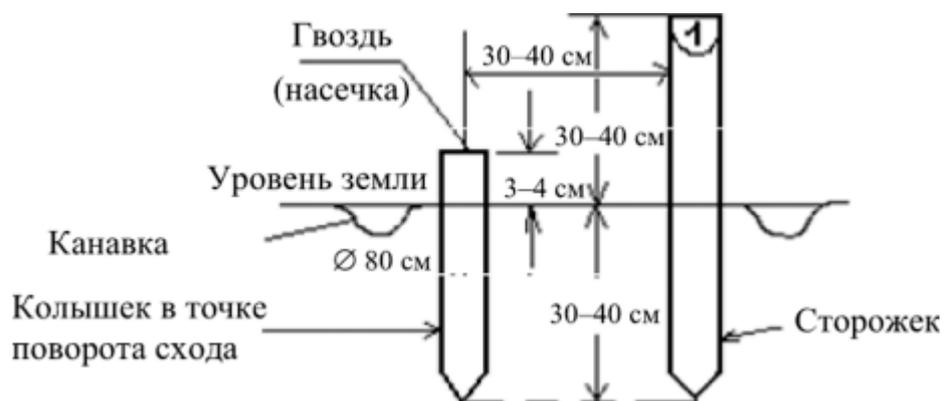


Рис.66. Закрепление точек хода

2. Привязка теодолитных ходов к пунктам опорной сети проводится для получения координат точек хода в избранной системе координат и осуществления контроля измерений.

Сущность привязки состоит в передаче с пунктов опорной сети координат и дирекционного угла на одну из точек теодолитного хода.

Координаты начальных пунктов и ориентирные направления ( $X$ ,  $Y$ ,  $\alpha$ ) выписывают из каталога координат.

Варианты привязки представлены на рис.67.

3. В ходе прокладки теодолитного хода на местности производятся угловые и линейные измерения.

В процессе угловых измерений измеряются горизонтальные углы и углы наклона теодолитами. Горизонтальные углы измеряют одним полным приемом.

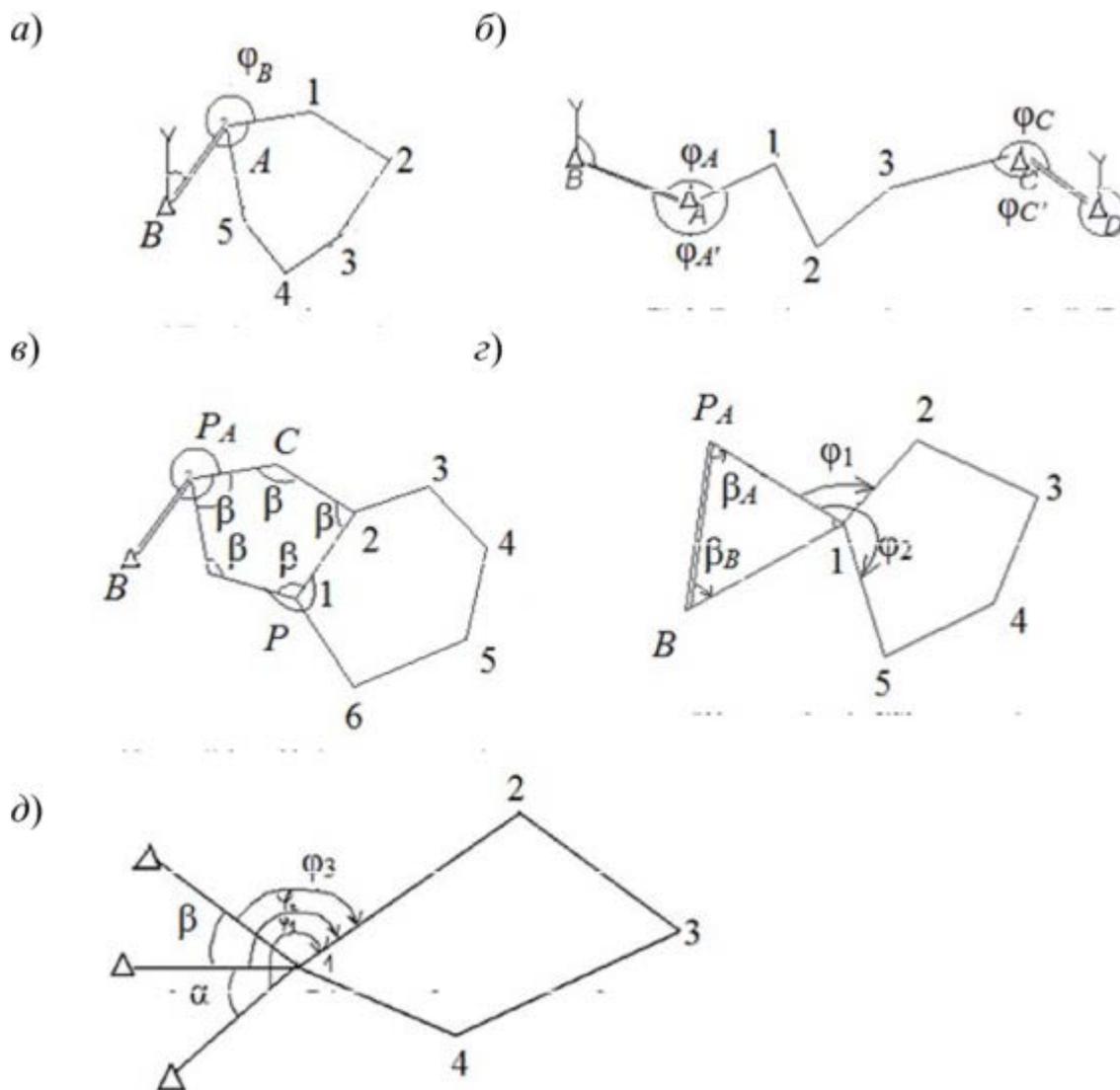


Рис. 67. Привязка теодолитных ходов к пунктам ГГС: *а* - теодолитный ход непосредственно примыкает к пункту ГГС; *б* - теодолитный ход проложен между двумя пунктами ГГС; *в* - теодолитный ход не примыкает к опорной сети. От ближайшего пункта ГГС прокладывают специальный привязочный ход; *г*, *д* - от ближайших пунктов ГГС решают обратную засечку

Центрирование теодолита выполняют нитяным отвесом или оптическим центриром с погрешностью не более 5 мм (чем стороны короче и чем ближе угол  $\rho$  к  $180^\circ$ , тем тщательнее нужно центрировать).

При наведении на вежу визирование осуществляется в основание вежи.

Все записи ведут в полевом журнале. При линейных измерениях длины линий измеряют компарированными инструментами (оптическими дальномерами) дважды с контролем. При этом относительные ошибки не должны превышать следующих значений: для хода 1-го разряда - 1:2000 (местность со средними условиями), для хода 2-го разряда - 1:1000 (местность с неблагоприятными условиями). Измерение углов наклона линий при углах наклона менее  $5^\circ$  ( $\nu < 5^\circ$ ) может проводиться эклиметром или теодолитом, свыше  $5^\circ$  - теодолитом. Неприступные расстояния измеряют косвенным способом.

4. Съёмка ситуации местности заключается в определении положения точек контуров и местных предметов относительно вершин и сторон теодолитного хода.

Съемка может проводиться одновременно с прокладкой теодолитного хода или независимо. Результаты съемки заносят в схематичный чертеж - абрис (рис.68).

Абрис является полевым документом съемки и служит для составления плана местности.

Способы съемки: перпендикуляров, полярных координат, биполярных координат (засечек); створов (промеров) (рис.68.).

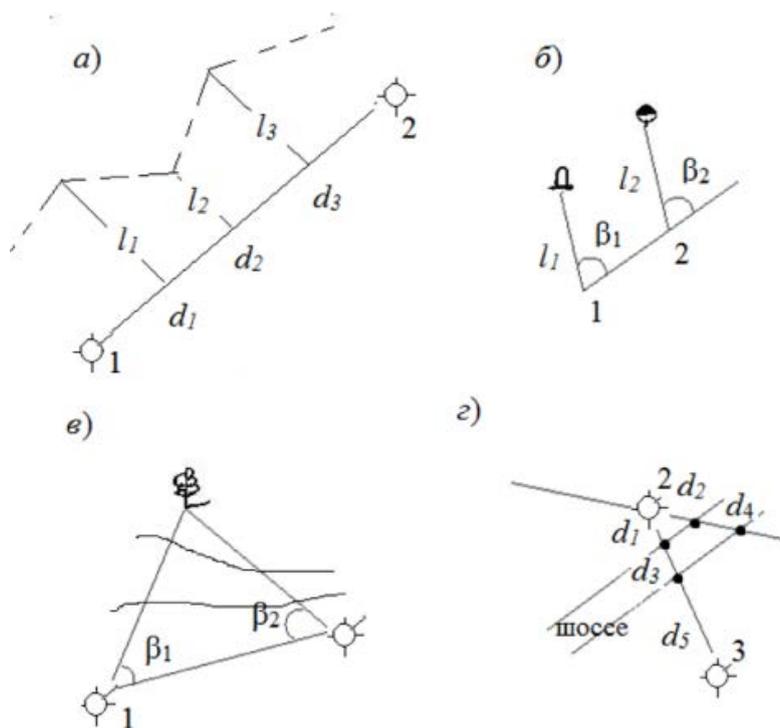


Рис. 68. Способы съемки ситуации: *a* - способ перпендикуляров; *б* - полярных координат; *в* - биполярных координат (засечек); *г* - створов (промеров)

Камеральные работы при теодолитной съемке включают вычислительный и графический процессы.

Цель вычислений - получить координаты точек теодолитного хода.

Цель графического процесса - получить план местности.

В результате неизбежных ошибок в измерениях возникает разность фактических и теоретических результатов - невязка, процесс распределения которой называется уравниванием.

#### § 47. Камеральная обработка полевых измерений. Распределение невязок.

*Обработка результатов измерений в замкнутом ходе*

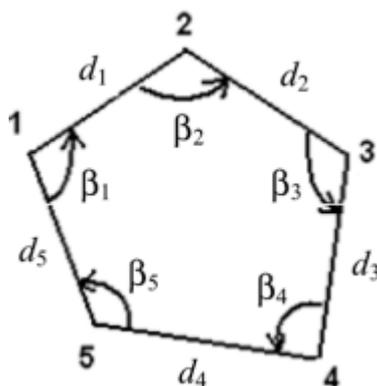


Рис. 69. Схема замкнутого теодолитного хода

Обработка результатов измерений в замкнутом теодолитном ходе (рис. 75) осуществляется в следующей последовательности:

- 1. Обработка угловых измерений.
- 2. Определение суммы измеренных  $Z_p$  изм и суммы теоретических углов  $Z_{тсор}$ .
- 3. Расчет угловой невязки  $f_\beta$ .
- 4. Определение поправок в измеренные углы  $\delta_p$ .
- 5. Определение исправленных углов  $Z_{рнсп}$ .
- 6. Контроль суммы исправленных углов:  $Z_{рнсп} = \hat{Z}_{тсор}$ .

$$\sum \beta_{изм} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n;$$

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ (n - 2);$$

$$f_\beta = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор};$$

$$f_{\beta_{доп}} = 1,5\sqrt{n};$$

$$|f_\beta| \leq f_{\beta_{доп}};$$

$$\delta_\beta = -\frac{f_\beta}{n};$$

$$\sum \delta_\beta = -f_\beta;$$

$$\beta_{испр_i} = \beta_{изм_i} + \delta_\beta;$$

$$\sum \beta_{испр} = \sum \beta_{теор}.$$

7. Вычисление дирекционных углов сторон хода:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ - \beta_{испр_i}^{прав}. \quad (115)$$

8. Вычисление горизонтальных проложений длин линий (рис. 70).

9. Вычисление приращений координат (рис. 71).

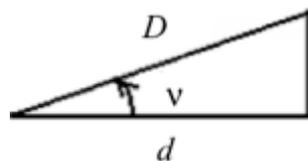


Рис. 70. Вычисление горизонтальных проложений длин линий

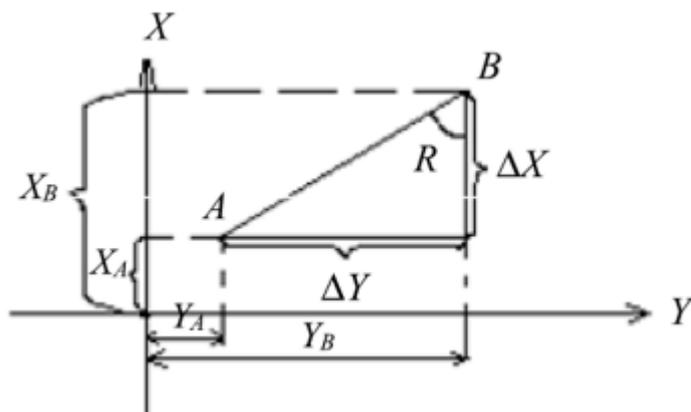


Рис. 71. Вычисление приращений координат

Решением прямой геодезической задачи вычисляются координаты точек хода:

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X; & Y_B &= Y_A + \Delta Y; \\ \Delta X &= d \cos \alpha(R); & \Delta Y &= d \sin \alpha(R). \end{aligned} \quad (116)$$

10. Расчет линейной невязки.

Расчет линейной невязки проводится в целях сравнения вычисленных координат с контрольными, определения погрешности выполненных работ, распределения невязки. Расчет осуществляется в следующей последовательности.

Определяются невязки в приращения координат:

$$\begin{aligned} \sum \Delta x(+) &= & \sum \Delta y(+) &= \\ \sum \Delta x(-) &= & \sum \Delta y(-) &= \\ \hline f_x &= & f_y &= \end{aligned} \quad (117)$$

Рассчитывается относительная невязка хода:

$$\begin{aligned} f_{\text{абс}} &= \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \\ f_{\text{отн}} &= \frac{f_{\text{абс}}}{P} = \frac{1}{P : f_{\text{абс}}} = \frac{1}{N}; \\ f_{\text{отн}} &\leq f_{\text{доп.отн}} \leq 1:2000 \dots 1:1000. \end{aligned} \quad (118)$$

Определяются поправки в приращения координаты:

$$\begin{aligned} \delta x_i &= -\frac{f_x}{P} \cdot d_i; & \delta y_i &= -\frac{f_y}{P} \cdot d_i; \\ \sum \delta x &= -f_x; & \sum \delta y &= -f_y. \end{aligned} \quad (119)$$

Вычисляются исправленные приращения:

$$\Delta x_{\text{испр}i} = \Delta x_i + \delta x_i; \quad \Delta y_{\text{испр}i} = \Delta y_i + \delta y_i. \quad (120)$$

Производится контроль суммы исправленных приращений:

$$\sum \Delta x_{\text{испр}} = 0; \quad \sum \Delta y_{\text{испр}} = 0. \quad (121)$$

Определяются координаты точек хода:

#### § 48. Камеральные работы при оформлении результатов теодолитной съемки

Последовательность работ:

1. Построение координатной сетки.
2. Нанесение точек теодолитного хода на план.
3. Нанесение ситуации на план.
4. Оформление плана.

Построение координатной сетки:

размеры координатной сетки для крупномасштабных планов - 10x10 см; построение сетки может быть выполнено с использованием масштабной линейки, циркуля-измерителя, линейки Дробышева или координатографа.

Нанесение на план точек теодолитного хода осуществляется в следующей последовательности:

определить квадрат, в котором находится точка;  
используя поперечный масштаб и циркуль-измеритель, отложить отрезки, соответствующие приращениям  $A_x$ ,  $A_y$ .

Нанесение ситуации на план производится от сторон и вершин теодолитного хода согласно абрису съемки. В процессе работы применяют масштабную линейку, циркуль, транспортир.

Оформление плана.

Окончательное оформление плана осуществляется тушью (ручками) с соблюдением правил топографического черчения.

Ситуация обозначается условными знаками для топографических планов.

Зарамочное оформление плана включает: наименование документа, линейный и численный масштаб, дату съемки, исполнителя.

Теодолитные ходы прокладываются на местности и используются в качестве планового обоснования при трассировании линейных сооружений, выполнении топографической съемки, производстве разбивочных работ.

На абрисе теодолитной съемки изображаются соответствующие пункты и стороны съёмочного обоснования, вся снимаемая с них ситуация и, главное, записываются результаты всех полевых геодезических измерений, показываемые таким образом, чтобы было четко понятно каким способом и от каких пунктов и сторон съёмочного обоснования произведена съемка той или иной контурной точки местности.

#### **§ 49. Тахеометрическая съемка.**

Тахеометр – прибор, с помощью которого измеряют горизонтальные углы, расстояния и превышения.

Цель съемки – получение топографического плана (то есть плана с контурами и горизонталями).

Съёмочным обоснованием тахеометрической съемки являются:

1. Теодолитно – нивелирные ходы.
2. Высотные теодолитные ходы.
3. Тахеометрические ходы.

*Идея тахеометрической съемки.*

Плановое положение точек получают полярным способом (рис.72), измеряя полярный угол  $\beta$  по горизонтальному кругу теодолита, а расстояние  $D$  с помощью нитяного дальномера. Одновременно измеряют угол наклона  $\nu$  по вертикальному кругу теодолита, чтобы определить  $d$  и  $h$ .

В качестве опорных точек (станций), с которых ведется съемка, могут быть использованы пункты государственной геодезической сети, сети сгущения, а также съемочной геодезической сети. Последняя для тахеометрической съемки может быть выполнена в виде теодолитно – нивелирных ходов (плановое положение точек определяют по методике проложения теодолитных ходов, а высоты точек из геометрического нивелирования); теодолитно – высотных ходов, в которых высоты определяют из тригонометрического нивелирования; и тахеометрических ходов, отличающихся от предыдущих тем, что здесь измерения выполняют электронными тахеометрами.

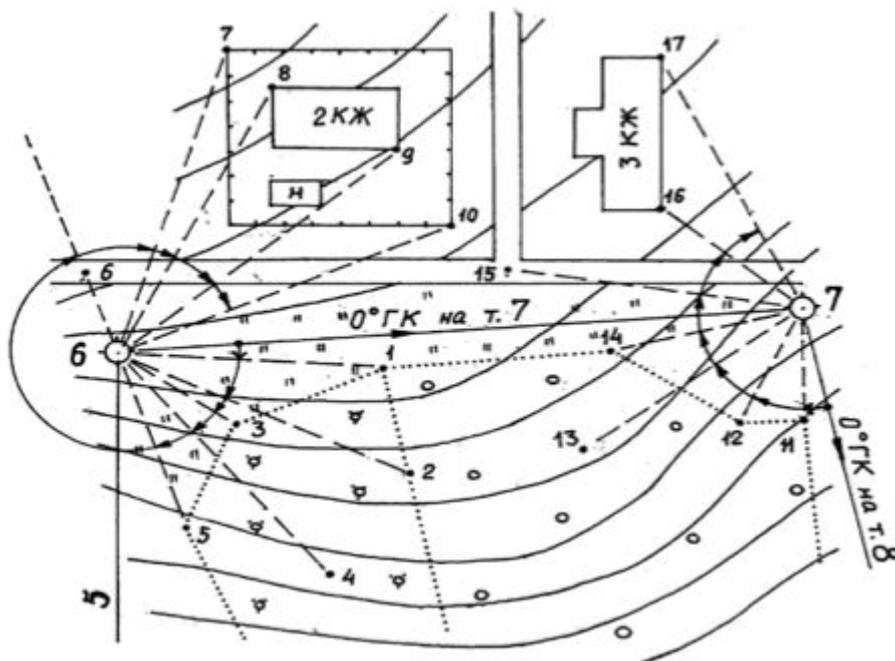


Рис. Рис.72. Схема тахеометрической съёмки на станциях 6 и 7.

#### Порядок работы

Устанавливают теодолит в точке 6 (рис. 68), ориентируют и закрепляют лимб, измеряют высоту прибора над точкой установки. По рейке, установленной на точке местности, с помощью нитяного дальномера определяют расстояние  $D$ , измеряют по горизонтальному кругу угол  $\beta$ , а по вертикальному кругу угол  $\nu$ .

Превышение  $h$  вычисляют по формуле тригонометрического нивелирования:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + a - l.$$

Результаты измерений на каждую точку заносят вместе с номером точки в журнал тахеометрической съемки.

Точки, в которых устанавливают рейку, выбирают таким образом, чтобы при минимальном их количестве правильно изобразить на плане ситуацию и рельеф.

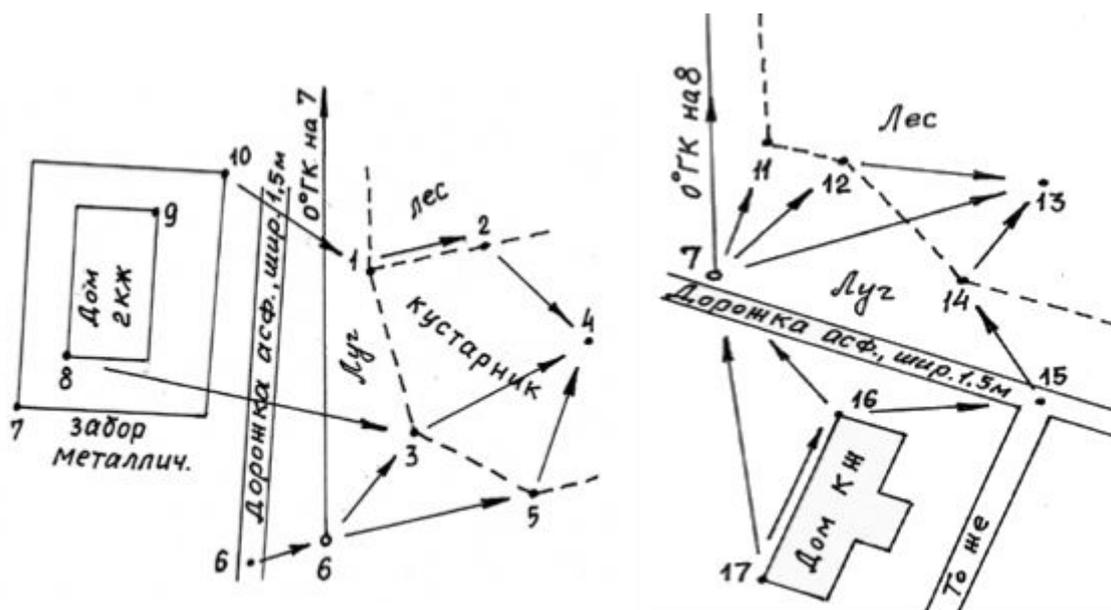


Рис.73. Абрис тахеометрической съёмки на станции 6 и 7.

В ходе работы на станции составляется и ведется абрис (рис.73), на котором показывают станцию, направление ориентирования горизонтального круга, ситуацию и расположение снимаемых точек. Рельеф изображают либо условными горизонталями либо стрелками, соединяющими речные точки, между которыми уклон местности не меняется.

По завершению съёмки на станции проверяют правильность ориентирования горизонтального круга, для него повторно визируют на исходное направление. Расхождение в отсчетах не должно быть более  $2'$ .

Во избежание больших переделок рекомендуется в процессе работы на станции такой контроль выполнять через 10 – 15 точек с фиксацией контроля.

План тахеометрической съёмки вычерчивается в следующей последовательности: строится координатная сетка, затем по координатам наносятся точки съемочной сетки. После этого с помощью транспорта и масштабной линейки наносятся пикетные точки полярным способом.

Рельеф местности изображается горизонталями, положение которых на плане определяется методом графического интерполирования, например, следующим образом: на листе прозрачной бумаги (кальке) проводятся параллельные линии на произвольных, но одинаковых расстояниях друг от друга. Эти линии подписываются в соответствии с принятой высотой сечения рельефа.

Выполнив на плане интерполяцию по всем остальным направлениям, отмеченным на абрисе, получают положение точек с известными высотами. Точки с одинаковыми высотами соединяют плавными линиями и получают таким образом на плане положение горизонталей.

## § 50. Понятие о наземной, воздушной фототопографических и спутниковой съёмках.

### Спутниковая геодезия.

Лазерные сканеры – приборы для топографической съёмки, а также для съёмки различных техногенных объектов. В результате лазерного сканирования получают массив пространственных координат точек снимаемого объекта. Расстояние до каждой точки определяется безотражательным дальномером. Помимо расстояния каждой точке соответствует свой горизонтальный угол и угол наклона, регистрируется также интенсивность отраженного луча. Полученные данные позволяют построить пространственную модель и изображение снимаемого объекта в заданной системе координат с точностью определения координат любой точки модели порядка  $\pm 3$  мм. Тем не менее, для облегчения работы с полученной моделью объекта в некоторых сканерах имеются цифровые камеры, позволяющие получить изображение в реальных цветах. Разработаны сканеры для воздушной и наземной съёмки.

В настоящее время можно выделить два типа наземных лазерных сканеров: специально разработанные сканеры, в которых сканирование осуществляется подвижными оптическими элементами и сканеры, созданные на базе безотражательного электронного тахеометра с сервоприводами. Детальность съёмки в обоих типах приборов задается шагом сканирования.

В таблице 15 приведены основные характеристики некоторых наземных лазерных сканеров.

Таблица 15

Название системы (компания - производитель)	Дальность до сканир. объекта, м	Точность мм / расст. м	Угол поля зрения в горизонт. И верт. плоскости	Время сканирования, мин	Рабочие температуры	Класс безопасности
Callidus 1,1 (Callidus)	0,15 - 150	5/32	360°x180°	4 – 9	0 - +40°C	Class 1
Syrah 2500 (Cyra Technologies)	1,5 – 100	4/50	40° x 40°	10	0 - +40°C	Class 2
ILRIS – 30 (Optech)	2 - 350 при 4% отражен.	10/100	40° x 40°	8	-20 - +50°C	Class 1
SOISIC (MENSI)	2 – 800 при 20% отражен.					
RIEGL LMS – 2210	0,8 – 40	0,5/5	46° x 320°	15	+5 - +40°C	Class 3A
RIEGL LMS – 2360	2 - 350	25/200	330° x 80°	0,5	0 - +40°C	Class 1
RIEGL LMS – 2420	2 - 200	6/200	360° x 90°	0,5	0 - +40°C	Class 1
RIEGL LPM – 25 HA	2 - 1000	20/1000	360° x 80°	до 2	-20 - +50°C	Class 1
Laser Ase (R) Scanner «Leica»	1 – 40	8/20	180°x 150°	2	+5 - +40°C	Class 1
	до 700 м	50/700	360°x	250 точек/сек		Class 1

### Топографическая съемка акваторий.

30 апреля 1982 г. принята конвенция ООН по морскому праву. Это единый всеобъемлющий международно – правовой документ, регламентирующий основные вопросы деятельности в водах Мирового океана, на морском дне и в его недрах.

Выход за рамки конвенции, как международно – правовой основы, недопустим, неправомерен, а в некоторых ситуациях преступен, так как чреват международными конфликтами. Сказанное относится ко всем видам научных исследований на море, включая топографо – геодезические исследования. Проведение топографо – геодезических исследований необходимо для обеспечения работ, связанных с разведкой и разработкой ресурсов океана, работ по делимитации морских пространств, демаркации морских граничных линий и др.

Основные положения конвенции, регламентирующие правовой статус и назначение топографических

работ на акваториях Мирового океана следующие.

*Нормальная исходная линия* – это линия наибольшего отлива вдоль берега, указанная на официально признанных прибрежным государством морских картах крупного масштаба.

*Прямая исходная линия* – прямая линия, соединяющая законодательно установленные прибрежным государством точки на выдающихся в море оконечностях его побережья, включая расположенные в непосредственной близости от него (на расстоянии, не превышающем ширины территориального моря) цепи островов и осыхающие при отливе возвышенности.

Исходные линии (ИЛ) используются для отсчета ширины территориального моря, исключительной экономической зоны и континентального шельфа прибрежного государства, причем прямые ИЛ используются в этих целях, когда береговая линия глубоко изрезана и извилиста.

*Территориальное море* (ТМ) – морской пояс за пределами сухопутной территории и внутренних вод (бухт, заливов, устьев рек и пр.) прибрежного государства. На ТМ, равно как и на воздушное пространство над ним, его дно и недра, прибрежное государство осуществляет суверенитет. Внешней границей ТМ является линия, каждая точка которой находится от ближайшей точки ИЛ на расстоянии, равном ширине ТМ. Ширина ТМ устанавливается в пределах, не превышающих 12 морских миль.

*Исключительная экономическая зона* (ИЭЗ) – район открытого моря, находящийся за пределами ТМ и прилегающей к нему. В ИЭЗ прибрежное государство осуществляет: суверенные права в целях разведки, разработки и сохранения природных ресурсов в водах, покрывающих морское дно, на морском дне и в его недрах; юрисдикцию в отношении создания и использования искусственных островов, установок и сооружений, морских научных исследований, защиты среды. Ширина ИЭЗ не должна превышать 200 морских миль, отсчитываемых от ИЛ.

Исходные линии, а также внешние границы ТМ и ИЭЗ указываются на изданных прибрежным государством картах таких масштабов, которые приемлемы для точного установления их положения. Карты можно заменять перечнем географических координат точек с указанием исходных геодезических данных. Копии карт или перечней прибрежное государство сдает на хранение Генеральному секретарю ООН.

*Континентальный шельф* (КШ) прибрежного государства включает в себя морское дно и недра подводных районов, простирающихся за пределами его ТМ до внешней границы подводной окраины материка или на расстояние 200 морских миль от ИЛ, когда внешняя граница подводной окраины материка (континентальной окраины) не простирается на такое расстояние.

Границы КШ за пределами 200 морских миль от ИЛ устанавливаются на основе рекомендации Комиссии по границам континентального шельфа. Комиссия вырабатывает рекомендации на основе данных о границах КШ, которые будут предоставляться ей прибрежным государством в течение 10 лет с момента вступления в силу конвенции. Карты и геодезическую информацию, перманентно описывающую внешнюю границу КШ, прибрежное государство сдает на хранение Генеральному секретарю ООН.

Прибрежное государство осуществляет над КШ суверенные права в целях разведки и разработки его природных ресурсов. Отмеченные права не затрагивают статуса покрывающих вод и воздушного пространства над ними. Осуществление прав прибрежного государства в отношении КШ не должно ущемлять также осуществление судоходства, прокладку кабелей и трубопроводов другими государствами. Кроме того, за пределами 200 морских миль от ИЛ оно не может по своему усмотрению отказать другим государствам в согласии на проведение ими научных исследований.

*Открытое море* (ОМ) – морское пространство, которое не входит ни в ТМ, ни в ИЭЗ. Основу правового режима ОМ составляет принцип свободы открытого моря. Это означает, что оно открыто для общего равного и свободного пользования всеми государствами.

*Район* – дно морей и океанов и их недра за пределами национальной юрисдикции. Район открыт для использования исключительно в мирных целях.

*Деятельность в Районе* – все виды деятельности по разведке и разработке ресурсов Района. Деятельность в районе осуществляется на благо всего человечества.

*Ресурсы* – все твердые, жидкие или газообразные минеральные ресурсы, включая полиметаллические конкреции в Районе. Ресурсы, извлеченные из Района, рассматриваются как полезные ископаемые. Район и его ресурсы являются общим наследием человечества. Все права на ресурсы Района принадлежат всему человечеству, от имени которого действует «Орган».

«Орган» - Международный орган по морскому дну, организующий и контролирующей деятельность в Районе. Орган регулирует освоение ресурсов Района в целях развития мировой экономики и сбалансированного роста международной торговли.

В задачу съемки входит получение в необходимом объеме и с заданной точностью количественных и качественных данных для построения топографической карты или иной картографической модели снимаемой акватории.

Количественные данные передают рельеф морского дна, плановое и высотное положение инженерных сооружений и коммуникаций, положение границ морских пространств и зон, распространение донных отложений (грунтов), растительности, гидрофизические параметры. В количественном отношении характеризуются литологические особенности грунтов, ландшафтно – экологическое состояние района, распространение донных организмов (фито – и зообентос), виды растительности и т.д.

Особенности съемки обусловлены нестационарностью водных масс по всей их толще, особенностью электрофизических свойств воды (ее непрозрачностью для большей части спектра электромагнитных волн), невозможностью визуального обзора снимаемых объектов.

*Донный рельеф* – основной элемент ситуации, изображаемый на топографических картах акваторий. Методы съемки донного рельефа – это промер, площадная гидрологическая съемка и дистанционное зондирование.

*Промер* – метод съемки донного рельефа путем непосредственного и косвенного измерения глубин на галсах, регулярной сеткой покрывающих снимаемую акваторию. Расстояние между съемочными галсами (междугалсовое расстояние) – один из основных параметров промера, объединяемый часто с понятием *подробность промера*. *Подробность промера* устанавливается с учетом общего характера и расчлененности рельефа. С уменьшением междугалсового расстояния (до некоторого оптимального значения) повышается *подробность съемки*.

По мере выявления особенностей рельефа донной поверхности, в процессе проведения промера, галсы сгущают в тех местах, где в этом есть необходимость.

Съемочные работы выполняют в масштабах 1: 2 000 – 1: 50 000. Для районов шельфа с глубинами свыше 200 м допускается выполнять съемку в масштабе 1: 100 000.

Подробность съемки должна обеспечивать соблюдение принятых требований к достоверности и точности изображения рельефа горизонталями в масштабе создаваемой карты. На первично создаваемых картах средние погрешности в положении горизонталей, относительно высотной основы, не должны превышать 2/3 величины сечения рельефа дна с углами наклона до 6° и целой высоты сечения – на участках с углами наклона от 6 до 20°.

Подробность промера устанавливается в зависимости от глубины и вертикальной расчлененности рельефа в соответствии с данными табл. 16.

Таблица 16

## Рекомендуемая частота промеров

Глубина, м	Категория рельефа		
	Нерасчлененные и слабо расчлененные равнины со средними значениями относительной глубины врезов 3 – 10 м.	Расчлененные равнины с относительной глубиной врезов 10 – 50 м.	Расчлененные равнины с относительной глубиной врезов более 50 м
Междугалсовые расстояния, км			
0 – 20	0,25 – 0,50	0,10 – 0,25	0,05 – 0,10
20 – 50	0,50 – 0,75	0,25 – 0,50	0,10 – 0,15
50 – 100	0,75 – 1,0	0,50 – 0,75	0,15 – 0,20
100 – 200	1,0 – 1,25	0,75 – 1,0	0,20 – 0,25
200 – 500	1,25 – 2,0	1,0 – 1,25	0,25 – 0,50

Подробность промера зависит и от масштаба создаваемой карты. Установлены средние значения междугалсовых расстояний 20, 50, 100, 250 и 500 м для масштабов 1:2 000, 1:5 000, 1: 10 000; 1:25 000 и 1:50 000 соответственно. Максимально допустимое расстояние между галсами – 2 см в масштабе карты, минимальное – 0,5 см, среднее – 1 см.

Геодезическим обоснованием съемки акватории служит специальная сеть, создаваемая вдоль побережья,

опирающаяся на пункты государственной сети. Методы создания планового обоснования различные – триангуляция, полигонометрия, трилатерация, прямые и обратные засечки и их комбинации. Пункты обоснования закрепляются бетонными монолитами и обозначаются на местности сигналами, пирамидами или горами из камней.

На небольших удалениях от берега, в пределах прибрежной зоны (до 10 км) положение промерных точек определяется прямой геодезической засечкой двумя теодолитами. На значительном удалении промерного судна от берега его положение определяют радиогеодезическими системами (РГС).

При планировании промерных работ необходимо обращать внимание на то, чтобы углы пересечения направлений с опорных точек (в прямой геодезической засечке) или углы пересечения изофазных гипербол при работе с РГС лежали в пределах от 30 до 150°.

Если плановое положение судна определяется прямой геодезической засечкой, съемочные галсы прокладывают в виде прямых линий, параллельных берегу, а при использовании РГС галсы прокладывают в виде дуг окружностей, соединенных между собой. Привязка галсов производится к углам оснований вышек, отдельно стоящим сваям, вехам, координаты которых известны с ошибкой не более 1 м. Ошибка определения координат промерных точек радиогеодезической системой «Поиск» составляет не более 10 м, а ошибка определения координат методом прямой засечки – 1 – 2 м.

Непосредственные измерения в процессе выполнения промера производят наметкой и ручным лотом при глубинах до 5 и 20 м соответственно. Точность измерений зависит от типа грунта, наличия растительности, течений, волнений и характеризуется ошибками 5 – 10 см на глубинах до 5 м и 10 – 20 см – на больших глубинах. Для косвенного измерения глубин используются эхолоты. Эхолотом называется прибор, измеряющий глубину посредством измерения времени распространения акустического сигнала от судна до дна водоема и обратно.

Глубина водоема  $h$  определяется как сумма глубины  $h_1$  водоема под излучающей И и принимающей П антеннами эхолота и углубления этих антенн  $\Delta$  от поверхности водоема.

Глубина водоема определяется по формуле

$$h = 0,5\sqrt{(c \cdot t)^2 - l^2}, \quad (122)$$

где  $l$  – расстояние между передающей и приемной антеннами;

где  $c$  – скорость распространения звука в воде,  $t$  – время прохождения звуковым импульсом расстояния до дна водоема и обратно.

В большинстве современных эхолотов приемная и передающая антенна совмещены и поэтому для определения глубины используется формула

$$h = 0,5 c t + \Delta, \text{ где } \Delta \text{ – глубина погружения антенны.}$$

Скорость распространения звука в воде изменяется в пределах

$c = 1466 - 1548$  м/с, на ее величину влияют температура, глубина и соленость воды. Появление в воде пузырьков воздуха (под влиянием ветра и волнения, движения судна с большой скоростью) может вызывать перебои в работе эхолота или погрешности в его показаниях.

В случае проведения промерных работ кроме глубины необходимо определять прямоугольные координаты  $(x, y)$  точки промера. Эти определения выполняют с помощью GPS приемника, устанавливаемого на судне, а при небольших удалениях от берега электронным тахометром. Электронный тахометр устанавливают на берегу, а на судне устанавливают отражатель.

Эхолот позволяет получать профиль дна по направлению движения судна. Для съемки заданной акватории прокладывают несколько галсов с требуемой частотой между галсами.

При обследовании мелководных участков со сложным рельефом дна требуется более подробная информация о ситуации под водой. В этих случаях применяют многолучевые эхолоты.

Конструктивно такие системы могут быть выполнены; в виде набора нескольких однолучевых эхолотов, разнесенных в горизонтальной плоскости и одновременно измеряющих расстояния до дна по вертикали в нескольких точках; в виде сканирующего эхолота, измеряющего последовательно от места положения его антенны до дна в различных направлениях под известными углами, что позволяет вычислить глубину не только под плавсредством, но и в стороне, на расстояниях в 2 – 3 раза превышающих эту глубину; в виде нескольких эхолотов, антенны которых располагаются в одной точке, но фиксированы под разными углами к вертикали, что позволяет одновременно измерять расстояние до дна и вычислять глубину в ряде точек под судном и на расстояниях в 2-3 раза превышающих эту глубину.

Фирма Simrad производит профилирующий сканирующий многолучевой гидролокатор SM 2000P Multibeam Profiling Sonar, который включает в себя сканирующую антенну, совмещенную с подводным

электронным блоком и судовую ПЭВМ. Сканирование происходит в секторе  $120^\circ$  по 128 направлениям при ширине сканирующего луча  $1,5^\circ$  или  $3^\circ$ .

Эхолоты характеризуются: дальностью действия – мелководные (для глубин  $h < 500$  м), среднеглубинные ( $h < 5000$  м), глубоководные ( $h$  до 10 000 – 12 000 м); числом рабочих диапазонов измерения глубин – однодиапазонные и многодиапазонные; числом рабочих частот – одночастотные и многочастотные; числом формируемых зондирующих лучей – однолучевые и многолучевые; шириной характеристики направленности (ХН) акустических антенн – узколучевые ( $ХН < 10^\circ$ ), широколучевые ( $ХН > 10^\circ$ ); видом представления и способом регистрации результатов измерений – аналоговые с самописцем и цифровые с ЦУГ – (цифровыми указателями глубин); пространственной ориентацией оси ХН – эхолоты со стабилизированным излучением и эхолоты с нестабилизированным излучением.

Типовая структурная схема эхолота включает в себя излучающий, приемный и измерительный тракты, блоки регистрации и индикации, устройства управления и синхронизации.

Излучающий тракт состоит из формирователя зондирующего акустического сигнала и передающей антенны. *Зондирующий сигнал* – это периодическая последовательность прямоугольных импульсов с тональным заполнением, мощность и длительность которых устанавливается в соответствии с измеряемой глубиной. Рабочие частоты акустического излучения выбирают с учетом глубины действия прибора, требуемой разрешающей способности, уровня и спектра акустических помех (в современных эхолотах частота заполняющих импульсов обычно равна 10 – 300 кГц). Временная длительность импульсов обычно равна  $10^{-2}$  –  $10^{-5}$  с и варьируется под условием обеспечения необходимой разрешающей способности во всех диапазонах измерений. Частота их следования, как правило, не превышает 500 имп/с в режиме измерения глубин на мелководье и уменьшается до нескольких импульсов в секунду по мере увеличения диапазона измеряемых глубин до максимальных их значений.

В табл. 17 приведены основные характеристики некоторых эхолотов ряда НЭЛ – М.

Таблица 17

### Характеристика эхолотов

Характеристика	НЭЛ – М1	НЭЛ – М2	НЭЛ – М3А	НЭЛ – М4
Пределы измерений, м	1 - 6000	1 - 3000	0,2 - 200	0,2 – 36
Максимальная скорость носителя, узлы	35	30	40	25
Аппаратурная средняя квадратическая ошибка, м: по самописцу при $h < 20$ $h > 20$ по цифровому указателю глубин при $h < 20$ при $h > 20$	0,1 $1,5 \cdot 10^{-2}$ 0,07 $10^{-2} h$	0,1 – 0,07 $10^{-2} h$	0,1 $1,5 \cdot 10^{-2}$ 0,07 $10^{-2} h$	0,1 – 0,07 $10^{-2} h$
Допустимая качка, градус: килевая бортовая	3 10	3 10	3 10	3 10
Количество частот	2 (ВЧ, НЧ)	2 (ВЧ, НЧ)	1(ВЧ)	1(ВЧ)
Расчетная скорость звука, м/с	1460 - 1530	1460 - 1530	1500	1500

*Грунтовая съемка* – важная часть съемки акваторий. Она выполняется для изображения на топографических картах литологического типа, площадного распространения и других характеристик донных отложений. При возведении морских сооружений придается большое значение достоверности отображаемой на картах акваторий геологической ситуации.

Сбор необходимой геологической информации рекомендуется производить отбором донных проб и методом гидролокационного обследования с помощью гидролокаторов бокового обзора, низкочастотных эхолотов и профилографов. Для съемки мелководий привлекаются материалы аэрофотосъемки и космические снимки.

Обнаружение и определение местоположения подводных трубопроводов, кабелей связи, устьев скважин, затонувших кораблей и других объектов искусственного происхождения возможно оптическим,

фототелевизионным, гидроакустическим и электромагнитным методами.

Если позволяет прозрачность воды, применяют первые два метода. Более надежными являются гидроакустический и электромагнитный методы. Разработан искатель подводных трубопроводов ИПТ, на основе индукционного метода поиска и обнаружения. Прибор работает на глубинах до 10 м и позволяет определять плановое и высотное положение точек трубопровода с ошибкой  $\sim 2$  м относительно носителя.

*Уровенные наблюдения.* В глобальном масштабе наблюдения за колебаниями уровня моря выполняет международный орган, именуемый Постоянной службой среднего уровня моря. Банк данных службы содержит ряды месячных и годовых средних уровней для более чем 1 000 пунктов, из которых на 389 пунктах наблюдения ведутся более 20 лет, а на 112 – с прошлого века.

На акваториях морей и океанов России уровенные наблюдения выполняются Госкомгидрометом. На Балтийском море уровенные наблюдения начались в 1703 г. по указу Петра I. Регулярные наблюдения ведутся в военной гавани Кронштадта с 1804 г. С 1825 г. наблюдения обрабатываются для получения высотного положения среднего уровня.

Работы по изучению и прогнозированию колебаний уровня в прибрежной зоне и открытом море выполняются на уровенных постах, аппаратной основой которых являются уровенные устройства. По назначению и длительности действия уровенные посты подразделяют на постоянные, дополнительные и временные; по месту установки – на береговые и посты открытого моря; по типу измерительных и регистрирующих устройств – на речные, свайные и посты с самописцами. Посты открытого моря, по способу хранения и передачи измерительной информации, делят на автономные и телеметрические.

При топографической съемке акваторий уровенные наблюдения выполняют в целях выявления текущих колебаний уровня в процессе съемки, учета их при определении высоты мгновенного рабочего уровня водной поверхности в районе работ и приведения результатов промерных измерений к единому нулю глубин или высот. В предусмотренных техническими проектами случаях уровенные наблюдения во время съемки могут выполняться также для определения высоты наименьшего теоретического уровня, накопления данных о многолетнем среднем уровне, передачи абсолютной высоты на острова и другие объекты побережья. Амплитуда приливов зависит от конфигурации береговой линии и глубин в прибрежной зоне. Максимальным для Мирового океана является прилив в 16,2 м, наблюдаемый в вершине залива Фунди (Новая Шотландия). В открытом океане у островов с приглубыми берегами величина прилива составляет в среднем 0,8 – 1,0 м. Для акваторий шельфа СССР максимальным является прилив 13,0 м у Астрономического мыса в Пенжинской губе Охотского моря. У берегов Северного Ледовитого океана приливы не превышают 0,8 – 1,2 м, на Балтийском море – 3–5 см.

Высотная опорная сеть, применяемая в России для измерений уровня моря, включает фундаментальный репер, основной репер уровенного поста, привязываемый нивелированием I или II класса к фундаментальному реперу, контрольный (рабочий) репер, связанный нивелированием IV класса с основным репером, и уровенную рейку, привязываемую нивелированием IV класса к рабочему реперу. Такая схема построения сети в совокупности с методикой привязки дает возможность из обработки 25 – летних наблюдений получить значение уровня воды со средней квадратической ошибкой, отнесенной к однолетнему периоду наблюдений, 0,5 мм.

Поверхность многих морей России в течение 8 – 10 месяцев покрыта льдом, поэтому промерные работы на них ведут с поверхности льда с помощью эхолотов, установленных на вездеходах. Для этого с помощью буровых станков во льду бурят лунки.

Помимо промера глубин при изучении шельфа выполняются геофизические съемки (магнитная, гравиметрическая, сейсмическая), измеряются скорости морских течений, берутся пробы грунта.

Основной масштаб топографических карт шельфа – 1:25 000, районы освоения и разработки месторождений полезных ископаемых снимают в масштабах 1:10 000, 1: 5 000. на труднодоступные районы арктических морей составляются карты масштаба 1: 50 000.

### **Элементы аэрофототопографической съемки.**

В настоящее время топографические карты, планы масштабов 1:500 – 1:25000 создаются в основном методами аэрофототопографической съемки. Карты мелких масштабов составляют по имеющимся картам крупных масштабов камеральным методом.

Аэрофотосъемка выполняется при помощи аэрофотоаппаратов АФА, устанавливаемых на борту самолета. На основе фотоснимков местности и предварительно созданного съемочного обоснования получают карты и планы. Обработка снимков ведется методами фотограмметрии – науки, занимающейся определением форм и размеров объекта по его фотографическому изображению. Съемочное обоснование представляет собой сеть из точек местности, изобразившихся на снимках, координаты которых известны (или определены).

Сплошная аэрофотосъемка обычно применяется для составления карт на большие территории. При изысканиях трасс трубопроводов производят аэрофотосъемку полосы местности вдоль выбранного направления. После обработки полученных снимков на фотограмметрических приборах получают топографический план полосы местности, который используется для уточнения положения трассы трубопровода.

К самолетам для аэрофотосъемки предъявляются определенные требования: они должны быть оборудованы фотолюками; иметь специальное навигационное оборудование; обеспечивать требуемую высоту фотографирования и скорость полета; возможность взлетать и приземляться на грунтовые взлетно – посадочные полосы (а не только бетонные); иметь невысокую эксплуатационную стоимость.

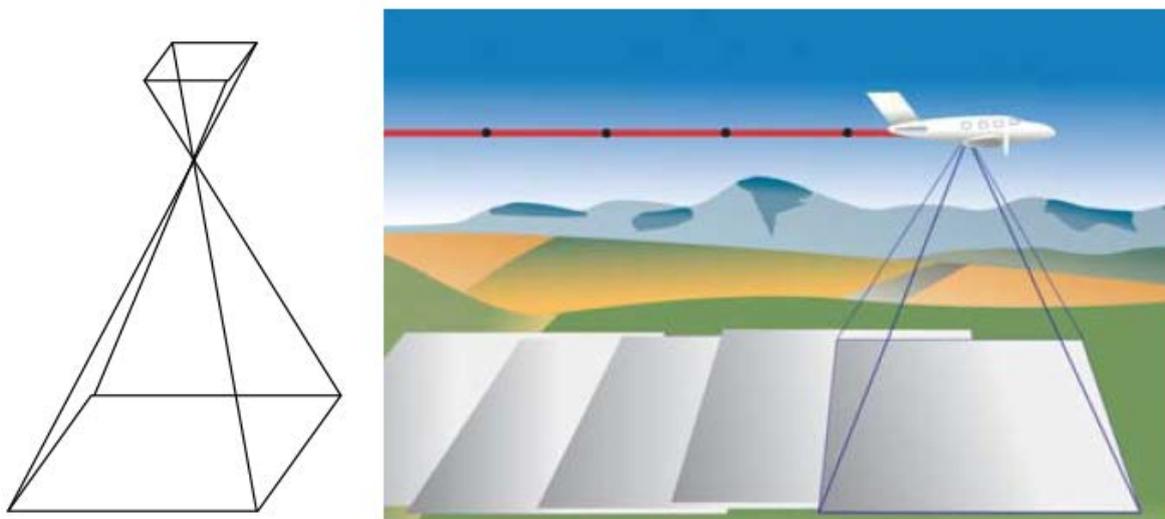


Рис.74. Принцип создания снимка при помощи летательных аппаратов.

*Фотосъемочная аппаратура.* На борту самолета устанавливается три аэрофотоаппарата (АФА). Два аэрофотоаппарата обеспечивают непрерывность съемки. В момент перезарядки первого работает второй аппарат. Третий фотоаппарат резервный – включается в случае отказа первого или второго аэрофотоаппарата.

В комплект аэрофотоаппарата (АФА) обычно входят: сам АФА, съемные кассеты с пленкой, набор объективов с разными фокусными расстояниями, командный прибор. Сам АФА устанавливается на гиросtabilизирующей установке. Кроме того на борту самолета имеется статоскоп и радиовысотомер с фоторегистратором.

*Схема АФА.* (рис. 74)

1 – объектив АФА с центром проектирования  $S$  и фокусным расстоянием  $f_k$ ; 2 – Корпус АФА; 3 – Кассета с пленкой (кадр 18 x 18 см).

чаще всего применяются АФА с фокусным расстоянием  $f_k = 70$  мм.

Кроме АФА при аэрофотосъемке применяют следующие приборы:

*Статоскоп* – барометр дифференциальный для определения превышения между снимками (впервые барометр дифференциальный был разработан Д. И. Менделеевым). Точность определения превышений соседних снимков – 1,9 – 1,4 м

*Радиовысотомер* – прибор (импульсный дальномер) для определения вертикального расстояния от самолета до земли в момент съемки. Точность 1 – 2 м.

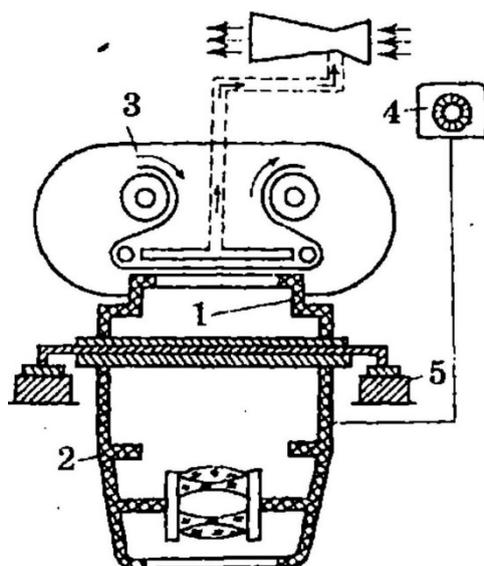


Рис.75 . Устройство фотоаппарата.

На снимке в момент фотографирования изображаются координатные метки по которым можно определить положение главной точки снимка.

В момент фотографирования оптическая ось АФА должна быть вертикальна. Для удержания АФА в требуемом положении применяется гиостабилизирующая установка, удерживающая ось АФА в отвесном положении с ошибкой порядка  $30'$ . Снимки, полученные при отвесном положении оптической оси АФА, называют плановыми или горизонтальными. Практически эти снимки получают с небольшими (до  $3^\circ$ ) углами наклона. Снимки, полученные при углах наклона более  $3^\circ$  называют перспективными. Работой АФА управляет командный прибор, который подготавливает кадр, экспонирует и задает интервал фотографирования снимков. Различают аэрофотосъемку маршрутами (для целей изыскания трасс линейных сооружений) и аэрофотосъемку площадей.

При фотографировании местности по маршруту получают снимки через определенные интервалы, рассчитанные таким образом, чтобы соседние снимки маршрута (рис.74) перекрывались между собой.

Для фотографирования участка местности, значительного по площади, прокладывают ряд параллельных между собой маршрутов с соблюдением взаимного перекрытия между ними.

Для стереоскопического наблюдения снимков необходимо чтобы снимки в маршруте перекрывались не менее, чем на 60%. Такое перекрытие называется продольным и обозначается  $P_x$ . Перекрытие снимков двух соседних маршрутов называется поперечным  $P_y$  и необходимо для связи маршрутов. Его величина 30 – 40%.

*Цвет* изображения - важный дешифровочный признак. На цветных снимках элементы местности и объекты, расположенные на ней, изображаются цветами, близкими к естественным. На спектрональных снимках элементы местности и другие объекты изображаются условными цветами. Изображения одних и тех же объектов на разных снимках могут иметь существенные различия в цвете, так как он зависит от условий аэрофотосъемки, свойств фотоматериалов и их обработки.

На спектрональном снимке большое значение имеют соотношения цветов, особенно при дешифрировании растительности, мелкой гидрографической сети и т.п.

*Тени* объектов и их изображения на снимке играют значительную роль при распознавании объемных объектов малого размера и контраста. По тени можно судить о форме и высоте объекта. Некоторые из них (опоры линий электропередач, мачты антенн и др.) часто распознаются только по тени. Различают тени собственные и падающие. *Собственной тенью* называется неосвещенная часть поверхности объекта, расположенная со стороны, противоположной Солнцу. На одиночных снимках собственные тени создают зрительную видимость объемности объекта. *Падающей* называется тень, отбрасываемая объектом на земную поверхность. Для дешифрирования падающие тени имеют особое значение. Они повторяют форму объекта в зависимости от положения Солнца и его высоты. Форма тени позволяет мысленно восстановить форму объекта, а по размеру тени можно определить его высоту.

*Косвенные признаки* подразделяют на природные, антропогенные и природно-антропогенные. К *природным признакам* относят взаимосвязи и взаимообусловленности объектов и явлений в природе. Их также

называют *ландшафтными*. Такими признаками могут быть, например, связь рельефа с геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовании, в развитии типа растительности. Объекты, используемые при опознавании и определении характеристик недешифрирующихся непосредственно объектов, называют *индикаторами*, а дешифрирование — *индикационным*. Такое дешифрирование может быть многоэтапным, когда непосредственные индикаторы дешифрируемых объектов опознаются с помощью вспомогательных индикаторов. Приемами индикационного дешифрирования решаются задачи по обнаружению неотобразившихся на снимках объектов. Так, по растениям-индикаторам выполняют поиск грунтовых вод, полезных ископаемых, или по развитию гидросети опознают морфоструктуры, во многих случаях соответствующие антиклинальным или синклинальным складкам.

По *антропогенным признакам* опознают объекты, созданные человеком. При этом используют функциональные связи между объектами, их положение в общем комплексе сооружений. Например, пункты опорной геодезической сети распознаются на снимках по выделенному для них наделу земли, виду пункта и его тени. В лесу к ним прорубают визирные просеки, сходящиеся в месте расположения пункта. Аналогично сельскохозяйственные ремонтные мастерские опознаются по изображению расположенных на территории машин. Линии электропередач и связи выявляются по незапаханным около них участкам земли. В лесных массивах они проходят по прямолинейным просекам.

К *природно-антропогенным признакам* в связи с зависимостью деятельности человека от определенных природных условий относятся проявления свойств природных объектов в деятельности человека. Так, по размещению некоторых видов сельскохозяйственных культур можно составить суждение о свойствах почв, или по наличию и расположению нефтепромысловых объектов - о форме и размерах залежей нефти и т.п.

Основной задачей геологического дешифрирования аэрофотоснимков является составление на их основе высококачественной геологической карты в более короткие сроки, чем обычными полевыми методами. Это достигается установлением по аэрофотоснимкам границ распространения стратиграфических комплексов, представленных литологически разнородными толщами. Особенно отчетливо это выявляется на геологически открытых площадях с применением цветной спектральной аэрофотосъемки.

Структура фотоизображения на аэроснимке в ряде случаев позволяет выявить такие геологические закономерности, которые при наземных исследованиях фиксируются с трудом. На аэроснимках наиболее легко дешифрируются разрывные нарушения. В простейшем случае представляется возможным установить разрыв пластов по их смещению по амплитуде, изображившейся в масштабе аэрофотоснимка. Наличие разрыва обнаруживается по нарушению непрерывности дешифрируемых пластов, которые выражаются резкой сменой пород с различным тоном, сменой форм рельефа; по срезанию слоистости, выклиниванию отдельных горизонтов и т.п. Четко выражаются на аэроснимках крупные трещины. Многие разрывы выражаются в рисунке гидрографической сети. Слоистость передается на аэроснимках чередованием тонов различной плотности, зависящей от окраски этих слоев. Горизонтально залегающие слои при расчлененном рельефе дают сложный рисунок выходов слоев, повторяющий формы рельефа. При наклонном залегании и слабо расчлененном рельефе слои вытягиваются вдоль их общего простирания. Нормальные антиклинальные складки дешифрируются по падению пластов на крыльях, направленных в противоположные стороны от осевой линии складки.

### **Особенности космических снимков, их топографического и геологического дешифрирования.**

В комплексе дистанционных методов изучения земной поверхности и верхней части земной коры космофотосъемка в настоящее время играет основную роль. По полноте и объему информации, содержащейся в одном кадре, с космофотоснимками не может сравниться никакой другой вид дистанционной регистрации. Объясняется это рядом обстоятельств.

Космический фотоснимок, по аналогии с аэрофотоснимком, является привычным видом информации для широкого круга специалистов. Так, при государственном геологическом картировании, использование аэрофотоснимков считается обязательным. Космический фотоснимок, содержащий изображения различных элементов ландшафта, поставляет материал для исследований картографам, топографам, геоморфологам, географам и т.д. По космическим фотоснимкам, выполненным метрическими системами, можно измерять все три координаты и тем самым определять различные ландшафтные элементы и проводить картирование, а также выполнять привязку к местности данных, полученных нефотографическими приемниками.

Космические фотоснимки, благодаря своей обзорности, существенно дополняют аэрофотоснимки. Изображения, полученные из космоса, не просто отличаются какими-то достоинствами или недостатками по сравнению с аэрофотоснимками, а обладают принципиально новыми качествами. Это связано прежде всего с повышенной обзорностью и генерализацией изображения. Один космический снимок покрывает на земной

поверхности площадь несколько десятков тысяч квадратных километров. Появилась возможность по-иному интерпретировать результаты дешифрирования, когда в поле зрения попадают объекты больших размеров, сфотографированные при одних и тех же природных условиях одной системой. Фотографические съемки из космоса, по сравнению с аэрофотосъемкой, обеспечивают значительную генерализацию полученных данных, что устраняет мешающее при дешифрировании маскирующее влияние относительно небольших объектов и элементов ландшафта. Именно эти возможности позволяют раскрывать по космическим снимкам наиболее общие закономерности, которые при использовании других видов съемок выявить обычно нельзя. Наконец, сравнение разновременных космических изображений одной и той же территории местности позволяет выявить происходящие на земной поверхности изменения в связи с экзогенными и эндогенными процессами.

Полнота и объем информации, получаемые с космофотоснимков, зависят от их разрешающей способности, определяемой освещенностью ландшафтов, их яркостью, спектральными характеристиками, оптическими свойствами объектива, техническими характеристиками фотопленок, масштабом съемки. Современная аппаратура позволяет получать снимки с разрешением на местности 30 м, а сильно контрастных объектов - до 5-10 м и менее. Фотографирование с космических летательных аппаратов производится камерами формата от 24 до 70 мм с фокусным расстоянием от 38 до 3000 мм с высоты от 200 до 400 км. Масштаб снимков имеет широкий диапазон.

В геометрическом отношении космические фотоснимки существенно отличаются от аэрофотоснимков. Они имеют большие искажения за счет сферической поверхности Земли, изменения высоты полета, рефракции атмосферы. Вместе с тем искажения за рельеф на космических снимках практически отсутствуют. Несмотря на то, что принципы проведения космической фотосъемки во многом схожи с аэрофотосъемкой, установка фотоаппаратуры на космических кораблях способствует получению качественно и количественно новых данных. Так, за время использования космических снимков уже накоплен значительный опыт, который применяется при региональных и детальных исследованиях. Созданы основы методики дешифрирования и интерпретации космических снимков в комплексе с топографическими, геологическими, геофизическими, геоморфологическими, геохимическими, ландшафтными и другими материалами.

Внедрение космических методов съемки, в частности, позволило получить принципиально новые сведения о структурном плане осадочного чехла, использование которых повышает эффективность геолого-геофизических работ и геологопоискового бурения. Дистанционная информация способствует повышению эффективности исследований, ускорению научно-технического прогресса. Разработанные методики дешифрирования и интерпретации материалов дистанционного зондирования позволяют получать в разной мере дополняющие или уточняющие представления о рельефе, о структурном плане осадочного чехла и земной коры в целом, о направленности, интенсивности и степени дифференцированности новейших и современных движений. Специальные исследования нацелены на выявление локальных поисковых объектов, поиски стройматериалов, изучение вечной мерзлоты, геотермических аномалий, почв, выбор трасс трубопроводов и дорог, районов строительства, охрану окружающей среды и т.п.

Космогеологические методы дешифрирования позволили в частности ускорить составление обзорных и региональных геологических карт, дали принципиально новую информацию о развитии линейных структурных элементов (разломов, зон трещиноватости, флексур) и площадных объектов различной формы (многоугольных, округлых и др.), что в комплексе с геолого-геофизическими материалами способствует уточнению строения осадочного чехла, трассированию зон благоприятных поисковых структур.

Благодаря отмеченным свойствам космических фотоснимков, на них особенно четко выступает ландшафтообразующая роль геологического строения местности. Поэтому изучение взаимосвязей геологических объектов с компонентами и элементами ландшафта приобретает при дешифрировании особое значение. Рельеф является основным индикатором геологического строения местности. При дешифрировании крупномасштабных аэрофотоснимков в качестве индикаторов используют отдельные микро- и мезоформы рельефа, а при работе с мелкомасштабными аэроснимками - и типы рельефа. Микроформы рельефа на космических снимках, как правило, не изображаются и поэтому не играют роли. Напротив, значительно возрастает роль типов рельефа, которые могут служить индикатором состава пород и крупных литолого-формационных комплексов. Характер границ отдельных типов рельефа указывает на взаимоотношение различных толщ (контакт нормальный стратиграфический, несогласный или тектонический).

При использовании признаков дешифрирования, основанных на относительных превышениях, следует учитывать следующее обстоятельство. Минимальное превышение  $\Delta h$ , которое улавливается глазом наблюдателя при стереоскопическом рассмотрении фотоснимков, зависит от высоты  $H$  полета, базиса  $b$  съемки и оптического увеличения  $v$  прибора:

$$\Delta h = \frac{250 \alpha H}{b \nu}, \quad (123)$$

где  $\alpha$  - острота стереоскопического зрения; 250 мм - расстояние наилучшего видения.

Приняв  $\alpha = 30''$  (в радианной мере - 0,000 145),  $b = 28$  мм,  $H = 200$  км,  $\nu = 1,3$  (зеркально-линзовый стереоскоп), получим  $h = 200$  м, т.е. превышения до 200 м неразличимы. Если оптическое увеличение прибора составит  $\nu \approx 9$  (при большем увеличении изображение обычно расплывается), превышение составит около 30 м. Таким образом, определение высотного положения форм рельефа на космоснимках, полученных с высоты 200 км, возможно лишь при превышениях больше 30 м. Формы рельефа с меньшими относительными высотами можно опознать по косвенным признакам: характеру гидросети, растительности, фототону.

На космических фотоснимках, имеющих разрешение на порядок ниже, чем аэрофотоснимок, изображаются элементы более высоких порядков. Вместе с тем изобразившиеся на космических снимках водотоки высоких порядков позволяют установить наиболее крупные, региональные ландшафтные и геологические объекты: разломы, складчатые структуры, основные литолого-формационные комплексы. Наиболее уверенно на космических фотоснимках выделяются те элементы гидросети, которые имеют четкое выражение в рельефе. В этом случае некоторые водотоки могут быть выявлены даже тогда, когда из-за небольших размеров сами они не опознаются. Проявлению элементов гидросети способствует также такой фактор, как приуроченность к ним растительности, что обуславливает темный тон фотоизображения.

В отличие от обычных геологических карт, изображающих срез геологических образований поверхности Земли, космические снимки отражают геологические объекты и явления различной глубинности.

На космических снимках масштаба 1:2500 000 и мельче хорошо различаются платформенные, складчатые, прогибные области, четко трассируются глубинные разломы и сдвиги, а также зоны поперечных разломов, пересекающих геосинклинальные складчатые системы. В ряде областей прослеживаются погребенные протерозойские, каледонские и герцинские складчатые зоны, активизированные в современную эпоху, проявляются древние сводовые поднятия.

На космических снимках масштаба 1:1000000 - 1:500000 дешифрируются трансрегиональные и региональные системы линеаментов, связанные с разломами различного генезиса, валы и зоны локальных складок, а на космических снимках масштаба 1:200 000 на стадии региональных работ можно выявлять локальные ландшафтные элементы, которые соответствуют как известным погребенным складкам, так и новейшим структурным осложнениям различного масштаба. Практически во всех изученных регионах по космическим и аэроснимкам удастся наметить еще столько же новых перспективных объектов, сколько установлено геолого-геофизическими методами. Вдоль трассированных по снимкам разломов могут также локализоваться зоны выклинивания терригенных коллекторов нефтегазоносных комплексов.

При топогеодезическом обеспечении геолого-геофизических работ, при планировании объемов и размещении сети сейсмопрофилей часто используют результативные схемы аэрокосмических исследований, на которых показано расположение разнородных элементов, дешифрированных на снимках и интерпретируемых как проявление разломной и пликтивной тектоники.

Для унификации различных линейных и площадных форм, дешифрируемых на космических снимках по тональности, структуре или цвету, используется следующая терминология. Линейные элементы делятся на две группы: 1) прямолинейные (линеаменты), с подгруппами по размерам - глобальные, трансрегиональные, региональные, зональные, локальные; 2) криволинейные (округлые, кольцевые, концентрические, овальные, дуговые). Площадные элементы классифицируются по форме границ: многоугольные, округлые (кольцевые, овальные), неправильной формы.

В итоге региональных и детальных аэрокосмических работ установлено, что подтверждаемость фотоаномалий, как локальных нефте-поисковых объектов, составляет 90 %.

Космические и аэроснимки играют большую роль не только для поиска и обустройства новых месторождений, но и при реставрации старых нефтяных промыслов, инвентаризации промыслового хозяйства, а также являются эффективным средством уточнения положения старых линий коммуникаций, трубопроводов и т.п.

Таким образом, космические снимки и космические карты имеют многоцелевое применение, отражают объекты и явления различной глубинности и, в частности, получают все большее значение при прогнозировании перспективных провинций и зон нефтегазонакопления, используются в нефтепромысловом деле.

Отмеченные выше геометрические особенности космических снимков обуславливают отличительные способы решения различного рода задач измерительного дешифрирования по космическим фотоснимкам, которые обычно классифицируют на три группы.

К первой группе относят измерения, выполненные непосредственно по космическому фотоснимку. При этом одной из существенных особенностей фотограмметрической обработки является необходимость учитывать влияние кривизны земной поверхности. В определенных границах это влияние может оказаться незначительным, тогда можно пользоваться известными методами аэрофотограмметрии, рассмотренными выше. Следовательно, первоочередной задачей является установление границ, в пределах которых земную поверхность можно считать плоскостью.

Вторая группа предусматривает перенос результатов дешифрирования на картооснову и проведение измерений обычными методами и приемами картографии. отождествление фотограмметрического изображения земной поверхности с картой возможно в определенных границах, так как космический фотоснимок и карта в общем случае построены в разных проекциях. Однако иногда сам космический фотоснимок рассматривается в качестве фотокарты определенной картографической проекции. Таким образом, основной задачей при сопоставлении космического фотоснимка с картой является выяснение допустимых границ их отождествления.

Третья группа представляет собой комплекс задач, решаемых аналитическими способами. В этом случае по координатам изображения можно находить искомые величины, такие как площади отдешифрированных контуров, расстояния и т.п. Как правило, эту задачу измерительного дешифрирования можно решить с применением ЭВМ, что требует создания соответствующих программ. Основой подобных задач является прямая фотограмметрическая засечка, когда с помощью известных элементов внешнего ориентирования плоские координаты изображения пересчитываются в пространственные координаты местности.

## Глава 11.

### Краткие сведения из теории погрешностей

#### § 51. Грубые, систематические и случайные погрешности измерений.

Различают *необходимые измерения* и *избыточные измерения*. Так, если одна и та же величина измерена  $n$  раз, то одно из этих измерений является необходимым, а остальные  $(n - 1)$  - избыточными. Избыточные измерения нужны для контроля результатов измерений, а также для получения более надежного значения измеряемой величины. Помимо этого наличие достаточного количества избыточных измерений дает возможность оценить точность выполненных измерений.

Погрешность результата измерения возникает в результате действия множества факторов. Погрешности, возникающие от действия отдельных факторов, называются *элементарными*. Погрешность результата измерения складывается из элементарных погрешностей. По характеру воздействия на результаты измерений различают погрешности грубые, случайные и систематические.

*Грубые погрешности* или промахи возникают в результате невнимательности исполнителя; их выявляют при повторных измерениях и результаты, содержащие грубые погрешности, исключают из обработки. Так например, на станции технического нивелирования превышения определяют дважды по черной и красной шкалам реек. Расхождение превышений  $h_{ч}$  и  $h_{к}$  допускается не более 5 мм. При невыполнении этого условия результаты бракуют, а превышение определяют заново при другом горизонте нивелира.

*Систематические погрешности* возникают, если не учтен постоянно действующий фактор; они влияют на результаты измерений с одним знаком или по определенному закону. Систематическую погрешность стремятся исключить из результатов измерений путем введения поправки или за счет соответствующей методики измерений. Однако полностью исключить систематическую погрешность не всегда удается. В качестве примера исключения систематической погрешности можно привести введение поправки в длину измеряемой линии за компарирование прибора.

Считается, что полностью исключить систематические погрешности невозможно, и они входят в результаты измерений, как элементарные случайные погрешности.

*Случайные погрешности* или неизбежные - это такие погрешности, величина которых и знак меняются случайным образом. В совокупности случайные погрешности подчиняются тому или иному вероятностному закону, называемому *законом распределения случайных погрешностей*. Чаще других при обработке геодезических измерений применяют закон нормального распределения (закон Гаусса).

*Погрешности определения приращений координат.*

Координаты точек, получаемые в соответствии с выражением (1) являются приближенными, что порождает неопределённость в определении пространственного положения скважины. Эта неопределённость обусловлена:

погрешностями моделирования траектории оси скважины, или выбором аппроксимирующей функции по данным дискретных измерений  
погрешностями измерений угловых и линейных параметров в скважинах.

На отрезке между точками замеров параметров скважины её траектория может аппроксимироваться или с помощью касательной, или с помощью хорды.

В первом случае отрезок между смежными точками замеров на всём интервале  $l$  рассматривают как касательную к дуге окружности в точке замера, т.е. распространяют значение углов  $\theta$  и  $\alpha$  измеренных в этой точке на весь интервал.

Во втором варианте отрезок  $l$  считают хордой, при этом углы  $\theta$  и  $\alpha$  измеренные в конечных точках интервала осредняются. Этот вариант применяется чаще всего.

*Погрешность координат, обусловленная ошибками измерений.*

Для определения погрешности координат, обусловленных ошибками измерений, используем формулу погрешности функции общего вида  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - независимо измеренные величины со средними квадратическими ошибками  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Средняя квадратическая ошибка

функции такого вида будет 
$$m_y^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \cdot m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \cdot m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \cdot m_n^2 \quad (124)$$

Берём частные производными выражений (1) по переменным  $l_i, \theta_i$  и  $\alpha_i$  получим

$$\begin{aligned} m_{x_k}^2 &= \sum_{i=1}^K \sin^2 \theta_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot m_{l_i}^2 + \sum_{i=0}^K l_i^2 \cdot \cos^2 \theta_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot m_{\theta_i}^2 + \\ &+ \sum_{i=0}^K l_i^2 \cdot \sin^2 \theta_i \cdot \sin^2 \alpha_i \cdot m_{\alpha_i}^2 \\ m_{y_k}^2 &= \sum_{i=1}^K \sin^2 \theta_i \cdot \sin^2 \alpha_i \cdot m_{l_i}^2 + \sum_{i=0}^K l_i^2 \cdot \cos^2 \theta_i \cdot \sin^2 \alpha_i \cdot m_{\theta_i}^2 + \\ &+ \sum_{i=0}^K l_i^2 \cdot \sin^2 \theta_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot m_{\alpha_i}^2 \\ m_{z_k}^2 &= \sum_{i=0}^K l_i^2 \cdot \sin^2 \theta_i \cdot m_{\theta_i}^2 + \sum_{i=1}^K \cos^2 \theta_i \cdot m_{l_i}^2 \end{aligned} \quad (125)$$

где  $m_{\theta_i}$  и  $m_{\alpha_i}$  выражены в радианной мере  $\left(m_{\theta} = \frac{m_{\theta}}{\rho}; m_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{\rho}\right)$

Ошибка измерения длины  $l$  равная  $\frac{m_l}{l} = \frac{1}{1000}$  значительно меньше ошибок измерения  $\theta$  и  $\alpha$ , поэтому членом формул содержащим можно пренебречь и тогда выражения (2) можно записать

$$\begin{aligned}
m_{x_K}^2 &= \sum_{i=1}^K l_i^2 \cdot \cos^2 \theta_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot m_{\theta_i}^2 + \sum_{i=1}^K l_i^2 \cdot \sin^2 \theta_i \cdot \sin^2 \alpha_i \cdot m_{\alpha_i}^2 \\
m_{y_K}^2 &= \sum_{i=1}^K l_i^2 \cdot \cos^2 \theta_i \cdot \sin^2 \alpha_i \cdot m_{\theta_i}^2 + \sum_{i=1}^K l_i^2 \cdot \sin^2 \theta_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot m_{\alpha_i}^2 \\
m_{z_K}^2 &= \sum_{i=1}^K l_i^2 \cdot \sin^2 \theta_i \cdot m_{\theta_i}^2
\end{aligned} \quad (126)$$

Пример:  $l_1 = l_2 = \dots = l_k$ ,  $k = 10$

(глубина скважины  $\sim 1000\text{м}$ )

$\theta = 30^\circ$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ;  $m_\theta = 0,5^\circ$ ;  $m_\alpha = 3^\circ$

при  $\alpha = 45^\circ$ ;  $m_x = m_y$

$$\begin{aligned}
m_{x_K}^2 = m_{y_K}^2 &= 10 \cdot 100 \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 0,5 \cdot 0,000076) + \\
&+ 10 \cdot 100 \cdot 100 \cdot (0,25 \cdot 0,5 \cdot 0,00274) = 37,10
\end{aligned}$$

$$m_{x_K} = m_{y_K} = 6\text{м}$$

линейное смещение будет в  $\sqrt{2}$  раз больше, т.е 8,5м.

$$m_{z_K}^2 = 10 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 0,25 \cdot \frac{1}{13133} = 1,9$$

$$m_{z_K} = 1,38\text{м}$$

Для повышения точности вычисления координат точек оси скважины применяют иногда формулы

$$\begin{aligned}
x_K &= x_0 + \sum_{i=0}^K l_i \cdot \sin \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2} \cdot \cos \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2} \\
y_K &= y_0 + \sum_{i=0}^K l_i \cdot \sin \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2} \cdot \cos \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_i}{2} \\
z_K &= z_0 - \sum_{i=0}^K l_i \cdot \cos \frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2}
\end{aligned} \quad (127)$$

в которых  $\theta_{i-1}$ ,  $\theta_i$ ,  $\alpha_{i-1}$ ,  $\alpha_i$  зенитные и дирекционные углы измеренные в начале и конце интервала  $l_i$ .

## § 52. Свойство случайных погрешностей. Среднее арифметическое из результатов измерений.

**Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности. Средняя квадратическая погрешность измеренных величин. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины**

*Измерение* – это процесс сравнения некоторой физической величины с однородной ей величиной, принятой за единицу измерения. Результат любого измерения  $q$  – это число (или коэффициент), показывающее, во сколько раз измеряемая величина  $Q$  больше или меньше единицы измерения  $\tau$ :

$$Q = q \times \tau. \quad (128)$$

Измерения бывают прямые (непосредственные) и косвенные (посредственные). В *прямых измерениях* определяемая величина непосредственно сравнивается с единицей измерения. (Например, при измерении длины отрезка рулеткой).

В *косвенных измерениях* определяемую величину получают после измерений других величин, связанных с

определяемой величиной функционально. (Например, для вычисления превышения по формуле тригонометрического нивелирования, необходимо измерить угол наклона, расстояние, высоту прибора и высоту визирной цели).

При проведении измерений необходимо решать следующие вопросы: с какой точностью измерять и какими методами (и приборами), как оценить точность получаемых результатов и как избежать грубых просчетов.

Результат измерений неизбежно содержит погрешность. Если обозначить через  $l$  результат измерений, а через  $X$  точное значение измеряемой величины, то разность между ними  $\Delta$  называется истинной погрешностью

$$\Delta = l - X. \quad (129)$$

Точное значение измеряемой величины обычно неизвестно, однако в некоторых случаях в качестве него можно принимать результаты измерений, полученные более точным прибором или методом.

Иногда значение измеряемой величины может быть найдено из математических вычислений, закономерностей. Например, если измеряют углы в многоугольнике, то заранее известно, что сумма этих углов будет  $180^\circ (n - 2)$ .

Измерения выполняют при наличии следующих условий и факторов: объект измерения, наблюдатель, измерительный прибор, метод измерения, внешняя среда, момент измерения.

Измерения, выполненные в одинаковых условиях, называют *равноточными*. Вследствие изменений, происходящих с объектом измерений, наблюдателем, прибором и внешней средой с течением времени, условия измерений варьируются и результаты измерения нельзя в этих случаях считать равноточными. Однако принято считать, что в случае соблюдения требований и правил, изложенных в нормативных документах, при геодезических измерениях можно получить равноточные результаты. (Например, при измерении превышений в ходе технического нивелирования, при измерении углов в теодолитном ходе).

*Основные свойства случайных погрешностей* следующие.

1. Для данных условий измерений случайные погрешности не могут превосходить известного предела.
2. Положительные и отрицательные погрешности, равные по абсолютной величине, встречаются в ряду измерений одинаково часто.
3. Меньшие по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие.
4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю при увеличении числа измерений.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} = \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (130)$$

#### *Среднее арифметическое*

Пусть для какой-то величины, истинное значение которой  $X$  выполнено  $n$  измерений и получены результаты измерений  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ .

Можно найти истинные погрешности для данного вида измерений.

$$\Delta_1 = l_1 - X$$

$$\Delta_2 = l_2 - X \quad (131)$$

$$\Delta_3 = l_3 - X$$

.....

$$\Delta_n = l_n - X$$

Сложим левые и правые части этих равенств

$$[\Delta] = [l] - nX. \quad (132)$$

В соответствии с четвертым свойством случайных погрешностей измерений

$[\Delta] = 0$  при  $n$  стремящемся к бесконечности. Следовательно можно записать

$$\lim_{n \rightarrow \infty} X = \frac{[\Delta]}{n}$$

При конечном числе измерений среднее арифметическое из ряда измерений всегда отличается от истинного значения на какую-то величину  $\varepsilon$

$$X = \frac{[\Delta]}{n} - \varepsilon \quad (133)$$

В этом случае для получаемого арифметического среднего применяется обозначение  $X$

$$x = \frac{[\Delta]}{n}, \text{ где } x = X + \varepsilon \quad (134)$$

#### Оценка точности результатов измерений

Точность ряда измерений можно оценивать по разным параметрам. Рассмотрим некоторые из них.

1. Средняя погрешность  $\Theta$ . Она вычисляется как среднее арифметическое из абсолютных значений истинных случайных погрешностей

$$\Theta = \frac{[|\Delta|]}{n} \quad (135)$$

2. Вероятная погрешность  $\gamma$ . Если абсолютные значения погрешностей измерений расположить в порядке убывания или возрастания, то погрешность располагающаяся в середине этого ряда и будет вероятной погрешностью. Т.е. это погрешность, больше и меньше которой по абсолютной величине погрешности равновероятны. Если средними в ряду окажутся две погрешности, то вероятной погрешностью ряда будет среднее из их абсолютных значений.

3. Средняя квадратическая погрешность  $m$ .

Понятие введено К.Ф.Гауссом. Формула для вычисления средней квадратической погрешности следующая

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \text{ где } [\Delta^2] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2 \quad (136)$$

По сравнению с предыдущими критериями оценки точности она более эффективна и устойчива. Т.е. средняя квадратическая чувствительна к *большим* по абсолютной величине случайным и мало меняется с изменением числа измерений.

*Пример.* Пусть даны два ряда случайных погрешностей измерений

I ряд: -1 +4 -3 +1 -2 +1 0 -4 +3 -2

II ряд: -2 -1 +7 -2 +1 0 -5 0 +3 0

Вычисляем средние погрешности  $\Theta_I = 2,1$ ;  $\Theta_{II} = 2,1$  – получается, что результаты измерений равноточны.

Вычисляем вероятные погрешности  $\Gamma_I = 2$ ;  $\Gamma_{II} = 1,5$  получается, что результаты измерений второго ряда точнее, чем первого.

Вычисляем средние квадратические погрешности

$m_I = 2,5$ ;  $m_{II} = 3,0$  которые показывают, что результаты первого ряда более точные, чем второго.

И действительно, во втором ряду больший разброс в значениях погрешностей.

4. Предельная погрешность. В ходе геодезических работ очень важно своевременно обнаружить результаты измерений, содержащие грубые погрешности, с тем чтобы устранить их из дальнейшей обработки и заменить их более качественными результатами.

Опыт большого числа измерений показывает, что в ряде случайных погрешностей только 5 из 100 погрешностей могут превышать двойную среднюю квадратическую погрешность и только 3 из 1000

погрешностей могут превосходить тройную среднюю квадратическую погрешность. Поэтому в качестве предельной погрешности  $\Delta_{\text{пред}}$  принимают значение

$$\Delta_{\text{пред}} = 2 \text{ м} \quad \text{или} \quad \Delta_{\text{пред}} = 3 \text{ м}$$

Например, средняя квадратическая погрешность определений превышений на 1 км хода технического нивелирования 25 мм, а предельная 50 мм. Поэтому предельно допустимая невязка превышений хода технического нивелирования вычисляется по формуле  $f_{h_{\text{дон}}} = 50 \text{ мм} \sqrt{L}$ , где  $L$  – длина хода в км.

При проложении теодолитного хода средняя квадратическая погрешность измерения одного угла теодолитом Т-30 составляет 30", а предельная принимается 1',5.

Все измерения с погрешностями более  $\Delta_{\text{пред}}$  отбрасываются как грубые и повторяются заново.

5. Абсолютные и относительные погрешности.

По форме выражения погрешности разделяют на абсолютные и относительные. Абсолютные погрешности выражаются в тех же единицах измерения, что и измеряемая величина, поэтому погрешности: средняя, вероятная, средняя квадратическая, предельная – абсолютные погрешности.

Относительная погрешность  $f$  отн. – число показывающее отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой величины  $L$ .

Относительная погрешность применяется для оценки точности измерения расстояний, площадей, объемов. Абсолютная погрешность применяется для оценки точности измерения углов.

### Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин.

До сих пор речь шла об оценке точности непосредственно измеренных величин. Часто определяемая величина является функцией других непосредственно измеряемых величин. В этом случае возникает вопрос об определении средней квадратической погрешности функции измеренных величин. Например, известны основание  $a$  и высота  $h$  треугольника, измеренные со средними квадратическими погрешностями  $m_a$  и  $m_h$ ; найти среднюю квадратическую погрешность площади треугольника  $m_s$ .

В теории вероятностей известна формула для вычисления средней квадратической погрешности функции независимо измеренных величин. Пусть дана функция

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (137)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — независимо измеренные величины; их дисперсии будут равны  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$ .

Дисперсия функции такого вида будет

$$\sigma_y^2 = \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_1^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 \sigma_n^2. \quad (138)$$

На практике вместо дисперсий пользуются квадратами средних квадратических погрешностей и вместо формулы (1) используют формулу

$$m_y^2 = \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 m_1^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 m_2^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 m_n^2 \quad (139)$$

Вернемся к примеру с вычислением средней квадратической погрешности площади треугольника. Площадь треугольника  $S$  определяется по известной формуле

$$S = \frac{1}{2} ah \quad (140)$$

Используем формулу (139). Средняя квадратическая погрешность площади будет определяться выражением

$$m_s = \sqrt{\left(\frac{1}{2}h\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{1}{2}a\right)^2 m_h^2}.$$

### Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего.

В случае равноточных измерений арифметическое среднее вычисляется по формуле

$$\bar{x} = \frac{[l]}{n}, \quad (141)$$

где  $[l]$  - сумма результатов измерений;  $n$  — их число.

Выражение ( 3 ) можно записать иначе –

$$\bar{x} = \frac{1}{n}l_1 + \frac{1}{n}l_2 + \dots + \frac{1}{n}l_n. \quad (142)$$

Средняя квадратическая погрешность функции такого вида будет

$$m_x^2 = \left(\frac{1}{n}m_1\right)^2 + \left(\frac{1}{n}m_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{n}m_n\right)^2. \quad (143)$$

Учитывая, что измерения равноточные –  $m_1=m_2=\dots=m_n=m$ , получим

$$m_x^2 = \frac{m^2}{n}, \quad (144)$$

или иначе

$$M = m_x = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (145)$$

Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего в корень квадратный из числа измерений меньше средней квадратической погрешности любого из результатов, из которых получено арифметическое среднее.

#### Формула Бесселя

При вычислении средней квадратической погрешности по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (146)$$

предполагается, что известно точное значение измеряемой величины, а случайные ошибки находят по формулам

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= l_1 - X; \\ \Delta_2 &= l_2 - X; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n &= l_n - X. \end{aligned} \quad (147)$$

Часто значение измеряемой величины неизвестно, и в качестве него используют арифметическое среднее  $\bar{x}$ .

В этом случае вычисляют отклонения  $v_i$ - результатов измерений от арифметического среднего (иногда  $v_i$  - называют вероятными погрешностями):

$$\begin{aligned}
 v_1 &= l_1 - X; \\
 v_2 &= l_2 - X; \\
 &\dots\dots\dots \\
 v_n &= l_n - X.
 \end{aligned}
 \tag{148}$$

После суммирования левых и правых частей равенства (148) получаем

$$[v] = [l] - n\bar{x}.$$

Но ранее было сказано, что  $\bar{x} = \frac{[l]}{n}$  или  $n\bar{x} = [l]$ , следовательно  $[v] = 0$ .

Сумма отклонений от арифметического среднего всегда равна нулю.

Вычитаем почленно из (147) равенства (148), получаем:

$$\Delta_1 - v_1 = \bar{x} - X;$$

$$\Delta_2 - v_2 = \bar{x} - X;$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\Delta_n - v_n = \bar{x} - X.$$

Ранее было отмечено, что  $(\bar{x} - X)$  – некоторая малая величина  $\varepsilon$ , поэтому

$$\Delta_1 = v_1 + \varepsilon;$$

$$\Delta_2 = v_2 + \varepsilon;$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\Delta_n = v_n + \varepsilon.$$

После возведения обеих частей этих равенств в квадрат и сложения получаем

$$[\Delta^2] = [v^2] + n\varepsilon^2 + 2\varepsilon[v].$$

Поскольку  $[v] = 0$ , можно записать

$$[\Delta^2] = [v^2] + n\varepsilon^2$$

или иначе

$$\frac{[\Delta^2]}{n} = \frac{[v^2]}{n} + \varepsilon^2. \tag{149}$$

Можно заменить  $\frac{[\Delta^2]}{n} = m^2$ ; величина  $\varepsilon$  неизвестна и ее можно заменить средней квадратической

погрешностью арифметической середины –

$$\varepsilon = M = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Следовательно, выражение (149) можно записать следующим образом:

$$m^2 = \frac{[v^2]}{n} + \frac{m^2}{n} \text{ или}$$

$$m^2 n - m^2 = [v^2].$$

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

Это и есть формула Бесселя. Отметим здесь, что при увеличении числа измерений формула Бесселя идентична формуле Гаусса.

### Оценка точности по разностям двойных равноточных измерений.

В практике геодезических измерений для исключения грубых процессов одну и ту же величину измеряют, как минимум, два раза. Допустим, что каждая величина каждого ряда измерена дважды и все измерения равноточны (например, значения горизонтальных углов, полученные из двух полуприемов), требуется определить среднюю квадратическую ошибку одного измерения. Итак, имеется ряд двойных равноточных измерений  $l_1, l''_1; l_2, l''_2; \dots; l_n, l''_n$ .

Найдем разности

$$d_1 = l_1 - l''_1;$$

$$d_2 = l_2 - l''_2;$$

.....

$$d_n = l_n - l''_n;$$

Если бы измерения были точными, то разности двойных измерений были бы равны нулю, поэтому можно записать

$$\Delta_{d1} = d_1 - 0 = d_1;$$

$$\Delta_{d2} = d_2 - 0 = d_2;$$

.....

$$\Delta_{dn} = d_n - 0 = d_n.$$

Среднюю квадратическую погрешность одной разности получим по формуле

$$m_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}. \quad (150)$$

Разность  $d_i$  есть функция двух равноточных измерений –

$$d_i = l'_i - l''_i.$$

Следовательно,  $m_d = m\sqrt{2}$ , где  $m$  – средняя квадратическая погрешность одного измерения, т.е.

$$m = \frac{m_d}{\sqrt{2}}. \quad (151)$$

Теперь подставим сюда значение  $m_d$  из выражения (151) и получим

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}. \quad (152)$$

Средняя квадратическая погрешность среднего из двух измерений будет равна

$$m_{cp} = \frac{m}{\sqrt{2}} \text{ или } m_{cp} = \sqrt{\frac{[d^2]}{4n}}. \quad (153)$$

Формулы ( 152 ) и ( 153 ) можно использовать для вычисления средних квадратических погрешностей в том случае, если в разностях  $d$  нет систематических ошибок. Если же в измерениях имеется систематическая ошибка, ее можно найти по формуле

$$\theta = \frac{[d]}{n}.$$

В случае, когда  $\theta$  отклоняется от нуля на пренебрегаемо малую величину - систематическая ошибка отсутствует, но если  $\theta \neq 0$ , необходимо исключить значение  $\theta$  из разностей двойных измерений. Вычисляют остаточные разности

$$d_i' = d_i - \theta.$$

Остаточные разности  $d_i'$  аналогичны вероятнейшим ошибкам  $[d'] = 0$ , поэтому средние квадратические ошибки можно вычислить по формулам

$$m = \sqrt{\frac{[d'^2]}{2(n-1)}}; \quad m_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{[d'^2]}{2(n-1)}}. \quad (154)$$

### § 53. Выражение средней квадратической погрешности через вероятнейшие.

До сих пор мы рассматривали равноточные измерения, т.е. измерения выполненные в одинаковых условиях. Однако на практике очень часто измерения выполняются не в одинаковых условиях и им соответствуют разные средние квадратические погрешности. Поэтому такие измерения называются неравноточными. Неравноточные измерения обладают разной надежностью, разной степенью доверия.

*Весом* называется надежность результата измерений, выраженная числом. Чем надежней результат, тем больше его вес. Таким образом, вес связан с точностью результата измерения, которая определяется средней квадратической погрешностью. Вес результата измерения обратно пропорционален квадрату средней квадратической погрешности и определяется по формуле

$$p = k/m^2, \quad (155)$$

где  $k$  - постоянная величина (коэффициент пропорциональности, который вводится для облегчения вычислений);  $m$  — средняя квадратическая погрешность измерения.

Если имеются результаты неравноточных измерений  $l_1, l_2, \dots, l_n$  и их средние квадратические погрешности  $m_1, m_2, \dots, m_n$ , можно вычислить веса этих измерений

$$p_1 = k/m_1^2; p_2 = k/m_2^2; \dots; p_n = k/m_n^2. \quad (156)$$

Например, пусть имеем результаты измерений  $l_1$  и  $l_2$  и их средние квадратические погрешности  $m_1=4$  и  $m_2=12$ . Вычислим веса этих результатов

$$p_1 = k/16; p_2 = k/144. \quad (157)$$

Примем  $k = 144$ , тогда  $p_1 = 9, p_2 = 1$ .

Можно было бы принять  $k = 16$ , тогда  $p_1 = 1; p_2 = 1/9$ , т.е. соотношение весов не меняется. Здесь важно отметить, что результаты равноточных измерений имеют равные веса.

*Вес арифметического среднего*

Вес арифметического среднего  $P$  можно определить по формуле

$$P = k/M^2, \quad (158)$$

где  $M$  - средняя квадратическая погрешность арифметического среднего. Напомним, что

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (159)$$

где  $m$  - средняя квадратическая погрешность отдельного результата равноточных измерений, следовательно, можно записать

$$P = \frac{kn}{m^2}, \quad (160)$$

Но в свою очередь  $k/m^2 = p$  - вес одного измерения, который можно принять за единицу -  $p = 1$ . Таким образом, получим  $P = n$ . Следовательно, при равноточных измерениях вес арифметического среднего равен числу измерений, из которых оно получено.

*Средняя квадратическая погрешность единицы веса*

Если принять вес результата какого-либо измерения (в ряду результатов неравноточных измерений) равным единице, и обозначить через  $\mu$  его среднюю квадратическую погрешность, то можно записать

$$1 = k / \mu^2 \text{ или } \mu^2 = k. \quad (161)$$

Общее выражение веса в этом случае можно представить в виде

$$p_i = \mu^2 / m_i^2. \quad (162)$$

Величина  $\mu$  называется средней квадратической погрешностью единицы веса.

*Весовое среднее*

Предположим, что имеются результаты неравноточных измерений одной и той же величины  $l_1, l_2, \dots, l_n$  и веса этих результатов  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Каждый из результатов можно представить как среднее арифметическое из  $n_i$  равноточных измерений:

$$l_1 = \frac{[l]_1}{p_1}; \quad l_2 = \frac{[l]_2}{p_2}; \quad \dots; \quad l_n = \frac{[l]_n}{p_n}. \quad (163)$$

Среднее арифметическое из всех результатов измерений будет равно

$$L = \frac{[l]_1 + [l]_2 + \dots + [l]_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}. \quad (164)$$

Можно записать  $[l]_1 = l_1 p_1, [l]_2 = l_2 p_2, \dots, [l]_n = l_n p_n$ , следовательно

$$L = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad \text{или} \quad L = \frac{[lp]}{[p]}. \quad (165)$$

Вес весового среднего равен сумме весов результатов измерений, из которых оно получено  $P = [p]$ .

Если через  $M_0$  обозначить среднюю квадратическую погрешность весового среднего, то из формулы (10) можно записать

$$P = \frac{\mu^2}{M_0^2} \text{ или } M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{P}}. \quad (166)$$

$$\text{Учитывая, что } P = [p], \text{ получим } M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}. \quad (167)$$

Средняя квадратическая погрешность весового среднего в корень квадратный из суммы весов меньше средней квадратической погрешности результата, вес которого равен единице.

### Примеры обработки в оценки точности результатов измерений.

Пример 1. Для измерения горизонтальных углов в теодолитном ходе используется теодолит Т30. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним полным приемом теодолитом Т30 равна  $m_\epsilon = 30''$ .

Требуется определить допустимую невязку (предельную погрешность) в сумме углов замкнутого теодолитного хода.

Сумма углов теодолитного хода –

$$\sum_1^n \beta = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n, \quad (168)$$

где  $n$  - число углов в теодолитном ходе.

В результате применения формулы (168) запишем

$$m_{\sum \beta}^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2. \quad (169)$$

Учитывая, что  $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m_\beta$  (измерения равноточные), получаем

$$m_{\sum \beta}^2 = m_\beta^2 n \text{ или } m_{\sum \beta} = m_\beta \sqrt{n}. \quad (170)$$

Примем  $\Delta_{\text{пред}} = 3m$ , тогда  $\Delta_{\text{пред}} = 3 m_\beta \sqrt{n}$ . В угловых измерениях принято предельную ошибку обозначать как допустимую невязку  $\Delta_{\text{пред}} = f\beta_{\text{доп}}$ ; здесь же напомним, что  $m_\epsilon = 30''$ , тогда

$$f\beta_{\text{доп}} = 1,5' \sqrt{n}. \quad (171)$$

Пример 2. Даны результаты равноточных измерений одного и того же превышения (табл. ...). Необходимо найти среднее арифметическое, среднюю квадратическую погрешность одного измерения и среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического.

Вычисляем среднее арифметическое по формуле

$$\bar{x} = l_0 + \frac{[\mathcal{E}]}{n}, \quad (172)$$

## Обработка результатов равноточных измерений

Номер измерения	Результат измерения $l$ , мм	$\varepsilon$ , мм	$v$ , мм	$v^2$
1	1043	+06	+03	9
2	1040	+03	00	0
3	1039	+02	-01	1
4	1039	+02	-01	1
5	1037	00	-03	9
6	1041	+04	+01	1
7	1042	+05	+02	4
	$l_0=1037$	$[\varepsilon]=00$	$[v^2]=28$	$[\varepsilon]=+21$

где  $l_0$  - условное среднее;  $\varepsilon$  - отклонение от условного среднего;  $\bar{x} = 1037 + 21/7 = 1040$ .

Далее находим отклонения от арифметического среднего по формуле  $v_i = l_i - \bar{x}$ .

Вычисляем  $v_i^2$  и  $[v^2]$ . Средняя квадратическая погрешность измерения будет равна

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{28}{6}} = 2,1 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического –

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{2,1}{\sqrt{7}} \approx 1 \text{ мм}$$

Пример 3. Ниже приведены значения разностей результатов двойных измерений сторон теодолитного хода. Необходимо вычислить среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность значения линии среднего из двух измерений и относительную среднюю квадратическую погрешность среднего, если длины сторон теодолитного хода равны примерно 200 м.

Номер линии.....	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	
$d$ .....	+15	-10	+12	-14	+03	
$d^2$ .....	225	100	144	196	9	
Номер линии.....	6-7	7-8	8-9			$n=8$
$d$ .....	-05	+07	-08			$[d]=00$
$d^2$ .....	25	49	64			$[d^2]=812$
						Сумма

Разностей  $d$  равна нулю, поэтому можно считать, что результаты измерений не содержат систематических погрешностей. По формуле (8) находим среднюю квадратическую погрешность одного измерения

$$m = \sqrt{\frac{812}{2 \times 8}} = 7,1 \text{ см.}$$

Средняя квадратическая погрешность среднего из двух измерений –

$$m_{\text{ср}} = \frac{7,1}{\sqrt{2}} = 5,0 \text{ см.}$$

Относительную среднюю квадратическую погрешность среднего вычислим следующим образом

$$\frac{m_{\text{ср}}}{S} = \frac{0,05\text{м}}{200\text{м}} = \frac{1}{4000}.$$

Пример 4. При выполнении тахеометрической съемки превышения точек определяют по формуле

$$h = \frac{1}{2} D \sin 2\nu + a - l,$$

где величина  $D$  определяется по нитяному дальномеру;  $\nu$  - угол наклона (измеряется по вертикальному кругу теодолита);  $a$  - высота теодолита над точкой стояния;  $l$  - высота визирной цели. Найти среднюю квадратическую погрешность определения превышения.

Ошибки измерения высоты теодолита и высоты визирной цели не превышают 1 см, и их можно не принимать во внимание. Используя формулу (169), получаем

$$m_h^2 = \left( \frac{dh}{dD} \right)^2 m_D^2 + \left( \frac{dh}{d\nu} \right)^2 \frac{m_\nu^2}{\rho^2} \quad (173)$$

или

$$m_h^2 = \left( \frac{1}{2} \sin 2\nu \right)^2 m_D^2 + (D \cos 2\nu) \frac{m_\nu^2}{\rho^2}. \quad (174)$$

Примем для данных условий  $m_\nu = 30''$ ,  $m_D/D = 1/300$ ,  $D = 100$  м,  $\nu = 3^\circ$ . Тогда по формуле (3) получим:  $m_h = 2,2$  см, а предельная погрешность  $\Delta h = 2m = 4,4$  см.

## Глава 12. Нивелирование.

§ 56. Сложное нивелирование.

§ 57. Устройство нивелира.

§ 58. Поверки и юстировки нивелира.

§ 59. Тригонометрическое нивелирование

### § 54. Способы нивелирования

Нивелированием называют работы с целью определения разности высот точек земной поверхности, а также их высот относительно принятой отсчетной поверхности. В результате нивелирования определяют превышения  $h$ , а затем вычисляют высоты точек  $H$ .

Виды нивелирования

*Геометрическое нивелирование* выполняется горизонтальным лучом визирования, который получают при

помощи приборов, называемых нивелирами.

*Тригонометрическое нивелирование* производят наклонным лучом. Для определения превышения измеряют угол наклона и расстояние между пунктами. Применяемые приборы: теодолиты и тахеометры.

*Физическое нивелирование* разделяется на барометрическое, гидростатическое и аэронивелирование.

Геометрическое нивелирование наиболее распространенный вид нивелирования.

Для определения превышений здесь используется горизонтальная линия визирования, создаваемая геодезическим прибором – нивелиром.

Для выполнения работ также необходимы нивелирные рейки, устанавливаемые в нивелируемых точках местности. Положение горизонтального визирного луча фиксируется отсчетами по вертикально стоящим рейкам.

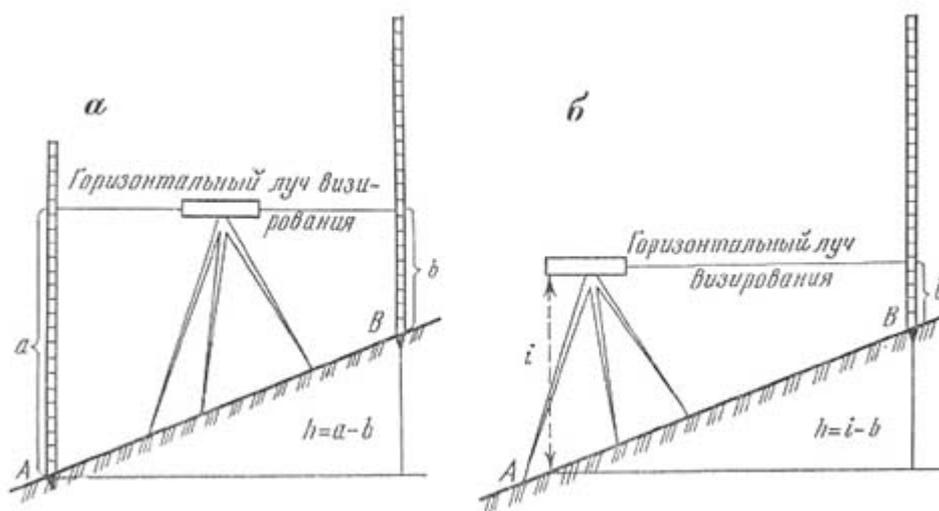


Рис.76. Геометрическое нивелирование а) из середины; б) вперед.

Применяются два способа геометрического нивелирования: «из середины» и «вперед».

При нивелировании «из середины» (рис.76,а) нивелир устанавливают так, чтобы расстояния до обеих точек были одинаковыми, а при нивелировании «вперед» прибор устанавливают (рис.76,б) вблизи одной из точек. Превышение  $h$  и в том и другом случае определяют по формуле

$$H = a - v, \quad (175)$$

где  $a$  – отсчет по нивелирной рейке, установленной на точке  $A$ ;

$v$  – отсчет по рейке, установленной на точке  $B$ . превышение  $h$  имеет знак плюс, когда  $a > v$ , и знак минус, когда  $a < v$ .

Если высота точки  $A$  известна, то высота точки  $B$  вычисляется по формуле

$$H_B = H_A + h. \quad (176)$$

При нивелировании «из середины» в направлении от точки  $A$  к точке  $B$  рейка, установленная в точке  $A$ , называется задней, а рейка в точке  $B$  – передней.

Нивелирование «из середины» применяется при проложении нивелирных ходов. Достоинством этого метода является то, что в нем компенсируются ошибки, связанные с невыполнением основного геометрического условия нивелира (основное геометрическое условие нивелира – линия визирования должна быть горизонтальна).

Метод нивелирования «вперед» применяется в том случае, когда с одной установки нивелира необходимо определить высоты большого числа точек. Вычисление отметок точек при этом удобно выполнять от горизонта прибора ГП – отметки горизонтальной линии визирования:

$$ГП = H_A + a. \quad (177)$$

Отметки определяемых точек находят по формулам:

$$\begin{aligned} H_B &= ГП - b, \\ H_C &= ГП - c, \\ &..... \\ &..... \\ H_N &= ГП - n, \end{aligned} \quad (178)$$

где  $b, c, n$  – отсчеты по рейкам, установленным в точках  $B, C, \dots, N$ .

## § 55. Принцип и способы геометрического нивелирования.

### Последовательное нивелирование, нивелирный ход.

Последовательное нивелирование или нивелирный ход, то есть нивелирование с несколькими постановками прибора (рис. 42) применяют при значительном (более 200 м) расстоянии или превышении между двумя точками. В точках 1, 2, 3....., называемых связующими, рейку устанавливают на деревянные колья, металлические штыри (костыли) или специальные металлические башмаки. Общее превышение между точками  $A$  и  $B$  равно сумме элементарных превышений:

$$h_0 = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n.$$

Можно записать  $h_1 = a_1 - b_1,$

$$h_2 = a_2 - b_2,$$

.....

$$h_n = a_n - b_n.$$

Суммируя левые и правые части равенств, получим:

$$h_0 = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i. \quad (179)$$

Суммарное превышение равно сумме отсчетов по задней рейке минус сумма отсчетов по передней рейке.

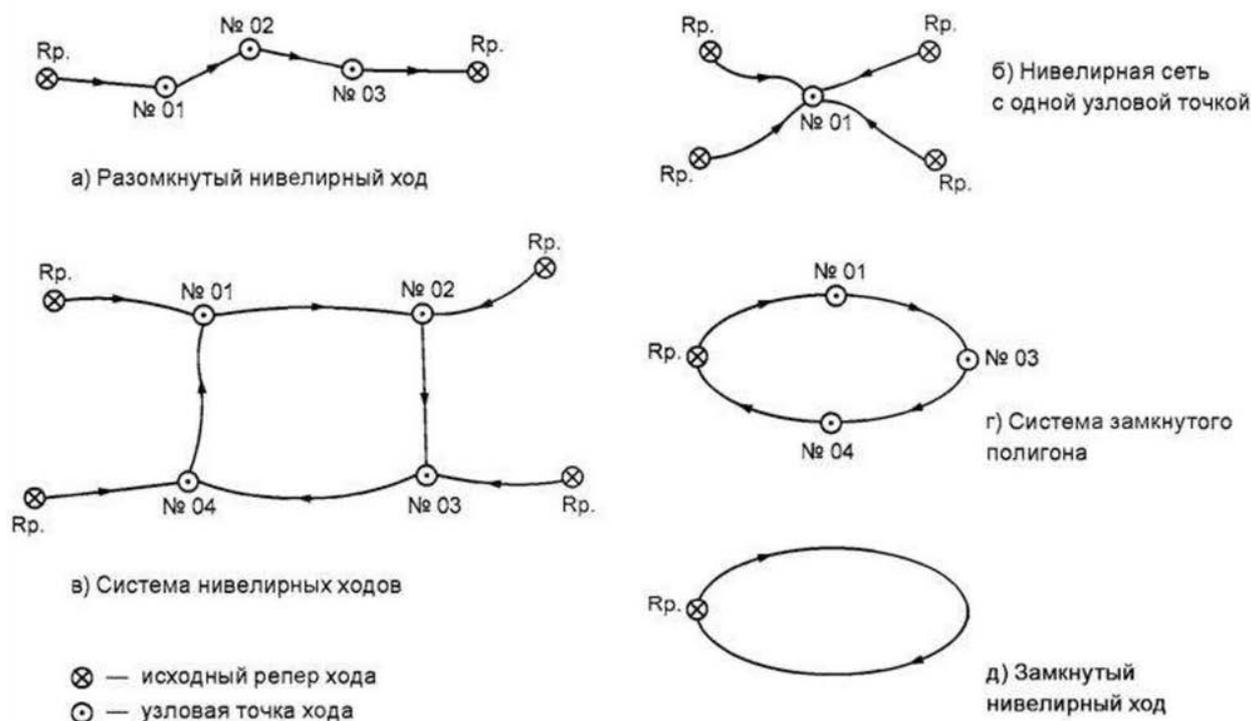


Рис.77. Виды нивелирных ходов.

**Замкнутый нивелирный ход.** Замкнутым называется ход, который начинается и заканчивается в одной и той же точке. Ход прокладывается (рис. 77) от репера (Рп) – точки с известной высотой – для определения высот точек 1, 2, 3,..... Сумма превышений в замкнутом ходе равна нулю. Следовательно, можно записать:

$$\text{теор} \sum_{1}^{n} h = 0 \quad (180)$$

Сумма практически полученных превышений не будет равна нулю, а будет равна какой – то величине, называемой невязкой  $f_h$ ,

$$\text{пр} \sum_{1}^{n} h = f_h. \quad (181)$$

Значение невязки не должно превышать величины  $\text{дон} f_h$ , устанавливаемой в зависимости от класса (точности) нивелирования.

Если  $f_h \leq \text{дон} f_h$ , то превышения исправляют введением поправки, значение которой  $V_h$  определяется по формуле

$$V_h = -f_h / n, \quad (182)$$

где  $n$  – число превышений (или станций).

Отметки точек вычисляют, начиная от репера, по формуле

$$H_K = H_{K-1} + h_{\text{увяз}}, \quad (183)$$

где  $H_{K-1}$  – отметка предыдущей точки;

$h_{\text{увяз}}$  – превышение, исправленное поправкой, между предыдущей и определяемой точкой.

**Разомкнутый нивелирный ход.** Разомкнутым называется нивелирный ход, который прокладывается (рис. 77) между двумя точками с известными высотами. На рис. 77 ход проложен от репера  $A$  к реперу  $B$  для

определения высот точек 1, 2, 3.....Сумма превышений между двумя реперами известна. Теоретически она равна разности отметок этих реперов:

$$\sum_{\text{теор}}^n h = H_B - H_A. \quad (184)$$

Из измерений получают практическую сумму превышений

$$\sum_{\text{пр}}^n h = h_1 + h_2 + \dots + h_n. \quad (185)$$

Невязку в превышениях по ходу вычисляют по формуле

$$f_h = \sum_{\text{пр}}^n h - \sum_{\text{теор}}^n h \quad (186)$$

Далее выполняют те же операции, что и в замкнутом нивелирном ходе.

### § 32. Нивелиры

Нивелир – геодезический прибор, создающий в пространстве горизонтальную визирную линию относительно которой определяют превышения (при геометрическом нивелировании).

По конструкции нивелиры бывают оптические и цифровые. По способу приведения визирной оси нивелира в горизонтальное положение различают нивелиры с уровнем и нивелиры с компенсатором. Отдельную группу составляют лазерные нивелиры.

Нивелиры по точности подразделяются в соответствии с данными таблицы 8.

Таблица 8

Тип нивелира	Краткая характеристика
Н – 05	Нивелир высокоточный с оптическим микрометром для определения превышений со средней квадратической ошибкой не более 0,5 мм на 1 км двойного хода
Н – 3 (Н – 3Л, Н – 3К, Н - 3КЛ)	Нивелир точный для определения превышений со средней квадратической ошибкой не более 3 мм на 1 км двойного хода
Н – 10 (Н – 10Л, Н – К, Н – 10КЛ)	Нивелир технических для определения превышений со средней квадратической ошибкой не более 10 мм на 1 км двойного хода

Оптические нивелиры выпускаются с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. Буква К означает компенсатор, буква Л обозначает наличие лимба для измерения горизонтальных углов.

*Нивелир Н – 3. Оптический нивелир с уровнем*

Нивелир Н – 3 является нивелиром с цилиндрическим уровнем. На рис. 45 приведена схема нивелира Н – 3. Здесь 1 – подставка с тремя подъемным винтами, 2 – элевационный винт, 3 – зрительная труба, 4 –

цилиндрический уровень, 5 – кремальера, 6 – закрепительный и 7 – наводящий винты трубы. На схеме не показан круглый уровень.

*Нивелир Н – 3К. Оптический нивелир с компенсатором.*

Схема нивелира Н – 3К приведена на рис. 46. здесь 1 – объектив, 2 – фокусирующая линза, 3 – подвижная призма, подвешенная на скрещивающихся нитях, 4 – неподвижная призма, 5 – сетка нитей, 6 – окуляр.

Предварительная установка нивелира осуществляется по круглому уровню. Компенсатор призмного типа. Линза 3 подвешена на скрещивающихся нитях. Для гашения колебаний имеется демпфер 7. диапазон работы компенсатора  $\pm 15'$ . Наведение трубы на рейку осуществляется сначала поворотом от руки, а затем винтом бесконечного наведения.

Основное требование к нивелирам – линия визирования должна быть горизонтальна. Для проверки выполнения этого условия производят поверки и если необходимо – исправления – юстировки нивелира.

*Цифровые нивелиры*

Цифровые нивелиры отличаются от оптических нивелиров тем, что отсчет по рейкам выполняется автоматически считывающим устройством. На рейке вместо обычных делений нанесен штрих – код. Одновременно с получением отсчета определяется расстояние до рейки. Приборы снабжены процессором и программой, позволяющей вычислять превышения высоты точек, расстояния до нивелируемых точек а также накапливать данные полевых измерений в памяти прибора.

В таблице 9 приведены основные характеристики некоторых цифровых нивелиров.

Таблица 9

**Цифровые нивелиры**

Технические характеристики	Фирма и модель			
	“Sokkia” SDL30M	Trimbe DiNi12	DiNi22	Leica DNA 03 DNA 10
Средняя квадратическая погрешность измерений на 1 км двойного хода	0,6	0,3	0,7	0,3 0,9
Точность измерения расстояний	$0,1\% \times D - 0,2\% \times D$	$0,05\% \times D$		$0,05\% \times D$
Время измерений, сек.	3	3	2	3
Рабочая температура	$-20^{\circ} - + 50^{\circ}$	$-20^{\circ} - + 50^{\circ}$		$-20^{\circ} - + 50^{\circ}$
Диапазон работы компенсатора	$\pm 15'$	$\pm 15'$		$\pm 10'$
Вес прибора, кг	2,4	3,5	3,2	2,8 2,8
Встроенная память	2000 измерений	2200 строк		6000 измерений

*Лазерные нивелиры и построители опорных плоскостей*

Лазерные нивелиры предназначены для задания горизонтальной, наклонной или вертикальной плоскости при помощи лазерного луча. Основное отличие лазерных приборов от оптических нивелиров заключается в возможности увидеть построенную опорную плоскость.

Эти приборы успешно применяют при выполнении высотных разбивок, контроле работы планировочных машин, установке сантехнического оборудования, при контроле разработки траншеи и укладке труб в траншею под заданным уклоном. Некоторые из приборов позволяют создавать вертикальные опорные плоскости или линии, что используется для передачи осей на монтажные горизонты, контроля установки колонн, проверки вертикальности и ровности стен различных сооружений.

При контроле разработки траншеи и укладки труб по заданному уклону используется лазерный указатель уклона, который устанавливают в колодце рис. 47 . Лазерному лучу задают проектный уклон. Ровность дна

граншей контролируют по рейке, устанавливаемой на дно вслед за экскаватором. Замеченные отклонения ликвидируют вручную. Укладку труб (см. рис.) контролируют с помощью экрана – марки, устанавливаемой на торце монтируемой секции труб. На матовом экране нанесены концентрические окружности, с центром которых при правильной укладке труб должен совпадать центр лазерного пятна. Лазерные визиры для контроля укладки труб изготавливаются в герметичном исполнении, имеют шкалу для задания проектного уклона. В качестве датчика уклона в них используется цилиндрический или электронный уровень с сервоприводом, позволяющий автоматически удерживать лазерный луч с заданным уклоном.

Прибор «Dailgrade» фирмы «Spectra - physics» для укладки подземных трубопроводов имеет влагозащитный корпус, электронный уровень, диапазон задания уклоном – 15% до + 40%. Обеспечиваемая точность менее  $\pm 5$  мм на 100 м. Дальность действия до 150 м.

На рис. 48 показано применение лазерного построителя горизонтальной плоскости для контроля работы планировочных механизмов.

Перед началом работ лазерный построитель опорной плоскости – передатчик 2 (рис. 48) устанавливают в центре разрабатываемого участка и приводят в рабочее положение. Отметку опорной плоскости  $H_{оп}$ , созданной передатчиком, определяют после измерения высоты луча  $h$  над репером 3, отметка которого  $H_{рп}$  известна,

$$H_{оп} = H_{рп} + h. \quad (187)$$

Устанавливают фотоприемник 1 на необходимую высоту, которая вычисляется по формуле

$$l = H_{оп} - H_{пр}, \quad (188)$$

где  $H_{пр}$  – проектная отметка разрабатываемого участка.

С одной станции передатчик может обслуживать несколько участков (рис. 78) с различными проектными отметками  $H_{пр1}$ ,  $H_{пр2}$ , соответственно для этих участков будут свои значения  $l_1$ ,  $l_2$ .

Во время работы, в зависимости от того, какой или какие элементы фотоприемника засвечиваются лучем лазера, на панели индикатора, расположенного перед оператором землеройного механизма, включается одна из семи ламп. По этой лампе оператор может установить, где находится механизм: на проектной отметке, выше или ниже ее.

Предусмотрено два варианта работы с системой: «ручной», когда оператор механизма, руководствуясь показаниями индикатора вручную управляет режущим органом планировочной машины, и автоматический, когда положением рабочего органа управляет фотоприемник.

Ручной режим используется на стадии предварительной планировки, когда перемещаются основные объемы грунта. Автоматический режим применяют на стадии окончательной планировки. Дальность действия подобных систем до 500 м. Средняя квадратическая ошибка планировки порядка  $\pm 3$  см. В таблице 10 приведены основные характеристики лазерных нивелиров и построителей опорных линий и плоскостей различных фирм.

Таблица 10 Лазерные нивелиры и построители опорных линий и плоскостей

Модель	Фирма	Тип компенсатора точн/диап	Плоскость	Тип лазера	Назначение	Точность	Радиус действия
--------	-------	----------------------------	-----------	------------	------------	----------	-----------------

электроник нивел 130	Spectra- Physics -	электронный $\pm 10$	горизонт.	лазерн. диод (невид.)	Нивели- рование	4 мм на 1000 м	130 м
220	-		горизонт.			4 мм на 50 м	220 м
500	-		горизонт.			2,6 мм на 50 м	500 м
750	-		горизонт.			2,6 мм на 100м	750 м
ламб Плейн 146	Spectra- Physics	электронный	вертикальн.	видим.	Строит. работы	2,4 мм на 30 м	150 м
иалгрейд 250	Spectra- Physics	электронный	луч с укло нами от -15% до 40%	видим.	укладка подз.трубо- проводов	5 мм на 100 м	150 м
ASERPLANE 500 C	SPEKTRA PRECISION	нитяной с возд.	горизонт.	невид.	нивелиров.		500 м
600	-	демпфером	горизонт.	ВИДИМ.	управл.план машинами		600 м
800	-	$\pm 8'' / \pm 11'$	горизонт.	ВИДИМ.			800 м
aserplane odel 1145	SPEKTRA Physics	5 - 8'' / $\pm 5^\circ$	наклон по двум осям до 9,99%	видим.	контроль работы пла- нир.механ. строитель- ные работы	2,4 мм на 30 м	300 м
asermat	SPEKTRA PRECISION	$\pm 20'' / \pm 6^\circ$	горизонт.и вертик.	видим.	строительн.	0,1 мм на 1 м	150 м
P – 30	SOKKIA	$\pm 10'' / \pm 10'$	горизонт.	невид.	строительн.	$\pm 1,5$ мм на 30 м	300 м
P – 31	SOKKIA	$\pm 15'' / \pm 10'$	горизонт.	невид.	строительн.	$\pm 2,25$ мм на 30м	120 м
PRIMUS	NEDO Германия	$\pm 20'' / \pm 5^\circ$	гориз.плоск вертик.луч	видим.	строительн.	$\pm 0,2$ мм на 1 м	100 м

### § 59. Тригонометрическое нивелирование.

Тригонометрическое нивелирование выполняется при решении различных инженерных задач с целью создания высотной основы топографической съемки, а также при выполнении самой топографической съемки.



Поэтому 
$$h = \frac{1}{2}(k \cdot n + c) \cdot \sin 2\nu. \quad (195)$$

В том случае, когда для определения высот точек прокладывается ход тригонометрического нивелирования, допустимая невязка превышений в ходе определяется из выражения

$$\text{доп}fh = \pm (0,04 \cdot S \cdot \sqrt{n}) \text{ м} \quad (196)$$

где  $S$  – средняя длина линии хода, выраженная в сотнях метров,

$n$  – число линий в ходе.

С целью ослабления влияния рефракции тригонометрическое нивелирование на больших расстояниях целесообразно производить спустя 2 – 3 часа после восхода солнца и не позже 2 – 3 часов до его захода.

Для ускорения работ по тригонометрическому нивелированию вместо теодолитов могут быть применены специальные комбинированные геодезические приборы – тахеометры с автоматической регистрацией результатов измерений.

**Барометрическое нивелирование.** Этот вид нивелирования основан на зависимости между высотой точки местности и величиной атмосферного давления в данной точке. Благодаря простоте и высокой производительности барометрическое нивелирование применяется при выполнении геологических исследований в труднодоступных залесенных и, главным образом, в горных районах. Однако точность метода невелика – погрешность определения высот достигает одного и более метров.

Существует ряд формул, устанавливающих зависимость между разностью высот точек местности и измеренными значениями давлений в этих точках. Наиболее употребительной а производственных условиях является следующая:

$$h = h_{\text{ст}} \Delta B. \quad (197)$$

Здесь  $\Delta B = B_1 - B_2$  – разность атмосферного давления в наблюдаемых точках;  $h_{\text{ст}}$  – барометрическая ступень (высота, на которую нужно поднять или опустить барометр, чтобы его показания изменились на 1 мм рт.ст. – около 10 м на уровне моря):

$$h_{\text{ст}} = 8000 (1 + \alpha t) 1/B, \quad (198)$$

где  $t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ ,  $B = \frac{B_1 + B_2}{2}$  – соответственно средняя температура и среднее значение давления;  $\alpha = \frac{1}{273,2}$ .

Из-за неравномерного распределения плотности воздуха, обусловленного, в частности, различием температур в точках, лежащих на одной высоте, давление может быть различным, т.е. *изобарические поверхности* – поверхности, на которых атмосферное значение одинаково – не параллельны уровенным поверхностям.

Поэтому и расстояние между *изобарами* – линиями пересечения изобарических поверхностей с уровенной – непостоянно.

Изменение давления по направлению нормали к изобарам на отрезке в 111 км (длина дуги меридиана в 1° на экваторе) – *барических градиент* – в среднем составляет 0,01 – 0,02 мм рт.ст./км. Неравномерное состояние атмосферы обуславливает и временное изменение давления в одной и той же точке, которое составляет в среднем 0,3 мм рт.ст./ч, достигая  $\pm 1,5$  мм рт.ст./ч, что может привести к грубой ошибке в определении превышения. Например, при измерении давления во второй точке на час позже, чем в первой, может привести к ошибке в определении превышения до 15 м.

Определение средней температуры воздуха не всегда надежно. Практически ее определяют как среднюю по измерениям в нескольких точках. В то же время изменения температуры в горизонтальном направлении на расстоянии 10 - 20 км могут достигать 8 - 10 °С, а в вертикальном наблюдаются даже температурные инверсии.

Погрешность определения температуры в 2 °С приводит к ошибке в определении превышения в  $\frac{1}{100}$ .

Для ослабления влияния указанных факторов на точность определения превышений барометрическое нивелирование проводят по определенной методике, которая предусматривает фиксацию изменения давления и температуры через строго определенные промежутки времени, ограничение длины маршрута и времени нивелирования, выполнение наблюдений на точках только в ясную погоду, в утренние и вечерние часы. При барометрическом нивелировании для измерения давления обычно применяют барометр – анероид, который предварительно эталонируют по показаниям ртутного барометра, в результате чего составляют аттестат для данного анероида, в котором приводятся поправки анероида. Время наблюдений фиксируется по выверенным хронометрам.

Выпускаемые в настоящее время микробарометры (ОМБ, МБНП, МБ) позволяют повысить точность отсчетов давлений по прибору, однако к существенному повышению точности определения превышений это не приводит в силу характера причин колебаний давления, о которых упоминалось выше.

Каждое показание анероида приводят к показанию ртутного барометра введением поправок. Так, например, если  $A$  – отсчет по анероиду, то действительное атмосферное давление, которое показал бы ртутный барометр при  $0^\circ \text{C}$  и нормальной силе тяжести (на уровне моря и на широте  $45^\circ$ ), можно найти по формуле

$$B_0 = A + a + bt_A + c(760 - A), \quad (199)$$

где  $a$  – разность показаний ртутного барометра и анероида при  $t_A = 0$  и нормальном давлении;  $bt_A$  – температурная поправка;  $b$  – температурный коэффициент;  $c(760 - A)$  – поправка шкалы, зависящая от изменения давления воздуха,  $c$  – коэффициент пропорциональности.

Для определения разности высот двух каких – либо точек необходимо на каждой из них записать показания анероида  $A$ , температуры анероида  $t_A$ , температуры наружного воздуха, высоты анероида (обычно анероид держат на высоте груди) и указать время измерения (год, месяц, число, час и минуты). На каждой точке анероиду дают отстояться в течение 15 – 20 мин и после этого производят отсчет.

*Нивелирование двумя анероидами.* В середине участка на станции располагается один из наблюдателей, который регулярно записывает показания анероида (станционного) через каждые 20 – 30 мин. Второй наблюдатель, после сравнения показаний своего анероида со станционным, отправляется на все намеченные к нивелированию точки и записывает на них показания приборов. По окончании работ и возвращении на станцию снова записывают показания по полевым и стационарным приборам. Так осуществляется контроль наблюдений. Несовпадение моментов полевых измерений со станционными не имеет значения, так как для любого отсчета по полевому анероиду можно вычислить интерполяцией тот отсчет, который получился бы в этот момент на станции. Для вычисления абсолютных высот должна быть известна высота станции.

*Нивелирование одним анероидом* выполняет наблюдатель, который в каждой точке записывает показания приборов, возвращается в начальную точку маршрута и делает в ней контрольную запись показаний приборов. Полученное расхождение в давлении распределяется с соответствующим знаком на все наблюдаемые точки пропорционально времени. Эта поправка называется поправкой за время. Значения барометрических ступеней определяют по таблицам (например, Хренов Л.С. Таблицы для барометрического нивелирования. – М., Недра, 1970).

#### *Гидростатическое нивелирование*

Данный вид нивелирования основан на использовании свойств уровней жидкости в сообщающихся сосудах. Если взять два прозрачных сосуда (стеклянные трубки), поместить их в оправы с делениями, соединив шлангом, наполнить жидкостью, то по разности отсчетов уровней жидкости в сосудах можно определять превышения. Ошибка определения превышений при этом не превышает 0,1 – 1 мм. Метод применяется для нивелирования фундаментов турбин, компрессоров, монтаже сантехнического оборудования.

Аэрорадионивелирование выполняется с самолетов при помощи радиовысотомера и статоскопа, работающего по принципу дифференциального барометра.

Радиовысотомером измеряют высоты от самолета до земной поверхности, статоскопом – изменения высоты полета самолета относительно произвольно выбранной поверхности.

В начале маршрута самолет пролетает над точкой  $A$  с известной высотой  $H_A$  рис. 50 и измеряет высоту полета радиовысотомером  $Z_A$ . Одновременно фиксируется показание статоскопа для определения  $h_A$  (статоскоп – дифференциальный барометр, измеряющий изменения давления; по изменению давления можно определить изменения высоты полета  $h$ ).

В дальнейшем летчик пролетает над точками маршрута 1, 2, ...,  $n$  и в каждой точке фиксирует  $Z_n$  и  $h_n$ . Высоты

Этих точек можно вычислить по формуле

$$H_n = H_A + (Z_A - h_A) - (Z_n - h_n). \quad (200)$$

В конце полета самолет пролетает над точкой  $B$ , высота которой  $H_B$  также известна и измеряет  $Z_B$  и  $h_B$ . Вычисляют  $H_{\text{визм}} = H_A + (Z_A - h_A) - (Z_B - h_B)$ .

Сравнивают  $H_{\text{визм}}$  и  $H_B$  и находят наводку  $f_h$  которая возникает вследствие искривления изобарической поверхности  $PP$  за время полета  $T$

$$f_h = H_{\text{визм}} - H_B. \quad (201)$$

Вычисляют поправки в измеренные высоты точек по формуле

$$\delta_{hn} = -\frac{f_h}{T} \cdot t_n, \quad (202)$$

где  $t_n$  – время полета от точки  $A$  до точки  $n$ . Вводят поправки в измеренные высоты и получают  $H_n$  исправленные

$$H_{n \text{ испр}} = H_n + \delta_{hn}. \quad (203)$$

Ошибки определения высот при аэрорадионивелировании составляют  $\pm 2,5$  м.

## Глава 13. Использование современных геодезических приборов в решении геодезических задач.

### § 60. Автоматические теодолиты и нивелиры.

Специальные электронные датчики снимают показания и далее выводят полученные результаты на монитор. Данные инструменты незаменимы в строительстве при возведении различных объектов инфраструктуры, а также для:

- автоматизации угловых измерений;
- формирования линий геодезических пунктов при осуществлении строительных мероприятий;
- инженерных и геодезических исследований для создания топографических материалов;
- в военной сфере.

Современные производители предлагают преимущественно цифровые модели. Чтобы убедиться в соответствии характеристик заявленным цифрам, рекомендуется периодически выполнять проверку приборов.



Рис.79. Цифровой нивелир VEGA

### Классификация и виды

В зависимости от конструкции электронные теодолиты могут оборудоваться вертикальным компенсатором или отвесом лазерного/оптического типа. Они также подразделяются на разные виды по степени СКО (средняя квадратическая ошибка):

- технические — СКО от 15 до 30;
- строительные, точные — от 2 до 10;
- инженерные, высокоточные — от 0,5 до 1.

Принцип работы с любым электронным теодолитом достаточно прост, пользоваться им можно даже при отсутствии специальных навыков, после предварительного инструктажа.

### Принцип и особенности устройств

Важнейшим отличием электронных теодолитов от оптических аппаратов является применение двоичной — цифровой измерительной системы с датчиками полного поворотного угла. Ее суть заключается в разметке фотоэлектрического диска алгоритмом черно-белых кодовых отметок, при просветке которых получается 1 или 0. Данное значение впоследствии проходит анализ и обработку в процессоре. Отснятая информация записывается в интегрированный запоминающий элемент или передается на внешние носители или ПК.

Главными узлами электротеодалитов считаются:

- лазерный или оптический отвес;
- подставка с трегером;
- графический ЖК-экран с панелью управления важнейшими действиями;
- зрительная оптическая трубка с сетью нитей для качественного позиционирования на объекте;
- винты для закрепления, юстировки и наводки;
- высокопрочный корпус с размещенной в нем системой отсчета.

Современные модели, как правило, оборудуются вертикальными компенсаторами, что существенно упрощает работу с аппаратом.

### Популярные устройства

Современный рынок предлагает множество моделей электронных теодолитов. Среди наиболее востребованных устройств можно отметить:

- **DJD2-GH** — точный аппарат, средняя квадратическая погрешность которого равна 2. Двухстрочный графический монитор и панель управления расположены по различные стороны алидады. Данные вертикального и горизонтального углов на мониторе отображаются одновременно. 30-кратная трубка

обеспечивает прямое изображение. Благодаря встроенной подсветке, прибор можно использовать даже при плохой освещенности.

- **ADADigiTeo 10** с пыле и водонепроницаемым корпусом и двусторонним ЖК-экраном, цифры на котором видны при любом положении аппарата. Угловая точность зрительной трубки при зуммировании в 30 раз достигает 10, картинка образуется прямая. Наличие кодового лимба сводит к минимуму неточности при считывании данных.
- **DT-205** со съёмным трегером для облегчения установки прибора на станциях хода. Относится к строительным теодолитам (угловая точность равна 5). Результаты отсчетов отображаются на секционном двойном мониторе с подсветкой. Сведения передаются на внешние элементы хранения данных или ПК при помощи COM-порта.

Преимущества использования



Рис.80. Цифровой автоматизированный нивелир TOPCON

К основным достоинствам применения электронных теодолитов относят:

- автоматический расчет и фиксация отсчетной информации;
- минимизация погрешностей при определении показаний (что характерно для оптических моделей);
- возможность эксплуатации в темноте при наличии лазерной указки и подсветки микрошкалы монитора.

Применение аппаратов в полевых условиях ограничивается из-за невозможности их работы без элементов питания, подзарядки. Также, электронные элементы прибора (монитор, микропроцессор, датчики) не функционируют при низких температурах.

Образцы теодолитов



Электронный теодолит VEGA TEO-5B    Электронный теодолит TE-20 GEOBOX



Электронный теодолит ZIPP02 GEOMAX

Рис.81. Образцы электронных теодолитов

### Электронные (цифровые) нивелиры

**Электронные (цифровые) нивелиры** - это современные многофункциональные геодезические приборы, совмещающие функции высокоточного оптического нивелира, электронного запоминающего устройства и встроенного программного обеспечения для обработки полученных измерений. Основная отличительная особенность электронных нивелиров - это встроенное электронное устройство для снятия отсчета по специальной рейке с высокой точностью. Применение электронных нивелиров позволяет исключить личные ошибки исполнителя и ускорить процесс измерений. Достаточно привести прибор на рейку, сфокусировать изображение и нажать на кнопку. Прибор выполнит измерение, отобразит на экране полученное значение и расстояние до рейки. Цифровые технологии позволяют значительно расширить возможности нивелиров и области их применения. Опыт показывает, что с помощью цифрового нивелира достигается 50%-я экономия времени по сравнению с обычным нивелиром. Основными причинами являются быстрый сбор данных и сохранение измерений во внутреннюю память прибора.

Примеры электронных нивелиров: **TRIMBLE DINI 0.7, Sokkia SDL30M, Topcon DL-101C, Leica Sprinter 250M**

Цифровые нивелиры Trimble DINI 0.7 оптимально подходят для точных электронных измерений расстояний и превышений. Нивелир Trimble DiNi обеспечивает максимальную производительность при выполнении повседневных геодезических работ. Он имеет прочную конструкцию (с защитой от пыли и влаги по стандарту IP55), позволяющую использовать его в суровых полевых условиях. Подсветка экрана и круглого уровня позволяют продолжить работу даже в сумерках

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Точность (на 1 км двойного хода), мм:	
- инварная рейка со штрих- кодовой разметкой	0,7
- стандартная рейка со штрих-кодовой разметкой	1,3
Увеличение зрительной трубы, крат	26
Минимальное расстояние визирования, м	1,3

Изображение	прямое
Диапазон работы компенсатора	15
Клавиатура	19-клавишная алфавитно-цифровая с 4-позиционной клавишей навигации
Внутренняя память, строк данных	до 30 000
Дисплей	графический, 240 x 160, монохромный, с подсветкой
Защита от воды и пыли	IP55
Диапазон рабочих температур, °С	от -20 до +50
Источник питания	внутренняя батарея - литий-ионная, 7,4 В / 2,4 Ач
Время работы, ч	30
Масса, кг	3,5

Электронный нивелир фирмы Sokkia SDL30M сочетает удобство и простоту эксплуатации и легкость в освоении. Для выполнения измерений пользователю достаточно навестись на рейку и нажать всего одну клавишу, после чего нивелир SDL30M вычислит превышение и измерит расстояние. Результаты измерений выводятся на экран и могут быть сохранены в памяти прибора.

Нивелир SDL30M неприхотлив к условиям наблюдений и может использоваться в неблагоприятных условиях, таких как неравномерное освещение, конвекционное движение воздуха и вибрация.

В цифровом нивелире SDL30M используется устройство с зарядовой связью (CCD) для взятия отсчета по специальному штриховому коду. Такие измерения исключают возможность взятия неверного отсчета и личных ошибок наблюдателя. Для работы с SDL30M используются прочные фиброглассовые рейки со специальным штриховым RAB-кодом (BGS40, BGS50, ND 345124, BIS20, BIS30). Нивелир позволяет выполнять измерения не только по штрих-кодовой рейке, но и по обычной нивелирной рейке, что значительно расширяет возможности использования прибора.

Внутреннее программное обеспечение: вынос в натуру отметок и расстояний, вычисление отметок, проложение нивелирного хода

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ :

Точность измерения превышений (на 1 км двойного хода), мм:	
- с инварной рейкой	0.6
- с фиброглассовой рейкой	1.0
Увеличение зрительной трубы, крат	32
Точность измерения расстояний, мм	10 - 20 мм в зависимости от расстояния
Время измерения, сек	3
Клавиатура	8 клавиш
Диапазон измерений, м	1.6 - 100
Диапазон работы компенсатора	±15
Дисплей	ЖК графический, 128x32
Изображение	прямое
Память	2000 измерений (64 кБ)
Рабочая температура, °С	от -20 до +50
Время работы от одного аккумулятора, ч	16
Вес, кг	2.4

Цифровой нивелир DL-101C/102C с погрешностями нивелирования 0,4 мм/1,0 мм увеличивают скорость, точность и производительность полевых работ. Они могут сохранять данные измерений во внутреннюю память или на карты памяти формата Compact Flash. Внутренняя память рассчитана на хранение измерений 8000 точек.

При использовании нивелиров DL-101C/102C в комплекте со штрих-кодowymi рейками можно автоматически определять расстояния и превышения сразу в цифровом виде.

Основные области применения: нивелирные сети; слежение за деформациями (наблюдения за проседанием грунта); инженерные изыскания; съёмка (площадное нивелирование, трассирование и т.д.); дорожное строительство (продольные и поперечные сечения, вынос отметок); строительство тоннелей и шахт.

<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:</b>	
Изображение	прямое
Увеличение, крат	32
Диаметр объектива, мм	45
Разрешающая способность, "	3.0
Наименьшее фокусное расстояние, м	1.0
Точность компенсатора, "	±0.3
Вес, кг	2.8
Измерение превышений, точность (СКО на 1 км), мм: - электронное считывание - оптическое считывание	±0.4 (по инварной рейке) ±1.0
Дискретность отсчета, мм	0.01/0.1
Точность измерений, см	1-5
Диапазон измерений, м: - фиброглассовая или алюминиевая рейка - инварная рейка	2-100 2-60
Интервал измерений, сек	3
Дисплей	LCD с подсветкой, 2 строки по 8 символов
Внутренняя память, измерений	на 8 000
Карта памяти, ГБ	Compact Flash до 2
I/O порты	RS-232C
Клавиатура	буквенно-цифровая
Таймер автовыключения	есть
Горизонтальный круг, °	360
Питание	6 батареек АА или 1 аккумулятор ВТ-31Q
Время работы, ч	10
Диапазон рабочих температур, °С	от -20 до +50
Водозащищенность	IPX6

Цифровой нивелир Leica Sprinter 250M идеально подходит для различных высокоточных работ при

строительстве. Для замера достаточно нажать одну клавишу и результат тут же появится на дисплее.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Диапазон измерения расстояний, м	2-100
Точность измерения расст. по высокоточной рейке, мм/м	10/10
СКО на 1 км двойного хода, мм: - со штрих-кодовой рейкой - со штрих-кодовой фиброгласовой рейкой - с инженерной рейкой	1,0 0,7 2,5
Минимальное фокусное расстояние, м	0,5
Рабочий диапазон компенсатора, '	10
Память, измерений	1000
Стандартные программы измерений	измерение расстояний и превышений, определение разности высот, функция мониторинг, выполнение нивелирного хода, определение отсыпки/выемки, сохранение и передача данных
Клавиатура	5 кнопок для управления интерфейсом, кнопка измерения
Увеличение зрительной трубы, х	24
Дисплей	LCD, 128x104
Изображение	прямое
Поле зрения, °	2
Диаметр объектива, мм	36
Чувствительность круглого уровня, 1/мм	10/2
Зеркало круглого уровня	есть
Тип компенсатора	магнитный демпфер
Диапазон рабочих температур, °С	от -10 до +50
Пыле и влагозащита	IP55
Размеры прибора (ДхШхВ), мм	219x196x178
Вес, кг	2,55

#### § 61. Принципы работы автоматических геодезических приборов.

**Электронные тахеометры** можно разделить на три группы — простейшие, универсальные и роботизированные.

*Простейшими* являются электронные тахеометры с минимальной автоматизацией и ограниченными встроенными программными функциями. Погрешность их измерений горизонтальных и вертикальных направлений составляет 5—10", расстояний — 5—10 мм на 1 км.

Электронная память тахеометров позволяет хранить в цифровом виде сведения о положении 500—1000 точек, которые могут быть записаны на сменную карту памяти.

Электронный тахеометр ЗТа5 российского производства (рис. 3.5) можно использовать при создании межевой съемочной сети, при определении плоских прямоугольных координат межевых знаков и характерных точек объекта недвижимости. В состав тахеометра входят: электронный теодолит, светодальномер, вычислительное устройство и регистратор информации, панель управления (контроллер) и дисплей, на котором индицируются буквенные идентификаторы и цифровая информация.

В комплект тахеометра входят: отражатель, подставки, источники питания, вехи, штативы, разряднозарядные устройства и другие принадлежности. Электронный тахеометр ЗТа5 имеет следующие характеристики точности измерений, характеризуемые средними квадратичными погрешностями: горизонтального угла  $5''$ , вертикального угла  $7''$ , наклонного расстояния  $D$  от 2 до 2000 м —  $(5 \text{ мм} + 3D10^{-6})$  мм.



Рис.82. Электронный тахеометр ЗТа5:

1 — дисплей; 2 — визирная труба; 3 — блок питания; 4 - клавиатура

Универсальные электронные тахеометры включают в себя большое число встроенных программ, позволяющих в полевых условиях решать инженерные землеустроительные и кадастровые задачи. Погрешность измерений горизонтальных и вертикальных направлений тахеометрами данной группы составляет  $1—5''$ , расстояний —  $2—3$  мм на 1 км. Электронная память тахеометров может хранить в цифровом виде сведения о положении до 1900 координат измеряемых точек.

Основная составляющая электронных тахеометров обеих групп — модуль контроллера, который представляет собой полевой компьютер и пульт управления тахеометром. От контроллера зависят такие функциональные возможности тахеометра, как производительность, объем памяти, тип экрана, наличие и число встроенных программ. У большинства электронных тахеометров — встроенный контроллер, управляемый с цифровой или алфавитно-цифровой клавиатуры. Число клавиш клавиатуры зависит от типа тахеометра и числа решаемых контроллером задач. В последнее время в качестве контроллеров используют полевые графические компьютеры с активным экраном, что позволяет при помощи электронного карандаша управлять работой тахеометра, процессом измерений, а также в реальном времени просмотреть графическое отображение результатов работ.

Уникальная система «Total Station» (полная станция) включает в себя электронный тахеометр, одним из модулей которого является одночастотный спутниковый приемник, устанавливаемый на месте дополнительной клавиатуры, и антенну, закрепляемую сверху на транспортировочной рукоятке.

*Роботизированные электронные тахеометры* включают в себя сервопривод, при использовании которого примерно на 30 % повышается производительность измерений и уменьшается вероятность грубых ошибок в измерениях при наведении на визирные цели. Команды на сервопривод вырабатывают специальные электронные следящие устройства.

Электронный тахеометр «Geodimeter 600» (Швеция) имеет в своей конструкции четырехскоростной серводвигатель, обеспечивающий наведение на отражатель в режимах поиска и слежения. Активный отражатель, входящий в комплект тахеометра, представляет собой активный излучатель (светодиод), излучение которого фиксируется системой автоматического наведения и слежения, размещенной в зрительной трубе тахеометра.



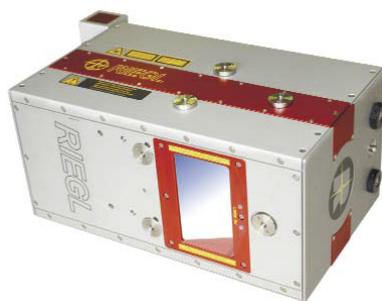
Рис.83. Электронный тахеометр Geodimeter 600

Расстояния измеряют электронным тахеометром с помощью встроенного в него электромагнитного дальномера (светодальномера), принцип действия которого основан на фазовом методе измерения расстояний.

**Лазерный сканер** представляет собой геодезический инструмент, автоматически выполняющий измерения точек в заданном секторе с заданным интервалом, и включает в себя: высокоскоростной лазерный дальномер и систему смены направления луча лазера, которая помогает определить область сканирования. Принцип работы лазерного сканера основан на выявлении достаточного числа точек (трехмерных координат по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Измерение объекта совершается при помощи дальномера.



Leica ScanStation 2



Воздушный сканер RIEGL LMSQ780



Рис.84. Беспилотная система RiCOPTER, оснащенная воздушным сканером RIEGL

*Дальномер* совершает до нескольких тысяч измерений в секунду, запоминая и отправляя данные по каждому измерению в память компьютера. Луч лазера отклоняется по вертикали при помощи шагового электродвигателя с зеркалом, а по горизонтали отклонение происходит при вращении самого сканера. В результате таких действий становится возможным получение трехмерных координат каждой точки, образующих группы, называемые «облака точек». Некоторые лазерные сканеры обустроены цифровой фотокамерой, позволяющей делать панорамные снимки окружения предмета.

Все данные об измерениях, а также снимки попадают в память портативного компьютера, данные и поверхность сканируемой детали запоминаются, анализируются и выводятся на экран в виде трехмерного изображения. Измерения проводятся с высокой плотностью и точностью, что позволяет создать трехмерную математическую модель объекта съемки. Сканер автоматически выполняет измерения на расстояния до 300 м со скоростью до 50 000 точек в секунду, сохраняя высокую точность измерений — погрешность до 6 мм на 50 м. Высокая разрешающая способность (1 мм на 300 м) и малое пятно лазерного луча (4 мм на 50 м) позволяют выполнять высококачественные полевые измерения.

Лазерные сканеры могут быть контактные и бесконтактные. Последние наиболее удобны в использовании, так как для получения высокоточных данных при съемке не требуется контакта оборудования с поверхностью.

Бесконтактные сканеры делятся на два вида: активные — направляют лучи лазера на объект, после чего анализируют полученные методом отражения данные; пассивные — выводят данные о модели с помощью анализа окружающего излучения, но при этом освещение сканируемого объекта должно быть точно и идеально подобрано.

В настоящее время разработкой приборов для лазерного сканирования занимаются такие компании, как: Leica Geosystems (Швейцария), Trimble (США), Zoller+Frohlich (Германия), Faro Technologies (США), Riegl (Австрия) и др.

*Цифровые (электронные) нивелиры* применяются в настоящее время в земельно-кадастровых работах в комплекте со специальной штрихкодовой рейкой, что позволяет автоматизировать взятие отсчета. Электронные нивелиры представляют собой современные многофункциональные геодезические приборы, совмещающие функции высокоточного оптического нивелира, электронного запоминающего устройства и встроенного программного обеспечения для обработки результатов измерений. Применение электронных нивелиров позволяет исключить личные ошибки исполнителя и ускорить процесс измерений.

*Лазерные нивелиры* — электронно-механические устройства, в которых применен принцип вращения лазерного луча. Излучаемый встроенным светодиодом световой поток фокусируется при помощи линзы или призмы, за счет которых нивелир позволяет получать на окружающих предметах лазерную точку либо линию. Поэтому лазерные нивелиры делят на следующие категории:

позиционные (призменные), использующие один или несколько светодиодов, которые создают узкий световой поток, при помощи призмы преобразуемый в лазерную плоскость. Лазерные нивелиры, оснащенные двумя светодиодами и двумя призмами, проецируют две лазерные плоскости — вертикальную и горизонтальную. Пересекаясь под прямым углом, они образуют крест. При помощи клавиш на корпусе пользователь может оставить включенной только одну из лазерных линий. Угол развертки лазерного луча вокруг позиционного нивелира составляет  $120^\circ$ . Существующие конструкции мультипризменных нивелиров позволяют получить три лазерные плоскости или более, а некоторые модели излучают точки на окружающие предметы;

ротационные, позволяющие получить лазерную плоскость за счет вращения светодиода встроенным электродвигателем. Ротационные нивелиры могут проецировать лазерную плоскость в плоскости  $360^\circ$ .

**Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС)** имеют существенные преимущества по сравнению с традиционными геодезическими:

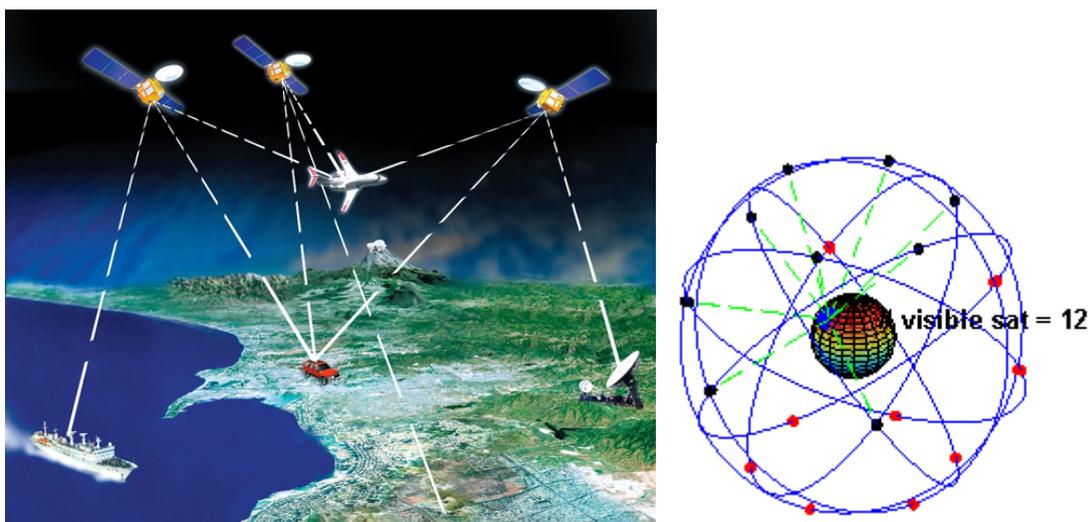


Рис.85. Схема работы ГНСС

исключается необходимость располагать определяемые пункты геодезических сетей, например опорных межевых, при условии взаимной видимости между ними и расстояния между определяемыми

пунктами могут составлять десятки километров; возможны наблюдения в любую погоду как в дневное, так и в ночное время;

измерения и обработка результатов почти полностью автоматизированы;

возможно получение координат геодезических пунктов, поворотных точек границ земельных участков, съемочных станций, характерных точек объектов недвижимости в реальном времени; сокращение времени, затрачиваемого на съемку, и повышение точности получаемых результатов.

В настоящее время функционируют две глобальные навигационные спутниковые системы — ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США). В их составе функционируют три основных сегмента: сегмент контроля и управления — комплекс наземных средств, обеспечивающих непрерывные наблюдения и контроль над работой всей системы. Одной из составляющих данного сегмента является равномерно расположенная на поверхности Земли космическая геодезическая сеть (Рис.85.);

космический сегмент — созвездие навигационных искусственных спутников Земли, вращающихся вокруг Земли на определенных орбитах. Размеры и форма эллиптической орбиты определяются размером ее большей полуоси  $a$  и эксцентриситета  $e$ ; сегмент потребителей — приемная аппаратура сегмента потребителей (GPS-приемники), решающая комплекс таких задач, как прием и первичная обработка сигналов со спутников.

Обработку сигналов выполняют с целью выработки необходимой потребителям информации — пространственно-временных координат, направления и скорости, пространственной ориентации.

*Приемное устройство* (GPS-приемник) проводит первичную обработку сигналов. Сигналы поступают в блок поиска и измерения GPS-приемника. После завершения поиска происходит захват сигнала, который поступает в вычислительный блок. По указанию оператора результаты обработки сигналов отражаются на дисплее.

Выделяют GPS-приемники трех классов: первого, предназначенного для быстрых навигационных определений координат. Данный тип приемников удобно использовать при рекогносцировке, выносе в натуру и съемке объектов с небольшой точностью;

второго, предназначенного для определения положения движущихся объектов;

третьего, которые, как правило, относятся к приемникам геодезического назначения. В них имеется многоканальный блок, осуществляющий слежение одновременно за сигналами нескольких спутников (до 12 и более). Внутренняя память приемника до 100 Мбайт и более. Приемники оснащены портами для интеграции с другой аппаратурой, в том числе с компьютерами.

Конструктивно GPS-приемники выполнены в виде отдельных или совмещенных блоков, которые содержат: антенное устройство, контроллер (компьютер с клавиатурой) и аккумуляторы. С помощью контроллера, встроенного или присоединяемого к приемнику, пользователь может управлять и контролировать процесс спутниковых наблюдений. Часто приемники имеют встроенный радиомодем, с помощью которого в реальном масштабе времени можно передать или принять по каналам связи необходимую информацию.

Выбор конкретного класса приемника спутниковых сигналов для проведения земельно-кадастровых геодезических работ зависит от требуемой точности определения положения объектов.

*Персональный GPS-навигатор* осуществляет прием сигналов со спутников GPS и вычисление геодезических координат (широты, долготы и высоты) текущего местоположения. Кроме того, с помощью GPS-навигаторов можно запоминать полученные координаты в виде путевых точек и составлять из них маршруты. Руководствуясь указателем пути, определяют направление на нужную точку и автоматически запоминают координаты по ходу движения (путевой журнал). Данные приборы имеют возможность загрузки и отображения электронной карты в собственном формате. Некоторые модели GPS-навигаторов имеют встроенный магнитный компас и барометрический высотомер. Для определения своего местоположения GPS-навигаторы используют сигналы, передаваемые со спутников. Сигналы содержат два вида информации – навигационные сообщения и псевдослучайный код. С их помощью устанавливают абсолютное положение точки на земной поверхности в системе координат WGS-84. Приемники имеют опцию по пересчету геодезических координат точек в плоские прямоугольные геодезические координаты соответствующей картографической проекции.

В последнее время все большее распространение получают персональные **GPS**-навигаторы, обеспечивающие уточнение нахождения местоположения и интегрированные с приемником сигналов широкозонных дифференциальных подсистем. Такими системами являются американская **WAAS**, европейская **EGNOS**, которые состоят из геостационарных космических аппаратов и наземных станций, предназначенных для сбора и обработки спутниковой информации.

**Лазерные рулетки** (дальномеры) малогабаритны и просты в управлении. Для измерения расстояний в корпусе рулетки имеется лазерный электромагнитный дальномер. При измерениях лазерный пучок наводят по лазерному пятну или с помощью закрепленного на корпусе рулетки оптического визира на отражающую поверхность объекта, до которого измеряют расстояние.



Рис.86 . Лазерная рулетка Leica DISTO D2 NEW

Для измерения линий, расположенных в горизонтальной плоскости, в лазерной рулетке предусмотрен встроенный цилиндрический уровень, ось которого должна быть параллельна лазерному пучку.

На рабочей панели рулетки расположен экран с подсветкой, обеспечивающий работу в условиях плохой освещенности. На буквенно-цифровой панели имеются управляющие клавиши. Результаты измерений сохраняют в электронной памяти рулетки.

Действие лазерных рулеток находится в интервале от 0,2 до 200 м. Точность измерения расстояния характеризуется средней квадратичной погрешностью 1—3 мм без учета погрешностей установки рулетки в начале измеряемой линии, а также внешних условий.

Программное обеспечение рулетки реализует такие функции, как расчет и выделение максимального или минимального расстояний в режиме непрерывных измерений. Выделение минимального значения измеряемого расстояния позволяет использовать рулетку при съемке ситуации методом перпендикуляров.

Лазерные рулетки имеют встроенный СОМ-порт, дающий возможность экспортировать результаты измерений в память компьютера.

## § 62. Автоматическая система теодолитной съемки.

Электронный тахеометр - это универсальный оптико-электронный геодезический прибор, позволяющий специалистам выполнять практически все виды работ в современной геодезии с достаточно высокой точностью измерений. Одновременно его можно использовать и как теодолит, и как нивелир, и как светодальномер. Универсальность этого прибора состоит в его многофункциональности. С его помощью можно выполнять прямые и косвенные измерения, которые сразу выводятся на дисплей. К ним относятся:

- измерения расстояний (длин и горизонтальных проложений);
- определение углов (горизонтальных и вертикальных);
- нахождения плановых и высотных координат.

Кроме этих стандартных функций электронный тахеометр способен решать определенные прикладные задачи, используя свои технические возможности и математические алгоритмы, заложенные в электронно-вычислительной части аппарата. После выбора необходимых опций, ввода исходных данных и проведенных измерений через несколько мгновений на экране тахеометров высвечиваются искомые данные:

- координат точки стояния тахеометра, при решении обратной геодезической засечки на местности;
- наклонной длины, горизонтального проложения, превышения между точками, при выполнении функции по определению недоступного расстояния и высоты;
- площади ограниченной линиями, проходящими через точки с полученными координатами после полевых измерений в этой опции;
- координат теодолитного хода с линейной, угловой, относительной, координатными невязками, при уравнивании этого хода и получения истинных координат точек.

Помимо всего этого электронные тахеометры позволяют использовать свои функциональные способности при разбивочных и съемочных работах, в конструктивно предусмотренных режимах:

- выноса точек в натуру;
- выноса линии на местности;
- выноса круговой линии;
- проецирования точек;
- измерений со смещением;
- топографической съемки;
- съемки трассы;
- съемки поперечников трассы.

Для успешного применения в работе электронных тахеометров лучше всего использовать весь комплекс автоматизации геодезического процесса, используя персональный компьютер и программное обеспечение для передачи данных. Этот процесс позволяет упростить аналитическую подготовку исходных данных, при этом предотвратив ошибки в результате человеческого фактора. Помогает при

обработке данных полевых съемок и разбивочных работ. Возрастает скорость обработки полученных результатов и производительность труда всего геодезического производства.

Рассматривая устройство электронного тахеометра, следует отметить в нем три составные части:

- оптическую;
- механическую;
- электронную.

Оптическая, механическая и даже электронные части устройства известны из оптико-механических и оптико-электронных теодолитов, которые со временем только улучшаются производителями.

Отличительной особенностью электронных тахеометров считается наличие двух важных узлов:

- светодальномера с инфракрасным светодиодом фазового и импульсного способа измерения расстояний и передачей их на жидкокристаллический дисплей;
- электронно-цифрового вычислительного устройства с программным обеспечением, всевозможными режимами работы и панелью с дисплеем, позволяющим отображать все результаты на своем экране.

В составе таких электронных приборов следует отметить четыре системы, взаимодействующие между собой:

- ориентирования;
- наведения;
- измерений;
- управления и организации всех геодезических процессов измерения, вычисления и даже простого уравнивания;

К системе ориентирования относятся геометрия осей взаимосвязанных элементов, механических узлов, уровней (горизонтального, круглого, электронного), отвесных приспособлений, компенсаторов и механизмы крепления.

К системе наведения принадлежат зрительная труба с подвижной оптической системой внутри ее и механизмами крепления и наведения.

К измерительной системе можно причислить устройства горизонтального и вертикального кругов с системой отсчитывания по лимбам и цифрового преобразования угловых значений, светодальномерное устройство с механизмами измерения и вычисления линейных величин.

В систему управления входят рабочая панель с экраным дисплеем, электронно-вычислительное и программное обеспечение, позволяющее выбирать необходимые режимы задач и управления ими.



Рис.87. Внешний вид электронного тахеометра.

С разных сторон внешнего вида электронного тахеометра японской фирмы SOKKIA марки SET530RK3, показанного на изображении, можно рассмотреть все детали и узлы данного типа приборов. В их состав входят:

- закрепительный винт горизонтального круга (1);
- микрометрический винт горизонтального наведения (2);
- закрепительный винт вертикального круга (3);
- микрометрический винт вертикального наведения (4);
- панель клавиатуры для набора данных в цифровом и буквенном виде (5);
- экран дисплея, для визуального вывода всех данных (6);
- ампула цилиндрического уровня для горизонтирования прибора (7);
- исправительные винты для юстировки цилиндрического уровня (8);
- окуляр (9);
- фокусировка окуляра (10);
- фокусировка зрительной трубы (11);
- визирное устройство (12);
- светодиодный индикатор импульса (13);
- винты для крепления верхней рукоятки (14);
- рукоятка, служащая для переноски инструмента (15);
- место крепления буссоли (16);
- защелка аккумуляторного отделения (17);
- аккумуляторное отделение (18);
- подставка тахеометра (19);

- подъемные винты для приведения прибора в рабочее положение (20);
- разъем для присоединения внешних устройств питания (21);
- разъем подсоединения кабеля для передачи файлов (22);
- круглый уровень для приведения оси инструмента в отвесное состояние (23);
- исправительные винты для юстировки круглого уровня и приведение его в работоспособное состояние (24);
- пластина основания подставки инструмента (25);
- закрепительная защелка подставки (26);
- фокусировка нитяного центра оптического отвеса (27);
- окуляр оптического отвеса (28);
- точка, соответствующая высоте инструмента (29);
- место инфракрасного излучения (31);
- объектив (30);
- точка центра (32).

В геодезии при высокоточных работах требуется использование методик с измерениями в положениях зрительной трубы при круге право (КП) и круге лево (КЛ). Для удобства в геодезическом производственном процессе необходимо наличие панелей управления с двух сторон тахеометра.

### Технические характеристики тахеометров

Независимо от производителя все электронные тахеометры имеют один спектр технических характеристик, имеющих определенные качественные отличия. Основными из них, которые необходимы для выбора соответствующего инструмента, считаются:

- размеры и увеличение зрительных труб, могут быть 26, 30, 36, 40 крат;
- тип изображения, конструктивно обычно заложено прямое изображение;
- диапазоны измерений расстояния: на призму до 6000м, на пленку до 800 м, в безотражательном режиме до 350м
- угловые среднеквадратические погрешности, имеющие значения 2, 3, 5, 6 секунд;
- автоматический компенсатор углов наклона с диапазоном компенсации от трех до шести минут, представляющий жидкостный двухосевой датчик;
- линейные среднеквадратические ошибки, зависящие от режимов измерений:
- точные (однократные, многократные, усредненные);
- быстрые (однократные или многократные);
- при измерениях на призму, линейные погрешности (СКП) составляют в пределах  $\pm 2$ мм при точном и  $\pm 6$ мм при быстром измерениях;
- при измерениях на пленку линейные СКП имеют значения при точном  $\pm 3$ мм, при быстром  $\pm 6$ мм;
- в безотражательном режиме значения СКП колеблются в зависимости от дальности приборов, способных работать в таком режиме. Они могут находиться в пределах от  $\pm 3$ мм до  $\pm 15$ мм;
- источниками питания выступают обычно литиево-ионные батареи;
- источниками импульса являются светодиоды красного спектра второго, третьего класса;
- центрирование инструмента достигается с точностью до 1 мм, с применением электронного уровня в диапазоне не более трех минут на высоте 1,3 м; **Вспомогательные принадлежности**

Для достижения всех технических характеристик при измерениях электронными тахеометрами вместе с ними применяется вспомогательное оборудование. Важно отметить, что все дополнительные

приспособления желательно подбирать в комплекте с основным прибором одного и того же производителя, Можно привести целый список таких принадлежностей, к которым относятся:

- переносной персональный компьютер (ноутбук) для автоматизации всего процесса геодезических полевых и камеральных работ;
- треноги, штативы с широкими головками для удобства установки и крепления тахеометра, тяжелые по весу и изготовленные из дерева или полимеров (фиберглассовые);
- шнуровой отвес, предназначенные для выставления штатива над точкой и точного центрирования прибора;
- буссоль, для ориентирования инструмента на местности в сторону северного направления;
- диагональные насадки (крепятся на окуляр), используемые для удобства наблюдений, наведения на значительные углы наклона (до 90°) зрительной трубы;
- разные солнцезащитные фильтры;
- кабель и запоминающие устройства (флеш-память) для передачи данных;
- призмы (минипризмы), для приема и отражения сигналов;
- держатели призм;
- отражатели и отражательные пленки;
- адаптеры регулирования высоты отражателя;
- адаптеры-переходники для внешнего и внутреннего крепления отражателей;
- вехи для видимости отражателей;
- триподы, биподы для установки вехи с отражателем;
- аккумуляторные батареи и зарядные устройства с ним.

### **Поверки электронных тахеометров**

Кроме стандартных поверок геодезических угломерных инструментов необходимо выделить в первых двух пунктах списка и характерные поверки тахеометров:

- лазерного отвеса;
- по определению постоянной поправки светодалномера;
- отвесности оси оптического отвеса;
- перпендикулярности горизонтальной оси и сетки нитей;
- горизонтального положения линии сетки нитей;
- по определению коллимационной погрешности;
- по определению места нуля компенсатора;
- отвесности оси круглого уровня;
- рабочего состояния цилиндрического уровня/

### **§ 63. Автоматическая система нивелирования.**

В настоящее время широкое распространение получили автоматические оптические нивелиры — приборы, имеющие специальный конструктивный узел, который называется компенсатор. Компенсатор служит для автоматического поддержания оптической оси нивелира в горизонтальном положении. Такой подход значительно повышает надежность получаемых результатов, облегчает труд исполнителей и экономит рабочее время.

Развитие современных технологий привело к созданию цифровых нивелиров (фото 1). Цифровой нивелир — это компьютер, который сам выполняет несколько важных функций, а также взаимодействует с внешним ПО. Цифровые нивелиры используются со специальными штрих-кодовыми рейками, используя которые можно измерять не только превышения, но и расстояние между ними, т.е. непрерывно контролировать неравенство плеч. Наблюдателю достаточно навести прибор на рейку, сфокусировать изображение и нажать на кнопку.



Рис.92. Внешний вид цифровых нивелиров

После этого прибор автоматически возьмёт отсчет, высветив его на экране. Основное отличие цифровых нивелиров от оптических — их стабильность. Заявленная производителями точность таких приборов составляет 0,3—0,4 мм на 1 км двойного хода. Цифровые нивелиры не только повышают точность и скорость работы, но и исключают одну из основных ошибок нивелирования — ошибку наблюдателя.

Современные геодезические приборы, как электронные нивелиры, стали повседневной обыденностью. Производство насыщено этими приборами, однако до сих пор у производителей нет однозначного отношения к их использованию. С одной стороны, считают, что электронные нивелиры настолько хороши и совершенны, что нет необходимости использовать традиционные методики работы — все получится само собой.

Кроме того, реклама утверждает об увеличении производительности работ чуть ли не в два раза и возможности применения труда менее квалифицированных специалистов. С другой стороны, существует немало предприятий, на складах которых уже не один год хранятся приобретенные электронные нивелиры: исполнители боятся их применять, поскольку из-за отсутствия нормативной базы возникают сложности со сдачей результатов полевых работ. Не устраивают специалистов-изыскателей и ограничения на длину визирного луча: действительно, при длине визирного луча более 40 м точность измерений резко падает.

Создание высокоточных нивелирных сетей всегда рассматривалось как сложная профессиональная задача. Государственные нивелирные сети I и II классов — главная высотная основа России. Нивелирные сети I и II класса используются также для изучения фигуры Земли и ее внешнего гравитационного поля; определения разностей высот и наклонов среднеуровневой поверхности морей и океанов, омывающих территорию России; наблюдений за деформациями.

В руководствах к большинству нивелиров указывается, что желаемая высокая точность может быть достигнута при выполнении работ проложением двойного хода, но при этом не поясняется, что под этим понимается. Высказанное утверждение привело к необходимости создания специальной методики выполнения работ, ее теоретического и экспериментального обоснования.

Применение цифрового нивелирования можно рассмотреть на примере одного из циклов наблюдений за деформациями на Шекснинском створе каскада Верхневолжских ГЭС. В состав сооружений Шекснинского створа входят: здание ГЭС, земляная русловая плотина, лево и правобережная земляные дамбы. На всех указанных сооружениях расположены стенные и грунтовые деформационные марки, а также имеются исходные грунтовые репера. Схема расположения исходных реперов и

деформационных марок состоит из полигонов нивелирования I и II класса. Внутри каждого полигона нанесены общее количество станций; а также полученные и допустимые невязки, рассчитанные, согласно требованиям, при выполнении высокоточных нивелирных работ в процессе наблюдений за осадками отдельных сооружений и их комплексов. Была проведена оценка точности до и после уравнивания. До уравнивания величина  $\mu_1$  для I класса составила 0,03 мм, а для II класса — 0,06 мм. После уравнивания и получения поправок в превышения была выполнена оценка точности, по результатам которой  $\mu_2$  составила: для I класса — 0,04 мм, для II класса — 0,11 мм.

## 11. Лабораторные работы ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

Для выполнения данной работы студент должен подробно ознакомиться с топографической картой.

По выбранной топографической карте необходимо выполнить четыре задания.

Для выполнения заданий на топографической карте выбираются две точки **A** и **B** на расстоянии друг от друга 8-12 см (расстояние принимается на глаз).

Все вычисления производятся аккуратно, линейные измерения на топографической карте осуществляются с предельной графической точностью (0,1 мм, выраженной в масштабе карты), угловые измерения выполняются с погрешностью 15'.

Все работы выполняются на компьютере. Графики и профиль строятся с использованием графического редактора на компьютере или вычерчиваются в карандаше на бумаге.

### Порядок выполнения лабораторной работы

#### Задание 1. Измерения по топографической карте

Измерить на топографической карте расстояние между точками **A** и **B**, с предельной графической точностью:

**1.1.** При помощи миллиметровой линейки и численного масштаба (рис.4).

**1.2.** При помощи циркуля измерителя и линейного масштаба (рис.4). Линейный масштаб вычертить и обозначить на нем измеренное расстояние (рис.5).

**1.3.** При помощи циркуля измерителя и поперечного масштаба (рис.6). Поперечный масштаб вычертить и обозначить на нем измеренное расстояние (рис.7).

**1.4.** Вычислить относительную погрешность выполненных измерений и сравнить с допустимой величиной:

$$\delta_1 = \frac{S_1 - S_2}{S_3} = \frac{\Delta S_1}{S_3} = \frac{\Delta S_1 / \Delta S_1}{\Delta S_3 / \Delta S_1} = \frac{1}{N} \leq \frac{1}{300}; \quad (2)$$

$$\delta_2 = \frac{S_1 - S_2}{S_3} = \frac{\Delta S_1}{S_3} = \frac{\Delta S_2 / \Delta S_2}{\Delta S_3 / \Delta S_2} = \frac{1}{N} \leq \frac{1}{300}. \quad (3)$$

Знаменатель необходимо округлить до целых с 2-3 значащими цифрами.

### Задание 2. Определение местоположения по карте

**2.1.** Определить по топографической карте географические координаты: северную широту ( $f$ ) и восточную долготу ( $l$ ), заданных на карте точек **A** и **B** с точностью до 1":

северная широта:

$$f_A = \text{_____}^\circ \text{_____}' \text{_____}''; \quad f_B = \text{_____}^\circ \text{_____}' \text{_____}'';$$

восточная долгота:

$$l_A = \text{_____}^\circ \text{_____}' \text{_____}''; \quad l_B = \text{_____}^\circ \text{_____}' \text{_____}''.$$

**2.2.** Определить по топографической карте прямоугольные координаты  $x$  и  $y$  точек **A** и **B** с точностью до 1 м:

$$x_A = \text{_____} \text{ м}; \quad x_B = \text{_____} \text{ м};$$

$$y_A = \text{_____} \text{ м}; \quad y_B = \text{_____} \text{ м}.$$

**2.3.** Нанести на карту точки **E** и **F**, прямоугольные координаты которых

$$x_E = 6057000 + 105 \cdot N; \quad (4) \quad x_F = 6057000 + 55 \cdot N; \quad (5)$$

$$y_E = 6420000 + 105 \cdot N; \quad (6) \quad y_F = 6420000 + 55 \cdot N; \quad (7)$$

где  $N$  – порядковый номер студента по журналу.

### Задание 3. Определение углов ориентирования по карте

**3.1.** Измерить транспортиром и линейкой дирекционный угол линии **AB** с точностью до 15':

$$a_{AB} = \text{_____}^\circ \text{_____}' \square.$$

**3.2.** Вычислить магнитный и истинный азимуты линии **AB**, воспользовавшись измеренным дирекционным углом и схемой ориентирования, помещённой на карте.

**3.3.** Начертить схему ориентирования с изображением своих ориентирующих углов.

### Задание 4. Формы рельефа местности, его высотные отметки, углы наклонов и заложения

**4.1.** Определить высотные отметки точек **A** и **B**.

**4.2.** Определить высоты точек, расположенных на:

вершине холма – **H<sub>1</sub>**, в котловане – **H<sub>2</sub>**, на хребте – **H<sub>3</sub>**, в седловине – **H<sub>4</sub>**.

**4.3.** Определить углы наклонов по линии **AB**, пользуясь графиком заложения, помещённого на карте.

**4.4.** Построить профиль местности по линии **AB**, в масштабах: горизонтальный – в масштабе карты; вертикальный – **1:200**.

**4.5.** Нанести на карту, пользуясь масштабом заложения, кратчайшее расстояние

между точками **A** и **B**, угол наклона которого на всех участках не превышал бы величину  $1^{\circ}30'$ .

### Методические указания

#### Задание 1.

**1.1.** Определение расстояния между точками **A** и **B** с помощью численного масштаба выполняется в следующей последовательности: миллиметровой линейкой измеряют расстояние между точками **A** и **B** и, пользуясь численным масштабом, определяют истинное расстояние между точками.

Например:  $AB = 69$  мм; масштаб карты – 1:10000;  
 $= 69 \cdot 10\,000 = 690\,000$  мм = 690 м = 0,69 км.

**1.2.** Определение расстояния между точками **A** и **B** с помощью циркуля-измерителя и линейного масштаба (рис.4,5) производится в следующей последовательности:

**а)** расстояние **AB** менее 400 м.

Ножку циркуля устанавливают на значение «0» линейного масштаба. Вторую ножку располагают слева от «0» по миллиметровой шкале. Значение расстояния определяют в виде отсчёта по шкале линейного масштаба;

**б)** расстояние **AB** более 800 м, но менее 1 км.

Ножку циркуля устанавливают на отсчёт 800 м. Расстояние  
 $= 800$  м + , где определяют аналогично пункту (**а**);

**в)** расстояние значительно больше 800 м.

В этом случае между точками **A** и **B** проводят линию. Раствор циркуля устанавливают равным 800 м. Путём последовательного перемещения ножек циркуля по линии **AB** откладывают целое число раз «*n*» основания масштаба.

Оставшуюся часть, не кратную 800 м, измеряют аналогично пункту (**а**).

Расстояние **AB** равно  $= n \cdot 800$  м + .

**1.3.** Аналогично линейному масштабу, используя численный масштаб, определяется расстояние (рис.4,6,7).

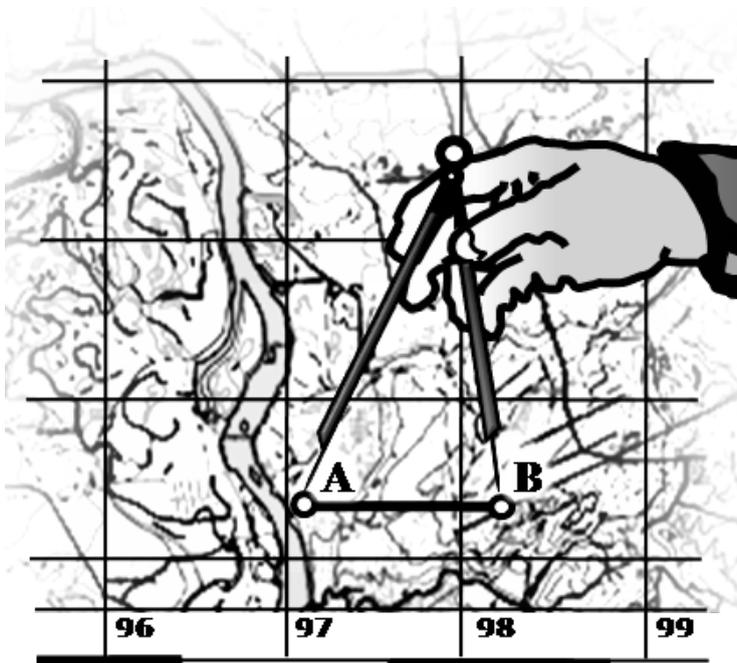


Рис. 4. Установка раствора циркуля-измерителя на карте



Рис. 5. Отсчёт по шкале линейного масштаба

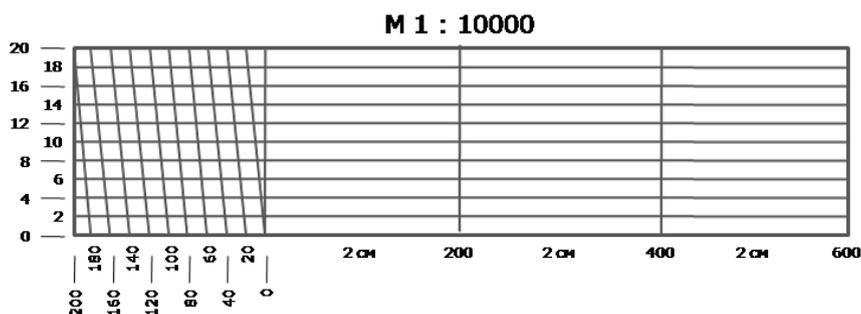


Рис. 6. Оцифровка поперечного масштаба

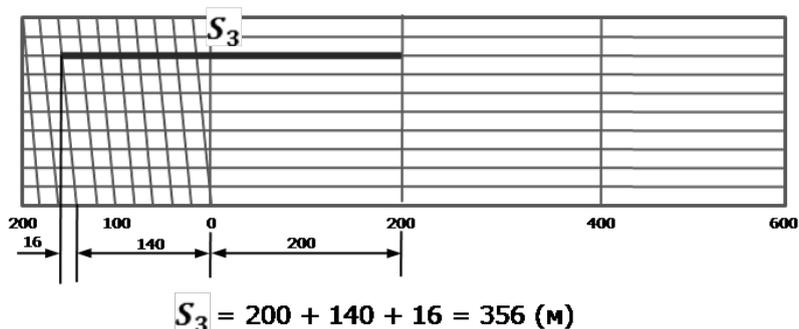


Рис. 7. Отсчёт по диаграмме поперечного масштаба

## Задание 2.

**2.1.** Для определения географических координат относительно рамки Проводят ближайший к точке А западный меридиан  $31^{\circ}45'00''$  и южную параллель  $54^{\circ}37'30''$  (рис. 8).

Северная и южная линии внутренней рамки листа карты являются параллелями, а западная и восточная меридианами (рис.8). На карте показаны координаты углов рамки широты:  $54^{\circ}37'30''$  и  $54^{\circ}40'$ ; и долготы:  $31^{\circ}45'00''$  и  $31^{\circ}48'45''$ .

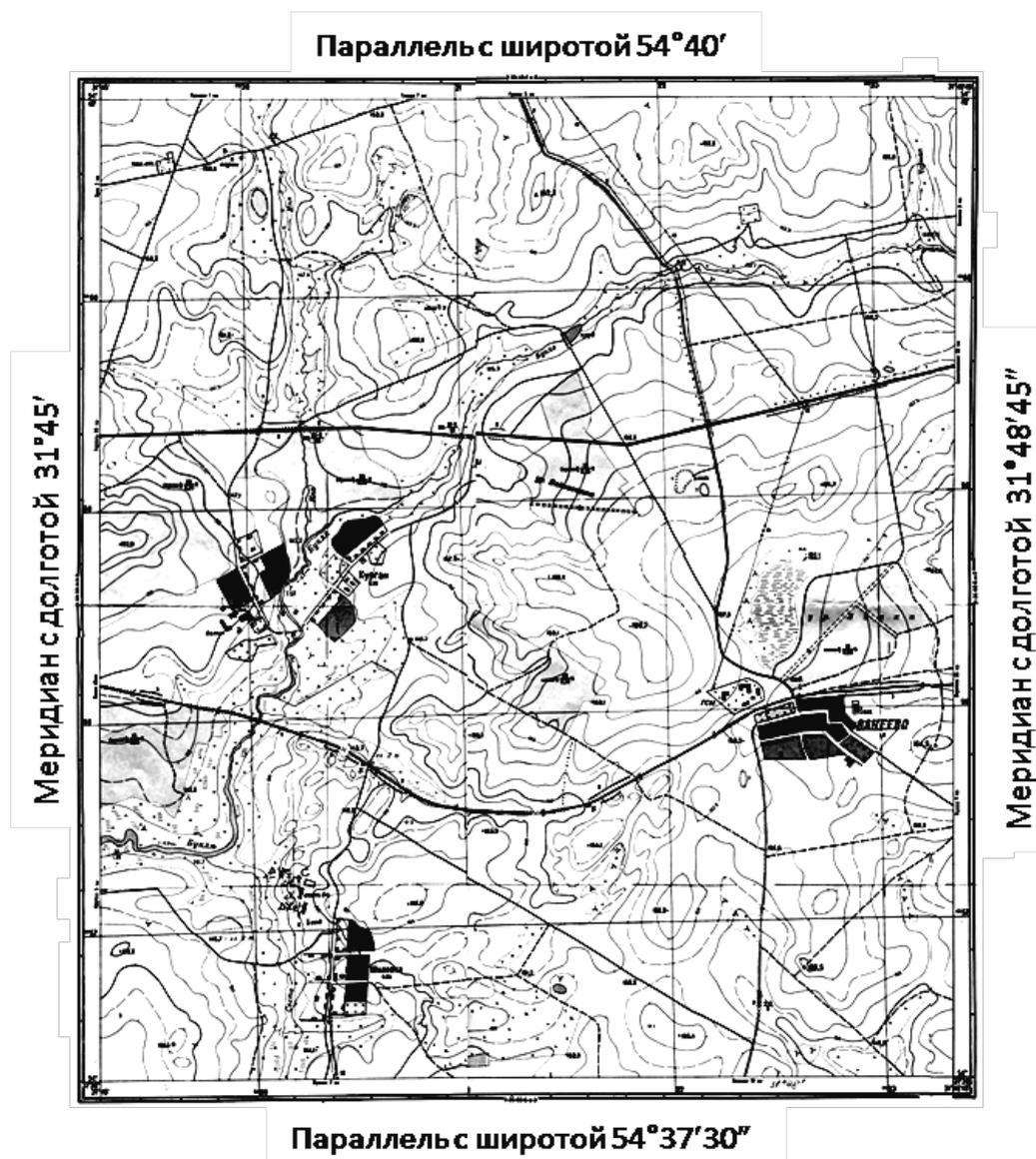


Рис. 8. Размеры трапеции карты масштаба 1:10000 по широте  $2^{\circ}30'$  и по долготе  $3^{\circ}45'$

Каждая сторона рамки разбита на целые минуты по широте и долготе (минутная рамка), для удобства использования отрезки через один залиты черным цветом. Минутная рамка разделена на 6 частей точками через 10 секунд.

Широта и долгота точки  $A$  могут быть получены из выражений:

$$f_A = f_{ю} + D f_{ю}; \quad (8)$$

$$l_A = l_3 + D l_3. \quad (9)$$

Значения  $D f_{ю}$  и  $D l_3$  (в секундах) находят из отношения их отрезков в миллиметрах на карте к отрезкам, равным в миллиметрах  $60''$  широты или долготы, умноженным на  $60''$ :

$$D f_{ю} = (84 \text{ мм} / 183 \text{ мм}) \cdot 60'' = 28''; \quad (10)$$

$$D l_3 = (14 \text{ мм} / 106 \text{ мм}) \cdot 60'' = 8''. \quad (11)$$

Широту  $f$  и долготу  $l$  точки  $A$  можно определить, опуская перпендикуляры на горизонтальную и вертикальную рамки карты. По вертикальной градусной шкале «на глаз» определяют широту  $f$ , по горизонтальной градусной

шкале –долготу  $l$ .

Так, для точки **A** (рис. 9) географические координаты будут равны:

$$f \mathbf{A} = 54^{\circ}37'30'' + 0^{\circ}00'28'' = 54^{\circ}37'58'';$$

$$l \mathbf{A} = 31^{\circ}45'00'' + 0^{\circ}00'08'' = 31^{\circ}45'08''.$$

**2.2.** На карте расположена километровая сетка прямоугольных координат, оцифрованная с внутренней стороны рамки.

Для определения прямоугольных координат через данную точку **B** (рис.9) проводят прямые, параллельные линиям координатной сетки и получают приращения координат  $D_x$  и  $D_y$ .

Вначале определяют координату точки **B** относительно ближайшей юго-западной точки пересечения линий километровой сетки, между которыми она находится.

Координаты точки **B** будут равны:

$$X_B = X_0 + D_x; \quad (12)$$

$$Y_B = Y_0 + D_y, \quad (13)$$

где  $X_0, Y_0$  – координаты ближайшей юго-западной точки координатной сетки.

Значения  $D_x$  и  $D_y$  определяют, измеряя на карте длину отрезков  $S_1$  и  $S_2$ , и, пользуясь масштабом, вычисляют их значения в метрах.

Например, по шкале масштаба 1:10 000:

$$S_1 = 48,1 \text{ мм}, \quad S_2 = 35,8 \text{ мм};$$

$$D_x = 48,1 \text{ мм} \times 10 \ 000 = 481000 \text{ мм} = 481 \text{ м};$$

$$D_y = 35,8 \text{ мм} \times 10 \ 000 = 358000 \text{ мм} = 358 \text{ м}.$$

Прямоугольные координаты точки **B**:

$$X_B = 6057000 \text{ м} + 481 \text{ м} = 6057481 \text{ м};$$

$$Y_B = 6420000 \text{ м} + 358 \text{ м} = 6420358 \text{ м}.$$

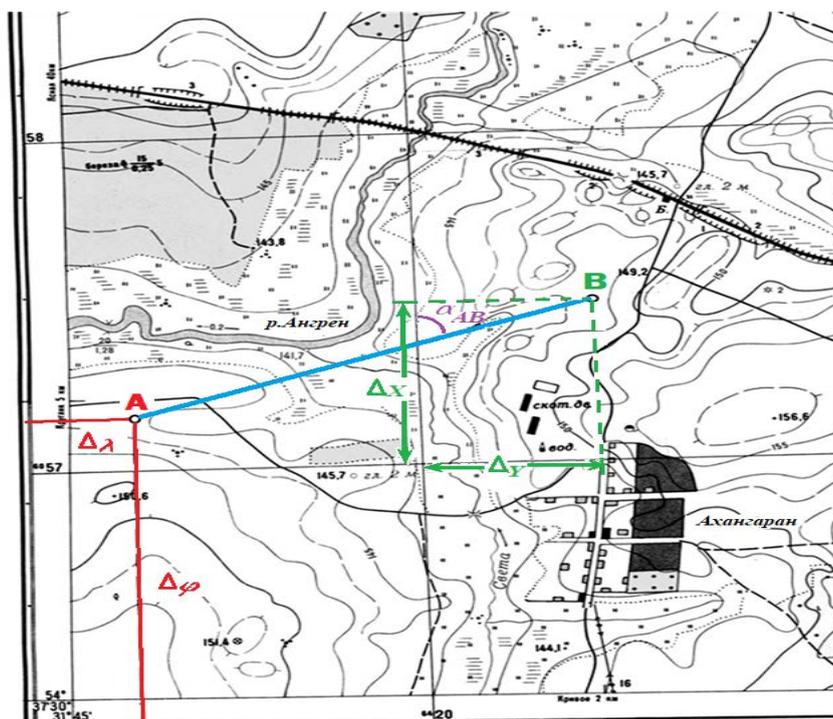


Рис. 9. Определение координат точек **A** и **B** и дирекционного угла линии **AB** по карте

**2.3.** Нанесение на карту точек **E** и **F** с заданными прямоугольными координатами осуществляется в обратном порядке.

По заданным значениям координат находят координаты юго-западного угла того квадрата, где должна находиться точка. Полученные разности между координатами этого угла квадрата и координатами точки будут приращения координат  $D_x$  и  $D_y$ . Эти приращения откладываются с учетом масштаба карты по соответствующим осям координат и наносится точка.

### Задание 3.

**3.1.** Измерение дирекционного угла производится транспортиром на карте (рис. 9, 11).

Центральную метку транспортира устанавливают в любой из точек на линии **AB** и ориентируют «0°» шкалы транспортира по северному направлению оси  $X$  – линии, параллельной осевому меридиану (километровой сетки), по ходу часовой стрелки отсчитывают горизонтальный угол до направления линии **AB**.

**3.2.** Определение истинного и магнитного азимута направления **AB** производят с помощью схемы ориентирования (рис. 10), помещенной на карте.

Например,

$$a_{AB} = 80^\circ.$$

Истинный азимут:

$$A_{AB} = -0^\circ58' = 79^\circ02'. \quad (14)$$

Магнитный азимут:

$$A_{MAB} = -6^\circ58' = 73^\circ02' \quad (15)$$

или

$$A_{MAB} = A_{AB} - 6^\circ00' = 73^\circ02'. \quad (16)$$

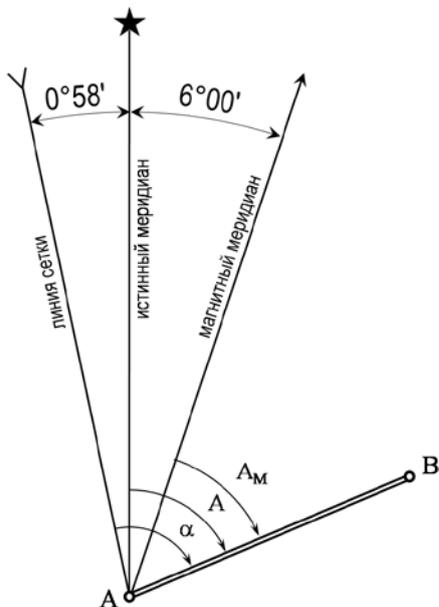


Рис. 10. Схема ориентирования

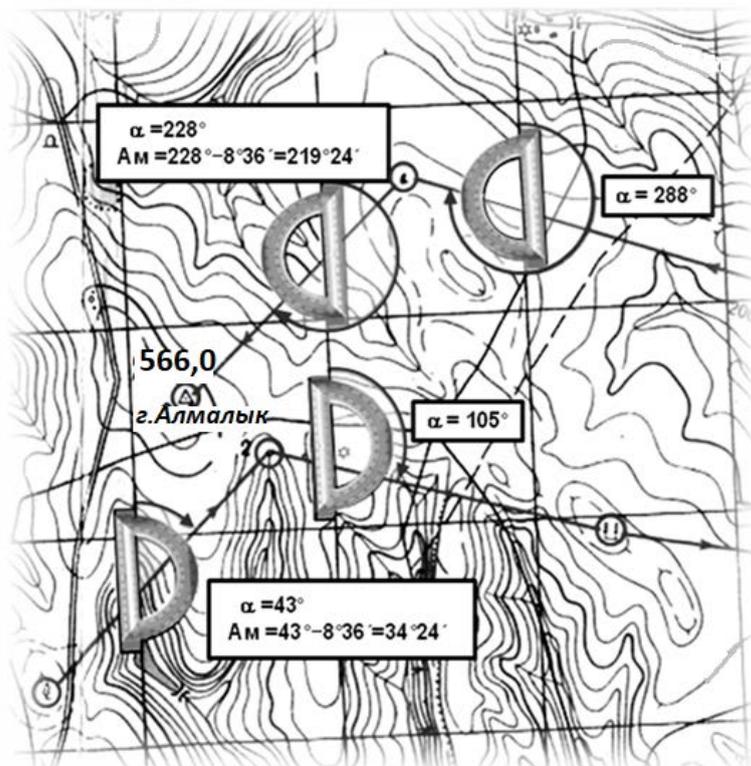


Рис.11. Измерение дирекционных углов (а)

**Задание 4.**

**4.1.** Высотные отметки точек находят по известным значениям высот ближайших горизонталей на карте.

Линии, проходящие через одинаковые по высоте точки местности, называются **горизонталями**. Разность высот двух смежных горизонталей называется **высотой сечения  $h$**  (рис. 12).

**Абсолютная высота** – высота точки местности над уровнем моря (Балтийского).

Для определения отметки точки проводят через неё наискратчайшую прямую между двумя смежными горизонталями (рис. 13).

Находят соотношение отрезков  $d_1$  и  $d_2$ :

$$d_1 : d_2 = 3 : 2.$$

Следовательно (зная высоту сечения  $h = 2,5$  м), высота точки  $C$  составит:

$$H_C = H_{155} - \Delta h = 155 - 1,5 = 153,5 \text{ м.} \quad (17)$$

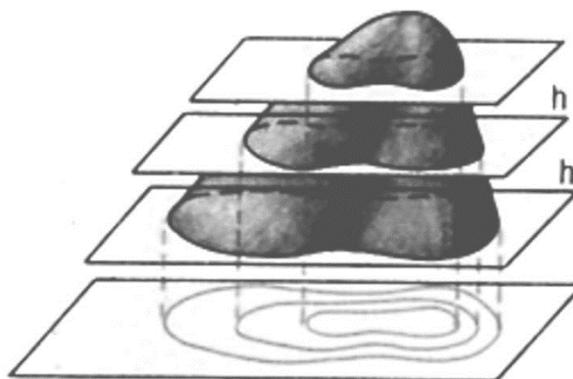


Рис. 12. Схема образования горизонталей

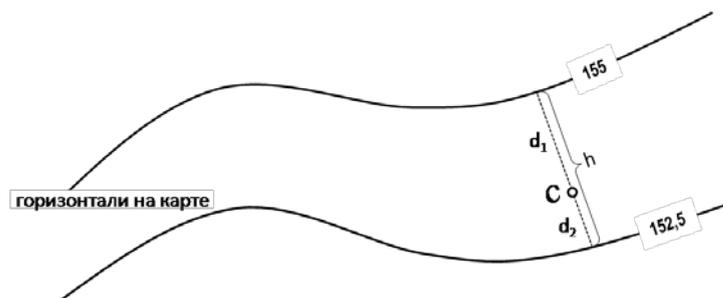


Рис. 13. Определение высоты точки по горизонталям

4.2. Высоты точек, расположенных на вершине холма  $H_1$ , в котловине  $H_2$ , на хребте  $H_3$ , на седловине  $H_4$ , определяются аналогично (рис. 14).

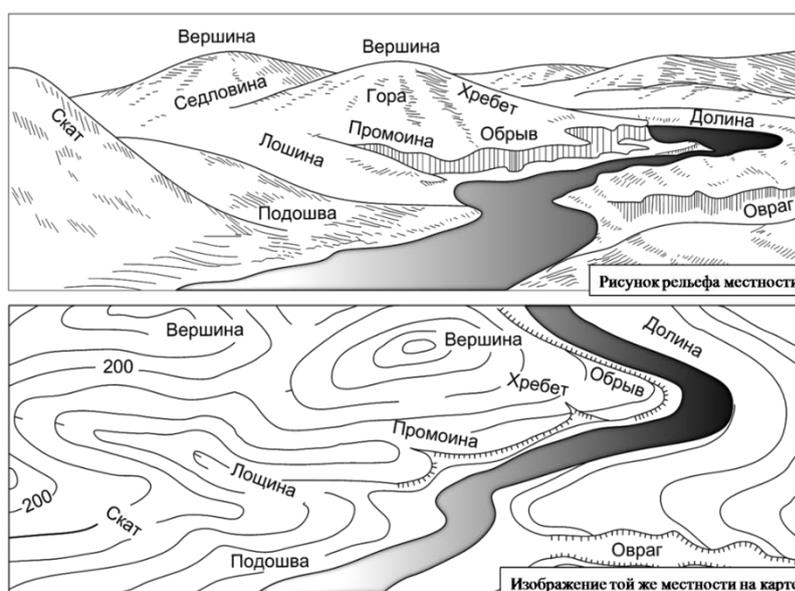


Рис. 14. Рельеф местности и его изображение на топографических картах

4.3. Для определения крутизны ската (КС) (рис.15), характеризующейся углом наклона ( $\nu$ ) линии наибольшего ската в данной точке, используют график заложения, расположенный в нижнем правом углу карты.

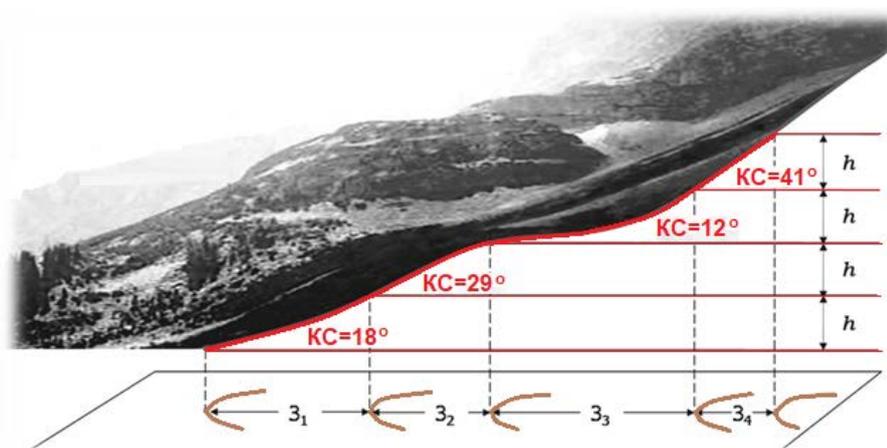


Рис. 15. Крутизна ската (КС), заложение (З)

С карты берут в раствор циркуля-измерителя нужное заложение (расстояние на карте между двумя соседними горизонталями) и переносят его на график заложения. Перемещая одну ножку циркуля-измерителя по прямой углов наклона до тех пор, пока острие второй ножки не совпадет с кривой графика заложения по перпендикуляру к горизонтальной прямой. У первой ножки на глаз берут отсчет угла наклона  $\nu$  (рис. 16).

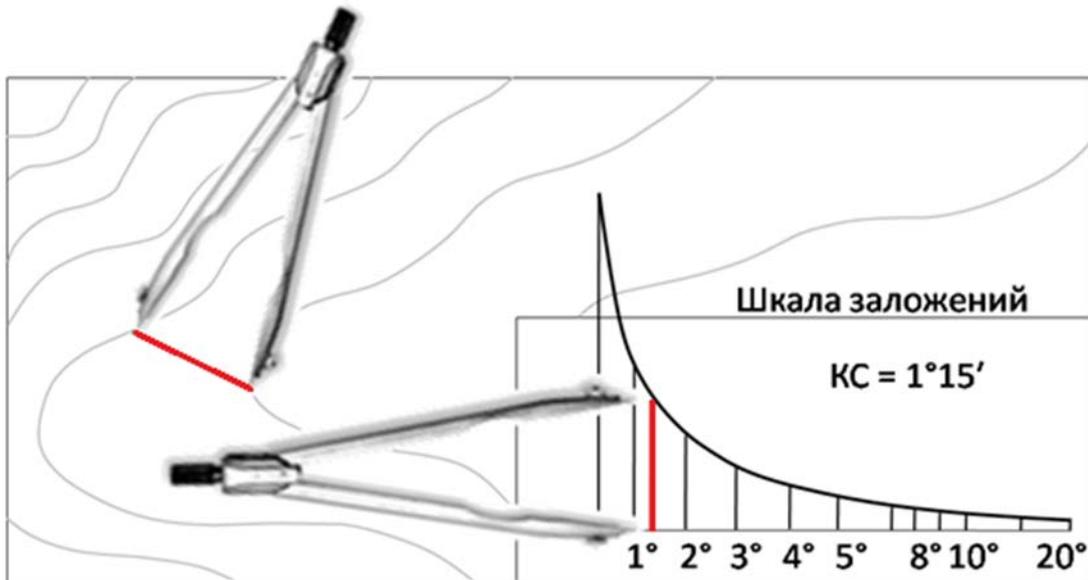


Рис. 16. Определение угла наклона по графику заложения

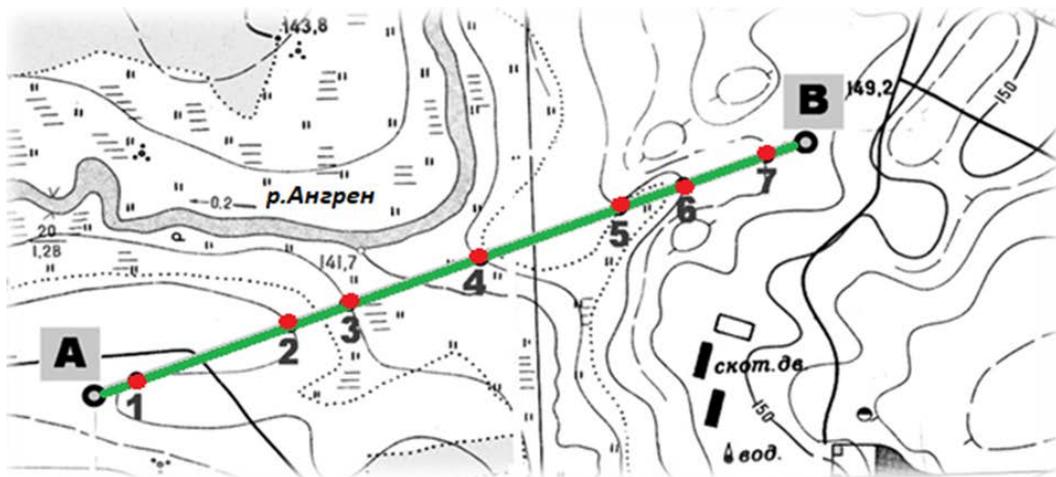


Рис. 17. Линия профиля АВ на карте

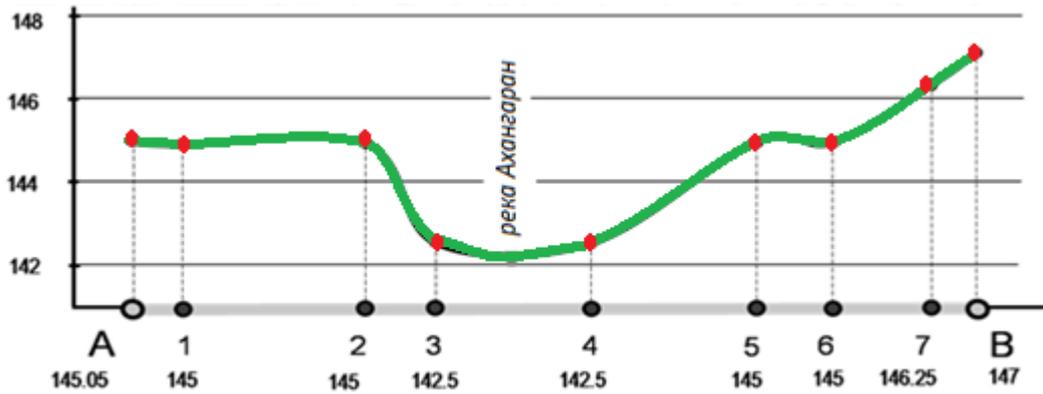
#### 4.4. Построение профиля по линии АВ.

Для построения профиля местности на карте отмечают на линии АВ точки 1, 2, ...,  $n$  пересечения ее с горизонталями и другими характерными линиями рельефа (вершинами, водоразделами и т.д.). Высоты точек пересечения равны высотным отметкам горизонталей или их определяют путем интерполирования (рис. 17).

На листе бумаги проводят горизонтальную линию, высотная отметка которой меньше любой из точек пересечения, на которой в масштабе карты

откладывают точки пересечения. Из каждой полученной точки восстанавливают перпендикулярные отрезки в вертикальном масштабе **1:200**. Концы построенных отрезков соединяют плавной кривой, которая и изобразит профиль местности.

Профиль местности по линии **АВ**, изображенной на рис. 17, показан на рис. 18.



Масштабы: вертикальный 1:200, горизонтальный 1:10000

Рис. 18. Построение профиля местности по линии **АВ**

**4.5.** При проектировании дорог и других коммуникаций одним из основных требований является сохранение уклонов в заданных пределах при минимальной длине сооружений.

Уклон  $i$  – это тангенс угла наклона  $v$ , он представляет собой отношение превышения на единицу длины:

$$i = \operatorname{tg} v = h / s. \quad (18)$$

Для нанесения на карту кратчайшего расстояния между точками **А** и **В**, угол наклона которого на всех участках не превышал бы величину  $1^{\circ}30'$ , в раствор циркуля-измерителя с графика заложения на карте берут заложение, равное  $1^{\circ}30'$ , и начиная с точки **А**, делают засечки. Отрезки заложения откладывают между горизонталями до тех пор, пока не дойдут до точки **В** (рис. 19).

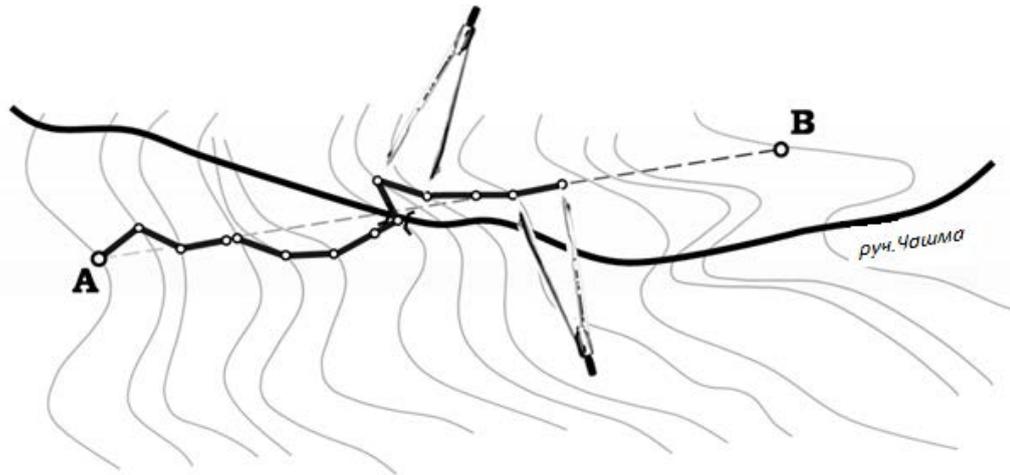


Рис. 19. Построение кратчайшего расстояния между точками АВ заданного уклона



Рис. 20. Горная дорога

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗУЧЕНИЕ ТЕОДОЛИТА 2Т30М. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Измерения на земной поверхности производятся с целью установления связи между отдельными точками и для определения их координат.

Эти измерения позволяют получить данные для решения разнообразных инженерных задач, а измерительные работы выполняются несколькими установившимися приемами и способами. Для съёмки многоугольника или ломаной линии необходимо измерить прямые линии и горизонтальные углы поворота линий. Для изображения рельефа местности необходимы высоты точек, для чего измеряют вертикальные углы.

Для измерения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний используется угломерный прибор - теодолит.

**Цель работы:** изучить устройство теодолита технической точности 2Т30М (Т-30) и тахеометра TS06 ЛЕСА, освоить правила



п о л ь з о в а н и я .

Выполнить поверки и юстировки **теодолита**.

Провести измерения и вычисление горизонтального и вертикальных углов.

### **Порядок выполнения лабораторной работы**

#### **Задание 1.**

**1.1.** Начертить схему геометрических осей **теодолита**, показав обязательное взаиморасположение осей.

**1.2.** Перечислить названия геометрических осей вращения **теодолита**:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**1.3.** Написать, каким геометрическим условиям должен удовлетворять **теодолит**.

Геометрические условия **теодолита**:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

#### **Задание 2.**

**2.1.** Сделать копию рисунка 21,а,б,в,г и обозначить цифрами на нём основные части и винты **теодолита 2Т30М** и **тахеометра TS06 LIECA**.

**2.2.** Записать по порядку их названия.



Рис. 21. а) Теодолит 2Т30М

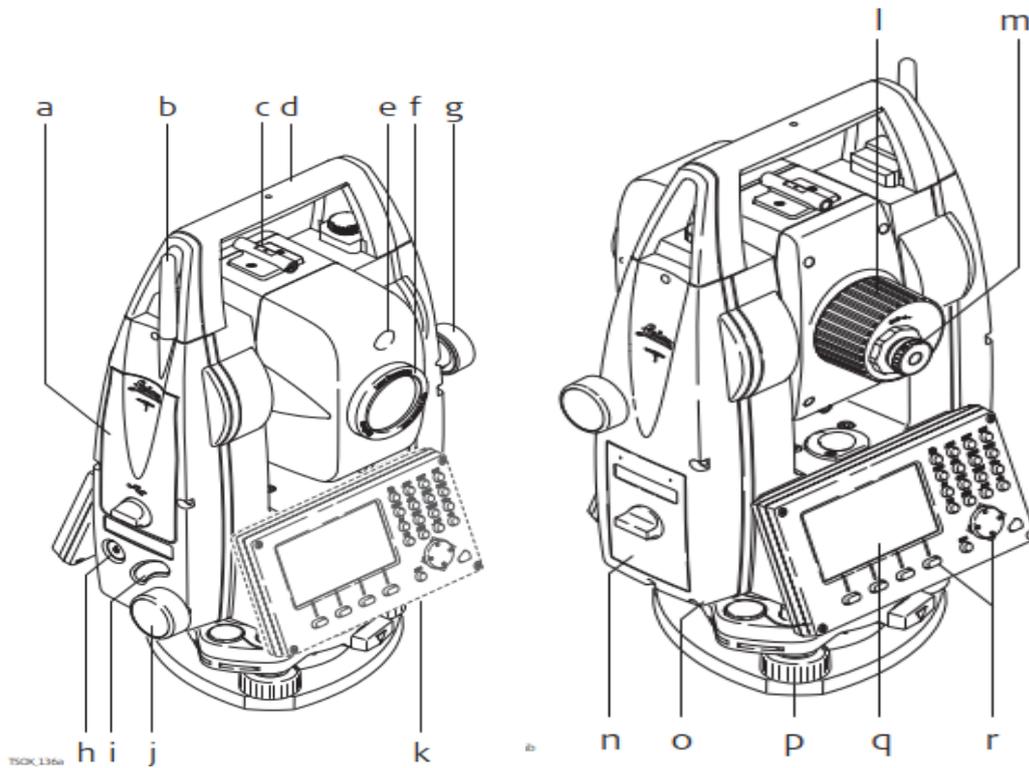


Рис. 21. б, в) Тахеометр TS06 LIECA

### Алфавитно-цифровая клавиатура

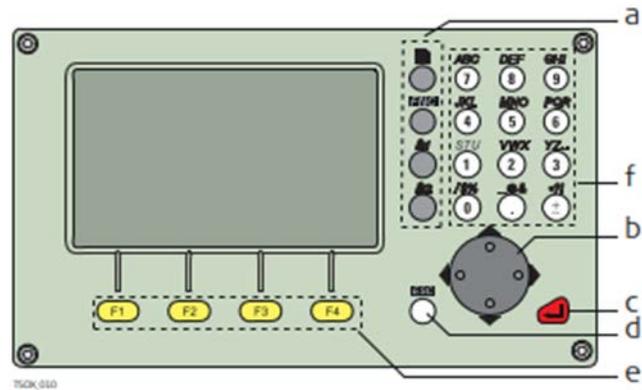


Рис. 21. г) Тахеометр TS06 ЛIECA

#### Задание 3.

- 3.1. Освоить правила взятия отсчетов по шкалам горизонтального и вертикального кругов теодолита 2Т30М.
- 3.2. Изобразить свое поле зрения отсчётного шкалового микроскопа теодолита 2Т30М (рис.22) и записать свои значения получившихся отсчетов по вертикальному и горизонтальному кругам

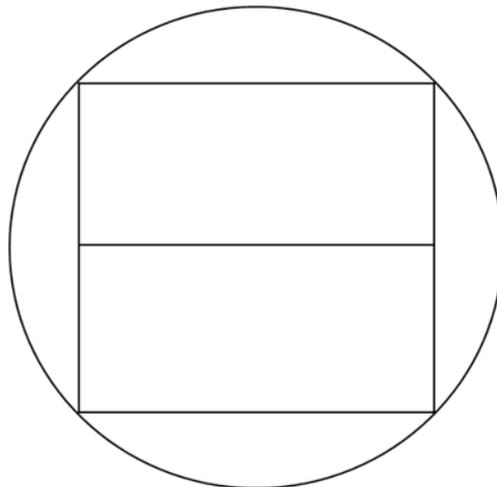


Рис. 22. Схема изображения поля зрения шкалового микроскопа теодолита

#### Задание 4.

##### 4.1. Измерить горизонтальный угол.

Индивидуально каждый студент должен провести измерение и вычисление горизонтального угла в пределах допустимой погрешности и результаты занести в журнал полевых измерений горизонтальных углов (табл. 1).

Измерение угла произвести двумя полуприёмами соответственно при положениях «круга лево» (КЛ) и «круга право» (КП).

Таблица 1

№ приёма	Точка стояния	Визир уемая точка	КЛ КП	Отсчет по горизонтальному кругу	Значение угла из полуприема	Среднее значение угла из полуприёма	Значение горизонтального угла
1	2	3	4	5	6	7	8
1	О	А В А В	КЛ  КП				
2	О	А В А В	КЛ  КП				

**Задание 5.****5.1.** Измерить вертикальный угол.

Индивидуально каждый студент должен провести измерение и вычисление вертикального угла в пределах допустимой погрешности и результаты занести в журнал измерений вертикальных углов (табл. 2).

Таблица 2

№ Точка стояния	Визир уемая точка	КЛ КП	Отсчет по вертикальному кругу	Значение МО	Значение вертикального угла
1	2	3	4	5	6
О	А	КЛ  КП			

**5.2.** Определить «место нуля» (МО) и угол наклона ( $\nu$ ).

Место нуля **МО** и угол наклона  $\nu$  определяют по формулам:

$$\text{МО} = (\text{КП} + \text{КЛ}) / 2; \quad (19)$$

$$\nu = (\text{КЛ} - \text{КП}) / 2; \quad (20)$$

$$\nu = \text{КЛ} - \text{МО} = \text{МО} - \text{КП}. \quad (21)$$

Вертикальным углом  $\nu$  или углом наклона является угол в вертикальной плоскости между наклонной линией визирования и её проекцией на горизонтальную плоскость.

Контролем качества измерений вертикальных углов – является постоянство **МО** при наблюдениях на различные точки визирования.

Для теодолитов типа **2Т30М** допустимое значение колебаний места нуля составляет  $\sim \pm 2'$ .

**Методические указания**

**Теодолит 2Т30М** предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в горных выработках и на поверхности, а также для измерения расстояний по нитяному дальномеру зрительной трубы.

**Теодолит** технический оптический маркшейдерский **2Т30М**

представляет собой инструмент повторительного типа со шкаловым отсчётным микроскопом.

Зрительная труба обоими концами переводится через зенит. Её фокусирование на предмет осуществляется вращением фокусирующего кольца. Диоптрильное кольцо окуляра зрительной трубы устанавливает чёткое изображение сетки нитей.

Оптический визир служит для предварительного наведения трубы на цель, точное наведение в вертикальной плоскости осуществляется наводящим винтом вертикального круга при зажатом закрепительном винте.

Вращение **теодолита** и точное наведение зрительной трубы в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом горизонтального круга при зажатом закрепительном винте.

Отсчеты при измерении углов производятся по шкалам горизонтального «Г» и вертикального «В» кругов. Изображение отсчетных устройств с помощью оптической системы сводится в поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 23).

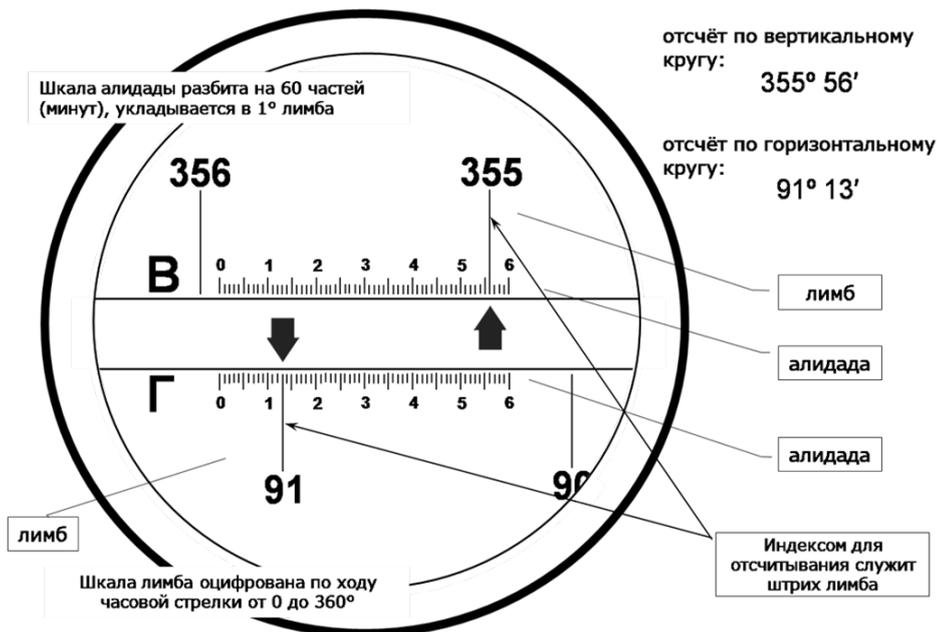


Рис. 23. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30М

Приведение осей и плоскостей горизонтального и вертикального кругов в соответствующее положение осуществляют с помощью цилиндрического уровня, расположенного на корпусе **теодолита**.

**Теодолит 2Т30М** имеет стеклянные лимбы с оцифрованными делениями через 1°. Шкала алидады разбита на 60' и оцифрована через 10'. В поле зрения микроскопа находятся две шкалы. На верхнюю часть шкалы, обозначенную буквой «В», попадают деления лимба вертикального круга, на нижнюю часть шкалы, обозначенную буквой «Г», попадают деления горизонтального лимба. Отсчёт может быть взят с оценкой на глаз по шкале до половины или четверти деления (30" или 15")(рис. 23).

Измерение горизонтального угла способом приёмов

Для измерения горизонтального угла **АОВ теодолит** устанавливают в вершине угла на точке **О**, с помощью отвеса центрируют его не грубее 2 мм и с помощью подъёмных винтов и цилиндрического уровня приводят в рабочее положение (рис. 24).

Измерения начнём при КЛ. Используя оптический визир, наводим зрительную трубу на точку **А** и завинчиваем закрепительный винт. Точное наведение перекрестия сетки нитей на цель (точка **А**) производят с помощью наводящего винта. Наблюдают в микроскоп отсчетного устройства и, меняя положение зеркала подсветки, достигают наилучшей видимости шкал горизонтального и вертикального кругов. Берут отсчет по шкале горизонтального круга и записывают в графу 5 журнала полевых измерений горизонтальных углов (табл. 1).

Открепив алидаду винтом, закрепляющим горизонтальный круг, зрительную трубу наводим на точку **В** и, закрепив винт, точное наведение перекрестия сетки нитей на цель завершают наводящим винтом. Берут отсчёт, записывают в графу 5 (табл. 1).

Значение горизонтального угла **АОВ** ( $\beta$ ) получается из разности отсчётов на точку **В** и точку **А**:

$$\text{АОВ} = \nu - \alpha,$$

(22)

если отсчёт по лимбу горизонтального круга **В** будет меньше отсчёта **А**, то к нему прибавляют  $360^\circ$  (рис. 25).

Для измерения угла при круге право (КП) трубу переводят через зенит и повторяют вышеописанные действия в той же последовательности. Все наведения трубы на точки **А** и **В** при круге право производят, действуя закрепительным и наводящим винтами. Отсчёт при КП записывают в графу 5 (табл. 1) и вычисляют значения угла из полуприема – графа 6, среднее значение угла из приема – графа 7 и окончательное значение угла – графа 8.

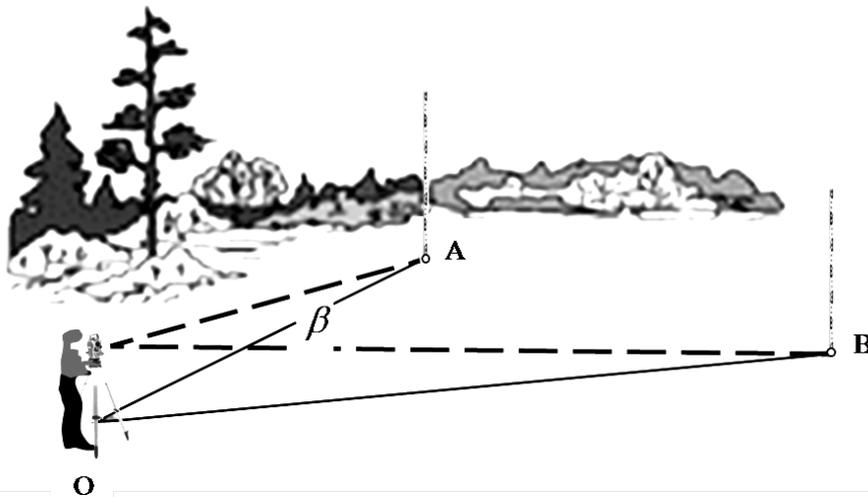


Рис. 24. Измерение горизонтального угла

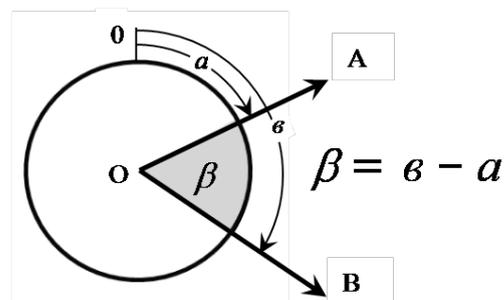


Рис. 25. Схема измерения горизонтального угла

Таблица 3

№ станции	Положение круга	Точка наблюдения	Отсчёты по горизонтальному кругу	$\beta$	$\beta_{ср}$
I	КЛ	В	231°46'	64°45'	64°44'30"
		А	148°56'		
	КП	В	233°20'	64°44'	
		А	78°36'		

Сравнив измеренные углы при КЛ и КП, определяют их расхождение, которое не должно превышать двойной точности измерения угла данным **теодолитом** (табл. 3).

Для 2Т30М – 1', если расхождение превышает 1', измерения производят вновь.

#### Измерение вертикального угла

Вертикальный угол измеряют с помощью вертикального круга при КЛ и КП.

Действуя закрепительным винтом трубы и наводящим винтом, среднюю горизонтальную нить наводят на точку А сначала при одном круге (КЛ) и берут отсчёт по лимбу вертикального круга, затем, открепив алидаду горизонтального круга, переводят трубу через зенит. Среднюю нить наводят на точку А при КП и берут отсчёт. Отсчёты записывают в графу 4 табл. 2 измерения вертикальных углов.

При наведении трубы на цель, следят за положением пузырька цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга, который должен быть в нуль-пункте и при КЛ и при КП.

По значениям отсчётов двух кругов КЛ и КП вычисляют МО – место нуля вертикального круга и угол наклона линии по формулам (19), (20) и (21).

Колебания МО при измерении вертикальных углов не должны превышать значения погрешности измерения вертикального угла одним приёмом, равной  $\approx 2'$ .

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

#### ИЗУЧЕНИЕ НИВЕЛИРА И ВЫПОЛНЕНИЕ ЕГО ПОВЕРОК

**Нивелир** – это прибор, предназначенный для определения превышений между двумя точками на земной поверхности методом геометрического нивелирования с помощью горизонтального луча и реек.

**Цель работы:** изучить устройство **нивелира NA332 LIESA**, освоить правила отсчитывания по нивелирной рейке и измерения расстояний нитяным дальномером.

Выполнить поверки и юстировки **нивелира**.

## Порядок выполнения лабораторной работы

### Задание 1.

**1.1.** Начертить схему геометрических осей **нивелира**, показав обязательное взаиморасположение осей.

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_

**1.2.** Перечислить названия геометрических осей вращения **нивелира**:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**1.3.** Написать каким геометрическим условиям должен удовлетворять **нивелир**.

Геометрические условия **нивелира**:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

### Задание 2.

**2.1.** Сделать копию рисунка 26 и обозначить цифрами на нём основные части и винты **нивелира NA332 LEICA**.

**2.2.** Записать названия частей и винтов **нивелира NA332 LEICA** по порядку.



Рис. 26. Нивелир  
NA332 LEICA и рейка

Отсчеты по рейке:  $C_B = 0949$  мм;  $C_H = 0649$  мм;  $a = 1250$  мм,  
 $I = (C_H - C_B) \cdot k = 30$  м.



работы по их исправлению, т.е. юстировку прибора.

Приведение нивелира в рабочее положение (установку оси вращения нивелира в отвесное положение) выполняют подъемными винтами по круглому уровню.

**1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира ( $U_1 U_1 \parallel TT$ ).**

Вращением подъемных винтов приводят пузырёк уровня на середину. Верхнюю часть нивелира поворачивают на  $180^\circ$ . Если пузырёк не сместился, то условие выполнено. В противном случае юстировочными винтами уровня перемещают его к нуль-пункту на половину дуги отклонения, затем подъёмными винтами переводят на середину. Поверку и юстировку повторяют (рис. 28).

**2. Вертикальный штрих сетки должен быть параллелен оси вращения нивелира, а горизонтальный – перпендикулярен к этой оси ( $vw \parallel TT, zz \perp TT$ ).**

Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение. Наводят вертикальную нить сетки на шнур отвеса, расположенного на расстоянии 20 – 25 м от нивелира. Если вертикальный штрих сетки не совпадает со шнуром отвеса, условие не выполнено

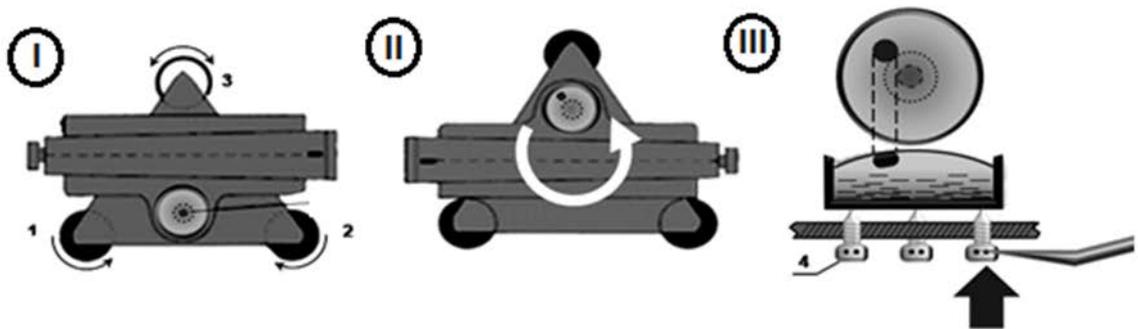


Рис. 28. Поверка круглого уровня нивелира

В таком случае снимают окулярную часть трубы и открывают оправу с сеткой, оправка привинчена тремя винтами. Отпускают верхний и нижний винты на целый оборот, а средний на четверть оборота. Затем поворачивают пластину в нужную сторону. Надевают окулярную часть трубы и проверяют положение вертикальной нити. После её установки закрепляют средний, а затем верхний и нижний винты оправы сетки, а также окулярную часть трубы (рис. 30).

Поверку можно выполнить и другим способом, при котором проверяется условие «горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения инструмента».

Зрительная труба наводится на хорошо заметную точку и вращением наводящего винта зрительной трубы точка переводится в другую позицию. Если точка отошла от горизонтальной нити, поверка считается невыполненной, и если это произошло в полевых условиях и необходимо закончить работу, то брать отсчёты по рейке рекомендуется по центру сетки нитей.

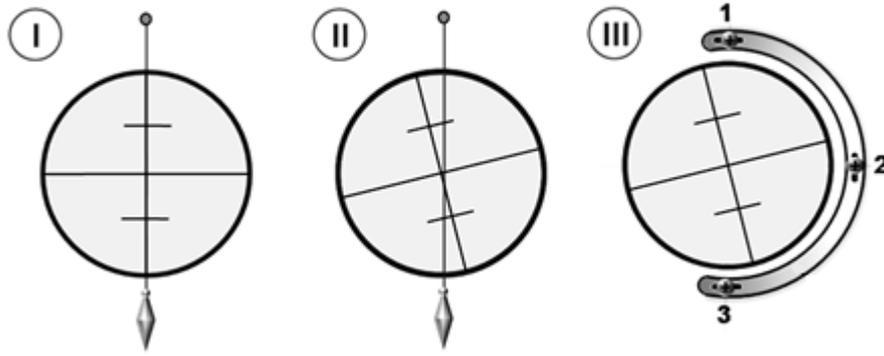


Рис. 29. Проверка сетки нитей

**3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси ( $U_2U_2 \parallel VV$ ).**

Иначе это проверка называется: **проверка главного условия нивелира.**

Это условие проверяют с помощью **двойного нивелирования** вперёд двух точек **1** и **2**, закреплённых на расстоянии 30 – 40 м друг от друга на линии **1-2** (рис. 31).

**Нивелир** устанавливают над точкой **1**, приведя его в рабочее положение, измеряют при помощи нивелирной рейки его высоту  $i_1$  над точкой **1**. Затем визируют на рейку, установленную над точкой **2** и, приведя элевационным винтом пузырёк уровня в нуль-пункт (совмещая концы пузырька в поле зрения трубы), берут отсчёт по рейке  $a_1$  (равный истинному отсчёту  $a'_1$  плюс ошибка  $x$  за счёт непараллельности оси визирования нивелира и оси уровня).

Превышение ( $h_{1-2}$ ) между точками **1** и **2** вычисляют, как в случае «**нивелирования вперёд**» по формуле (25), с учетом ошибки (26), где  $x$  –

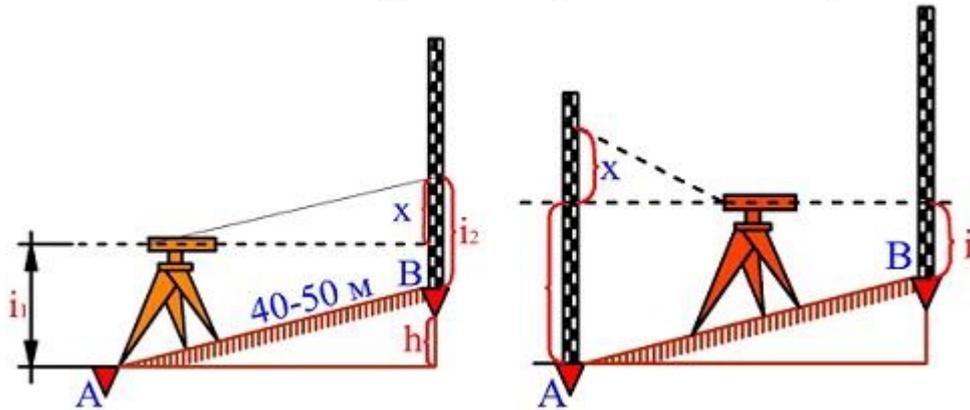
**погрешность отсчёта** вследствие того, что между визирной осью и осью уровня существует угол « $\alpha$ », который на момент проверки неизвестен и его требуется определить.

**Нивелир** и рейка меняются местами, приводят прибор в рабочее положение, измеряют новую высоту прибора  $i_2$  и берут отсчёт по рейке  $a_2$  (который в сумме равен истинному отсчёту  $a'_2$  и ошибке  $x$  – за счёт непараллельности оси визирования нивелира и оси уровня):

$$a = a' + x; \quad (31) \quad a' = a - x. \quad (32)$$

Превышение между точками **1** и **2** находят по формулам (27), (28) и далее, используя формулу (29), находят значение  $x$  по формуле (30).

**Ошибка, вызываемая несоблюдением главного условия нивелира, не должна превышать по абсолютной величине 4 мм.**



$x$  – погрешность, обусловленная наклоном визирной оси к горизонту

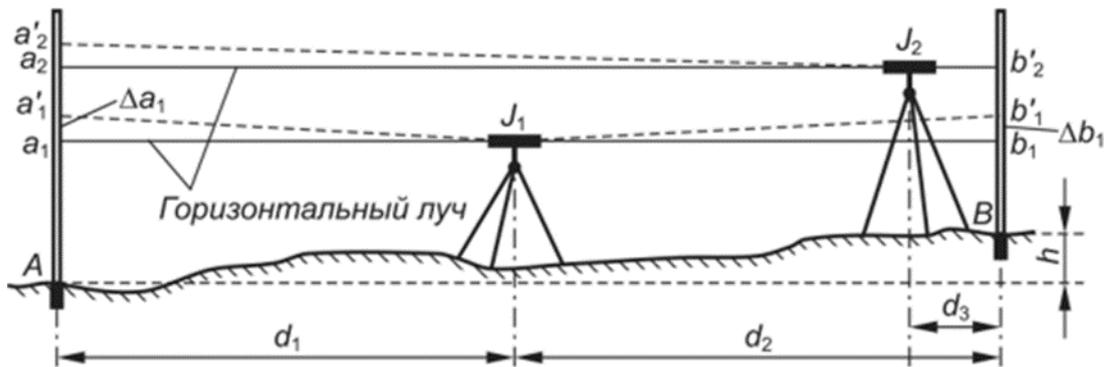


Рис.30. Проверка главного условия нивелира

Теперь, зная  $x$ , можно определить истинный отсчёт

$$a_1' = a_1 - x; \quad (33)$$

$$a_2' = a_2 - x, \quad (34)$$

когда визирная ось горизонтальна.

В случае несоблюдения главного условия у нивелира Н-3 производят юстировку. Исправления производят, если  $x \geq 4$  мм.

При необходимости можно вычислить и угловую величину ошибки.

Величина угла  $\alpha$  вычисляется по формуле:

$$\alpha'' = (x/S) \cdot \rho'', \quad (35)$$

где  $S$  – горизонтальное расстояние между 1 и 2;

$\rho''$  – число секунд в радиане;

$\alpha''$  – угол между визирной осью и осью цилиндрического уровня, выраженный в секундах.

Угол  $\alpha''$  не должен превышать  $20''$ .

Если вычисленное значение  $x$  не превышает 4 мм, то полагают условие практически выполненным.

В противном случае, не снимая прибор со второй станции, проводят его юстировку.

Для этого при помощи элевационного винта устанавливают горизонтальный штрих сетки нитей на отсчёт по рейке, равный

$$a' = a - x.$$

При этом изображения концов пузырька уровня разойдутся. Немного ослабив шпилькой боковые юстировочные винты цилиндрического уровня, при помощи вертикальных юстировочных винтов (вращая их в противоположные стороны) добиваются совмещения изображения концов пузырька. Затем закрепляют

боковые юстировочные винты.  
Поверку для контроля повторяют.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Предмет и задачи геодезии.  
Понятие о форме и размерах Земли.  
Свойства уровенной поверхности.  
Референц-эллипсоид Красовского.  
Принцип изображения земной поверхности на плоскости.  
Географические координаты.  
Определение прямоугольных координат по топографической карте.  
Определение географических координат по топографической карте.  
Высоты точек земной поверхности. Абсолютная, условная высота точки.  
Определение высотной отметки по топографической карте.  
Понятие о Балтийской системе отсчёта высот.  
Понятие о системе прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.  
Ориентирующие углы. Связь между ориентирующими углами.  
Определение дирекционного угла по топографической карте.  
Способы определения положения точек на местности.  
Понятие о плане, карте, профиле, разрезе.  
Условные знаки и их классификация.  
Изображение рельефа на планах и картах.  
Краткие сведения о построении геодезических сетей.  
Виды топографических съёмок.  
Решение прямой геодезической задачи.  
Решение обратной геодезической задачи.  
Поверки и юстировки теодолита. Геометрические условия теодолита.  
Поверки и юстировки нивелира. Геометрические условия нивелира.  
Главное условие нивелира.  
Измерение горизонтальных и вертикальных углов.  
Коллимационная погрешность и "место нуля".  
Принцип и способы геометрического нивелирования.  
Производство тахеометрической съёмки.  
Нивелирование поверхностей.  
Сложное нивелирование.  
Тригонометрическое нивелирование.  
Определение величины, характеризующей крутизну ската и уклоны линий.  
Схема построения профиля местности по заданному направлению.  
Изобразить поле зрения нивелира  
Определение места нуля (МО).  
Камеральная обработка полевых измерений.  
Истинный и магнитный азимуты. График ориентирования на карте.  
Тахеометрическая съёмка.  
Тахеометр LEICA TS06. (строение, функции, точность и т.д.)  
Нивелир NA332(строение, функции, точность и т.д.)  
Рейки для нивелирования.

### 12. ГЛОССАРИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

**Абрис** - Схематически составленный чертёж местности, отображающий объекты, необходимые для составления топографического плана или профиля.

**Абсолютная высота точки земной поверхности (альтитуда)** - Расстояние (обычно в метрах) по вертикали от этой точки до среднего уровня поверхности океана. В Российской Федерации исчисляется от нуля футштока в Кронштадте.

**Автоколлиматор** - Оптический прибор для точных угловых измерений, контроля прямолинейности и параллельности плоскостей, использующий принцип автоколлимации. Используется в электронных теодолитах, тахеометрах.

**Автоматизированная картография** - Раздел картографии, охватывающий теорию, методологию и практику создания, обновления и использования карт, атласов и других пространственно-временных картографических произведений в графической, цифровой и электронной формах с помощью автоматических картографических систем и прочих технических и аппаратно-программных средств.

**Азимут** - Угол между направлением на север и направлением на какой-либо заданный предмет. Азимут обычно отсчитывается в направлении видимого движения небесной сферы (по часовой стрелке на картах)

**Азимутальные проекции** - Картографические проекции, параллели нормальной сетки которых — концентрические окружности, а меридианы — их радиусы, расходящиеся из общего центра параллелей под углами, равными разности долгот. Нормальные азимутальные проекции применяются для карт полярных стран, поперечные и косые азимутальные проекции — для карт земных полушарий, материков, звездного неба, Луны и других планет.

**Алидада** - Приспособление для измерения углов (вращающееся вокруг оси, проходящей через центр лимба) в астрономических, геодезических и физических угломерных инструментах.

**Альманах навигационных спутников** - Набор справочных сведений о положении (о шкале времени и элементах орбит) и рабочем состоянии всех НС данной ГНСС, входящих в информацию передаваемую со спутника.

**Альтиметр** - Прибор, измеряющий атмосферное давление для определения абсолютных и относительных высот.

**Ангалифов цветных метод** - (от греч. anaglyphos — рельефный), получение стереоскопического (объемного) изображения с использованием 2 окрашенных в дополнительные цвета изображений, составляющих стереопару, рассматриваемых через разноокрашенные светофильтры (разноцветные очки). Применяется главным образом для создания объемных иллюстраций в учебных пособиях, для объемного изображения рельефа на географических и геологических картах и др.

**Астролябия** - Угломерный прибор, служивший для измерения горизонтальных углов и определения широт и долгот в астрономии.

**Атлас** - Систематическое собрание карт с пояснительным текстом, изданное в виде тома или набора отдельных листов (например, географический атлас, астрономический атлас).

**Аэросъемка** - Съемка местности с летательных аппаратов с использованием съемочных систем (приемников информации), работающих в различных участках спектра электромагнитных волн. Различают фотографическую, телевизионную, тепловую, радиолокационную и мнгозональную аэросъемку. Подробнее <http://tochno-rostov.ru/topograficheskaya-semka/ortofotoplan/>

**Аэрофотограмметрия** - Раздел фотограмметрии, изучающий способы измерений различных объектов по аэрофотоснимкам.

**Аэрофотосъемка** - Фотографирование (во всех диапазонах оптического спектра) местности с летательного аппарата. Различают плановую и перспективную аэрофотосъемку. Материалы аэрофотосъемки используются при геодезических, геологических исследованиях, инженерных изысканиях и др. В нашей компании мы выполняем данную работу с помощью беспилотных летательных аппаратов <http://tochno-rostov.ru/topograficheskaya-semka/ortofotoplan/>

**Аэрофототопография** - Раздел топографии, изучающий методы создания топографических карт по материалам аэрофотосъемки.

**Базис** - Линия, непосредственно измеряемая на местности с высокой точностью и предназначенная как для компарирования и исследования мерных приборов, так и для определения длин сторон геодезической сети.

**Балка** - Вытянутое углубление с задернованными склонами различной крутизны, глубиной до нескольких десятков метров.

**Балтийская система высот** - Принятая система абсолютных высот, отсчет которых ведется от нуля футштока в Кронштадте.

**Барометрическое нивелирование** - Метод приближенного определения разности высот между двумя точками по значениям атмосферного давления в этих точках.

**Батиметрические карты** - (от греч. bathys глубокий и metreo измеряю), отображают подводный рельеф при помощи изобат совместно с отметками глубин.

**Батиметрия** - Измерение глубин водных объектов (морей, океанов, озер, рек и др.) с помощью специальных приборов различных систем (лоты, эхолоты и прочее).

**Бергштрихи (указатели склона)** - Короткие штрихи на горизонталях топографических карты, указывающие направление вниз по склону.

**Биссектор** - Два штриха сетки нитей зрительной трубы в геодезических приборах, используемые совместно для наведения на визирную цель.

**Бленда** - Принадлежность геодезического прибора, предназначенная для защиты объектива зрительной трубы от попадания в него прямых солнечных лучей.

**Блок диаграмма** - Перспективное изображение какого-либо участка земной поверхности совместно с геологическим разрезом земной коры. Используется главным образом при изучении взаимосвязей рельефа и геологического строения.

**Бортовые эфемериды (навигационных спутников)** - Сведения о местоположении спутников на орбите, передаваемые в составе измерительной информации.

**Бровка** - Линия, расположенная на грани перехода склона меньшей крутизны в склон большей крутизны.

**Бугор** - Возвышенность на участке суши земной поверхности куполообразной формы. Относительная высота бугра не превышает 100 м.

**Буссоль** - Инструмент для измерения магнитного азимута направлений на местности. Применяют при геодезических работах, в маркшейдерии.

## В

**Вектор** - Прямолинейный отрезок с определенным направлением, выходящий из начальной точки и приходящий в конечную точку. Характеризуется числовым значением и направлением.

**Векторное изображение** - Цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар.

**Величина геодезическая** - Физическая величина, подлежащая измерению в процессе геодезических работ. Например, горизонтальный угол, длина, приращение координат и т. д.

**Верньер** - Приспособление, с помощью которого отсчитывают доли делений основной шкалы лимба в геодезических приборах. Действие верньера основано на способности глаза уверенно устанавливать совпадение 2 штрихов, когда один из них является продолжением другого и концы их совпадают.

**Вертикал** - Большой круг небесной сферы, проходящий через зенит и надир. Вертикал, плоскость которого перпендикулярна меридиану называют первым вертикалом. Пересечение первого вертикала с небесным горизонтом дает точку запада и востока.

**Вертикальный угол** - Угол в вертикальной плоскости (угол наклона, зенитное расстояние и прочее).

**Вершина** - Верхняя точка горы или наиболее высокая часть горного массива или отрога.

**Визир** - Приспособление, устройство для визуального наведения угломерного, дальномерного или наблюдательного прибора на определенную точку в пространстве.

**Водораздел** - Линия на земной поверхности, проходящая вдоль хребта по гребню и соединяющая его наиболее возвышенные точки.

**Водосбор** - Линия на земной поверхности, с которой поверхностные и подземные воды стекают в определенный водоем.

**Военная топография** - Отрасль топографии, изучающая способы и средства получения информации о местности в интересах боевой деятельности войск.

**Восток (точка востока)** - Точка пересечения математического горизонта с небесным экватором, лежащая справа (посередине между точками севера и юга) от наблюдателя, стоящего лицом к северу; обозначается В., О (нем. Ost) или Е (англ. East).

**Вращение земли** - вращение Земли вокруг своей оси с запада на восток, или против часовой стрелки, если смотреть с Северного полюса мира. Вращение Земли вызывает смену дня и ночи, определяет длительность суток. Происходит неравномерно: под влиянием главным образом лунных и солнечных приливов (приливного трения) длительность суток непрерывно возрастает на 1-2 мс в столетие, а из-за сезонных изменений (выпадения осадков и т.п.), тектонических процессов и других в течение года колеблется в пределах 1-2 мс. Положение оси вращения Земли, а следовательно и земных географических полюсов, меняется из-за прецессии и нутации.

**Высокоточная геодезическая сеть** - Сеть, обеспечивающая следующую по точности после фундаментальной сети реализацию координатной системы, опирающаяся на пункты ФАГС. Основную часть методики создания ВГС составляют спутниковые определения.

**Высота точки (отметка)** - Расстояние, отсчитанное по направлению отвесной линии от данной точки до поверхности отсчета.

**Высотная разбивочная основа** - Геодезическое построение на строительной площадке, обеспечивающее определение высотных отметок проектных элементов комплекса. Отметки пунктов высотной разбивочной основы определяются нивелированием IV класса. Пункты государственной нивелирной сети (ГНС) дополняются строительными реперами из расчетов не менее 2-х для каждого объекта строительства, а для многосекционных зданий по одному строительному реперу на каждую станцию.

**Высотная сеть** - Сеть пунктов земной поверхности, высоты которых над уровнем моря определены из нивелирования. Пункты нивелирной сети закрепляют на местности марками нивелирными и реперами, которые закладывают в стены долговечных сооружений или непосредственно в грунт на некоторую глубину. Нивелирная сеть служит высотной основой топографических съёмок, а при повторных определениях нивелирных высот её пунктов используется также для изучения вертикальных движений земной коры.

**Высшая геодезия** - Раздел геодезии занимающийся определением фигуры, размеров и гравитационного поля Земли. В задачи высшей геодезии входит также изучение теорий и методов основных геодезических работ, служащих для построения опорной геодезической сети и доставляющих данные для решения научных и практических задач геодезии.

Г

**Гаусса-Крюгера проекция** - Равноугольная картографическая проекция, в которой составлены топографические карты России и некоторых других стран.

**Гауссово сближение меридианов** - Угол между геодезическим меридианом данной точки и линией, параллельной осевому меридиану координатной зоны.

**Гелиотроп** - Прибор, основная часть плоское зеркало, которое отражает солнечные лучи с одного геодезического пункта к другому при триангуляции.

**Генерализация** - Обобщение географических изображений мелких *масштабов* относительно более крупных, осуществляемое в связи с назначением, тематикой, изученностью объекта или техническими условиями получения самого изображения.

**Географическая основа карт** - Общегеографические элементы тематической карты, не входящие в ее специальное содержание и облегчающие ориентирование и выяснение закономерностей размещения явлений, относящихся к тематике карты.

**Географическая сетка** - Совокупность меридианов и параллелей на теоретически рассчитанной поверхности земного эллипсоида, шара или на глобусе.

**Географические информационные системы (ГИС)** - Информационная система, оперирующая пространственными данными.

**Географические карты** - Карты земной поверхности, показывающие размещение, состояние и связи различных природных и общественных явлений, их изменения во времени, развитие и перемещения. Подразделяются по территориальному охвату (мировые, материков, государств и др.), по содержанию (общегеографические и тематические), по масштабу – крупно - (I:и крупнее), средне - (от I:и до I:I включительно) и мелкомасштабные (мельче I:I , а также по назначению (справочные, учебные, туристские) и другим признакам.

**Географические координаты** - Широта и долгота, определяют положение точки на земной поверхности. Географическая широта - угол между отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора, отсчитываемый от 0 до 90° в обе стороны от экватора. Географическая долгота - угол между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального меридиана. Долготы от 0 до 180° к востоку от начала меридиана называют восточными, к западу - западными.

**Геодезическая основа** - Геодезической основой при производстве инженерно-геодезических изысканий на площадках строительства служат: - пункты ГГС (плановых и высотных); - пункты опорной геодезической сети, в том числе геодезических сетей специального назначения для строительства; - пункты геодезической разбивочной основы; - точки (пункты) планово-высотной съемочной геодезической сети и фотограмметрического сгущения.

**Геодезическая съемочная сеть** - Сеть сгущения, создаваемая для производства топографических съемок. Подразделяют на плановую и высотную.

**Геодезические знаки** - Наземные сооружения (в виде столбов, пирамид и др.) и подземные устройства (бетонные монолиты), которыми обозначаются и закрепляются на местности геодезические пункты.

**Геодезические инструменты (геодезические приборы)** - Механические, оптико - механические, электрооптические и радиоэлектронные устройства, служащие для производства геодезических измерений.

**Геодезические исходные данные** - Геодезические координаты исходного пункта опорной геодезической сети, геодезический азимут направления на один из смежных пунктов, определенные астрономическим путем, и высота геоида в этом пункте над поверхностью принятого земного эллипсоида. В Российской Федерации за исходный пункт принят центр круглого зала Пулковской астрономической обсерватории, здесь высота геоида над эллипсоидом считается равной нулю.

**Геодезические координаты** - Широта и долгота точки земной поверхности, определенные путем геодезических измерений расстояния и направления от точки с известными географическими координатами, и высота точки относительно т. н. референц-эллипсоида.

**Геодезические сети сгущения (сети местного значения)** - Создают при развитии геодезической сети более высокого порядка (класса). Служат для увеличения плотности государственной сети, исходя из потребностей поставленных инженерно-геодезических задач.

**Геодезический пункт** - Точка на земной поверхности, положение которой в известной системе плановых координат определено геодезическими методами (триангуляции, полигонометрии и др.) и закреплено на местности геодезическим знаком.

**Геодезический спутниковый приемник** - Приемник, обеспечивающий прием кодово-фазовой информации, передаваемой со спутника, предназначенной для выполнения геодезических работ.

**Геодезия** - Наука об определении фигуры, размеров и гравитационного поля Земли и об измерениях на земной поверхности для отображения её на планах и картах, а также для проведения различных инженерных и народно-хозяйственных мероприятий.

**Геоид** - Фигура Земли, ограниченная уровенной поверхностью, продолженной под континенты.

**Геоизображение** - Любая пространственно-временная, масштабная, генерализованная модель земных объектов или процессов, представленная в графической образной форме.

**Геоинформатика** - Научно-техническое направление, объединяющее теорию цифрового моделирования предметной области с использованием пространственных данных, технологии

создания и использования геоинформационных систем, производство геоинформационной продукции и оказание геоинформационных услуг.

**Геоинформационное картографирование** - Автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний.

**Геоинформационное пространство** - Среда, в которой функционируют цифровая геоинформация и геоизображения разных видов и назначения.

**Геоинформационные ресурсы** - Совокупность банков (баз) данных картографической и тематической информации.

**Геоинформационные технологии (ГИС–технологии)** - Совокупность приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники, позволяющая реализовать функциональные возможности ГИС.

**Геоматика** - Научно-техническое направление, объединяющее методы и средства интеграции информационных технологий сбора, обработки и использования пространственных данных, включая геоинформационные технологии.

**Геометрическая точность карты** - Степень соответствия местоположения точек на карте их местоположению в действительности.

**Геометрическое нивелирование** - Метод определения превышений путем визирования горизонтальным лучом с помощью нивелира и отсчета разности высот по рейкам. Точность отсчета по рейкам I-2 мм (техническое нивелирование) и до 0,1 мм (высокоточное нивелирование).

**Геоморфологические карты** - Отображают рельеф земной поверхности, его происхождение, возраст, формы и их размеры. Различают общие геоморфологические карты широкого содержания и частные, составляемые по отдельным признакам рельефа.

**Геопортал** - Электронный географический ресурс, размещенный в локальной сети или сети Интернет, сайт.

**Геопривязанное изображение (снимок)** - Изображение (снимок), имеющее параметры для пересчета в пространственную систему координат Земли.

**Геопространственная привязка** - Процедура пересчета координат объекта в пространственную систему координат Земли.

**Геопространственные данные** - Цифровые данные о пространственных объектах, включающие сведения об их местоположении и свойствах (пространственных и непространственных атрибутах).

**Геоцентрические координаты** - Величины, определяющие положение точек в пространстве в системе координат, у которой начало координат совпадает с центром масс Земли.

**Гидрогеологические карты** - Отображают условия залегания и распространения подземных вод; содержат данные о качестве и производительности водоносных горизонтов, положении древнего фундамента водонапорных систем и т. д.

**Гидроизобаты** - Изолинии глубин зеркала подземных вод от земной поверхности.

**Гидроизогипсы** - Изолинии отметок зеркала подземных вод относительно условной нулевой поверхности.

**Гидроизоплеты** - Изолинии влажности почвы на различных глубинах в разное время; точки одинаковых уровней воды в разных колодцах в разное время.

**Гидроизотермы** - Изолинии температуры воды в данной толще горных пород.

**Гидрологические карты** - Отображают распределение вод на земной поверхности, характеризуют режим водных объектов и позволяют оценивать водные ресурсы.

**Гидростатическое нивелирование** - Определение высот точек земной поверхности относительно исходной точки с помощью сообщающихся сосудов с жидкостью. Основано на том, что свободная поверхность жидкости в сообщающихся сосудах находится на одном уровне. Применяют для непрерывного изучения деформаций инженерных сооружений, высокоточного определения разности высот точек, разделённых широкими водными преградами, и др.

**Глазомерная съемка** - Упрощенная топографическая съемка, проводимая с помощью легкого планшета, компаса и визирной линейки для получения приближенного плана маршрута или участка местности.

**Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС)** - Система, состоящая из созвездия навигационных спутников, службы контроля и управления и аппаратуры пользователей, позволяющая определять местоположение (координаты) антенны приемника потребителя.

**Глобальная система позиционирования (GPS)** - ГНСС, разработанная в США.

**Глобус** - Картографическое изображение на поверхности шара, сохраняющее геометрическое подобие контуров и соотношение площадей. Различают: географические глобусы, отображающие поверхность Земли, лунные - поверхность Луны, небесные и др.

**ГЛОНАСС** - ГНСС, разработанная в России

**Гора** - Возвышенность на участке суши земной поверхности, куполообразной или конической формы, со склонами значительной крутизны. Относительная высота горы более 200 м.

**Горизонт** - Кривая, ограничивающая часть земной поверхности, доступную взору (видимый горизонт). Видимый горизонт увеличивается с высотой места наблюдения и обычно расположен ниже истинного (в математике) горизонта - большого круга, по которому небесная сфера пересекается с плоскостью, перпендикулярной к отвесной линии в точке наблюдения.

**Горизонталы (изогипсы)** - Замкнутые кривые линии на карте, соединяющие точки земной поверхности с одинаковой абсолютной высотой и в совокупности передающие формы рельефа.

**Горизонтальная съемка** - Вид топографической съемки, в результате которой создается плановое изображение местности без высотной характеристики ее рельефа.

**Горизонтальный угол** - Угол в горизонтальной плоскости, соответствующий двухгранному углу между двумя вертикальными плоскостями, проходящими через отвесную линию в вершине угла. Горизонтальные углы изменяются от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

**Горизонтирование** - Операция по совмещению вертикальной оси средства измерений с отвесной линией и (или) приведение визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение.

**Городская геодезическая сеть** - Предназначена для обеспечения практических задач: - топографической съемки и обновления планов города всех масштабов; - землеустройства, межевания, инвентаризации земель; - топографо-геодезических изысканий на городской территории; - инженерно-геодезической подготовки объектов строительства; - геодезического изучения локальных геодинамических природных и техногенных явлений на территории города;

- навигации наземного и частично воздушного, водного транспорта.

**Государственная геодезическая сеть** - Система закрепленных на местности пунктов, положение которых определено в единой системе координат и высот.

**Государственная нивелирная сеть** - Единая система высот на территории всей страны, она является высотной основой всех топографических съемок и инженерно-геодезических работ, выполняемых для удовлетворения потребностей экономики, науки и обороны страны.

**Гравиметрия** - Раздел науки об измерении величин, характеризующих гравитационное поле Земли и об использовании их для определения фигуры Земли, изучения ее общего внутреннего строения, геологического строения ее верхних частей, решения некоторых задач навигации и др.

**Градус** - Внесистемная единица измерения углов на плоскости или сфере, равная  $1/360$  окружности. Градус делится на 60 минут и 3600 секунд.

**Графопостроитель (плоттер, автокоординатор)** - Устройство отображения, предназначенное для вывода данных в графической форме на бумагу, пластик, фоточувствительный материал или иной носитель путем черчения, гравирования, фоторегистрации или иным способом.

## Д

**Дальномер** - Устройство, предназначенное для определения расстояния от наблюдателя до объекта.

**Дальномер лазерный** - Прибор для измерения расстояний с применением лазерного луча.

**Даты исходные геодезические** - Совокупность величин, определяющих положение референц-эллипсоида, принятого для обработки геодезической сети какой-либо страны или группы стран, относительно геоида, т. е. величин, фиксирующих положение референц-эллипсоида в теле Земли.

**Детальная разбивка кривых** - Разбивка на круговой кривой *трассы* пикетов и назначение радиусов кривых.

**Деформация сооружений** - Изменение относительного положения всего сооружения или отдельных его частей, связанное с пространственным перемещением или изменением его формы.

**Дешифрирование** - Изучение по аэроснимкам и космическим изображениям территорий, основанное на зависимости между свойствами дешифрируемых объектов и характером их воспроизведения на снимках.

**Дирекционный угол** - Плоский угол между северным направлением линии параллельной осевому меридиану зоны и направлением на предмет; отсчитывается по ходу часовой стрелки от 0 до 360°.

**Дистанционное зондирование** - Процесс получения дистанционными методами информации о поверхности Земли и др. космических тел, объектах, расположенных на ней или в ее недрах.

**Дистанционные методы** - Неконтактные методы изучения поверхности Земли, гидросферы, литосферы, атмосферы и космических тел (дистанционное зондирование, аэрогеофизические методы, сонарные съемки дна акваторий).

**Длина хода** - Расстояние между начальной и конечной точками хода, полученное как сумма длин всех сторон хода.

**Долгота** - Координата, определяющая положение точки на Земле в направлении Запад-Восток.

**Долгота географическая** - Двугранный угол, заключенный между плоскостью меридиана, проходящего через заданную точку (место наблюдения), и плоскостью начального меридиана (Гринвичского).

**Долгота геодезическая** - Двугранный угол между плоскостью геодезического меридиана данной точки и плоскостью начального геодезического меридиана (ГОСТ 22268-76).

**Долина** - Вытянутое углубление с уклоном в одном направлении, имеющее склоны различной крутизны и формы.

**Доплеровская геодезическая сеть** - Представлена 131 пунктом, взаимное положение и координаты которых определены по доплеровским наблюдениям искусственных спутников Земли системы "Транзит".

**Дюйм** - Русская и английская мера длины; 1 дюйм = 2,54 см.

3

**Задачи инженерной геодезии** - Определяются видом и составом геодезических измерений, осуществляемых для целей строительного производства.

**Замкнутый полигон** - Геодезическое построение на местности в виде ломаных линий, образующих замкнутую геометрическую фигуру.

**Засечка** - Способ определения координат точки измерением параметров на ней или на исходных пунктах с известными координатами.

**Земельный участок** - Как объект земельных отношений – часть поверхности земли (в т. ч. почвенный слой), границы которой описаны и удостоверены в установленном порядке.

**Землеустройство** - Мероприятия по изучению состояния земель, планированию и организации рационального использования земель и их охраны, образованию новых и упорядочению существующих объектов землеустройства и установлению их границ на местности, организации рационального использования гражданами и юридическими лицами земельных участков для осуществления сельскохозяйственного производства, а также по организации территорий, используемых общинами коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ и лицами, относящимися к коренным малочисленным народам Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ, для обеспечения их традиционного образа жизни.

**Зенитное расстояние** - Вертикальный угол, отсчитываемый от направления отвесной линии (астрономическое зенитное расстояние) или от нормали к эллипсоиду (геодезическое зенитное расстояние) от 0° до 180°.

**Зона обзора (спутника)** - Участок земной поверхности, с которой возможно наблюдение за спутником (прием сигналов от спутника в данный момент времени)

## И

**Изолинии** - Линии равного значения какой-либо величины на географической карте, вертикальном разрезе или графике. Изолинии дают характеристику непрерывных явлений в некоторый период или момент времени (например, изобары, изобаты). Применяются при картографировании природных и социально-экономических явлений; могут быть использованы для получения их количественной характеристики и для анализа корреляционных связей между ними.

**Изыскания инженерно-геодезические** - Комплекс работ, проводимых с целью изучения топографических условий района строительства. В нашей компании мы проводим данные работы уже более 10 лет. <http://tochno-rostov.ru/inzhenernye-izyskaniya/geodezicheskie-izyskaniya/>

**Инженерная геодезия** - Раздел геодезии, изучающий методы измерений и инструменты, используемые при инженерных изысканиях и строительстве инженерных сооружений. Составные части инженерной геодезии: топографо-геодезические изыскания, инженерно-геодезическое проектирование, разбивочные работы, выверка конструкций, наблюдения за деформациями сооружений.

**Инженерно-геодезическое проектирование** - Комплекс работ, проводимый для получения данных, необходимых для размещения сооружения в плане и по высоте.

**Интерполяция** - Восстановление функции на заданном интервале по известным ее значениям в конечном множестве точек, принадлежащих этому интервалу.

**Ионосферная задержка (при спутниковых определениях)** - Изменение скорости (задержка) распространения электромагнитного излучения, распространяющегося от спутника к приемнику при прохождении ионосферы.

## К

**Кадастр** - Систематизированный свод основных сведений о тех или иных природных объектах.

**Кадастр земельный** - Систематизированный свод достоверных сведений о природном, хозяйственном и правовом положении земель. Данные земельного кадастра используются при налоговом обложении землевладельцев, регистрации поземельных сделок, залога земель и т. п. В земельном кадастре указывается имя собственника земли, дается описание общей площади, места расположения участков, их конфигурация, состав угодий, их качество, доходность, цена земли.

**Камеральное трассирование** - Проектирование трассы по топографическим картам, планам, аэросъемочным материалам и цифровым моделям местности.

**Карта** - Построенное в картографической проекции; уменьшенное, обобщенное изображение поверхности Земли, поверхности другого небесного тела или внеземного пространства, показывающее расположенные на них объекты в определенной системе условных знаков.

**Карта общегеографическая** - Карта, отображающая совокупность основных элементов местности.

**Карта топографическая** - Общегеографическая карта масштабов от 1:1 до 1:10 000, передающая с большой точностью и подробностью основные природные и социально-экономические объекты (рельеф, растительность, гидрография, населенные пункты, дорожная сеть и т. д.) и позволяющая определять как плановое, так и высотное положение точек. Строится на жесткой геодезической основе в стабильной системе условных знаков.

**Картограмма** - Карта, показывающая штриховкой (различной густоты) или окраской (различной степени насыщенности) среднюю интенсивность какого-либо показателя в пределах каждой единицы нанесенного на карту территориального деления.

**Картографирование** - Раздел картографии, изучающий процессы, методы и технологии создания картографических произведений.

**Картографическая проекция** - Отображение поверхности эллипсоида или шара на плоскости.

**Картографическая сетка** - Изображение на карте географических меридианов и параллелей в той или иной картографической проекции. Служит для построения картографического изображения и позволяет определять по карте координаты точек.

**Картометрия** - Раздел картографии, изучающий способы измерения по картам различных географических объектов для получения их количественных характеристик.

**Картосхема** - Упрощенная карта (обычно лишенная картографической сетки), содержание которой строго ограничено элементами, важными для понимания ее сюжета.

**Кипрегель** - Геодезический инструмент для прочерчивания направлений и определения расстояний и превышений при мензуральной съемке.

**Комбинированная съемка** - Метод создания топографических карт плоскоравнинных заселенных районов, при котором по аэрофотоснимкам или фотопланам получают контурную часть карты, а рельеф воспроизводят на аэрофотоматериале в поле приемами мензуральной съемки.

**Компас** - Прибор, указывающий направление географического или магнитного меридиана; служит для ориентирования относительно сторон горизонта. Различают магнитный, механический (гирокомпас), радиоконпас (направление на радиомаяк) и др.

**Комплексное картографирование** - Многостороннее отображение на картах природных и социально-экономических явлений с учетом их взаимосвязей; осуществляется путем создания серии взаимосвязанных тематических карт или их целостного набора (например, атлас).

**Конические проекции** - Картографические проекции, параллели которых - дуги концентрических окружностей, а меридианы - их радиусы, углы между которыми пропорциональны разностям долгот; искажения конических проекций не зависят от долготы. Применяют для карт территорий, вытянутых вдоль параллелей (например Российской Федерации).

**Координатная сетка (топографическая)** - Совокупность двух семейств взаимно перпендикулярных прямых, проведенных параллельно осям прямоугольных координат и образующих прямоугольную сетку.

**Координатомер** - Прибор для измерения координат точек (ориентировочных целей и т. п.) на топографических картах с прямоугольной координатной сеткой, а также для нанесения на карты точек по известным координатам.

**Координаты** - Числа, заданием которых определяется положение точки на плоскости, поверхности или в пространстве.

**Космическая съемка** - Съемка (фотографическая, телевизионная и др.) Земли, небесных тел и космических явлений аппаратурой, находящейся за пределами атмосферы Земли (на искусственных спутниках Земли, космических кораблях и т. п.) и дающей изображения в различных областях электромагнитного спектра.

**Котловина** - Понижение, ограниченное склонами различной крутизны и формы, имеет значительные размеры.

**Красные линии** - Линии, которые обозначают существующие, планируемые (изменяемые, вновь образуемые) границы территорий общего пользования, границы земельных участков, на которых расположены сети инженерно-технического обеспечения, линии электропередачи, линии связи, трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные полосы и другие подобные сооружения.

**Красовского эллипсоид** - Земной эллипсоид, определенный из градусных измерений в 1940 под руководством Ф. Н. Красовского. Размеры референц-эллипсоида: большая полуось (радиус экватора), полярное сжатие 1:298,3.

**Кремальера** - Устройство для фокусирования зрительной трубы геодезического прибора.

**Кроки** - Чертеж участка местности, отображающий ее важнейшие элементы, выполненной при глазомерной съемке.

**Кронциркуль** - Чертежный циркуль, у которого угол между ножками устанавливается и фиксируется микрометрическим винтом.

**Крутизна склона (ската)** - Угол, образуемый направлением склона с горизонтальной плоскостью и выражаемый в угловых мерах или уклонах.

**Курвиметр** - Прибор для измерения длины кривых линий на топографических картах и планах.

**Курган** - Округлая возвышенность с четко выраженной подошвой. Относительная высота - не более 50 м. Является антропогенной формой рельефа.

## Л

**Ландшафт** - Единица физико-географического районирования территории.

**Ландшафтные карты** - Отображают размещение природно-территориальных комплексов различного ранга: фаций, урочищ, групп урочищ или местностей (на крупно - и среднемасштабных картах), ландшафтов (на мелкомасштабных картах).

**Легенда карты** - Свод условных знаков и пояснений к карте.

**Лента мерная** - Геодезический прибор, предназначенный для непосредственного измерения расстояний на местности.

**Лимб** - Плоское кольцо, разделённое штрихами на равные доли окружности (например, градусы, минуты или др.).

**Линия визирования** - Линия, определяющая направление визирной оси геодезического прибора при наведении на выбранную точку.

**Локсодромия (локсодрома)** - Линия на сфере (или какой-либо другой поверхности вращения), пересекающая все меридианы под постоянным углом  $K$ . На картах в проекции Меркатора локсодромии изображаются прямыми линиями. Используется навигацией и аэронавигацией.

**Лощина** - Вытянутое углубление с пологими склонами, имеет уклон в одном направлении. Глубина лощин - до 10 м.

## М

**Магнитное склонение** - Угловая разница между магнитным и истинным нордом (севером), обусловленная тем, что магнитный северный полюс Земли смещен относительно истинного, географического.

**Магнитные карты** - Отображают при помощи изолиний (изогон, изоклин, изодинам) распределение геомагнитного поля по поверхности Земли.

**Марка нивелирная** - Металлический диск диаметром 8-10 см с отверстием в его центре около 2 мм, вделанный снаружи в стену каменного сооружения (здания, башни, моста и т. п.) и служащий для закрепления геодезического репера, высота которой над уровнем моря определена путём нивелирования.

**Маркшейдерия** - Отрасль горной науки и техники, предметом которой является изучение на основе измерений и последующих геометрических построений структуры месторождения, формы и размеров тел полезного ископаемого в недрах, размещения в них полезных и вредных компонентов, свойств вмещающих пород, пространственного расположения выработок, процессов деформации пород и земной поверхности в связи с горными работами, а также отражение динамики производственного процесса горного предприятия.

**Масштаб** - Отношение длины линии на чертеже, плане или карте к длине соответствующей линии в натуре.

**Математическая картография** - Раздел картографии, в котором изучается математическая основа карт.

**Межевание (межевание земель)** - Комплекс градостроительных и землеустроительных работ по установлению, восстановлению и закреплению на местности границ земельного участка (как объекта недвижимости), определению его местоположения и площади. Мы активно

занимаемся данным видом работы. Более подробную информацию по услуге можно получить здесь <http://tochno-rostov.ru/kadaastrovye-raboty/mezhevanie/>.

**Мензула** - Полевой чертежный столик, состоящий из планшета, штатива и скрепляющей их подставки.

**Мензульная съемка** - Вид топографической съемки, осуществляемой с помощью кипрегеля и мензулы; в процессе мензульной съемки план с горизонталями создается графически непосредственно при съемке местности.

**Меридиан географический** - Линия сечения поверхности земного шара плоскостью, проведенной через какую-либо точку земной поверхности и ось вращения Земли. Меридиан начальный - меридиан, от которого ведется счет долготы географической; в международной практике за начальный меридиан принят Гринвичский.

**Меридиан магнитный** - Проекция силовой линии геомагнитного поля на поверхность Земли. Магнитные меридианы представляют собой сложные кривые, сходящиеся в северном и южном полюсах магнитных Земли.

**Метод наименьших квадратов** - Один из методов теории ошибок для оценки неизвестных величин по результатам измерений, содержащим случайные ошибки.

**Механическое нивелирование** - Определение высот точек земной поверхности относительно исходной точки методом автоматического вычерчивания профиля местности и измеряемому расстоянию.

**Миссия (при спутниковых определениях)** - Процедура установки в приемнике параметров условий наблюдений спутников и режимов выполнения работы.

**Монтажный горизонт** - Уровень производства строительно-монтажных работ.

## Н

**Навигационный спутник** - Спутник, который излучает радиосигнал, содержащий навигационную информацию, прием которой необходим для определения местоположения приемника потребителя.

**Навигационный спутниковый приемник** - Аппарат, состоящий из антенны, радиоприемника и вычислителя (процессора), предназначенный для приема и обработки навигационных сигналов с целью получения необходимой потребителю информации (пространственно - временных координат, направления и скорости).

**Надир** - Точка пересечения сферы небесной с отвесной линией, продолженной вниз из места наблюдения. Надир противоположен зениту.

**Небесная сфера** - Воображаемая поверхность произвольного радиуса с центром в произвольной точке, на которую проектируются небесные светила.

**Невязка** - Разность получившейся величины и той, что должна быть.

**Нивелир** - Геодезический прибор, предназначенный для определения превышений.

**Нивелирная сеть** - Система точек земной поверхности, высоты которых над уровнем моря определены нивелированием и закреплены на местности реперами.

**Нивелирование** - Определение превышений между точками земной поверхности, а затем и высот точек относительно некоторой избранной точки или над уровнем моря. Различают геометрическое, тригонометрическое и другие виды.

**Нивелирование трассы** - Вид геодезических работ, имеющий целью определение отметок точек, закрепленных на оси трассы.

**Низменность** - Вид равнины, лежащей на высоте от 0 до 200 м над уровнем Мирового океана или ниже его.

**Номенклатура топокарт и планов** - Система разграфки и обозначения отдельных листов многолистной карты.

**Нормаль** - Перпендикуляр к поверхности данной точки.

**Нормальные плоскости и сечения** - Все плоскости, проходящие через нормаль называются нормальными плоскостями, а сечение ими поверхности эллипсоида – нормальным сечением.

**Нуль глубин** - Условная поверхность, от которой даются отметки глубин на морских навигационных картах. Установленным нулем глубин в Российской Федерации для морей без

приливов (Балтийское и др.) и озер принят средний многолетний уровень; в морях с приливами (Охотское и др.) - наинизший уровень моря, выведенный по данным уровенных наблюдений.

О

**Обратная геодезическая задача** - Заключается в определении по геодезическим координатам двух точек на земном эллипсоиде длины и дирекционного угла направления между этими точками.

**Общегеографические карты** - Отображают с одинаковой подробностью основные природные и социально-экономические объекты (рельеф, растительность, гидрографию, населенные пункты, границы и др.). К крупномасштабным общегеографическим картам относятся топографические карты.

**Общеземной эллипсоид** - Эллипсоид, наилучшим образом согласующийся с поверхностью геоида в целом.

**Опорная геодезическая сеть** - Система закрепленных на местности точек, плановое положение и высота которых определены в единой системе координат на основании геодезических измерений; эти точки служат опорными пунктами при геодезических и топографических съемках.

**Опорная межевая сеть** - Геодезическая сеть специального назначения (ГССН), которая создается для геодезического обеспечения государственного земельного кадастра, мониторинга земель, землеустройства и других мероприятий по управлению земельным фондом страны.

**Ординар** - Нуль футштока на водомерных постах, фиксирующий средний многолетний уровень воды в водоемах. Колебания уровня отсчитываются выше и ниже ординара с точностью до 1 см.

**Ориентир** - Хорошо видимый на местности неподвижный предмет (естественный или искусственный) или элемент рельефа, помогающий ориентироваться на местности, определять направление при движении.

**Ориентирование линий** - Определение их направлений относительно других линий.

**Ортомозаика** - Процесс яркостного выравнивания и объединения («сшивки») нескольких ортотранс-формированных изображений (снимков) в одно непрерывное изображение (снимок) с заранее заданным изобразительным качеством.

**Ортотрансформирование (ортокоррекция) изображения (снимка)** - Математически строгое преобразование исходного изображения (снимка) в ортогональную проекцию и устранение искажений, вызванных рельефом, условиями съемки и типом камеры.

**Основная уровенная поверхность** - Поверхность, которая в каждой своей точке перпендикулярна к направлению отвесной линии и имеет постоянный потенциал силы тяжести.

**Отвесная линия** - Прямая, совпадающая с направлением действия силы тяжести в данной точке.

**Относительная высота** - Превышение, разность абсолютных высот какой-либо точки земной поверхности относительно другой точки.

**Ошибок теория** - Раздел математической статистики, посвященный построению уточненных выводов о численных значениях приближенно измеренных величин, а также об ошибках (погрешностях) измерений.

П

**Палеогеографические карты** - Отображают физико-географические условия геологического прошлого (распределение суши, моря и речной сети, характер рельефа материков, климатические особенности и т. п.).

**Палетка** - Прозрачная пластинка с нанесенной на нее сеткой линий (реже - точек), предназначенная для вычисления площадей на планах и картах, отсчета координат и т. д.

**Пантометр** - Угломерный геодезический инструмент, применявшийся при съемке лесов и торфяных болот.

**Параллакс** - Видимое изменение положение предмета (тела) вследствие перемещения глаза наблюдателя.

**Параллель** - Линия сечения поверхности земного шара плоскостью, параллельной плоскости экватора. Все точки этой линии имеют одинаковую широту.

**Пеленг** - Угол между направлением на наблюдаемый объект и одной из основных плоскостей, принятых за начало отсчета угловых координат. В морской и воздушной навигации обычно то же, что азимут.

**Пеленгация** - Определение направления на какой-либо объект - его угловых координат. Осуществляется оптическими, радиотехническими, акустическими и другими методами.

**Первый вертикал** - Плоскость перпендикулярная к меридиану.

**Перекрытие снимка** - В фотограмметрии, доля площади снимка (аэроснимка), перекрываемая смежным снимком.

**Перспективная аэрофотосъемка** - Фотографирование местности аэрофотоаппаратом, оптическая ось которого отклонена от вертикали на некоторый постоянный угол.

**Пикет** - Точка на местности (обозначенная знаком), служащая ориентиром для установки рейки при нивелировании и для закрепления трассы на местности. Закрепляет заданный интервал.

**План** - 1) Чертеж, изображающий в условных знаках на плоскости (в масштабе 1:10 000 и крупнее) часть земной поверхности (топографический план) и построенный без учета кривизны Земли. 2) Горизонтальный разрез или вид сверху какого-либо сооружения или предмета. 3) То же, что горизонтальная проекция.

**Планиметр** - Механическое или электронное устройство для измерения площадей объектов по планам и картам.

**Плановая аэрофотосъемка** - Фотографирование местности при положении оптической оси аэрофотоаппарата, близком к вертикальному.

**Плановая разбивочная основа** - Геодезическое построение на строительной площадке, обеспечивающее взаимную увязку всех проектных элементов комплекса и служащее для получения исходных данных для выноса в натуру.

**Планшет** - 1) Часть мензулы, квадратная деревянная доска (размер стороны от 40 до 70 см), на которую наклеивается чертежная бумага. 2) Дощечка или папка, на которой укрепляются компас и бумага при глазомерной съемке.

**Плоскогорье** - Обширный участок земной поверхности, представляющий собой горную равнину, характеризующуюся значительным эрозионным расчленением.

**Погрешности измерений** - Отклонение результата геодезических измерений от истинного (действительного) значения измеряемой геодезической величины.

**Полевое трассирование** - Перенос запроектированной трассы на местность с уточнением ее изменения и закрепление в натуре.

**Полигонометрический пункт** - Геодезический пункт, координаты которого определены методом полигонометрии, а положение на местности обозначено металлическими столбами или бетонными монолитами.

**Полигонометрия** - Метод построения геодезической сети в форме ломаной линии, в которой измеряют все стороны и углы.

**Поликонические проекции** - Картографические проекции, параллели которых - дуги эксцентрических окружностей, а меридианы - кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана. Применяются для карт мира.

**Полюсы магнитные Земли** - Точки на земной поверхности, где магнитная стрелка располагается по вертикали, т. е. где магнитный компас неприменим для ориентировки по странам света.

**Полярные координаты** - Система плоских координат образованная направленным прямым лучом ОХ, называемым полярной осью. Чаще всего за полярную ось принимают ось северного направления какого-либо меридиана. Начало координат - точка О - называется полюсом системы.

**Постобработка (спутниковых наблюдений)** - Окончательная обработка данных в камеральных условиях с целью получения координат пунктов.

**Превышение** - То же, что относительная высота.

**Привязка геодезическая** - Интеграция (объединение) новых геодезических данных с ранее созданными.

**Проектная линия** - Линия, определяющая положение сооружений в плане и по высоте.

**Проектный уклон** - Тангенс угла наклона проектной линии или плоскости.

**Произвольные проекции** - Картографические проекции, искажающие углы и площади.

Выделяются равнопромежуточные, сохраняющие масштаб длин по одному из направлений (например, по меридианам или параллелям), и ортодромические, в которых большие круги шара (ортодромы) изображаются прямыми. Применяются для карт мира.

**Пространственные данные** - Цифровые данные о пространственных объектах, включающие сведения об их местоположении, форме и свойствах, представленные в координатно-временной системе.

**Профиль** - Вертикальное сечение, разрез какого-либо участка земной поверхности, земной коры, гидросферы или атмосферы по заданной линии.

**Прямая геодезическая задача** - Вычисление геодезических координат - широты и долготы некоторой точки, лежащей на земном эллипсоиде, по координатам другой точки и по известным длине и дирекционному углу данного направления, соединяющей эти точки.

**Прямоугольные координаты** - Система плоских координат образованная двумя взаимноперпендикулярными прямыми линиями, называемыми осями координат  $x$  и  $y$ . Точка их пересечения называется началом или нулем системы координат. Ось абсцисс –  $Ox$ , ось ординат –  $Oy$ .

**Пункт геодезический** - Закрепленная на местности точка геодезической сети.

**Пятка рейки** - Основание рейки, предназначенное для установки ее на репер, башмак или костыль.

Р

**Равнина** - Участок земной поверхности, характеризующийся незначительными уклонами и колебаниями высот. В совокупности равнины занимают большую часть поверхности Земли и являются важнейшим элементом рельефа. Величайшая равнина мира - Амазонская (свыше 5 млн. км<sup>2</sup>).

**Равновеликие проекции (эквивалентные)** - Картографические проекции, сохраняющие на всей карте единый масштаб площадей, благодаря чему площади фигур на карте пропорциональны площадям соответствующих фигур в натуре; используются при мелкомасштабных построениях.

**Равноугольные проекции (конформные проекции)** - Картографические проекции, передающие на картах углы без искажений и сохраняющие в каждой точке постоянный масштаб по всем направлениям, хотя в разных местах карты масштаб различен. Используются для построения крупно - и среднемасштабных карт.

**Радиян** - Единица измерения плоских углов, представляющая собой центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна радиусу этой окружности. Используется обычно в теоретических расчетах.

**Радиогеодезические системы** - Комплекс радиотехнических устройств для определения координат точек фотографирования при аэрофотосъемке путем измерения с помощью радиодальномеров расстояний от самолета до точек земной поверхности с известными географическими координатами.

**Радиолокационная съемка** - Получение изображений местности с помощью радиолокационной аппаратуры, устанавливаемой на летательных аппаратах. Может проводиться в сложных метеорологических условиях и в любое время суток для изучения объектов (в т. ч. закрытых снегом, растительностью, рыхлыми отложениями и др.).

**Разбивка пикетажа** - Разбивка на круговой кривой трассы пикетов и назначение радиусов кривых.

**Разграфка карты** - Система деления многолистной карты на листы.

**Растровое изображение (растр), растровые данные** - Изображение в виде массива пикселей, полученное в результате съемки с помощью цифровых кадровых или сканерных камер, установленных на воздушных или космических носителях, или в результате сканирования изображения с фотопленки (снимка) или бумажного носителя с помощью сканирующего устройства. Растр также может быть получен путем преобразования (растрирования) векторных графических данных в растровое изображение с помощью специальных программных средств.

**Рейка** - Деревянный брус высотой 3-4 м с делениями по 1-5 см, устанавливаемый вертикально в наблюдаемых точках при нивелировании и топографической съемке.

**Рекогносцировка** - Осмотр и обследование местности с целью выбора положения геодезических опорных пунктов для обоснования топографических съёмок и ходов.

**Рельеф** - Совокупность неровностей суши, дна океанов и морей, разнообразных по очертаниям, размерам.

**Репер** - Знак пункта с известной абсолютной высотой - металлический диск с выступом (или с отверстием - марка), закрепляемый в стенах долговременных сооружений, или бетонный монолит, заложенный в грунт.

**Референц-эллипсоид** - Эллипсоид, служащий вспомогательной математической поверхностью, к которой приводят результаты геодезических измерений на земной поверхности. В Российской Федерации принят эллипсоид Красовского.

**Рефракция** - Различные виды и проявления рефракционных электромагнитных волн, обусловленные искривлением траектории распространения этих волн и сопутствующие всевозможным геодезическим измерениям.

**Рулетка измерительная** - Измерительный инструмент, предназначенный: для измерения протяженных линейных объектов (до 100 м), и для разметки помещений. При выполнении геодезических работ всегда используется при измерении высоты прибора, промеров зданий и т. п. Основным элементом рулетки является гибкая лента, отградуированная в метрической или иной системе измерения.

**Румб** - Угол между меридианом и данным направлением, отсчитываемый от меридиана в обе стороны от 00 до 900; в морской навигации - мера угла окружности горизонта, разделенного на 32 румба (в метеорологии на 16).

С

**Сближение меридианов** - Угол, который образует касательная к изображению какого-либо меридиана с первой координатной осью (абсцисс) данной проекции, являющейся обычно изображением среднего (осевого) меридиана отображаемой территории.

**Светодалномер** - Прибор для измерения расстояний по времени прохождения оптическим излучением (светом) измеряемого расстояния.

**Север (точка севера)** - Точка пересечения математического горизонта с небесным меридианом, ближайшая к Северному полюсу мира.

**Северный полюс** - Точка пересечения оси вращения Земли с ее поверхностью в Северном полушарии.

**Седловина** - Понижение на водоразделе между двумя возвышенностями.

**Сечение рельефа** - Разность высот двух последовательных горизонталей на топографической карте или плане.

**Сигнал геодезический** - Сооружение в виде двойной пирамиды высотой 40-50 м, служащее геодезическим знаком для точек государственной геодезической сети высокой точности.

**Система WGS-84** - Всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года, используемая в GPS, в число которых входит система геоцентрических координат.

**Система координат** - Набор математических правил, описывающих, как координаты должны быть соотнесены с точками пространства.

**Система координат проекции** - Двухмерная система координат, образованная в результате картографического проектирования.

**Система ПЗ-90** - Российская система геодезических параметров Земли 1990 года, используемая в ГЛОНАСС, в число которых входит система геоцентрических координат.

**Системная шкала времени (СШВ)** - Шкала времени высшей точности, предназначенная для синхронизации работы всех сегментов ГНСС, формируется и поддерживается наиболее стабильными эталонами времени, расположенными в системах контроля и управления и связанными с национальными стандартами частоты.

**Служба широты** - Проведение астрономическими учреждениями (более 40 обсерваториями мира) исследований изменения географической широты места их нахождения, отражающих изменение положения полюсов на поверхности Земли (или оси вращения в теле Земли). Руководство службой широты осуществляется международной службой движения полюса.

**Спутниковые (геодезические) определения** - Определение координат пунктов или приращений координат между пунктами, основанное на обработке измерительной информации, поступающей со спутников ГНСС.

**Спутниковые геодезические сети** - Геодезические сети, создаваемые методами спутниковых определений.

**Створ** - Вертикальная плоскость, проходящая через две точки.

**Стереопара** - Два изображения одного участка местности, принадлежащие фотоснимкам, полученным при разных положениях центра проектирования.

**Стереотопографическая съемка (стереофотограмметрическая съемка)** - Метод создания оригинала топографической карты, основанный на обработке фотографических изображений местности способами стереофотограмметрии. В результате стереотопографической съемки определяют плановое и высотное положение точек местности, дешифрируют аэроснимки, проводят стереоскопическую рисовку рельефа и составляют оригинал карты.

**Стереофотограмметрические приборы** - Оптико-механические и электронные устройства, дополненные в ряде случаев компьютерами и средствами автоматизации; позволяют по стереоскопическим снимкам местности (стереопарам) определять размеры, форму и положение (координаты) изображенных на них объектов, а также вычерчивать топографические планы и карты.

**Стереофотограмметрия** - Раздел фотограмметрии, изучающий методы измерения объемных форм (например, рельефа местности) по стереопаре фотоснимков, основанные на использовании стереоскопического эффекта и измерении объемной модели местности специальными стереометрическими приборами.

**Стратоизогипсы** - Изолинии абсолютной или относительной отметок поверхности любых геологических тел (пласта, интрузивного тела и т. д.). Используются на картах подземного рельефа или структурных картах.

**Строительная сетка** - Система квадратов и прямоугольников со сторонами 100-200 м параллельными основным осям сооружений. Ее проектируют на генплане, размещая стороны фигур по возможности ближе к проектируемым сооружениям. За начало координат условной системы для удобства вычислений выбирают пункт сетки, расположенный в юго-западном углу стройплощадки.

**Съемка ситуации** - Геодезические измерения на местности для последующего нанесения на план ситуации (контуров и предметов местности).

**Съемки топографические** - Полевые и камеральные работы с целью составления планов и карт земной поверхности.

## Т

**Тахеометр** - Геодезический прибор для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов. Автоматические тахеометры позволяют определить углы и расстояния без вычислений.

**Тахеометрическая съемка** - Вид топографической съемки, при которой горизонтальные и вертикальные углы измеряются по кругам тахеометра, а расстояния до объектов - по его дальномеру. Служит для создания плана участка местности с горизонталями при инженерных изысканиях, геологических, гидрологических и других исследованиях.

**Теодолит** - Геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов или зенитных расстояний.

**Теодолитная съемка** - Горизонтальная геодезическая съёмка местности, выполняемая для получения контурного плана местности (без высотной характеристики рельефа) с помощью теодолита.

**Топографическая съемка** - Совокупность работ по созданию оригинала топографической карты методами аэрофототопографии или для небольших участков местности путем наземных съемок (мензульная, тахеометрическая и др.). Компания "Точно" уже много лет практикует данный вид работ: <http://tochno-rostov.ru/topograficheskaya-semka/>

**Топографические условные знаки** - Символические графические обозначения, применяемые на топографических картах для изображения объектов местности и их качественных и количественных характеристик. Различают масштабные (площадные и линейные), внемасштабные и пояснительные знаки.

**Точность масштаба** - Предельная - отрезок величиной 0,1 мм, графическая - 0,2 мм.

**Трасса** - Ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности или нанесенная на карте.

**Трассоискатель** - Прибор для определения местоположения и глубины залегания подземных коммуникаций, по которым протекает ток (например, силовых кабелей, трубопроводов).

**Триангуляция** - Метод определения положения геодезических пунктов построением на местности систем смежно расположенных треугольников, в которых измеряют длину одной стороны (по базису) и углы, а длины других сторон получают тригонометрически. Основной метод создания опорной геодезической сети и градусных измерений.

**Тригонометрический пункт (триангуляционный пункт)** - Геодезический пункт, координаты которого получены триангуляцией; положение на местности обозначается деревянным или металлическим сооружением в виде пирамиды.

**Тригонометрическое (геодезическое) нивелирование** - Метод определения превышений по измеренному углу наклона линии визирования с одной точки на другую и расстоянию между этими точками. Применяется при топографической съемке и других работах.

**Трилатерация** - Метод определения положения геодезических пунктов построением на местности систем смежно расположенных треугольников, координаты вершин и углы которых определяются тригонометрически, а длины сторон - с помощью дальномеров.

**Тропосферная задержка (при спутниковых определениях)** - Изменение скорости (задержка) распространения электромагнитного излучения, распространяющегося от спутника к приемнику при прохождении тропосферы (неионизированной части атмосферы).

У

**Угол наклона (крутизна ската)** - Вертикальный угол, отсчитываемый от горизонтальной плоскости вверх от  $0^\circ$  до  $+90^\circ$ , и вниз от  $0^\circ$  до  $-90^\circ$ .

**Угол поворота трассы** - Угол с вершиной, образованной продолжением направлений предыдущей стороны и направлением последующей стороны.

**Указатели склона** - То же, что бергштрихи.

**Уклон** - Показатель крутизны склона; отношение превышения местности к горизонтальному протяжению, на котором оно наблюдается (например, уклон, равный 0,015, соответствует подъему 15 м на 1 000 м расстояния).

**Уклонение отвесных линий** - Угол, образованный при несовпадении отвесной линии проведенной в точке на земной поверхности перпендикулярно геоиду с проведенной в этой же точке перпендикулярно к эллипсоиду нормалью.

**Универсальная программа обработки (спутниковых наблюдений)** - Программа, позволяющая выполнять постобработку спутниковых определений, выполненных приемниками различных систем ГНСС, а также измерения выполненные другими системами (например, системами лазерной локации спутников, системами длиннобазисной радиоинтерферометрии) (Bernes, GYPSY, GAMIT и др.).

**Универсальный инструмент** - Переносный угломерный инструмент для решения многих задач практической астрономии и геодезии, в частности для измерения координат (высот и азимутов) небесных светил и земных ориентиров.

**Уравнивание** - Совокупность математических операций, выполняемых для получения вероятнейшего значения геодезических координат точек земной поверхности и для оценки точности результатов измерений.

**Уровенная поверхность** - Во всех ее точках потенциал силы тяжести имеет одинаковое значение. Уровенная поверхность гравитационного поля Земли совпадает со средним уровнем воды Мирового океана.

**Уровень** - Приспособление для проверки горизонтальности линий и поверхностей и измерения малых углов наклона. Основная часть - заполненная легкой жидкостью (за исключением небольшого объема "пузырька") стеклянная ампула.

## Ф

**Фокусное расстояние** - Расстояние от главного фокуса линзы до ее оптического центра.

**Фотограмметрия** - Определение форм, размеров и положения объектов по их фотографическим изображениям.

**Фотокарты** - Сочетают плановое фотографическое изображение местности с ее картографическим изображением (например, рельеф показывается горизонталями и т. д.).

**Фототопография** - Раздел топографии, изучающий методы создания топографических карт по материалам наземной фотосъемки.

**Фототриангуляция** - Метод определения координат точек местности по фотоснимкам.

**Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС)** - Сеть, обеспечивающая высший уровень точности общеземной геоцентрической координатной системы на территории России. Характеризуется ошибками определения координат пунктов относительно центра масс Земли, не превышающими 15 см, и ошибками взаимного положения, не превышающими 2 см. Средние расстояния между пунктами км. Значительную часть метода создания данной сети составляют спутниковые определения

**Фундаментальные каталоги** - Звездные каталоги, фиксирующие на небе с максимальной точностью фундаментальную систему небесных экваториальных координат – основу для изучения движений небесных светил и определения астрономических координат, времени и азимута для точек на поверхности Земли.

## Х

**Херстмонсо (Hurstmonceaux)** - Замок 15 в., современное местонахождение Гринвичской астрономической обсерватории.

**Холм** - Небольшая возвышенность на участке суши земной поверхности, округлой или овальной формы с пологими (не более 30°) склонами и слабо выраженным подножием. Относительная высота не более 200 м.

**Хребет** - Горная возвышенность, вытянутая в одном направлении. Самым длинным хребтом являются Анды (8500 км).

## Ц

**Центр геодезический** - Подземное сооружение из бетона, железобетона, камня или металла, фиксирующее на местности положение геодезического пункта и рассчитанное на длительную сохранность.

**Центрирование** - Операция по совмещению вертикальной оси средства измерений с отвесной линией, проходящей через пункт относимости геодезических измерений.

**Цилиндрические проекции** - Картографические проекции, меридианы которых - равноотстоящие параллельные прямые, а параллели - перпендикулярные им прямые. Применяются для изображения областей, вытянутых вдоль экватора или какой-либо

параллели. В навигации используется проекция Г. Меркатора, а при создании топографических карт - равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция.

**Циркуль-измеритель** - Чертежный инструмент для измерения отрезков на карте (плане) или аэрофотоснимке с одновременным их увеличением и уменьшением в необходимое число раз.

**Цифровая модель местности** - Цифровая картографическая модель, содержащая данные об объектах местности и ее характеристиках.

## Ч

**Части света** - Регионы суши Земли, включающие материки или их крупные части вместе с близлежащими островами. Обычно выделяют 6 частей света Европу, Азию (один материк Евразия), Африку, Австралию, Америку (два материка - Южная Америка и Северная Америка), Антарктиду; иногда Океанию. Деление суши на части света сложилось исторически и отличается от деления на материки, а также на Старый и Новый Свет.

## Ш

**Широта** - Одна из координат в ряде систем сферических координат, определяющая положение точек на поверхности Земли, Солнца, планет и на небесной сфере относительно экватора (эклиптики).

**Широта геомагнитная** - Угловое расстояние от экватора геомагнитного до рассматриваемой точки земной поверхности. Отсчитывается вдоль большого круга, проходящего через данную точку и полюсы геомагнитные.

**Штатив** - Приспособление, чаще всего в виде складной треноги или струбцины, для жесткой фиксации приборов.

## Э

**Экватор** - Линия сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через центр Земли, перпендикулярно оси ее вращения. Делит земной шар на Северное и Южное полушария. Служит началом счета широты географической. Длина около 40 076 км.

**Экватор магнитный** - Геометрическое место точек на земной поверхности, в которых наклонение магнитное равно нулю.

**Экер** - Портативный геодезический инструмент для определения планового положения пунктов путем построения на местности углов, кратных  $90^\circ$  или  $45^\circ$  (призмённые и коробчатые экеры) или равных  $90^\circ$  (двухзеркальные экеры). Применяется при съемке небольших участков местности.

**Эклиметр** - Портативный геодезический прибор для измерения углов наклона на местности.

**Эклиптика** - Большой круг небесной сферы, наклоненный к небесному экватору под углом примерно  $23^\circ 27'$ , по которому перемещается центр Солнца в его видимом годичном движении, отражающим движение Земли по ее орбите.

**Электронная карта** - Цифровая картографическая модель, сформированная на машинном носителе с использованием программных и технических средств (ГИС) в принятой проекции, системе координат и высот, условных знаках, предназначенных для отображения, анализа и моделирования, а также решения информационных и расчетных задач по данным о местности и обстановке.

**Эпоха (навигационного спутника)** - Момент времени, в который спутник находится в некоторой точке орбиты.

## Ю

**Юг (точка юга)** - Точка пересечения математического горизонта с небесным меридианом, ближайшая к Южному полюсу мира. Обозначается Ю или S.

**1. Наука, изучающая форму, размеры земного шара или отдельных участков ее поверхности путем измерений**

- 1) топография;
- 2) картография;
- 3) геодезия;
- 4) геология;

**2. Поверхность, образованная как условное продолжение мирового океана под материками — это:**

- 1) физическое поверхность;
- 2) основная уровневая поверхность;
- 3) горизонтальная поверхность;
- 4) поверхность эллипсоида.

**3. Фигура Земли, образованная уровневой поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия, согласно продолжена под материками — это:**

- 1) в-земной эллипсоид;
- 2) геоида;
- 3) референц-эллипсоид;
- 4) земной шар.

**4. Приближение формы поверхности земли (геоида) до эллипсоида вращения, который используется для нужд геодезии на определенной части земной поверхности:**

- 1) квазигеоида;
- 2) рівнева поверхность;
- 3) референц-эллипсоид;
- 4) земной эллипсоид.

**5. Размеры земного эллипсоида характеризуют:**

- 1) длины параллелей и меридианов;
- 2) широта и долгота;
- 3) средний радиус Земли;
- 4) длина большой полуоси и полярное сжатия.

**6. Линии сечения поверхности эллипсоида плоскостями, которые проходят через ось вращения Земли, — это:**

- 1) меридианы;
- 2) параллели;
- 3) нормали;
- 4) отвесные линии.

**7. Линии сечения поверхности эллипсоида плоскостями, которые перпендикулярные оси вращения Земли, — это:**

- 1) меридианы;
- 2) параллели;
- 3) нормали;
- 4) отвесные линии.

**8. Три величины, две из которых характеризуют плановое положение, а третья является высотой точки над поверхностью земного эллипсоида — это:**

- 1). Декартовы координаты;
- 2) топоцентрични координаты;
- 3) геодезические координаты;

4) геоцентрические координаты.

**9. Угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора (вверх или вниз от экватора) — это:**

- 1) геодезическая долгота;
- 2) геодезическая широта;
- 3) астрономическая долгота;
- 4) астрономическая широта.

**10. двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана (вправо или влево от нулевого меридиана) — это:**

- 1) геодезическая долгота;
- 2) геодезическая широта;
- 3) астрономическая долгота;
- 4) астрономическая широта.

**11. Высота точки над поверхностью земного эллипсоида — это:**

- 1) геодезическая высота;
- 2) ортометрической высота;
- 3) динамическая высота;
- 4) нормальная высота.

**12. Высота точки, определяется относительно основной уровневой поверхности, — это:**

- 1) относительная высота;
- 2) абсолютная высота;
- 3) аппликанта точки;
- 4) геодезическая высота.

**13. В Украине абсолютные высоты определяются в:**

- 1) Днепровской системе высот
- 2) Балтийской системе высот
- 3) Черноморской системе высот
- 4) Азовской системе высот.

**14. Разница высот двух точек — это:**

- 1) превышение;
- 2) приросты аппликату;
- 3) приросты абсцисс;
- 4) приросты ординат.

**15. Во нивелировании понимают полевые работы, в результате которых определяют:**

- 1) превышение между отдельными точками;
- 2) прямоугольные координаты точек;
- 3) полярные координаты точек;
- 4) геодезические координаты точек.

**16. миниатюрное изображение части земной поверхности, созданное без учета кривизны Земли — это:**

- 1) карта местности;
- 2) план местности;
- 3) профиль местности;
- 4) абрис местности.

**17. Уменьшение обобщенное изображение на плоскости всей или значительной части**

**земной поверхности, составленное в принятой картографической проекции с учетом кривизны Земли — это:**

- 1) карта местности;
- 2) план местности;
- 3) профиль местности;
- 4) абрис местности.

**18. Изображения на плоскости вертикального сечения поверхности местности в заданном направлении — это:**

- 1) карта местности;
- 2) план местности;
- 3) профиль местности;
- 4) абрис местности.

**19. Совокупность указанных на плане контуров и объектов местности — это:**

- 1) рельеф;
- 2) ситуация;
- 3) профиль;
- 4) абрис.

**20. Неровности земной поверхности естественного происхождения — это:**

- 1) рельеф местности;
- 2) ситуация местности;
- 3) профиль местности;
- 4) абрис местности.

**21. В случае контурного (горизонтального) съемка на карте или на плане изображается:**

- 1) рельеф местности;
- 2) ситуация местности;
- 3) профиль местности;
- 4) рельеф и ситуация местности.

**22. В случае топографической съемки на карте или на плане изображается:**

- 1). контуры объекта;
- 2) границы смежных участков;
- 3) профиль местности;
- 4) рельеф и ситуация местности.

**23. В случае кадастрового снятия на плане изображается:**

- 1) рельеф местности;
- 2) профиль местности;
- 3) рельеф и ситуация местности;
- 4) контуры объекта, ситуация и границы смежных участков. +

**24. Основной картографической проекцией для топографо-геодезических работ в Украине принята:**

- 1) проекция Меркатора;
- 2) проекция координат Зольднера;
- 3) проекция Гаусса-Крюгера;
- 4) проекция Сансона.

**25. В системе координат, построенной на основе проекции Гаусса-Крюгера за ось абсцисс (x) принимается:**

- 1) осевой меридиан зоны;

- 2) меридиан данной точки;
- 3) Гринвичский меридиан;
- 4) экватор.

**26. В системе координат, построенной на основе проекции Гаусса-Крюгера за ось ординат (у) принимается:**

- 1) осевой меридиан зоны;
- 2) меридиан данной точки;
- 3) Гринвичский меридиан;
- 4) экватор.

**27. В системе координат, построенной на основе проекции Гаусса-Крюгера ордината точки составляет  $y = 6520000$  м, следовательно данная точка находится в координатной зоне номер:**

- 1) 6;
- 2) 5;
- 3) 2;
- 4) 52)

**28. В системе координат, построенной на основе проекции Гаусса-Крюгера ордината точки составляет  $y = 5420000$  м, следовательно данная точка находится в координатной зоне номер:**

- 1) 5;
- 2) 4;
- 3) 2;
- 4) 42)

**29. Осевой меридиан на топографической карте совпадает или параллельный:**

- 1) с горизонтальными линиями километровой сетки
- 2) с вертикальными линиями километровой сетки +
- 3) с горизонтальными линиями внутренней рамки карты;
- 4) с вертикальными линиями внутренней рамки карты.

**30. Географические координаты точки определяются:**

- 1) абсциссой и ординатой;
- 2) широтой и долготой;
- 3) меридианами и параллелями;
- 4) углами и длинами линий.

**31. Прямоугольные геодезические координаты точки определяются:**

- 1) абсциссой и ординатой;
- 2). широтой и долготой;
- 3) меридианами и параллелями;
- 4) углами и длинами линий.

**32. За начало отсчета координат в проекции Гаусса-Крюгера принимается:**

- 1). точка пересечения Гринвичского меридиана и линии экватора;
- 2) точка пересечения географического меридиана и линии экватора;
- 3) точка пересечения проекций осевого меридиана данной зоны и линии экватора;
- 4) точка пересечения магнитного меридиана и линии экватора.

**33. Геодезия изучает?**

- 1) Земную поверхность .
- 2) Строение земной коры.

- 3)Растительность.
- 4)Поверхность морей и океанов.

**34. Земля имеет форму?**

- 1)Шара.
- 2)Сферы.
- 3)Эллипсоида.
- 4)Эллипсоида вращения.

**35. Условное изображение на топографическом плане?**

- 1)Вертикальный разрез местности.
- 2)Геология.
- 3)Местность.
- 4)Страны света.

**36. Влияние кривизны поверхности Земли на измерения длин и высот. Это влияние ничтожно мало на площади радиусом?**

- 1)10км.
- 2)100км.
- 3)200км.
- 4)150км.

**37. Система координат в геодезии на планах?**

- 1)Полярная
- 2)Прямоугольная.
- 3)Круглая.
- 4)Географические координаты.

**38. Принятая в Узбекистане картографическая проекция?**

- 1)Ломоносова.
- 2)Улугбека.
- 3)Гаусса-Крюгера.
- 4)Лапласа.

**39. Топографическая карта это?**

- 1)График.
- 2)Условное изображение земной поверхности .
- 3)Чертеж.
- 4)Профиль.

**40. Точность масштаба 1: 500?**

- 1)1метр.
- 2)0,5м.
- 3)0,05м.
- 4)0,1м.

**41. Ориентирование линий означает направление относительно?**

- 1)Стран света.
- 2)Экватора.
- 3)Меридиана.
- 4)Южного полюса.

**42. Номенклатура топографической карты определяет ее?**

- 1)Систему координат.
- 2)Систему высот.

- 3) Масштаб.
- 4) Страны света.

**43. Условные знаки топографической карты бывают?**

- 1) Контурные.
- 2) Размерные.
- 3) Безразмерные.
- 4) Цветные.

**44. Рельеф изображают?**

- 1) Возвышенностями.
- 2) Горизонталями.
- 3) Уклонами.
- 4) Низинами.

**45. График заложений отражает?**

- 1) Гору.
- 2) Котловину.
- 3) Крутизну ската в метрах.
- 4) Крутизну ската в градусах.

**46. Внутренняя рамка топографической карты имеет вид?**

- 1) Прямоугольника.
- 2) Трапеции.
- 3) Квадрата.
- 4) Полосы.

**47. Западная и восточная стороны листа топографической карты являются отрезками?**

- 1) Меридианов.
- 2) Параллелей.
- 3) Квадратов.
- 4) Прямоугольников.

**48. Северная и южная стороны топографической карты являются отрезками?**

- 1) Параллелей.
- 2) Меридианов.
- 3) Квадратов.
- 4) Прямоугольников.

**49. Что указано на горизонтальных линиях координатной сетки?**

- 1) Ординаты.
- 2) Абсциссы.
- 3) Абсолютные отметки.
- 4) Высоту рельефа.

**50. Что указано на вертикальных линиях координатной сетки?**

- 1) Ординаты.
- 2) Абсциссы.
- 3) Абсолютные отметки.
- 4) Высоту рельефа.

**51. Долгота и широта имеют значения в?**

- 1) Градусах.
- 2) Метрах.

- 3) Километрах .
- 4) В целых числах километров.

**52. Абсциссы и ординаты имеют значения в?**

- 1) Градусах.
- 2) Километрах и метрах.
- 3) Абсолютных отметках.
- 4) Относительных отметках.

**53. Основу номенклатуры топографических карт составляет карта масштаба?**

- 1) 1 : 1 000 000 .
- 2) 1 : 2 000 000.
- 3) 1 : 10 000 000
- 4) 1 : 10 000.

**54. Размер рамки листа карты 1 : 1 000 000 по долготе и широте ?**

- 1) 6 на 4 градусов .
- 2) 4 на 6 градусов.
- 3) 6 на 6 градусов.
- 4) 10 на 10 градусов.

**55. Лист карты 1 : 1 000 000 делится на листы 1 : 100 000 в количестве?**

- 1) 100.
- 2) 144.
- 3) 150.
- 4) 200.

**56. Лист карты 1 : 100 000 делится на листы 1 : 50 000 в количестве?**

- 1) 10.
- 2) 4.
- 3) 20.
- 4) 100.

**57. Лист карты 1 : 50 000 делится на листы 1 : 25 000 в количестве?**

- 1) 10.
- 2) 4.
- 3) 20.
- 4) 100.

**58. Лист карты 1 : 25 000 делится на листы 1 : 10 000 в количестве?**

- 1) 10.
- 2) 4.
- 3) 20.
- 4) 100.

**59. Какая номенклатура у листа карты 1 : 1 000 000?**

- 1) М-41.
- 2) М-41-60.
- 3) М-41-60-А.
- 4) М-41-60-А-Г

**60. Какая номенклатура у листа карты 1 : 100 000?**

- 1) М-41-144.
- 2) М-41-60-А.

- 3)М-41-60-А-г
- 4)М-41-60-А-г-4

**61.Какая номенклатура у листа карты 1 : 50 000?**

- 1)М-41-60.
- 2)М-41-60-А.
- 3)М-41-60-А-г
- 4)М-41-60-А-г-4

**62.Какая номенклатура у листа карты 1 : 25 000?**

- 1)М-41-60.
- 2)М-41-60-А.
- 3)М-41-60-А-г.
- 4)М-41-60-А-г-4

**63.Какая номенклатура у листа карты 1 : 10 000?**

- 1)М-41-60.
- 2)М-41-60-А.
- 3)М-41-60-А-г.
- 4)М-41-60-А-г-4.

**64.В углах рамки топографической карты указывается?**

- 1)Широта и долгота.
- 2)Расстояние.
- 3)Угол.
- 4)Азимут.

**65.Способ определения площади по карте?**

- 1)По отметкам.
- 2)Квадратной палеткой.
- 3)По дирекционному углу.
- 4)По компасу.

**66.Построить профиль по карте можно?**

- 1)По горизонталям.
- 2)По вертикалям.
- 3)По координатам.
- 4)По углам.

**67. В поле зрения зрительной трубы теодолита мы видим?**

- 1)Цилиндрический уровень.
- 2)Круглый уровень.
- 3)Сетку нитей.
- 4)Отсчетное устройство углов.

**68. Главное условие нивелира?**

- 1)Коллимационная погрешность.
- 2)Место нуля не равно нулю.
- 3)Визирная ось параллельна оси цилиндрического уровня -1.
- 4)Визирная ось параллельна оси круглого уровня.

**69.Техническое нивелирование выполняют?**

- 1)Рулеткой.
- 2)Рейкой с уровнем.

- 3) Отвесом.
- 4) Нивелиром типа НЗ .

**70. Теодолиты и тахеометры бывают?**

- 1) Точные и высокоточные.
- 2) Большой точности.
- 3) Самоустанавливающиеся.
- 4) Малой точности.

**71. В теодолите должно соблюдаться условие?**

- 1) Перпендикулярность визирной оси к оси вращения зрительной трубы
- 2) Прямолинейность визирной оси.
- 3) Параллельность визирной оси к оси уровня.
- 4) Равенство длин визирных линий.

**72. Способ измерения горизонтальных углов?**

- 1) Приемов и повторений.
- 2) Наведением дальномерных нитей на цель
- 3) Способ створов.
- 4) Способ перпендикуляров.

**73. Основные ошибки измерения углов возникают из-за?**

- 1) Неточного центрирования.
- 2) Солнечной радиации.
- 3) Слабого ветра.
- 4) Прохладной погоды.

**74. На точность измерения вертикального угла влияет?**

- 1) Коллимационная погрешность.
- 2) Неравенство подставок.
- 3) Неизвестная величина места нуля.
- 4) Разная длина ножек штатива.

**75. К приборам измерения длин относят ?**

- 1) Дальномеры и рулетки.
- 2) Нивелиры.
- 3) Буссоли.
- 4) Гониометры.

**76. Косвенное измерение линий?**

- 1) Рулеткой.
- 2) Рейкой.
- 3) Буссолью.
- 4) Определение неприступного расстояния.

**77. Какого типа дальномер имеется в сканере и электронном тахеометре?**

- 1) Нитяной.
- 2) Шкаловой.
- 3) Лазерный.
- 4) Дифференциальный.

**78. Государственная геодезическая сеть это?**

- 1) Сеть 1 – 4 класса.
- 2) Сеть 5-10 класса.

- 3) Сеть 10-15 класса.
- 4) Сеть 15-20 класса.

**79. Приборы задания направлений и плоскостей?**

- 1) Рулетки.
- 2) Рейки.
- 3) Теодолиты и нивелиры.
- 4) Штативы.

**80. Центры и наружные знаки геодезической сети?**

- 1) Геодезический сигнал.
- 2) Геодезический уровень.
- 3) Обратный отвес.
- 4) Стрелочный перевод.

**81. Методы развития геодезических сетей ?**

- 1) Метод триангуляции.
- 2) Метод параллелей.
- 3) Метод визирования.
- 4) Глазомерный метод.

**82. Геодезические сети сгущения ?**

- 1) Нивелирования 1 класса.
- 2) Триангуляция 1 класса.
- 3) Астрономическая сеть.
- 4) Теодолитные ходы.

**83. Государственная нивелирная сеть ?**

- 1) Нивелирный ход.
- 2) Теодолитный ход.
- 3) Мензурная съемка.
- 4) Нивелирная сеть I –IV класса.

**84. Методы нивелирования?**

- 1) Геометрический.
- 2) Астрономический.
- 3) Лунный.
- 4) Солнечный.

**85. К геодезическим сетям относят?**

- 1) Нивелирную сеть.
- 2) Северную сеть.
- 3) Южную сеть.
- 4) Западную сеть.

**86. Что измеряют в теодолитном ходе?**

- 1) Измеряют углы и длины линий.
- 2) Измеряют превышения.
- 3) Измеряют вертикальные углы.
- 4) Вычисляют превышения.

**87. Что измеряют в нивелирном ходе?**

- 1) Измеряют горизонтальные углы.
- 2) Измеряют превышения.

- 3) Измеряют направления.
- 4) Измеряют истинный азимут.

**88. Какие приемники используют при спутниковой навигации?**

- 1) Спутниковые приемники.
- 2) Солнечные приемники.
- 3) Лунные приемники.
- 4) Астрономические азимуты.

**89. Трассирование линейных сооружений на местности выполняют?**

- 1) Циркулем.
- 2) Угломером.
- 3) Теодолитом.
- 4) Окуляром.

**90. Разбивку пикетов и поперечников начинают от?**

- 1) Начала трассы.
- 2) Вершины кривой.
- 3) Центра радиуса круговой кривой.
- 4) Уреза воды в реке.

**91. Элементы закруглений вычисляют?**

- 1) По радиусу и углу поворота.
- 2) По длине трассы.
- 3) По уклону трассы.
- 4) По руководящему уклону.

**92. Нивелирование трассы и поперечников выполняют?**

- 1) Нивелиром.
- 2) Теодолитом.
- 3) Буссолью.
- 4) Штативом.

**93. От чего зависит уклон трассы?**

- 1) От вида и класса трассы.
- 2) От величины радиуса круговой кривой.
- 3) От длины кривой.
- 4) От пикетажа.

**94. Вид геодезической съемки?**

- 1) Тахеометрическая.
- 2) Прямая засечка.
- 3) Международная.
- 4) Гражданская.

**95. Горизонтальная съемка выполняется?**

- 1) Теодолитом.
- 2) Буссолью.
- 3) Барометром.
- 4) Нивелиром.

**96. Тахеометрическая съемка выполняется?**

- 1) Тахеометром.
- 2) Теодолитом.
- 3) Нивелиром.

4) Барометром.

**97. Способы геодезических разбивок?**

- 1) Створов и перпендикуляров.
- 2) Лазерный.
- 3) Дальномерный.
- 4) Вертикальный.

**98. Геодезическая подготовка выноса проекта в натуру?**

- 1) По горизонталям.
- 2) По вертикалям.
- 3) По проектным чертежам.
- 4) По указанию начальника.

**99. Вынос проектных точек в плане?**

- 1) Теодолитом.
- 2) Штативом.
- 3) Подъемными винтами.
- 4) Нивелиром.

**100. Вынос проектных отметок по высоте?**

- 1) Штативом.
- 2) Нивелиром.
- 3) Объективом.
- 4) Теодолитом.

**101. Способы детальной разбивки кривой?**

- 1) Построением заданных углов и линий.
- 2) Построением заданной высоты.
- 3) Построением вертикали.
- 4) Построением горизонтали.

**102. Контроль установки колонн по вертикали выполняют?**

- 1) Теодолитом.
- 2) Курвиметром.
- 3) Диоптрийным кольцом.
- 4) Подъемными винтами.

**103. Ориентировать линию значит?**

- 1) Определить ее положение относительно направления, принятого за начальное.
- 2) Найти длину ее горизонтальной проекции.
- 3) Определить высоту ее начальной и конечной точки.
- 4) Нанести на план или карту горизонтальную проекцию линии.

**104. Длина отрезка на плане 1 : 2000 составляет 15,85 см. в этом случае на местности ее длина равна?**

- 1) 31,7м.
- 2) 317м .
- 3) 3170м.
- 4) 3,17м.

**105. Координатами точки в геодезии называют?**

- 1) Расстояние от начала координат до данной точки.
- 2) Длина проекции линии на координатные оси.

- 3) Угловые и линейные величины определяющие положение точки на поверхности Земли или в пространстве.
- 4) Положение точки на координатной плоскости.

**106. Геодезические угловые измерения на местности производят с помощью?**

- 1) Транспортира.
- 2) Теодолита.
- 3) Ватерпаса.
- 4) Нивелира.

**107. Отсчеты на заднюю точку (А) составляют: по черной стороне рейки 1125, по красной 5810; отсчеты на переднюю точку (В) составляют: по черной стороне рейки 1553, по красной 6240. В этом случае среднее превышение будет равно?**

- 1) -430мм.
- 2) -428мм.
- 3) -4885мм.
- 4) -429мм.

**108. Визирной осью зрительной трубы называется?**

- 1) Линия, проходящая через коллиматорный визир и визирную цель.
- 2) Горизонтальная ось вращения зрительной трубы теодолита.
- 3) Линия, проходящая через центр горизонтального лимба и визирную цель.
- 4) Линия, проходящая через центр сетки нитей и оптический центр объектива.

**109. Погрешностью измерений называют?**

- 1) Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.
- 2) Ошибка, возникающая при измерении горизонтального угла.
- 3) Ошибка, которую необходимо учитывать при математической обработке результатов полевых измерений.
- 4) Ошибка, вызванная неперпендикулярностью вертикальной и горизонтальной осей теодолита.

**110. Сумма измеренных углов замкнутого пятиугольного теодолитного хода равна  $539^{\circ}58'$ . При этих условиях угловая невязка составляет?**

- 1)  $0^{\circ}01'$
- 2)  $0^{\circ}03'$
- 3)  $0^{\circ}02'$ .
- 4)  $0^{\circ}01'$

**111. Геодезическое построение в виде ломаной линии называется?**

- 1) Географический ход.
- 2) Топографический ход.
- 3) Инженерный ход.
- 4) Геодезический ход.

**112. Карты или плана, а также получения топографической информации в другой форме называется?**

1. Топографической съемкой.
2. Полевыми работами.
3. Фотографической съемкой.
4. Камеральными работами.

1	$i_1 =$	$a_1 =$			
2	$i_2 =$	$a_2 =$			

Правильный отсчёт при  $i_2$  вычисляется по формуле:

$$a'_2 = a_2 - x. \quad (31)$$

Исправление цилиндрического уровня производят, если  $x \geq 4$  мм.

### Методические указания

**Нивелир** Н-3 предназначен для геометрического нивелирования. В рабочем положении его визирная ось горизонтальна. По способу приведения визирной оси в горизонтальное положение он относится к **нивелирам** с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе.

Главным требованием, предъявляемым к **нивелиру** **NA332 ЛЕСА**, является параллельность оси цилиндрического уровня визирной оси трубы.

Перед началом работ необходимо убедиться, что инструмент пригоден для нивелирования. Проверка работоспособности отдельных частей прибора и правильности взаимного расположения его осей

производится с помощью проверок. В случае каких-либо отклонений, проводят работы по их исправлению, т.е. юстировку прибора.

Приведение нивелира в рабочее положение (установку оси вращения нивелира в отвесное положение) выполняют подъемными винтами по круглому уровню.

Перед взятием отсчетов по рейке наблюдатель, глядя в окуляр зрительной трубы, следя за положением пузырька цилиндрического уровня и вращая элевационный винт, выводит пузырек в нуль-пункт, т.е. приводит в контакт изображение половинок противоположных концов пузырька уровня в поле зрения окуляра (рис. 28).

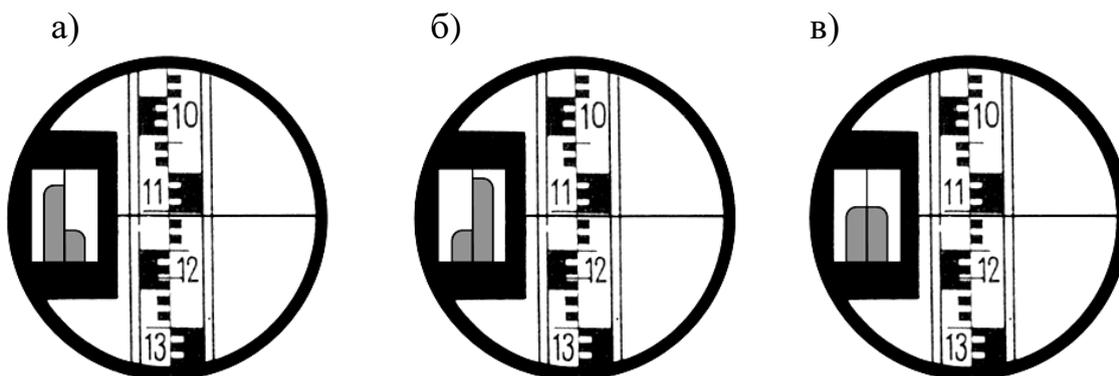


Рис. 28. Поле зрения окуляра зрительной трубы нивелира Н-3:

а, б – изображение концов пузырька уровня не совпадает;  
в – изображение концов пузырька уровня совпадает

### Проверки и юстировки нивелира Н - 3

**1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира ( $U_1 U_1 \parallel TT$ ).**

Вращением подъемных винтов приводят пузырёк уровня на середину. Верхнюю часть нивелира поворачивают на  $180^\circ$ . Если пузырёк не сместился, то условие выполнено. В противном случае юстировочными винтами уровня перемещают его к нуль-пункту на половину дуги отклонения, затем подъёмными винтами переводят на середину. Проверку и юстировку повторяют (рис. 29).

**2. Вертикальный штрих сетки должен быть параллелен оси вращения нивелира, а горизонтальный – перпендикулярен к этой оси ( $vv \parallel TT, gg \perp TT$ ).**

Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение. Наводят

вертикальную нить сетки на шнур отвеса, расположенного на расстоянии 20 – 25 м от нивелира. Если вертикальный штрих сетки не совпадает со шнуром отвеса, условие не выполнено.

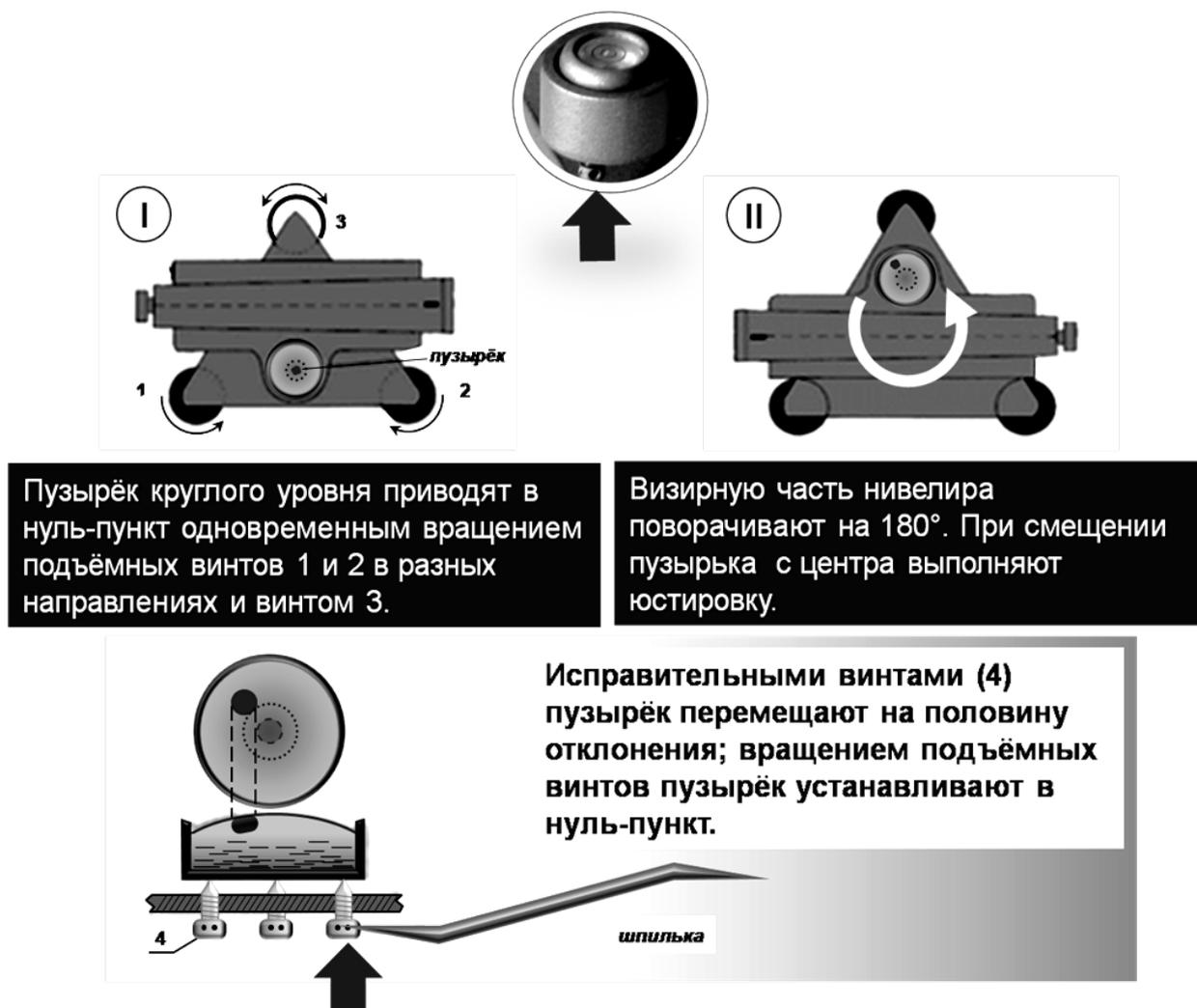


Рис. 29. Поверка круглого уровня нивелира

В таком случае снимают окулярную часть трубы и открывают оправу с сеткой, оправка привинчена тремя винтами. Отпускают верхний и нижний винты на целый оборот, а средний на четверть оборота. Затем поворачивают пластину в нужную сторону. Надевают окулярную часть трубы и проверяют положение вертикальной нити. После её установки закрепляют средний, а затем верхний и нижний винты оправы сетки, а также окулярную часть трубы (рис. 30).

Поверку можно выполнить и другим способом, при котором проверяется условие «горизонтальная нить сетки нитей должна быть

перпендикулярна оси вращения инструмента».

Зрительная труба наводится на хорошо заметную точку и вращением наводящего винта зрительной трубы точка переводится в другую позицию.

Если точка отошла от горизонтальной нити, поверка считается невыполненной, и если это произошло в полевых условиях и необходимо закончить работу, то брать отсчёты по рейке рекомендуется по центру сетки нитей.

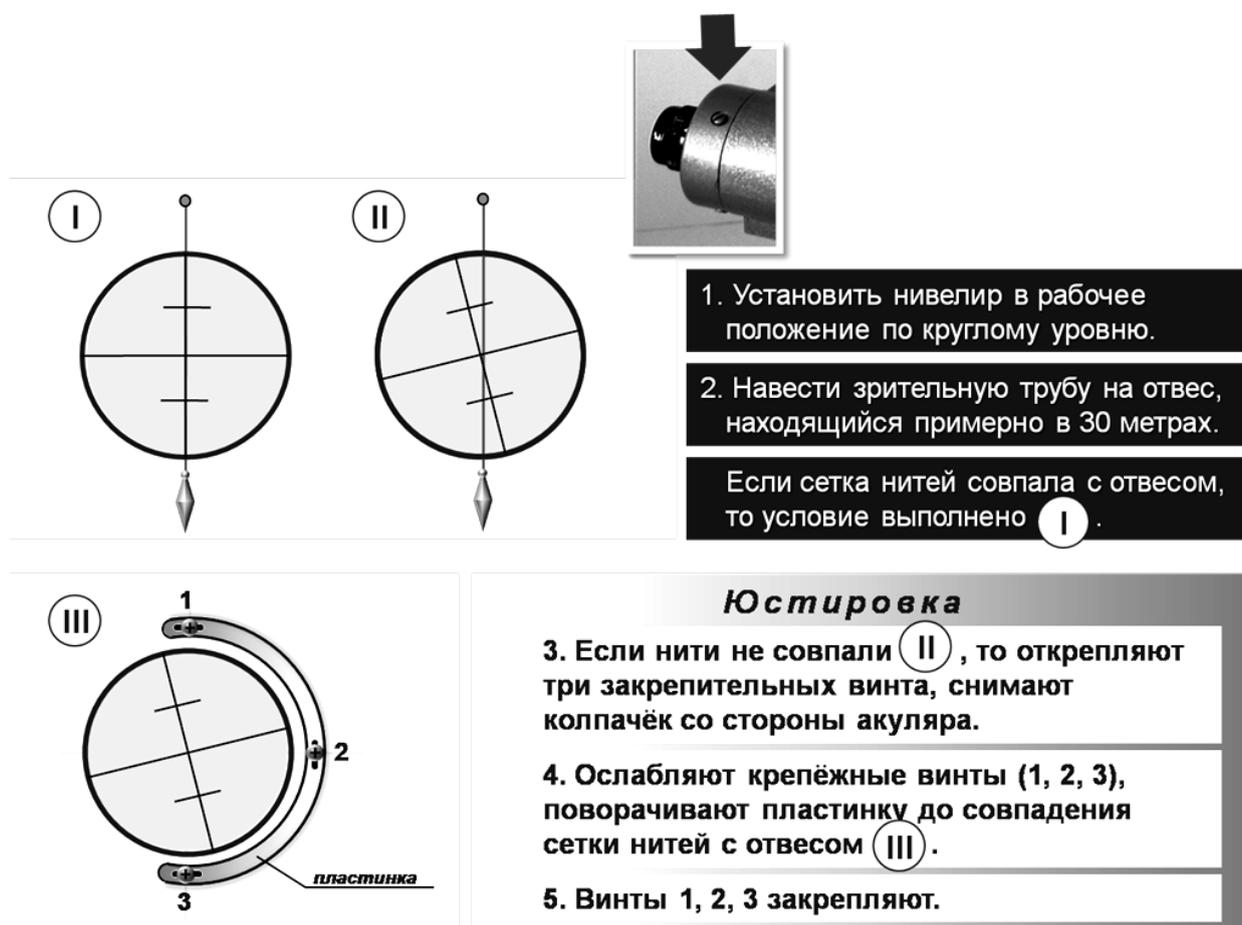


Рис. 30. Проверка сетки нитей

**3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси ( $U_2U_2 \parallel VV$ ).**

Иначе это проверка называется: **проверка главного условия нивелира**.

Это условие проверяют с помощью **двойного нивелирования** вперёд двух точек **1** и **2**, закреплённых на расстоянии 30 – 40 м друг от друга на линии **1-2** (рис. 31).

**Нивелир** устанавливают над точкой **1**, приведя его в рабочее положение, измеряют при помощи нивелирной рейки его высоту  $i_1$  над точкой **1**. Затем визируют на рейку, установленную над точкой **2** и, приведя элевационным винтом пузырёк уровня в нуль-пункт (совмещая концы пузырька в поле зрения трубы), берут отсчёт по рейке  $a_1$  (равный истинному отсчёту  $a'_1$  плюс ошибка  $x$  за счёт непараллельности оси

визирования нивелира и оси уровня).

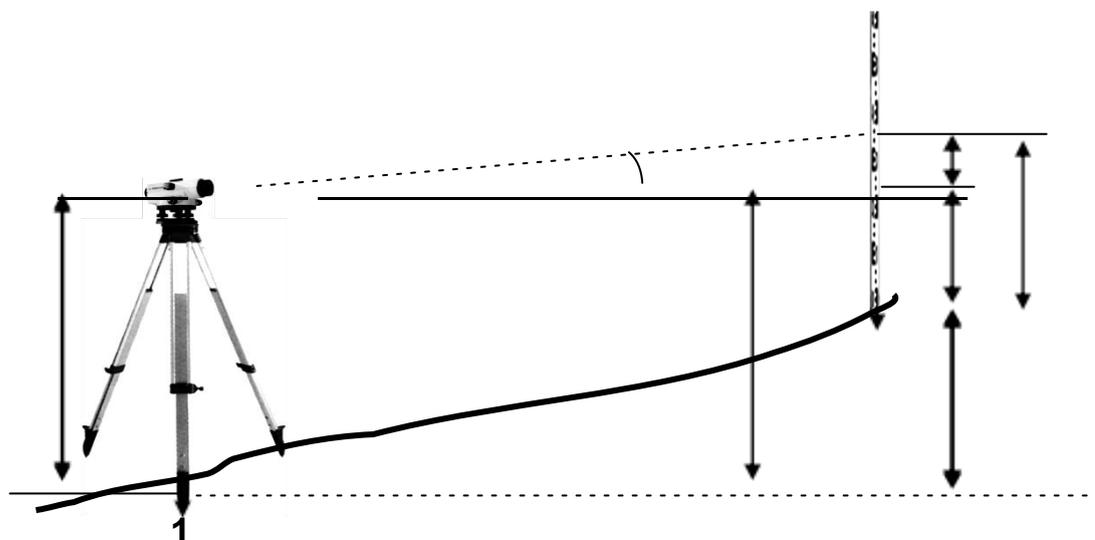
Превышение ( $h_{1.2}$ ) между точками **1** и **2** вычисляют, как в случае «**нивелирования вперёд**» по формуле (25), с учетом ошибки (26), где  **$x$**  – **погрешность отсчёта** вследствие того, что между визирной осью и осью уровня существует угол « $\alpha$ », который на момент поверки неизвестен и его требуется определить.

**Нивелир** и рейка меняются местами, приводят прибор в рабочее положение, измеряют новую высоту прибора  $i_2$  и берут отсчёт по рейке  $a_2$  (который в сумме равен истинному отсчёту  $a_2'$  и ошибке  $x$  – за счёт непараллельности оси визирования нивелира и оси уровня):

$$a = a' + x; \quad (31) \quad a' = a - x. \quad (32)$$

Превышение между точками 1 и 2 находят по формулам (27), (28) и далее, используя формулу (29), находят значение  $x$  по формуле (30).

**Ошибка, вызываемая несоблюдением главного условия нивелира, не должна превышать по абсолютной величине 4 мм.**



$x$  – погрешность, обусловленная наклоном визирной оси к горизонту

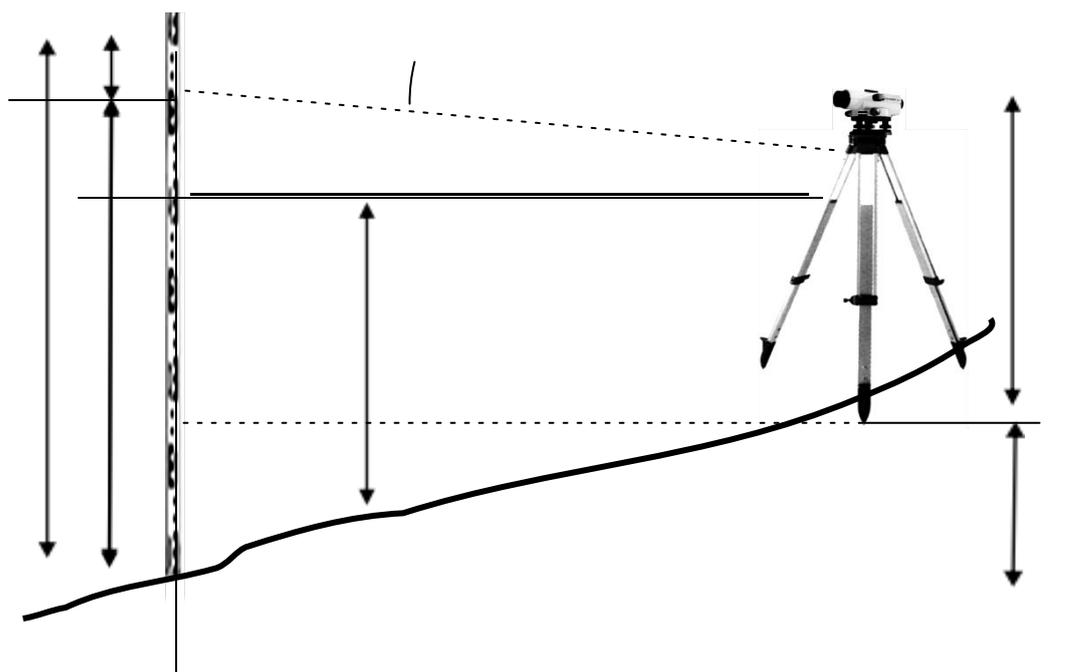




Рис. 31. Схема двойного нивелирования

Теперь, зная  $x$ , можно определить истинный отсчёт

$$a_1' = a_1 - x; \quad (33)$$

$$a_2' = a_2 - x, \quad (34)$$

когда визирная ось горизонтальна.

В случае несоблюдения главного условия у нивелира Н-3 производят юстировку. Исправления производят, если  $x \geq 4$  мм.

При необходимости можно вычислить и угловую величину ошибки.

Величина угла  $\alpha$  вычисляется по формуле:

$$\alpha'' = (x / S) \cdot \rho'', \quad (35)$$

где  $S$  – горизонтальное расстояние между **1** и **2**;

$\rho''$  – число секунд в радиане;

$\alpha''$  – угол между визирной осью и осью цилиндрического уровня, выраженный в секундах.

Угол  $\alpha''$  не должен превышать  $20''$ .

Если вычисленное значение  $x$  не превышает 4 мм, то полагают условие практически выполненным.

В противном случае, не снимая прибор со второй станции, проводят его юстировку.

Для этого при помощи элевационного винта устанавливают горизонтальный штрих сетки нитей на отсчёт по рейке, равный

$$a' = a - x.$$

При этом изображения концов пузырька уровня разойдутся. Немного ослабив шпилькой боковые юстировочные винты цилиндрического уровня, при помощи вертикальных юстировочных винтов (вращая их в противоположные стороны) добиваются совмещения изображения концов пузырька. Затем закрепляют боковые юстировочные винты.

Проверку для контроля повторяют.



**Приложение 1**

Образец оформления титульного листа лабораторной работы

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС» В ГОРОДЕ АЛМАЛЫК**

---

Кафедра Горное дело

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

Изучение теодолита 2Т30М и  
Тахеометра LEICA TS06

Измерение горизонтальных и вертикальных углов  
Дисциплина: «Геодезия»

Работу проверил:

Работу выполнил:

студент: \_\_\_\_\_

группа: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Алмалык 2022

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Геодезия и маркшейдерия / Под ред. Попова В.Н., Букринского В.А. Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004.
2. Борщ-Компаниец В.И., Навитный А.М., Кныш Г.М. Маркшейдерское дело. Учебник для техникумов – М.: Недра, 1985.
3. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и её применение. – Тверь, ООО ИПП «АЛЕН», 2006.
4. Основы геодезии и маркшейдерского дела / Под ред. В.А. Букринского В.А. Учебник для иностранных студентов. – М.: Недра, 1989.
5. Фёдоров Б.Д., Коробченко Ю.В. Основы геодезии и маркшейдерского дела. – М.: Недра, 1978.
6. Фёдоров В.И., Шилов П.И. Инженерная геодезия. Учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982.
7. FlexLine\_plus\_User Manual.66178-3.0.0ru.Перевод исходного текста (766166-3.0.0en) Напечатано в Швейцарии. © 2011 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland
8. Leica NA320/24/32\_User Manual. Перевод исходного текста (837861-1.0.0en. ) Напечатано в Швейцарии. © 2015 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland



**СОДЕРЖАНИЕ**

---

1	Введение	1
2	Лабораторная работа № 1	
3	Лабораторная работа № 2 Изучение теодолита 2Т30М и тахеометра Leica TS06. Измерение горизонтальных и вертикальных углов	18
	Лабораторная работа № 3 Изучение нивелира и выполнение его поверок	
5	Приложение 1	34
6	Список литературы	35



*МАМАЖАНОВ МАДРИДБЕК МАМАЖАНОВИЧ*  
ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ по выполнению  
лабораторных работ по курсу «Геодезия»

Редактор  
Технический редактор

Подписано в печать  
Объём 2,5 печ.л. Тираж . Заказ №

Формат

---

Отпечатано в

№ приё - ма							
			К П				

№ приё - ма	Точка стоян ия						
			К П				

#### 4.4. Построение профиля по линии АВ.

Для построения профиля местности на карте отмечают на линии АВ точки 1, 2, ...,  $n$  пересечения ее с горизонталями и другими характерными линиями рельефа (вершинами, водоразделами и т.д.). Высоты точек пересечения равны высотным отметкам горизонталей или их определяют путем интерполирования (рис. 17).

Рис. 16. Определение угла наклона по графику заложения

#### 4.4. Построение профиля по линии АВ.

Для построения профиля местности на карте отмечают на линии АВ точки 1, 2, ..., n пересечения ее с горизонталями и другими характерными линиями рельефа (вершинами, водоразделами и т.д.). Высоты точек пересечения равны высотным отметкам горизонталей или их определяют путем интерполирования (рис. 17).

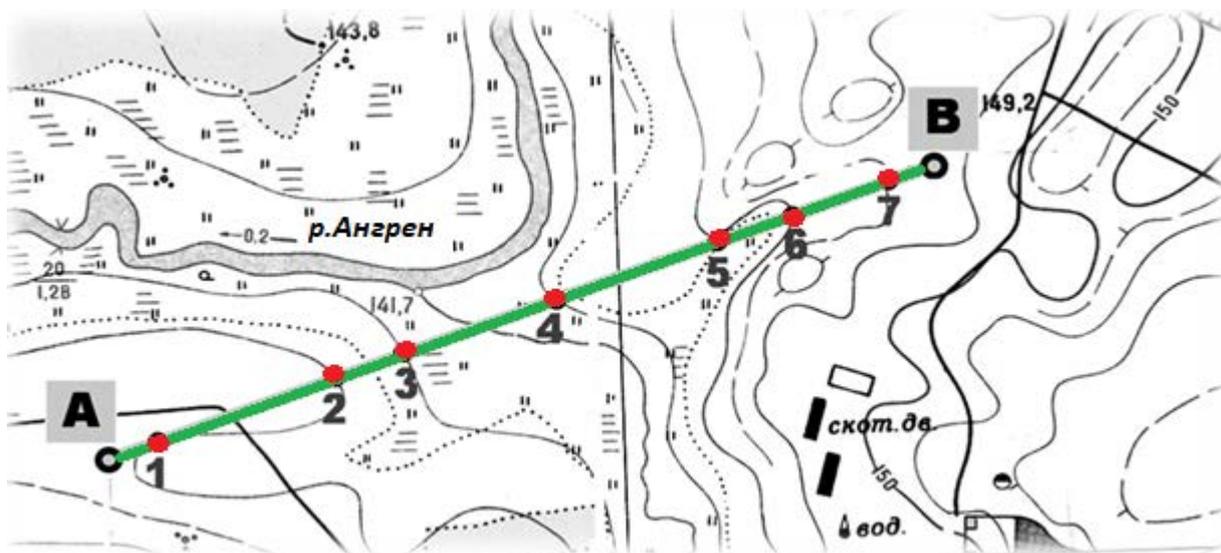
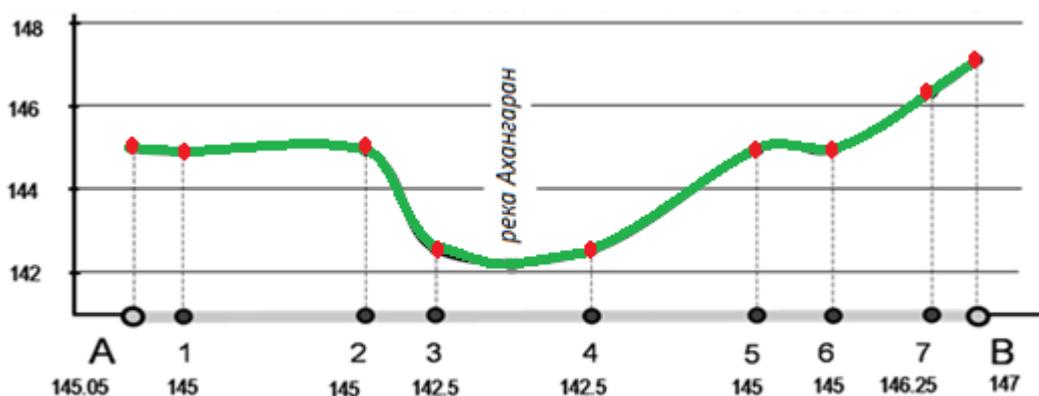


Рис. 17. Линия профиля АВ на карте

На листе бумаги проводят горизонтальную линию, высотная отметка которой меньше любой из точек пересечения, на которой в масштабе карты откладывают точки пересечения. Из каждой полученной точки восстанавливают перпендикулярные отрезки в вертикальном масштабе 1:200. Концы построенных отрезков соединяют плавной кривой, которая и изобразит профиль местности.

Профиль местности по линии АВ, изображенной на рис. 17, показан на рис. 18.



Масштабы: вертикальный 1:200, горизонтальный 1:10000

Рис. 18. Построение профиля местности по линии **АВ**

**4.5.** При проектировании дорог и других коммуникаций одним из основных требований является сохранение уклонов в заданных пределах при минимальной длине сооружений.

Уклон  $i$  – это тангенс угла наклона  $v$ , он представляет собой отношение превышения на единицу длины:

$$i = \operatorname{tg} v = h / s. \quad (18)$$

Для нанесения на карту кратчайшего расстояния между точками **A** и **B**, угол наклона которого на всех участках не превышал бы величину  $1^{\circ}30'$ , в раствор циркуля-измерителя с графика заложения на карте берут заложение, равное  $1^{\circ}30'$ , и начиная с точки **A**, делают засечки. Отрезки заложения откладывают между горизонталями до тех пор, пока не дойдут до точки **B** (рис. 19).

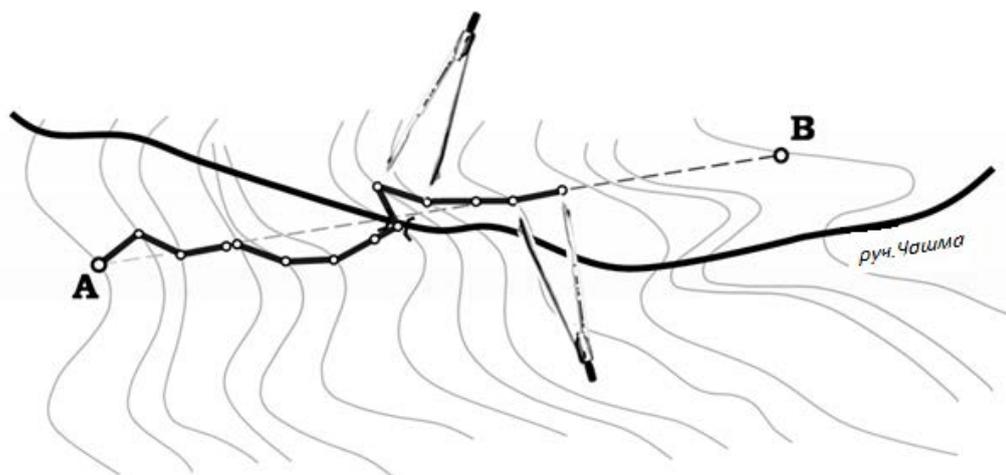


Рис. 19. Построение кратчайшего расстояния между точками **AB** заданного уклона



Рис. 20. Горная дорога

17

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕОДОЛИТА 2Т30М. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Измерения на земной поверхности производятся с целью установления связи между отдельными точками и для определения их координат.

Эти измерения позволяют получить данные для решения разнообразных инженерных задач, а измерительные работы выполняются несколькими установившимися приемами и способами. Для съёмки многоугольника или ломаной линии необходимо измерить прямые линии и горизонтальные углы поворота линий. Для изображения рельефа местности необходимы высоты точек, для чего измеряют вертикальные углы.

Для измерения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний используется угломерный прибор - теодолит.

**Цель работы:** изучить устройство теодолита технической точности 2Т30М (Т-30) и тахеометра TS06 LIECA, освоить правила пользования.

Выполнить поверки и юстировки теодолита.

Провести измерения и вычисление горизонтального и вертикальных углов.

#### Порядок выполнения лабораторной работы

##### Задание 1.

**1.1.** Начертить схему геометрических осей теодолита, показав обязательное взаиморасположение осей.

**1.2.** Перечислить названия геометрических осей вращения теодолита:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**1.3.** Написать, каким геометрическим условиям должен удовлетворять теодолит.

Геометрические условия теодолита:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**Задание 2.**

2.1. Сделать копию рисунка 21 и обозначить цифрами на нём основные части и винты **теодолита 2Т30М** и **тахеометра TS06 ЛIECA**.

2.2. Записать по порядку их названия.



Рис. 21. Теодолит 2Т30М

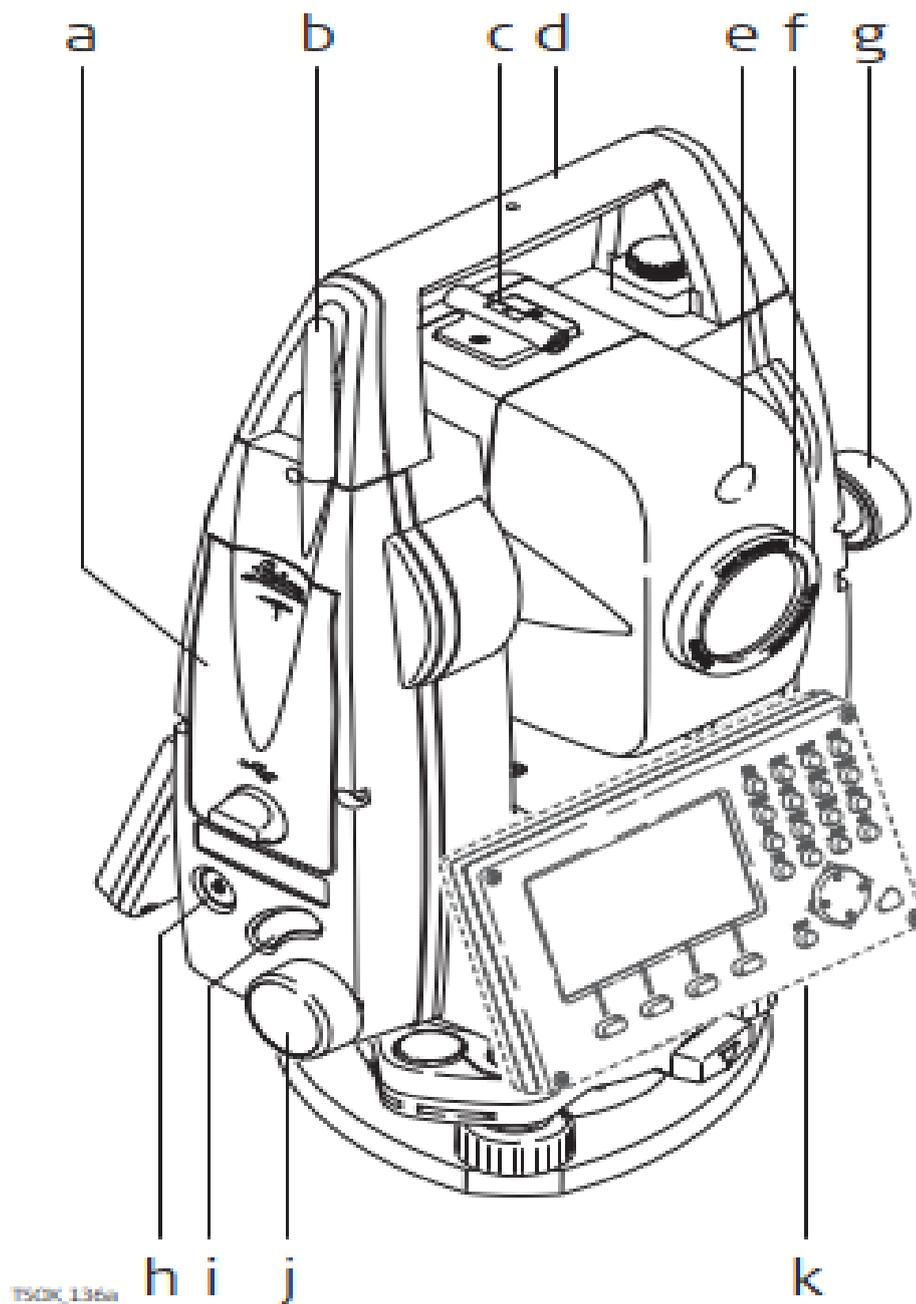


Рис. 21. Тахеометр TS06 LIECA

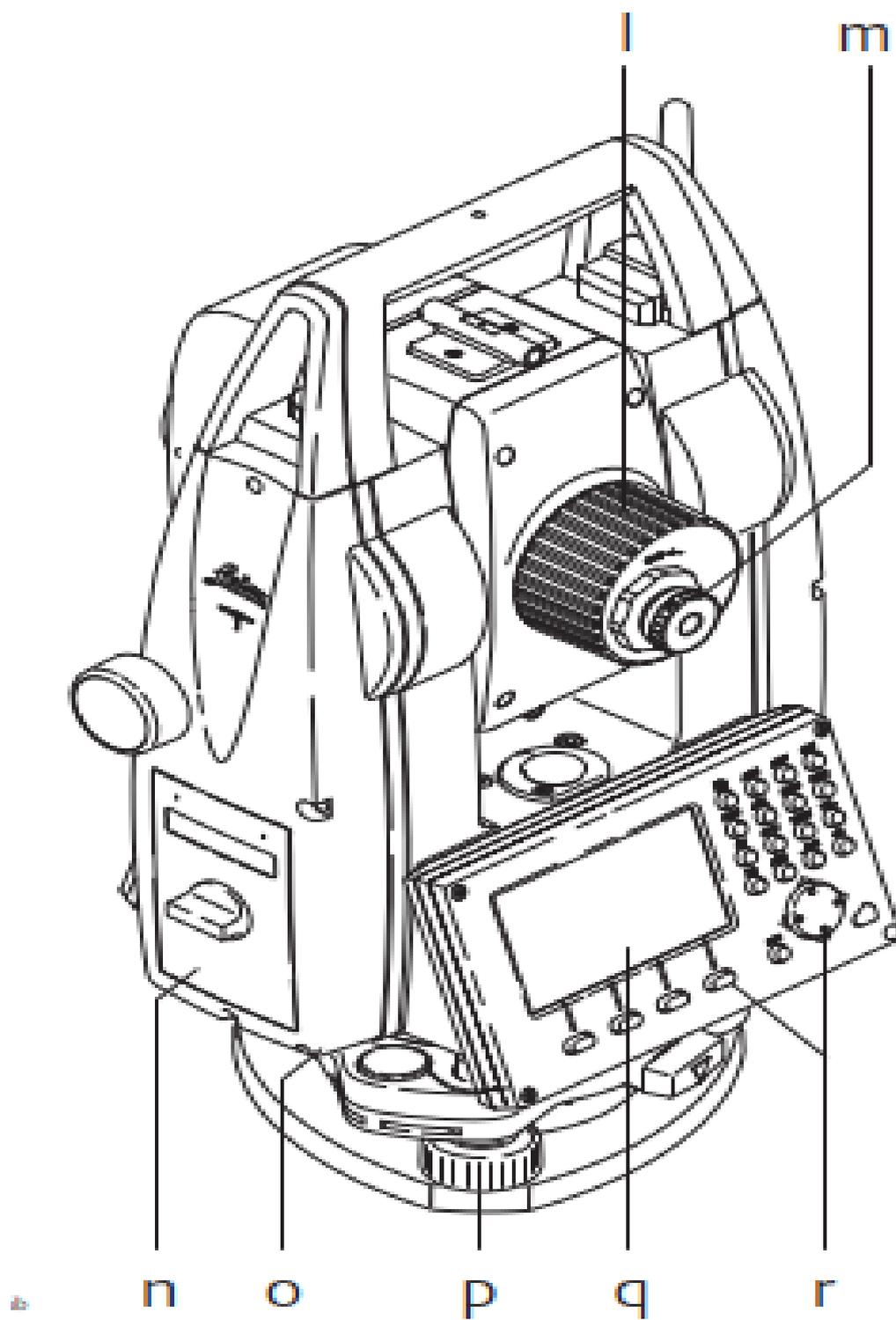


Рис. 21. Тахеометр TS06 LIECA

## Алфавитно-цифровая клавиатура

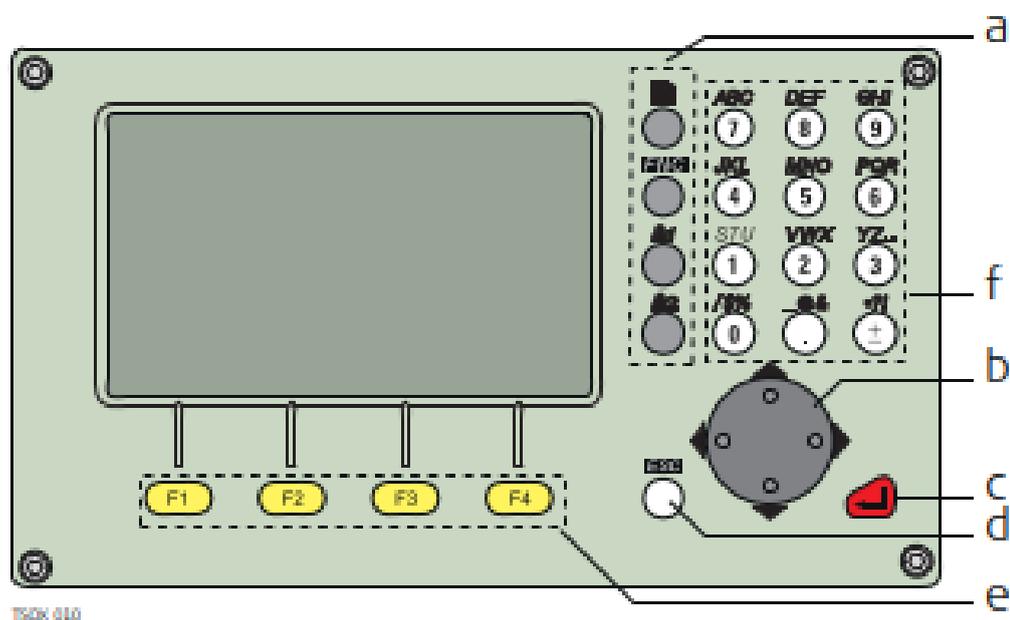
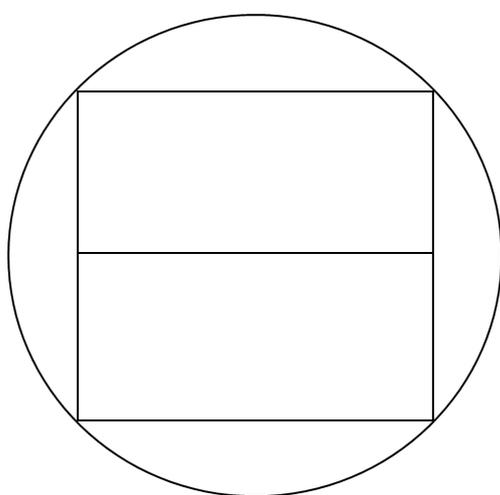


Рис. 21. Тахеометр TS06 LIECA



Отсчёты:

по вертикальному ругу ВК

по горизонтальному кругу ГК

Рис. 22. Схема изображения поля зрения шкалового микроскопа теодолита

#### Задание 4.

##### 4.1. Измерить горизонтальный угол.

Индивидуально каждый студент должен провести измерение и вычисление горизонтального угла в пределах допустимой погрешности и результаты занести в журнал полевых измерений горизонтальных углов (табл. 1).

Измерение угла произвести двумя полуприёмами соответственно при положениях «круга лево» (КЛ) и «круга право» (КП).

Таблица 1

№ приё - ма							
			К П				

## Задание 5.

### 5.1. Измерить вертикальный угол.

Индивидуально каждый студент должен провести измерение и вычисление вертикального угла в пределах допустимой погрешности и результаты занести в журнал измерений вертикальных углов (табл. 2).

Таблица 2

№ точки стояния					

### 5.2. Определить «место нуля» (МО) и угол наклона ( $v$ ).

Место нуля **МО** и угол наклона  $v$  определяют по формулам:

$$\mathbf{МО} = (\mathbf{КП} + \mathbf{КЛ}) / 2; \quad (19)$$

$$v = (\mathbf{КЛ} - \mathbf{КП}) / 2; \quad (20)$$

$$v = \mathbf{КЛ} - \mathbf{МО} = \mathbf{МО} - \mathbf{КП}. \quad (21)$$

Вертикальным углом  $v$  или углом наклона является угол в вертикальной плоскости между наклонной линией визирования и её проекцией на горизонтальную плоскость.

Контролем качества измерений вертикальных углов – является постоянство **МО** при наблюдениях на различные точки визирования.

Для теодолитов типа **2Т30М** допустимое значение колебаний места нуля составляет  $\sim \pm 2'$ .

## Методические указания

**Теодолит 2Т30М** предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в горных выработках и на поверхности, а также для измерения расстояний по нитяному дальномеру зрительной трубы.

**Теодолит** технический оптический маркшейдерский **2Т30М** представляет собой инструмент повторительного типа со шкаловым отсчётным микроскопом.

Зрительная труба обоими концами переводится через зенит. Её фокусирование на предмет осуществляется вращением фокусирующего кольца.

Диоптрильное кольцо окуляра зрительной трубы устанавливает чёткое изображение сетки нитей.



Оптический визир служит для предварительного наведения трубы на цель, точное наведение в вертикальной плоскости осуществляется наводящим винтом вертикального круга при зажатом закрепительном винте.

Вращение теодолита и точное наведение зрительной трубы в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом горизонтального круга при зажатом закрепительном винте.

Отсчеты при измерении углов производятся по шкалам горизонтального «Г» и вертикального «В» кругов. Изображение отсчетных устройств с помощью оптической системы сводится в поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 23).

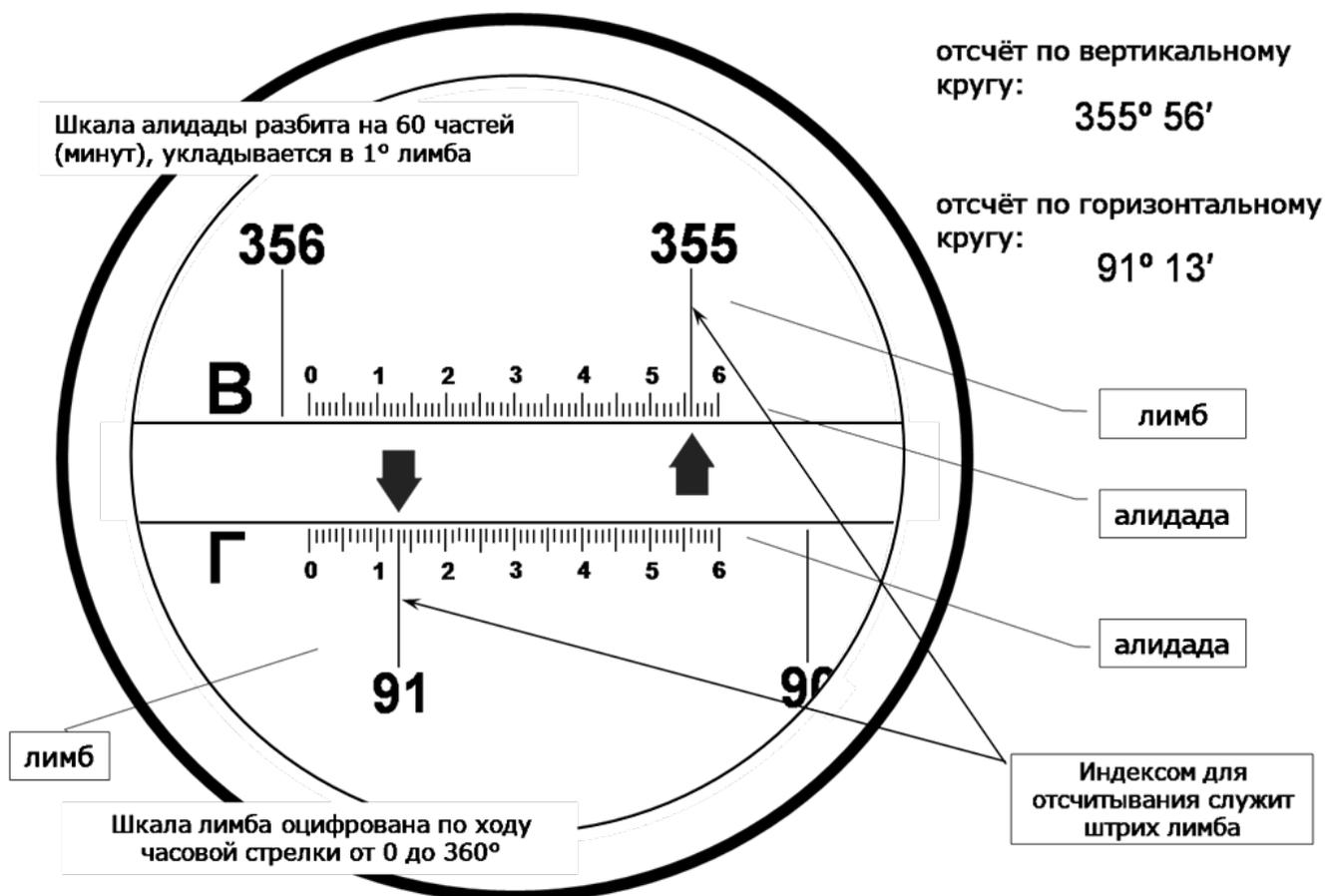


Рис. 23. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30М

Приведение осей и плоскостей горизонтального и вертикального кругов в соответствующее положение осуществляют с помощью цилиндрического уровня, расположенного на корпусе **теодолита**.

**Теодолит 2Т30М** имеет стеклянные лимбы с оцифрованными делениями через  $1^\circ$ . Шкала алидады разбита на  $60'$  и оцифрована через  $10'$ . В поле зрения микроскопа находятся две шкалы. На верхнюю часть шкалы, обозначенную буквой «**В**», попадают деления лимба вертикального круга, на нижнюю часть шкалы, обозначенную буквой «**Г**», попадают деления горизонтального лимба. Отсчёт может быть взят с оценкой на глаз по шкале до половины или четверти деления ( $30''$  или  $15''$ )(рис. 23).

#### Измерение горизонтального угла способом приёмов

Для измерения горизонтального угла **АОВ** **теодолит** устанавливают в вершине угла на точке **О**, с помощью отвеса центрируют его не грубее  $2$  мм и с помощью подъёмных винтов и цилиндрического уровня приводят в рабочее положение (рис. 24).

Измерения начнём при КЛ. Используя оптический визир, наводим зрительную трубу на точку **А** и завинчиваем закрепительный винт. Точное наведение перекрестия сетки нитей на цель (точка **А**) производят с помощью наводящего винта. Наблюдают в микроскоп отсчетного устройства и, меняя положение зеркала подсветки, достигают наилучшей видимости шкал горизонтального и вертикального кругов. Берут отсчет по шкале горизонтального круга и записывают в графу 5 журнала полевых измерений горизонтальных углов (табл. 1).

Открепив алидаду винтом, закрепляющим горизонтальный круг, зрительную трубу наводим на точку **В** и, закрепив винт, точное наведение перекрестия сетки нитей на цель завершают наводящим винтом. Берут отсчёт, записывают в графу 5 (табл. 1).

Значение горизонтального угла **АОВ** ( $\beta$ ) получается из разности отсчётов на точку **В** и точку **А**:

$$\mathbf{АОВ} = \mathbf{в} - \mathbf{а}, \quad (22)$$

если отсчёт по лимбу горизонтального круга **В** будет меньше отсчёта **А**, то к нему прибавляют  $360^\circ$  (рис. 25).

Для измерения угла при круге право (КП) трубу переводят через зенит и повторяют вышеописанные действия в той же последовательности. Все наведения трубы на точки **А** и **В** при круге право производят, действуя закрепительным и наводящим винтами. Отсчёт при КП записывают в графу 5 (табл. 1) и вычисляют значения угла из полуприема – графа 6, среднее значение угла из приема – графа 7 и окончательное значение угла – графа 8.



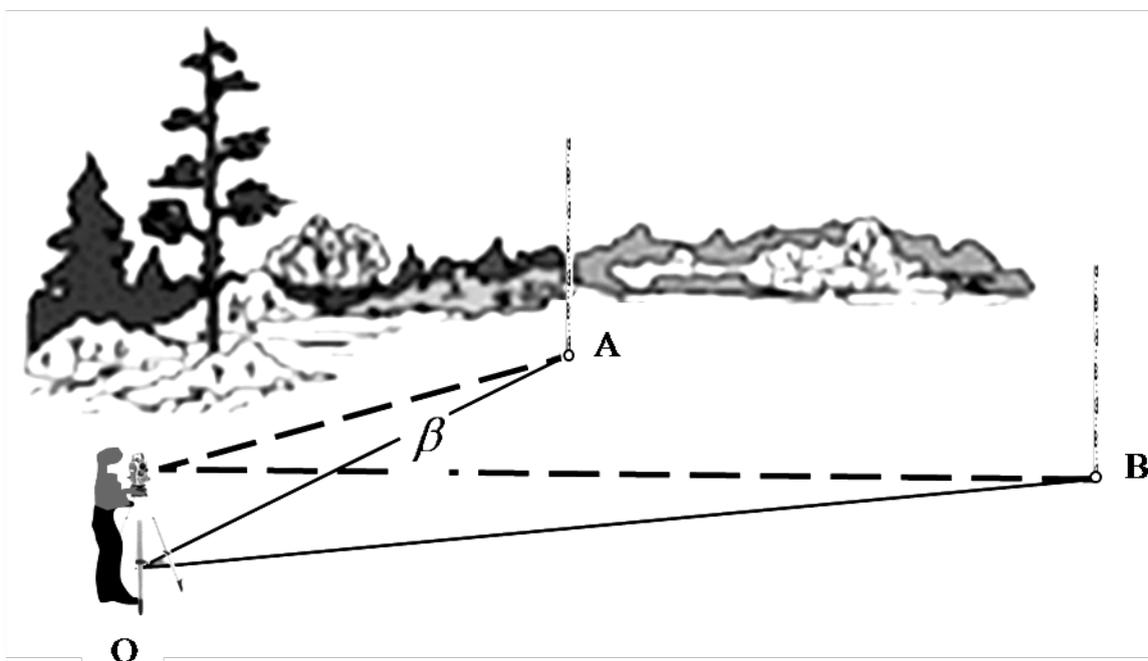


Рис. 24. Измерение горизонтального угла

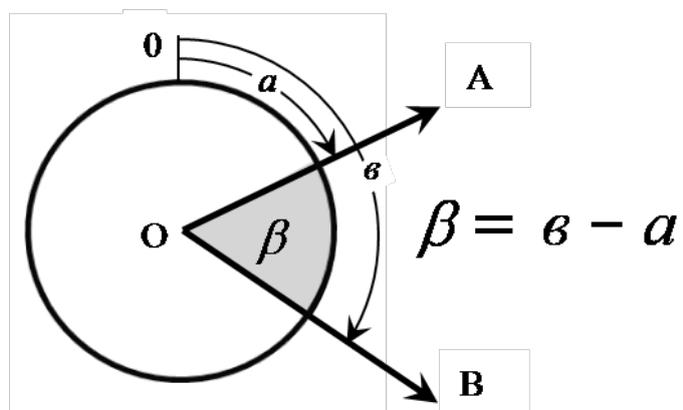


Рис. 25. Схема измерения горизонтального угла

№ станции	Положение круга	Точка наблюдения	Отсчёты по горизонтальному кругу	$\beta$	$\beta_{ср}$
	КЛ	В	231°46'	64°45'	
		А	168°56'		

Таблица 3

Сравнив измеренные углы при КЛ и КП, определяют их расхождение, которое не должно превышать двойной точности измерения угла данным теодолитом (табл. 3).

Для 2Т30М – 1', если расхождение превышает 1', измерения производят вновь.

#### Измерение вертикального угла

Вертикальный угол измеряют с помощью вертикального круга при КЛ и КП.

Действуя закрепительным винтом трубы и наводящим винтом, среднюю горизонтальную нить наводят на точку А сначала при одном круге (КЛ) и берут отсчёт по лимбу вертикального круга, затем, открепив алидаду горизонтального круга, переводят трубу через зенит. Среднюю нить наводят на точку А при КП и берут отсчёт. Отсчёты записывают в графу 4 табл. 2 измерения вертикальных углов.

При наведении трубы на цель, следят за положением пузырька цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга, который должен быть в нуль-пункте и при КЛ и при КП.

По значениям отсчётов двух кругов КЛ и КП вычисляют МО – место нуля вертикального круга и угол наклона линии по формулам (19), (20) и (21).

Колебания МО при измерении вертикальных углов не должны превышать значения погрешности измерения вертикального угла одним приёмом, равной  $\approx 2'$ .

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИЗУЧЕНИЕ НИВЕЛИРА И ВЫПОЛНЕНИЕ ЕГО ПОВЕРОК

**Нивелир** – это прибор, предназначенный для определения превышений между двумя точками на земной поверхности методом геометрического нивелирования с помощью горизонтального луча и реек.

**Цель работы:** изучить устройство **нивелира NA332 ЛЕСА**, освоить правила отсчитывания по нивелирной рейке и измерения расстояний нитяным дальномером.

Выполнить поверки и юстировки **нивелира**.

#### Порядок выполнения лабораторной работы

##### Задание 1.

**1.1.** Начертить схему геометрических осей **нивелира**, показав обязательное взаиморасположение осей.



**1.2.** Перечислить названия геометрических осей вращения **нивелира**:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**1.3.** Написать каким геометрическим условиям должен удовлетворять **нивелир**.

Геометрические условия **нивелира**:

- 1.
- 2.
- 3.

## **Задание 2.**

**2.1.** Сделать копию рисунка 26 и обозначить цифрами на нём основные части и винты **нивелира NA332 LEICA**.

**2.2.** Записать названия частей и винтов **нивелира NA332 LEICA** по порядку.



Рис. 26. Нивелир **NA332 ЛЕСА** и рейка

### Задание 3.

**3.1** Освоить правила отсчитывания по нивелирной рейке и измерения расстояний нитяным дальномером (рис. 27). Дать свое изображение поля зрительной трубы **нивелира** с изображением части нивелирной рейки, сетки нитей и пузырька цилиндрического уровня.

Вычислить расстояние от нивелира до рейки по формуле:

$$I = (C_H - C_B) \cdot k = \quad , \quad (23)$$

где  $k$  – коэффициент дальномера,  $k = 100$ ;

$C_H$  – отсчёт по нижней нити креста сетки нитей;

$C_B$  – отсчёт по верхней нити креста сетки нитей;

$a$  – отсчет по средней нити.

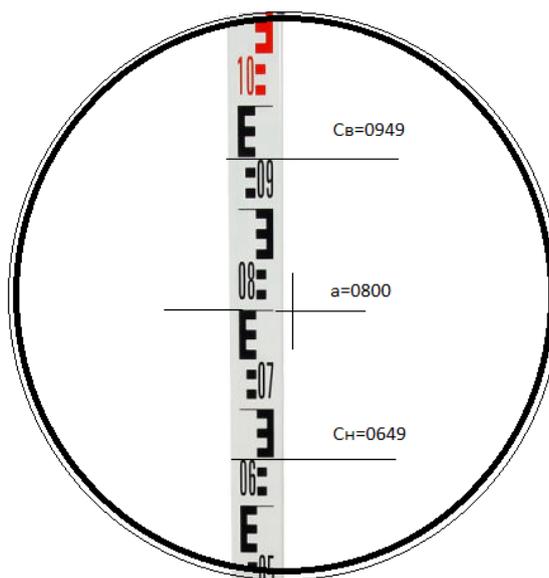


Рис. 27. Вид поля зрения нивелира **NA332 ЛЕСА**

Отсчеты по рейке:  $C_B = 0949$  мм;  $C_H = 0649$  мм;  $a = 1250$  мм,

$$I = (C_H - C_B) \cdot k = 30 \text{ м.}$$

### Задание 4.

**4.1.** Выполнить проверки круглого уровня, положения сетки нитей и главного условия **нивелира**. Ответить на вопрос - требуется ли юстировка **нивелиру**.

проверка круглого уровня ..... (                    );

проверка положения сетки нитей ..... (                    );

проверка главного условия **нивелира**.....(                    ).

В скобках указать, какое геометрическое условие проверяется.



**4.2.** Результаты проверки главного условия нивелира занести табл.4. Выполнить вычисления превышения ( $h_{1-2}$ ) и ошибки  $x$  в двойном нивелировании по формулам (24) – (30):

с учётом ошибки,

$$h_1 = h_2 (h_{1-2}); \quad (24)$$

$$h_1 = i_1 - a_1; \quad (25)$$

$$h_1 = i_1 + x - a_1; \quad (26)$$

$$h_2 = a_2 - i_2; \quad (27)$$

$$h_2 = a_2 - i_2 - x; \quad (28)$$

$$i_1 + x - a_1 = a_2 - i_2 - x; \quad (29)$$

$$i_1 + x - a_1 = a_2 - i_2 - x; \quad (30)$$

**4.3.** Начертить схему двойного нивелирования, поясняющую величины  $a_1, a_2, i_1, i_2, x$ .

Таблица 4

№ станции					
1	$i_1 =$	$a_1 =$			
2	$i_2 =$	$a_2 =$			

Правильный отсчёт при  $i_2$  вычисляется по формуле:

$$a'_2 = a_2 - x. \quad (31)$$

Исправление цилиндрического уровня производят, если  $x \geq 4$  мм.

### Методические указания

**Нивелир NA332 ЛЕСА** предназначен для геометрического нивелирования. В рабочем положении его визирная ось горизонтальна. По способу приведения визирной оси в горизонтальное положение он относится к **нивелирам** с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе.

Главным требованием, предъявляемым к **нивелиру NA332 ЛЕСА**, является параллельность оси зрительной трубы визирной оси трубы.

Перед началом работ необходимо убедиться, что инструмент пригоден для нивелирования. Проверка работоспособности отдельных

частей прибора и правильности взаимного расположения его осей

производится с помощью проверок. В случае каких-либо отклонений, проводят работы по их исправлению, т.е. юстировку прибора.

Приведение нивелира в рабочее положение (установку оси вращения нивелира в отвесное положение) выполняют подъемными винтами по круглому уровню.

**1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира ( $U_1 U_1 \parallel TT$ ).**

Вращением подъемных винтов приводят пузырёк уровня на середину. Верхнюю часть нивелира поворачивают на  $180^\circ$ . Если пузырёк не сместился, то условие выполнено. В противном случае юстировочными винтами уровня перемещают его к нуль-пункту на половину дуги отклонения, затем подъёмными винтами переводят на середину. Проверку и юстировку повторяют (рис. 28).

**2. Вертикальный штрих сетки должен быть параллелен оси вращения нивелира, а горизонтальный – перпендикулярен к этой оси ( $vv \parallel TT, zz \perp TT$ ).**

Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение. Наводят вертикальную нить сетки на шнур отвеса, расположенного на расстоянии 20 – 25 м от нивелира. Если вертикальный штрих сетки не совпадает со шнуром отвеса, условие не выполнено.

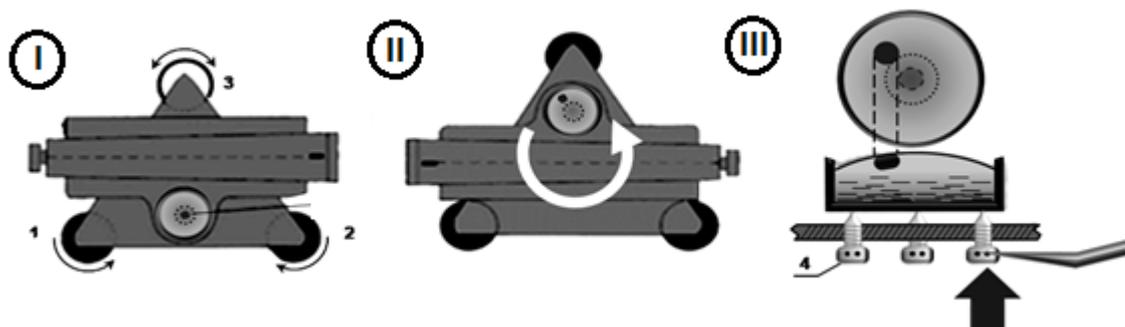


Рис. 28. Проверка круглого уровня нивелира



В таком случае снимают окулярную часть трубы и открывают оправу с сеткой, оправка привинчена тремя винтами. Отпускают верхний и нижний винты на целый оборот, а средний на четверть оборота. Затем поворачивают пластину в нужную сторону. Надевают окулярную часть трубы и проверяют положение вертикальной нити. После её установки закрепляют средний, а затем верхний и нижний винты оправы сетки, а также окулярную часть трубы (рис. 30).

Поверку можно выполнить и другим способом, при котором проверяется условие «горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения инструмента».

Зрительная труба наводится на хорошо заметную точку и вращением наводящего винта зрительной трубы точка переводится в другую позицию.

Если точка отошла от горизонтальной нити, проверка считается невыполненной, и если это произошло в полевых условиях и необходимо закончить работу, то брать отсчёты по рейке рекомендуется по центру сетки нитей.

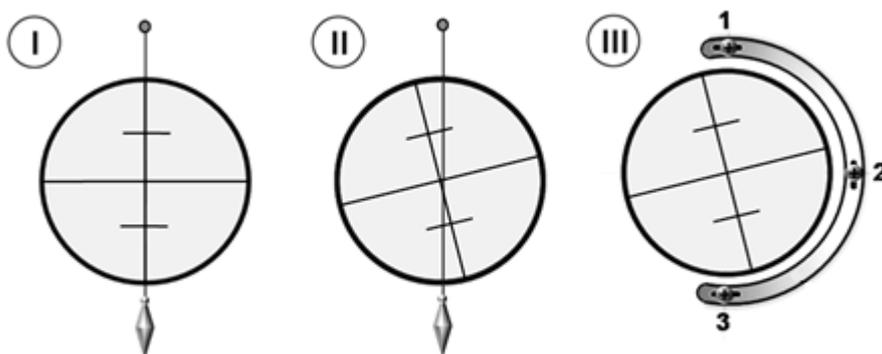


Рис. 29. Поверка сетки нитей

**3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси ( $U_2U_2 \parallel VV$ ).**

Иначе это проверка называется: **проверка главного условия нивелира.**

Это условие проверяют с помощью **двойного нивелирования** вперёд двух точек **1** и **2**, закреплённых на расстоянии 30 – 40 м друг от друга на линии **1-2** (рис. 31).

**Нивелир** устанавливают над точкой **1**, приведя его в рабочее положение, измеряют при помощи нивелирной рейки его высоту  $i_1$  над точкой **1**. Затем визируют на рейку, установленную над точкой **2** и, приведя элевационным винтом пузырёк уровня в нуль-пункт (совмещая концы пузырька в поле зрения трубы), берут отсчёт по рейке  $a_1$  (равный

истинному отсчёту  $a'$ , плюс ошибка  $x$  за счёт непараллельности оси визирования нивелира и оси уровня).

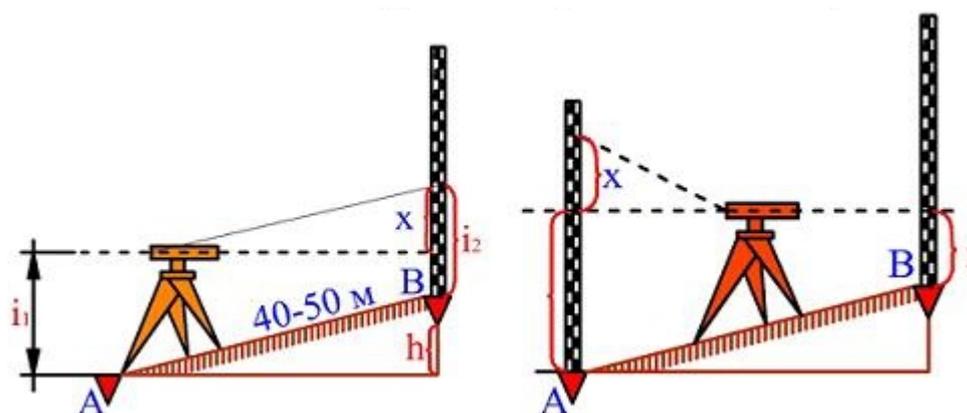
Превышение ( $h_{1,2}$ ) между точками **1** и **2** вычисляют, как в случае «**нивелирования вперёд**» по формуле (25), с учетом ошибки (26), где  $x$  – **погрешность отсчёта** вследствие того, что между визирной осью и осью уровня существует угол « $\alpha$ », который на момент поверки неизвестен и его требуется определить.

**Нивелир** и рейка меняются местами, приводят прибор в рабочее положение, измеряют новую высоту прибора  $i_2$  и берут отсчёт по рейке  $a_2$  (который в сумме равен истинному отсчёту  $a_2'$  и ошибке  $x$  – за счёт непараллельности оси визирования нивелира и оси уровня):

$$a = a' + x; \quad (31) \quad a' = a - x. \quad (32)$$

Превышение между точками **1** и **2** находят по формулам (27), (28) и далее, используя формулу (29), находят значение  $x$  по формуле (30).

**Ошибка, вызываемая несоблюдением главного условия нивелира, не должна превышать по абсолютной величине 4 мм.**



$x$  – погрешность, обусловленная наклоном визирной оси к горизонту

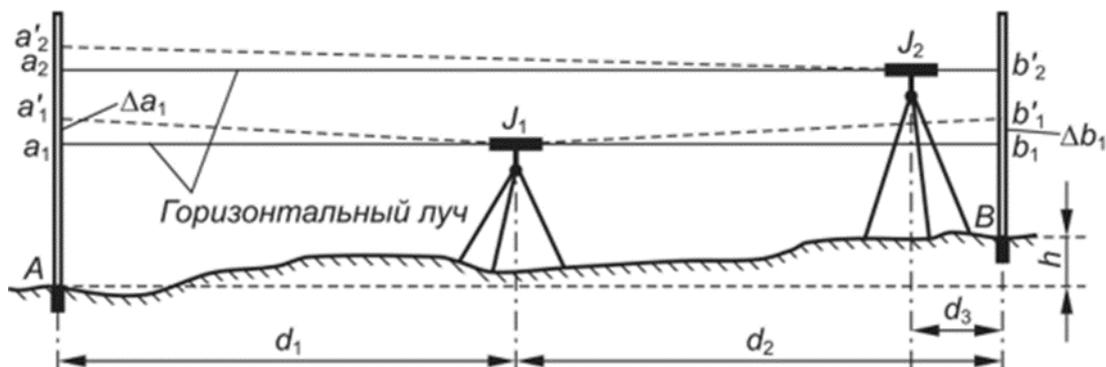


Рис.30. Проверка главного условия нивелира

Теперь, зная  $x$ , можно определить истинный отсчёт

$$a_1' = a_1 - x; \quad (33)$$

$$a_2' = a_2 - x, \quad (34)$$

когда визирная ось горизонтальна.

В случае несоблюдения главного условия у нивелира Н-3 производят юстировку. Исправления производят, если  $x \geq 4$  мм.

При необходимости можно вычислить и угловую величину ошибки.

Величина угла  $\alpha$  вычисляется по формуле:

$$\alpha'' = (x / S) \cdot \rho'', \quad (35)$$

где  $S$  – горизонтальное расстояние между 1 и 2;

$\rho''$  – число секунд в радиане;

$\alpha''$  – угол между визирной осью и осью цилиндрического уровня, выраженный в секундах.

Угол  $\alpha''$  не должен превышать  $20''$ .

Если вычисленное значение  $x$  не превышает 4 мм, то полагают условие практически выполненным.

В противном случае, не снимая прибор со второй станции, проводят его юстировку.

Для этого при помощи элевационного винта устанавливают горизонтальный штрих сетки нитей на отсчёт по рейке, равный

$$a' = a - x.$$

При этом изображения концов пузырька уровня разойдутся. Немного ослабив шпилькой боковые юстировочные винты цилиндрического уровня, при помощи вертикальных юстировочных винтов (вращая их в противоположные стороны) добиваются совмещения изображения концов пузырька. Затем закрепляют боковые юстировочные винты.

Проверку для контроля повторяют.



**Приложение 1**

Образец оформления титульного листа лабораторной работы

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС» В ГОРОДЕ АЛМАЛЫК**

---

Кафедра Горное дело

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

Изучение теодолита 2Т30М и

Тахеометра LEICA TS06

Измерение горизонтальных и вертикальных углов

Дисциплина: «Геодезия»

Работу проверил:

Работу выполнил:

студент: \_\_\_\_\_

группа: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Алмалык 202\_\_

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Геодезия и маркшейдерия / Под ред. Попова В.Н., Букринского В.А. Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004.
2. Борщ-Компаниец В.И., Навитный А.М., Кныш Г.М. Маркшейдерское дело. Учебник для техникумов – М.: Недра, 1985.
3. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и её применение. – Тверь, ООО ИПП «АЛЕН», 2006.
4. Основы геодезии и маркшейдерского дела / Под ред. В.А. Букринского В.А. Учебник для иностранных студентов. – М.: Недра, 1989.
5. Фёдоров Б.Д., Коробченко Ю.В. Основы геодезии и маркшейдерского дела. – М.: Недра, 1978.
6. Фёдоров В.И., Шилов П.И. Инженерная геодезия. Учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982.
7. FlexLine\_plus\_User Manual.66178-3.0.0ru.Перевод исходного текста (766166-3.0.0en) Напечатано в Швейцарии. © 2011 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland
8. Leica NA320/24/32\_User Manual. Перевод исходного текста (837861-1.0.0en. ) Напечатано в Швейцарии. © 2015 Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland



**СОДЕРЖАНИЕ**

---

1	Введение	1
2	Лабораторная работа № 1	
3	Лабораторная работа № 2 Изучение теодолита 2Т30М и тахеометра Leica TS06. Измерение горизонтальных и вертикальных углов	18
	Лабораторная работа № 3 Изучение нивелира и выполнение его поверок	
5	Приложение 1	34
6	Список литературы	35

