

**Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург»**

Тарелкин Е.П., Блинов А.Ф.

# **Геодезия**

**Учебное пособие**

Рекомендовано Саморегулируемой организацией  
НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада»  
для студентов, обучающихся по направлениям  
120100.62 «Геодезия и дистанционное зондирование»  
и 120700.62 «Землеустройство и кадастры»  
и слушателей курсов повышения квалификации

Санкт-Петербург  
2015

**УДК 528**

**ББК 26.11**

**T19**

**ТАРЕЛКИН ЕВГЕНИЙ ПЕТРОВИЧ**

**БЛИНОВ АЛЕКСАНДР ФРИДРИХОВИЧ**

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 120100.62 «Геодезия и дистанционное зондирование» и 120700.62 «Землеустройство и кадастры». В пособии изложены теоретические вопросы дисциплины.

**УДК 528**  
**ББК 26.11**

ISBN 978-5- 906759-14-6

© Тарелкин Е.П.. 2015

© Блинов А.Ф. 2015

©НОИР 2015

© ИКЦ 2015

## Предисловие

Согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования подготовки бакалавров по направлению “Геодезия и дистанционное зондирование”, объектом профессиональной деятельности выпускника являются: поверхность Земли, других планет и их спутников; территориальные и административные образования; искусственные и естественные объекты на поверхности и внутри Земли и других планет, а также околоземное космическое пространство; геодинамические явления и процессы; гравитационные, электромагнитные и другие физические поля.

Согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования подготовки бакалавров по направлению “Землеустройство и кадастры”, объектом профессиональной деятельности выпускника являются: земельные и другие виды природных ресурсов; категории земельного фонда; территории административных образований; территориальные зоны; зоны с особыми условиями использования территорий; зоны специального правового режима; землепользования и земельные участки в зависимости от целевого назначения и разрешённого использования; земельные угодья; единые объекты недвижимости и кадастрового учёта; информационные системы и технологии кадастра недвижимости; геодезическая и картографическая основы землеустройства и кадастра недвижимости.

Область профессиональной деятельности бакалавров включает:

- получение измерительной пространственной информации о поверхности Земли, отображение поверхности Земли или отдельных её территорий на планах и картах;
- осуществление координатно-временной привязки объектов, явлений и процессов на поверхности Земли;
- организация и осуществление работ по сбору и распространению геопространственных данных как на территорию Российской Федерации в целом, так и на отдельных её регионах с целью развития их инфраструктуры.

Цель изучения дисциплины – сформировать у будущих бакалавров знания о методах, технике и организации работ, связанных с изучением земной поверхности и отображением её на планах и картах, а также дать представление о других видах измерений.

Задачи дисциплины:

- сформировать знания об основных системах координат, применяемых в геодезии; геодезических сетях; основных приборах, применяемых в геодезии; топографических картах и планах;
- сформировать умения решения основных геодезических задач на плоскости и в пространстве; угловых и линейных измерений на местности; производства топографических съёмок;
- сформировать навыки планирования и производства топографо-геодезических работ и представления их результатов; контроля качества и приёмка результатов работ; соблюдения правил техники безопасности при выполнении топографо-геодезических работ.

Большое значение в изучении геодезии имеет самостоятельная работа обучающихся. Она имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовку к предстоящим занятиям и экзамену по дисциплине, а также формирование навыков умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний.

Для эффективной организации самостоятельной работы над учебным материалом целесообразно придерживаться следующих рекомендаций.

1. Приобрести канцелярские принадлежности:

- стальную линейку длиной 300 – 500 мм;
- транспортир;
- компас;
- шариковые авторучки, пишущие тонкими линиями, с четырьмя цветами чернил: синим, чёрным, зелёным и красным;
- карандаши простые, твёрдости *T*, *TM*, *M*;
- нож для заточки карандашей (не точилку!);
- стирательную резинку;
- микрокалькулятор, позволяющий оперировать с тригонометрическими функциями и угловыми величинами, измеренными в градусах;
- офицерскую линейку.

2. Ознакомиться с учебной литературой (учебниками и учебными пособиями):

- перелистать, познакомиться со структурой, запомнить рубрикацию разделов, приложений, определить к каким разделам дисциплины относится тот или иной фрагмент источника, выделить материал, не вошедший в структуру дисциплины;
- ознакомиться с введением и сформировать своё мнение о содержимом источника.

3. Ввести в память своего персонального компьютера руководящие документы и справочную литературу (например, переписать их с компьютера преподавателя).

4. При работе над конкретной темой дисциплины:

- проработать по учебникам и учебным пособиям нужный раздел и имеющиеся к нему приложения;
- постараться понять соответствующий учебный материал на концептуальном уровне;
- поработать с приложениями: предметным и именным указателями, указателем иностранных слов, толковым словарём;
- совершить "экскурсию" по Интернет;
- при наличии электронного конспекта и/или презентации по данной теме, использовать их;
- при возникновении неясностей в рассматриваемой теме – задать вопрос преподавателю при личной встрече или по Интернету.

5. Решить предлагаемые в разделе задачи, взяв их из задачника; при заочном обучении решения задач пересылать преподавателю через Интернет.

6. По мере продвижения вперёд не забывать регулярно "оглядываться назад", повторяя содержание пройденного материала; это позволит составить образное представление о структуре дисциплины, её логичной целостности.

7. Пройти учебную практику в соответствии с программой, расположенной на сайте института.

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>10</b>
<b>1. Теоретические основы геодезии</b>	<b>15</b>
<i>1.1 Системы координат, применяемые в геодезии</i>	<i>15</i>
<i>1.2 Плоская прямоугольная система координат Гаусса-Крюгера</i>	<i>23</i>
1.2.1. Особенности проецирования земной поверхности на плоскость	23
1.2.2 Проекция Гаусса-Крюгера	24
1.2.3 Топоцентрическая система координат на плоскости	28
<i>1.3 Геодезические сети</i>	<i>32</i>
1.3.1. Понятие геодезического пункта	32
1.3.2 Государственная геодезическая сеть	36
1.3.3 Специальные геодезические сети	38
<i>1.4 Основные геодезические задачи на плоскости</i>	<i>39</i>
1.4.1 Прямая и обратная геодезические задачи	39
1.4.2 Формулы Юнга и Гаусса	42
1.4.3 Вычисление площадей	43
<b>2. Основные методы и способы определения координат</b>	<b>46</b>
<i>2.1 Основные методы определения координат</i>	<i>46</i>
2.1.1 Понятие о триангуляции и трилатерации	46
2.1.3 Другие методы определения координат	52
<i>2.2 Метод полигонометрии</i>	<i>53</i>
2.2.1 Порядок проложения полигонометрического хода	53
2.2.2 Порядок обработки полигонометрического хода с приближённым уравниванием	55
2.2.3 Требования руководящих документов к полигонометрии	61
<i>2.3 Метод засечек</i>	<i>62</i>
2.3.1 Классификация засечек	62
2.3.2 Обратная угловая засечка	63
2.3.3 Обратная линейно-угловая засечка	65
<b>3. Основные методы и способы определения высот</b>	<b>67</b>
<i>3.1 Основные сведения из теории высот</i>	<i>67</i>
3.1.1 Гравитационное поле и уклонение отвесной линии	67
3.1.2 Понятие геоида и квазигеоида	68

3.1.3 Роль астрономических определений в геодезии	71
<b>3.2 Основные методы нивелирования</b>	<b>73</b>
3.2.1. Понятие о нивелировании	73
3.2.2 Геометрическое нивелирование	73
3.2.3 Тригонометрическое нивелирование	77
3.2.4 Гидростатическое и барометрическое нивелирование	79
<b>3.3 Нивелирная сеть Российской Федерации</b>	<b>80</b>
3.3.1 Реперы	80
3.3.2 Геометрическое нивелирование III и IV классов	81
3.3.3 Техническое нивелирование	84
<b>4. Угловые и линейные измерения на местности</b>	<b>85</b>
<b>4.1 Угломерные приборы</b>	<b>85</b>
4.1.1 Теодолит	85
4.1.2 Кипрегель, астролябия, экер	88
<b>4.2. Работа с теодолитом</b>	<b>89</b>
4.2.1 Подготовка теодолита к наблюдениям	89
4.2.2 Измерение горизонтальных направлений	92
4.2.3 Измерение зенитных расстояний	96
<b>4.3 Поверки и исследования теодолита</b>	<b>97</b>
4.3.1 Поверки сетки нитей зрительной трубы	97
4.3.2 Поверки уровней	98
4.3.3 Определение наклона горизонтальной оси	100
<b>4.4 Измерение расстояний</b>	<b>100</b>
4.4.1 Механические и оптические дальномеры	100
4.4.2 Электромагнитные дальномеры	103
4.4.3 Электронные тахеометры	104
<b>4.5 Определение элементов приведения</b>	<b>105</b>
4.5.1 Элементы приведения	105
4.5.2 Определение элементов приведения	107
4.5.3 Измерение высоты геодезического знака	110
<b>4.6 Устройство нивелира</b>	<b>111</b>
4.6.1 Оптико-механический нивелир и нивелирные рейки	111
4.6.2 Электронный нивелир и рейки со штрих-кодом	113
4.6.3 Поверки и исследования нивелиров и реек	114
<b>4.7 Элементы теории ошибок измерений</b>	<b>116</b>
4.7.1 Источники и классификация ошибок измерений	116

4.7.2	Оценка точности измерений	119
4.7.3	Пути повышения точности измерений	120
<b>5.</b>	<b>Топографические карты и планы</b>	<b>121</b>
5.1	Разграфка и номенклатура топографических карт и планов	121
<i>5.2</i>	<i>Изображение местных предметов</i>	<i>125</i>
<i>5.3</i>	<i>Отображение рельефа</i>	<i>127</i>
<i>5.4</i>	<i>Решение задач по картам</i>	<i>127</i>
5.4.1	Определение характеристик объектов	127
5.4.2	Линейные измерения по карте	128
5.4.3	Угловые измерения по карте	130
<b>6.</b>	<b>Топографические съёмки местности</b>	<b>132</b>
<i>6.1</i>	<i>Методы производства топографических съёмок</i>	<i>132</i>
6.1.1	Назначение и производство топографических съёмок	132
6.1.2	Основные методы топографических съёмок	133
6.1.3	Особенности кадастровых съёмок	136
<i>6.2</i>	<i>Тахеометрия</i>	<i>136</i>
6.2.1	Создание съёмочного обоснования	136
6.2.2	Порядок производства тахеометрической съёмки	137
6.2.3	Порядок обработки результатов тахеометрической съёмки	138
<b>7.</b>	<b>Основы планирования и организации топографо-геодезических работ</b>	<b>140</b>
<i>7.1</i>	<i>Содержание топографо-геодезических работ</i>	<i>140</i>
<i>7.2</i>	<i>Составление проекта</i>	<i>141</i>
<i>7.3</i>	<i>Расчёт объёма и себестоимости работ</i>	<i>142</i>
<i>7.4</i>	<i>Организация выполнения топографо-геодезических работ</i>	<i>143</i>
<i>7.5</i>	<i>Обеспечение выполнения работ</i>	<i>144</i>
<i>7.6</i>	<i>Контроль и приёмка работ</i>	<i>145</i>
	<b>Заключение</b>	<b>146</b>
	<b>Итоговый контроль успеваемости</b>	<b>149</b>
	<i>Перечень вопросов для подготовки к экзамену за второй семестр</i>	<i>149</i>

<i>Тесты для аттестации по итогам освоения дисциплины</i>	<i>150</i>
<b>Словарь терминов</b>	<b>158</b>
<b>Указатель персоналий</b>	<b>172</b>
<b>Список рекомендуемой литературы</b>	<b>175</b>
<i>Основная литература</i>	<i>175</i>
<i>Дополнительная литература</i>	<i>175</i>
<i>Руководящие документы и справочная литература</i>	<i>176</i>
<b>Аннотация сайтов Интернет</b>	<b>179</b>

## Введение

*Геодезия* – научная и практическая дисциплина, занимающаяся пространственным позиционированием объектов на земной поверхности или в околоземном пространстве в заданной системе координат и с заданной точностью с использованием специальных геодезических приборов и инструментов.

Важнейшим информационным продуктом геодезии является отображение основных объектов в графическом виде: на топографической карте или плане. Они могут быть реализованы или на бумаге, или на экране компьютера.

Геодезия (греч. γεωδαισία — деление земли) — одна из наук о Земле, точная наука о фигуре, гравитационном поле, параметрах вращения Земли и их изменениях во времени. Геодезия тесно взаимодействует с астрометрией в области изучения прецессии, нутации, движения полюсов и скорости вращения Земли. В технологическом аспекте геодезия обеспечивает координатными системами отсчёта и координатными основами различные сферы человеческой деятельности. Методы геодезии опираются на широкий спектр достижений математики и физики. Они обеспечивают изучение геометрических, кинематических и динамических свойств Земли в целом и отдельных её участков.

Геодезией называют также отрасль производства, связанную с определением пространственных характеристик местности и искусственных объектов. Как отрасль производства, геодезию применяют для координатного обеспечения картографирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений, землеустройства, кадастра, горного дела, геологоразведки и других областей хозяйственной деятельности.

К основным задачам геодезии относятся:

- определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли;
- распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей Земли в целом;
- выполнение измерений на поверхности земли;
- изображение участков поверхности земли на топографических картах и планах;
- изучение глобальных смещений блоков земной коры.

Как известно, Земля имеет, в первом приближении, форму шара. О шаровидности Земли первыми сделали вывод пифагорейцы - сподвижники и последователи великого Пифагора (V в. до н.э.). Первым нашёл доказательство шаровидности Земли Аристотель (IV в. до н.э.). Он обратил внимание на то, что тень от Земли, падающая на полную Луну имеет круглую форму, хотя во время затмений Земля бывает повернута к Луне разными сторонами.

Размеры *земного шара* довольно точно первым установил древнегреческий математик, астроном и географ Эратосфен Киренский (III в. до н.э.). Он жил в Египте, в Александрии. По его наблюдениям в день летнего солнцестояния (когда высота Солнца над горизонтом максимальна) в Александрии Солнце в полдень отстояло от зенита на угол, соответствующий  $1/50$  окружности, а в Сиене (теперь это город Асуан) - находилось в зените, ибо освещало дно глубоких колодцев. Так как расстояние между указанными городами составляло *5 тыс. египетских стадий*, то Эратосфен, умножив *5 тыс.* на *50*, установил, что окружность Земли составляет *250 тыс. стадий*. Предполагают, что длина египетской стадии равнялась *157,7 м*. Следовательно, окружность Земли (по Эратосфену) равна *39,5 тыс. км*. Поделив эту величину на  $2\pi$ , находим, что средний радиус земного шара равен примерно *6278 км* (по современным измерениям - *6371 км!*)

Но уже давно исследователи фигуры нашей планеты поняли, что Земля - далеко не шар. Было предложено несколько математических моделей Земли. Из них наибольшее распространение получили две: геоид и эллипсоид.

*Геоид* - это модель Земли, представляющая собой геометрическое тело, у которого поверхность совпадает с поверхностью среднего уровня воды в океане, находящейся в спокойном состоянии (без волн, приливов, течений, влияния изменений атмосферного давления) и мысленно продолженной под материками так, что она в каждой точке пересекает направление отвесной линии под углом  $90^\circ$ .

Относительно геоида производятся измерения высот на суше и глубин в океане. Так, наибольшую высоту над поверхностью мирового океана имеет - *8848 м* - вершина Джомолунгма (Эверест), находящаяся в Гималаях (Евразия). Впервые люди побывали на ней в 1953 году. Это были новозеландец Э. Хилгари и шерп Н. Тенцинг. Наибольшую

глубину по отношению к уровню мирового океана - 11022 м - имеет Марианский жёлоб в Тихом океане. Она была установлена в 1957 году российскими учёными, проводившими исследования на корабле Института океанологии АН СССР "Витязь".

Для решения геодезических и картографических координатных задач используют математическую модель Земли, так называемый *эллипсоид относимости*, который представляет собой фигуру, называемую *эллипсоидом вращения*. Эллипсоид, как геометрическое тело, представляет собой шар, сплюснутый (сжатый) у полюсов.

Величину этого сжатия одним из первых определил И. Ньютон. По его подсчётам, оно должно составлять 1:230, а по расчётам российского учёного-геодезиста Ф. А. Красовского (1940 г.) - 1:298,3. Как показали наблюдения за движением искусственных спутников Земли, величина сжатия равна 1:298,2.

Эти же наблюдения позволили уточнить абсолютные размеры эллипсоида относимости. Оказалось, что экваториальный радиус Земли равен - 6375,75 км, северный полярный радиус - 6355,39 км, южный полярный радиус - 6355,36 км.

Земля участвует в двух движениях: она вращается вокруг оси и обращается вокруг Солнца. Вследствие первого движения происходит смена дня и ночи, вследствие второго - смена времён года.

Для характеристики Земли в целом, следует назвать такие её параметры, как масса ( $610^{21}$  кг), объём ( $10^{12}$  км<sup>3</sup>), площадь поверхности ( $510^8$  км<sup>2</sup>), но для понимания общих концепций без сравнения этих величин с какими-нибудь обыденными параметрами они дают немного.

Рельеф земной поверхности по-крупному складывается из материковых возвышенностей и океанических впадин, причём 70 % поверхности Земли покрыто водой, и только 30 % занимает суша. Максимальный перепад высот рельефа Земли равен сумме высоты Эвереста и глубины Марианской впадины, и, следовательно, составляет около 20 км.

Предлагаемое пособие имеет следующие основные разделы:

1. Теоретические основы геодезии.
2. Основные методы и способы определения координат.
3. Основные методы и способы определения высот.
4. Угловые и линейные измерения на местности.

5. Топографические карты и планы.
6. Топографические съёмки местности.
7. Основы планирования и организации производства топографо-геодезических работ.

В первом разделе “Теоретические основы геодезии” описываются основные системы координат, применяемые в геодезии. Дается понятие о плоской прямоугольной системе координат Гаусса-Крюгера. Излагаются основные сведения о геодезических сетях. Формулируются основные геодезические задачи на плоскости и показываются способы их решения.

В разделе “Основные методы и способы определения координат” подробно описываются такие методы, как триангуляция, трилатерация и полигонометрия. Излагаются способы обработки полигонометрического хода. Одним из практически важных способов является приближенное уравнивание. Дается представление о методе засечек.

В разделе “Основные методы и способы определения высот” излагаются основные сведения из теории высот. Описываются основные методы получения высот. Дается представление о геометрическом нивелировании и высотных сетях. Поясняется назначение и содержание обработки нивелирного хода.

Раздел “Угловые и линейные измерения на местности” посвящён описанию основных геодезических приборов: теодолита, электронного теодолита, электромагнитного дальномера, электронного тахеометра, нивелира, а также нивелирных реек. В этом разделе описывается измерение расстояний на местности и приведение измеренных расстояний на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера. Дается представление об основных элементах теории ошибок и оценки точности наблюдений.

В разделе “Топографические карты и планы” описываются и поясняются такие понятия, как масштабный ряд, разграфка и номенклатура. Излагаются основные приёмы отображения местных предметов и рельефа, а также зарамочного оформления. Показываются способы решения задач по картам. Приводятся соответствующие примеры.

Раздел “Топографические съёмки местности ” имеет подразделы:

- Основные методы и способы производства топографических съёмок.

- Тахеометрия.
- Обработка тахеометрии.
- Оформление съёмочного оригинала топографического плана по результатам тахеометрической съёмки.

Наконец, в разделе “Основы планирования и организации производства топографо-геодезических работ” даётся представление об основах планирования топографо-геодезических работ. Описывается состав технического проекта. Излагаются основы организации топографо-геодезических работ. Они связаны, в частности, с составлением задания на выполнение топографо-геодезических работ, контролем качества и приёмки результатов работ, соблюдением правил техники безопасности.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь представление о:

- роли и месте дисциплины «Геодезия» в комплексе специальных дисциплин;
- фигуре Земли, её параметрах и их использования в практической деятельности;
- источниках ошибок измерений и простейших способах их оценки;
- структуре и современном состоянии государственной геодезической сети;
- перспективах развития средств и методов получения геодезических данных.

# 1. Теоретические основы геодезии

## 1.1 Системы координат, применяемые в геодезии

### 1.1.1 Параметры земного эллипсоида

Наиболее удобной является плоская, прямоугольная, декартова система координат (рис. 1.1).

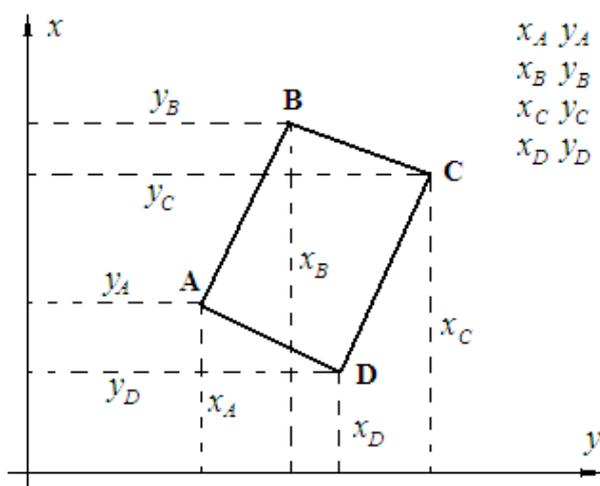


Рис. 1.1 Декартова прямоугольная система координат

Однако, Земля не плоская, а представляет собой очень сложную фигуру. Поэтому реальное расположение объекта на поверхности Земли отличается от того положения, которое представлено на плоскости.

Для отображения объектов из одного пространства (для нас – с земной поверхности) в другое пространство (для нас – плоскость) используют проекции (рис. 1.2).

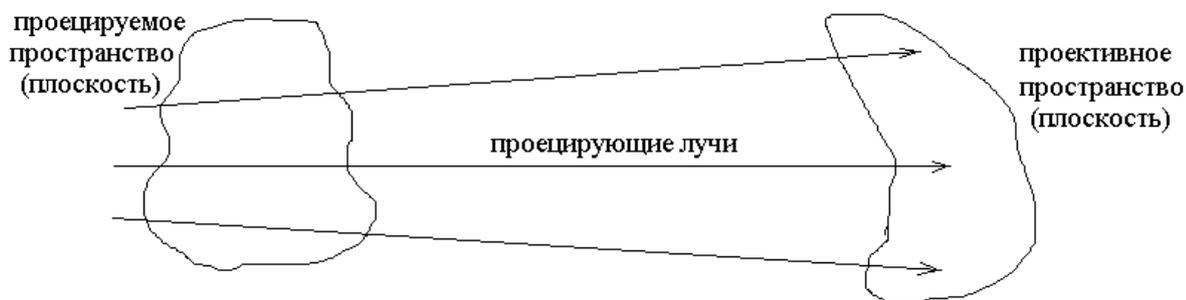


Рис. 1.2 Проецирование объекта

*Проекция* – свод правил в виде формул, описывающих порядок переноса изображений с одной поверхности на другую.

Формулы учитывают геометрию проецируемого и проективного пространств.

Чтобы спроецировать объекты с реальной земной поверхности на плоскость необходимо разработать проекцию (свод формул).

При выводе формул необходимо учесть геометрию проецируемого пространства, то есть размеры и форму Земли (фигуру Земли).

Под изучением фигуры Земли понимают:

- определение формы, размеров и ориентирование в теле Земли правильной математической поверхности – земного эллипсоида, достаточно хорошо представляющего фигуру Земли в целом;
- изучение реальной физической поверхности Земли, которое заключается в определении отступлений точек земной поверхности от поверхности земного эллипсоида.

Вследствие вращения Земли вокруг оси и действия центробежных сил, наша планета представляет собой сплюснутую у полюсов сферу, так называемый эллипсоид (рис. 1.3).

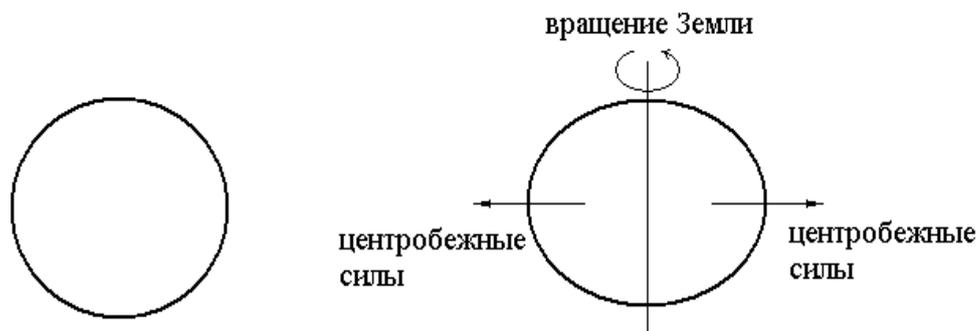


Рис. 1.3 Образование эллипсоида

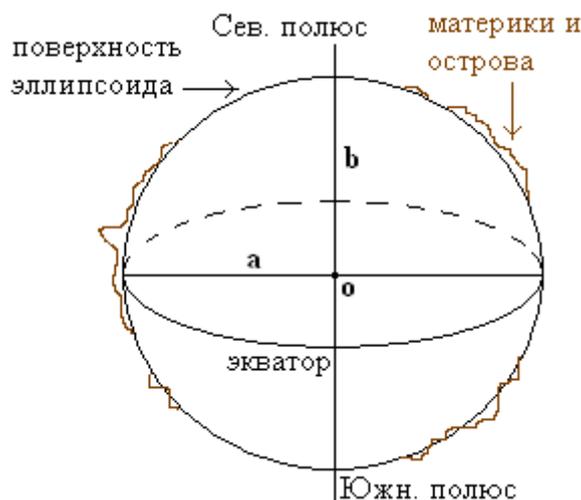


Рис. 1.4 Земной эллипсоид

Земной эллипсоид (рис. 1.4) характеризуют двумя основными параметрами: большой *полуосью*  $a$  и малой *полуосью*  $b$ . Дополнительным параметром является величина, называемая *сжатием*. Она вычисляется по формуле

$$\alpha = (a - b) / a .$$

Точки пересечения поверхности эллипсоида малыми полуосями называются *полюсами*, северным и южным соответственно.

Для решения геодезических и картографических задач за математическую модель Земли принимают так называемый *эллипсоид относимости*. Его параметры получаются из математической обработки массовых геодезических измерений на поверхности Земли (измерение длин дуг меридианов и параллелей). Поскольку такие измерения в разных странах производились независимо, были получены несколько разные результаты. Поэтому, например, западноевропейские геодезисты пользуются параметрами так называемого эллипсоида Кларка, а американские - эллипсоида Хейфорда.

В нашей стране и ряде других стран с 1946 года для математической обработки геодезических измерений принят *эллипсоид Красовского* (по фамилии российского учёного, руководившего соответствующими измерительными работами). Параметры эллипсоида Красовского:

$$a = 6378245 \text{ м}, \quad b = 6356863 \text{ м}, \quad \alpha = 1/298.3.$$

Использование спутниковых технологий в геодезии позволило произвести более точные (глобальные) измерения, определить параметры *общего земного эллипсоида*, наиболее точно описывающего поверхность Земли, а центр эллипсоида совпадает с центром масс Земли. Кроме того было установлено, что:

- параметры ни одного из принятых в мире эллипсоидов не совпадают с общим земным;
- центры принятых в мире эллипсоидов не совпадают с центром масс Земли, а значит и с центром общего земного эллипсоида;
- направление (ориентировка) их малых полуосей не совпадает с направлением малой полуоси общего земного эллипсоида.

Чтобы отличать все другие эллипсоиды от общего земного, их называют *референц-эллипсоидами*, а системы координат, с

ними связанные, называют *референцными*, в отличие от *общеземных*.

Параметры общего земного эллипсоида, полученного геодезическими службами разных стран также несколько различаются между собой, но не столь существенно, как между референц-эллипсоидами. В Российской Федерации принят общий земной эллипсоид (ПЗ-90.11) с параметрами:

$$a = 6378136.15 \text{ м}, \quad \alpha = 1/298.25784$$

### 1.1.2 Эллипсоидальная и геоцентрическая прямоугольная системы координат

Системы координат, у которых начало совмещено с центром Земли (центром земного эллипсоида, в том числе и референсного) или с точкой, с ним ассоциированной, называют геоцентрическими. Рассмотрим основные геоцентрические системы координат.

Центром *эллипсоидальной системы координат* является центр земного эллипсоида. Соответственно, если в качестве земного эллипсоида принят общий земной - такая система считается общеземной. Все остальные - референцные.

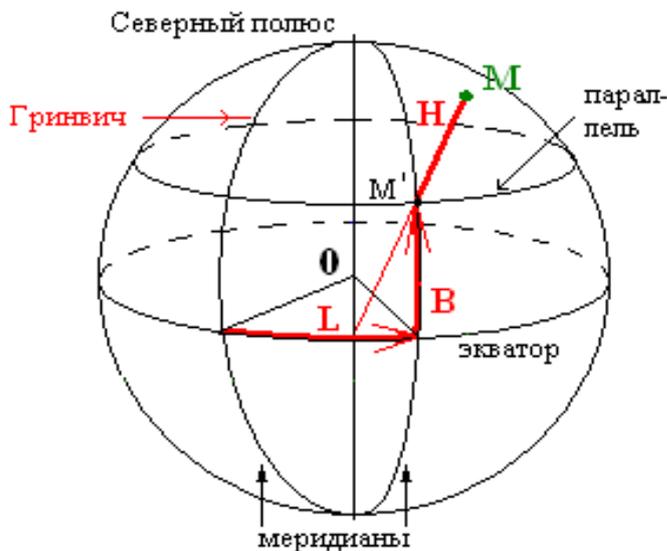


Рис. 1.5 Эллипсоидальная система координат

По поверхности эллипсоида можно проложить линии: меридианы и параллели (рис. 1.5). *Меридиан* получается сечением поверхности эллипсоида плоскостью, в которой лежит

малая полуось. Форма меридиана - эллипс. Параллель получается сечением поверхность эллипсоида плоскостью, перпендикулярной малой полуоси. Форма параллели - окружность. Если в данной плоскости лежит центр эллипсоида, получается параллель, называемая экватором, а сама плоскость называется плоскостью экватора.

В этой системе наиболее важным меридианом является меридиан, проходящий через обсерваторию в Гринвиче, находящейся в восточной части Лондона. Он называется *Гринвичским (Гриничским) меридианом*.

Предположим, что необходимо описать координаты точки  $M$  (рис. 1.5). Через эту точку проведём *нормаль* (перпендикуляр) к поверхности эллипсоида. Нормаль продолжается до пересечения с малой полуосью, при этом она пересекает плоскость экватора.

Угол, под которым нормаль пересекает плоскость экватора, есть *геодезическая широта  $B$*  точки  $M$ . Она измеряется в угловой мере - в градусах, минутах и секундах дуги от плоскости экватора к северу (в северном полушарии) или к югу (в южном полушарии). Линия на поверхности эллипсоида, состоящая из множества точек с одинаковой широтой, является параллелью. Параллель с широтой, равной нулю, является экватором.

Широты точек в северном полушарии могут принимать значения от  $0^\circ$  на экваторе до  $90^\circ$  Северном полюсе. Широты точек в южном полушарии имеют отрицательное значение, то есть могут принимать значения от  $0^\circ$  на экваторе до  $-90^\circ$  на Южном полюсе.

Длина одного градуса по широте - величина переменная из-за сжатия эллипсоида. Её примерное значение - 111 км. Соответственно, длина дуги в  $1'$  - примерно 1852 м, длина дуги в  $1''$  - около 30 м.

Через точку  $M$  и малую полуось можно построить плоскость меридиана точки  $M$ . Соответственно, через Гринвичский меридиан можно построить плоскость Гринвичского меридиана. Двугранный угол между этими плоскостями есть *геодезическая долгота  $L$*  точки  $M$ . Она так же, как и широта, измеряется в угловой мере, то есть в градусах, минутах и секундах дуги. Угол отсчитывается от Гринвичского меридиана на восток. Долгота точки может принимать значения от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Третья координата – *геодезическая высота  $H$* . Это линейная величина, измеряется в метрах относительно поверхности эллипсоида. Если точка  $M$  вне эллипсоида – высота положительная, если внутри эллипсоида – отрицательная.

Эта система координат применяется при решении геодезических задач на поверхности эллипсоида.

В географии и морской навигации используют похожие географические координаты. Их отличие от геодезических координат состоит том, что:

- широты указываются не со знаком плюс или минус, а указывается, что широта северная или южная;
- долгота отсчитывается от Гринвичского меридиана на восток и на запад в пределах от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и указывается, что долгота восточная или западная.

Центром *геоцентрической прямоугольной* системы координат (рис. 1.6) также является центр земного эллипсоида. По малой оси эллипсоида проложена ось  $Z$ . При этом в северном полушарии значения аппликаты положительная, в южном полушарии – отрицательная. Через точку пересечения Гринвичского меридиана и экватора проложена ось  $X$ . Ось  $Y$  перпендикулярна двум другим осям и направлена в восточное полушарие (дополняет систему координат до левой).

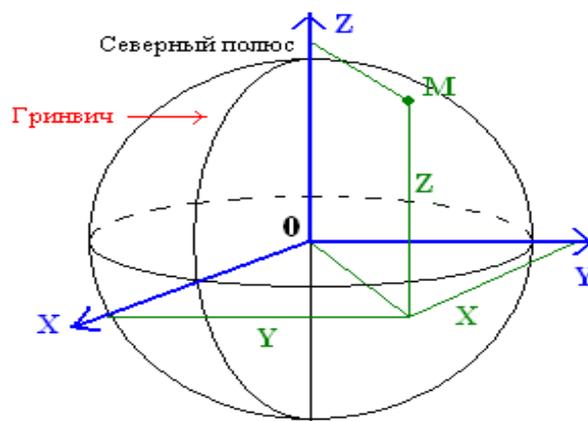


Рис. 1.6 Геоцентрическая прямоугольная система координат

Таким образом, положение любой точки в пространстве, например  $M$ , может быть описано тремя координатами:  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Эта система координат чаще всего используется для позиционирования объектов в околоземном пространстве, например, искусственных спутников Земли. В зависимости от принятого эллипсоида эта система также может быть как общеземной, так и референцной.

Координаты точки в разных системах (рис. 1.7) связаны между собой соответствующими математическими формулами. Формулы перехода от одной системы к другой рассматриваются в курсе высшей геодезии.

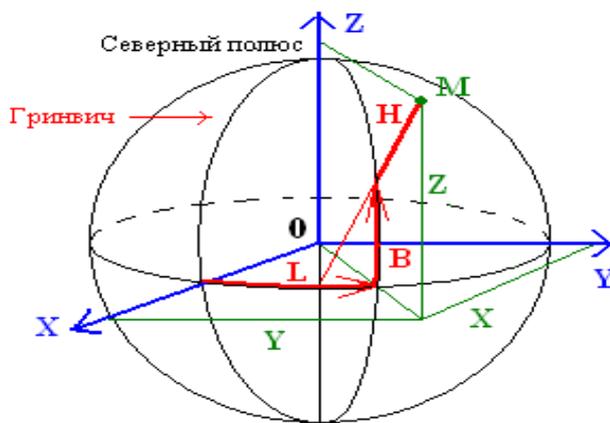


Рис. 1.7 Соотношение геоцентрических систем координат

### 1.1.3 Топоцентрическая система координат

Иногда удобно за начало системы координат выбрать, например, точку стояния наблюдателя или геодезического прибора. В случаях, когда начало системы координат находится в произвольно выбранной точке, систему координат называют *топоцентрической*. Топоцентрические системы удобны для описания взаимного положения объектов. Они всегда, тем или иным образом, связаны с геоцентрическими системами и являются вспомогательными для решения конкретных геодезических задач.

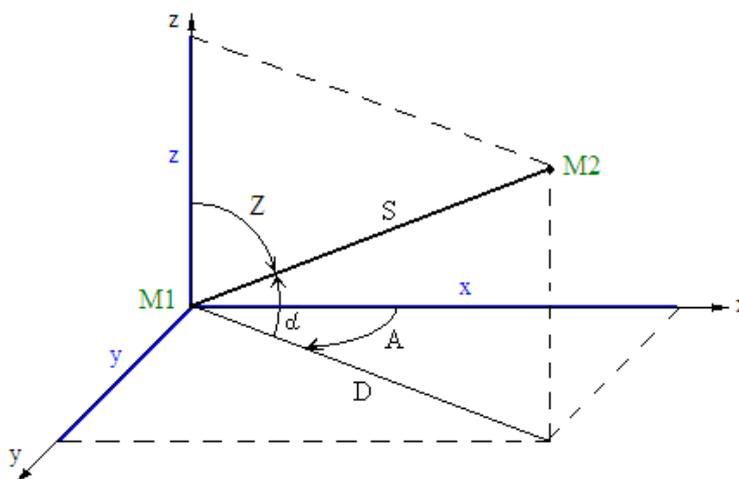


Рис. 1.8 Топоцентрическая система координат

На рис. 1.8 показана *прямоугольная топоцентрическая система координат*. В точке **M1** находится центр системы. Из него вверх проложена ось *z*. В зависимости от используемой геоцентрической системы координат, она может совпадать или с отвесной линией, или с нормалью к поверхности эллипсоида. Ось *x* направлена на «север». Понятие «севера» также зависит от используемой геоцентрической системы координат. Например, она может лежать в плоскости меридиана. Ось *y* перпендикулярна двум другим осям и направлена на восток (дополняет систему координат до правой).

Таким образом, координаты произвольной точки **M2** относительно описанной системы задаются координатами *x*, *y* и *z*. Все они могут быть как положительными, так и отрицательными. Кроме прямоугольной системы топоцентрических координат, используется *полярная топоцентрическая*, или просто *полярная система* координат. В ней положение точки **M2** описывается координатами: зенитным расстоянием **Z**, «азимутом» **A**, расстоянием *s* (рис. 1.8).

*Зенитное расстояние Z* – угловая величина, отсчитываемая от оси *z* до направления на точку **M2**. Зенитное расстояние может принимать значения от 0° (строго вверх) до 180° (строго вниз). «Азимут» **A** (название условное) – угловая величина, отсчитываемая от оси *x* до плоскости, в которой лежат ось *z* и направление на точку **M2**. Эта величина изменяется в пределах от 0° до 360°. Расстояние *s* – это расстояние от начала координат до точки **M2**. Оно измеряется в метрах.

В некоторых системах координат в качестве дополнительных величин используют горизонтальное проложение **D** и угол наклона **α** (рис. 1.8). Горизонтальное проложение **D** – это проекция линии **M1-M2** на горизонтальную плоскость *xy*, а *угол наклона α* – это угол между горизонтальной плоскостью и линией **M1-M2**. Очевидно, имеют место следующие соотношения:

$$D = s \cdot \sin Z \quad , \quad \alpha = 90^\circ - Z \quad .$$

Из последней формулы следует, что угол наклона линии над плоскостью горизонта положителен, под горизонтом – отрицателен.

На рис. 1.9 показана топоцентрическая система на поверхности эллипсоида. За начало координат принята точка **I**.

Она соединена с точкой 2 кратчайшей по поверхности эллипсоида линией. Ее называют *геодезической линией*. Положение точки 2 относительно точки 1 задают двумя координатами:

- *геодезическим азимутом  $A$* , отсчитываемым от меридиана до геодезической линии;
- *длиной геодезической линии  $S$* .

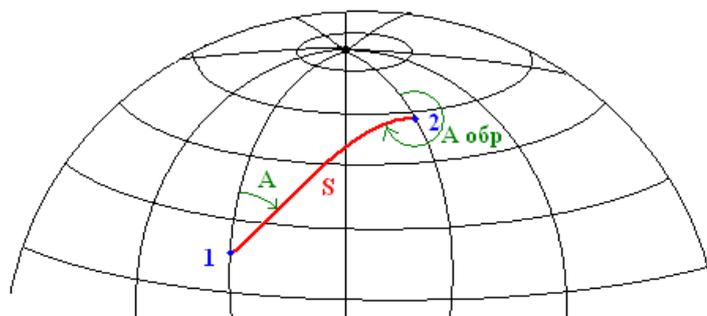


Рис. 1.9 Топоцентрическая система на поверхности эллипсоида

## 1.2 Плоская прямоугольная система координат Гаусса-Крюгера

### 1.2.1. Особенности проецирования земной поверхности на плоскость

При проецировании земной поверхности на плоскость возникают следующие затруднения:

- спроецировать сферическую или сфероидическую поверхность на плоскость без искажений невозможно;
- чем больше площадь проецируемой поверхности, тем больше искажения;
- искажения бывают двух видов: искажения формы (например, квадраты превращаются в ромбы) и искажения масштабов (все размеры изменяются непропорционально друг другу).



Рис. 1.10. Искажения при проецировании

В этом нетрудно убедиться, проведя следующий опыт (рис. 1.10). Возьмём резиновый мяч и нарисуем на его поверхности регулярную сетку. Затем вырежем фрагмент, разместим на столе и прижмём толстым стеклом. Из рисунка видно, что изображение сетки исказится: в некоторых местах резина растянется, в некоторых – сожмётся.

Искажения формы называют *угловыми*, а искажения масштабов - *линейными* искажениями. Проекции, в которых искажения формы минимизированы, называют *конформными*. Примером такой проекции является проекция Гаусса-Крюгера.

### 1.2.2 Проекция Гаусса-Крюгера

Наиболее распространённой проекцией, применяемой в геодезии, является *проекция Гаусса-Крюгера* (рис. 1.11). В ней проецирование земной поверхности производится в пределах некоторой выделенной зоны. В этой проекции зона проецирования представляет собой фрагмент земной поверхности, простирающийся от полюса до полюса и ограниченный с востока и запада меридианами. Касание проективной плоскости с проектируемой сферой происходит по центральному меридиану зоны. Этот меридиан называют *осевым*.

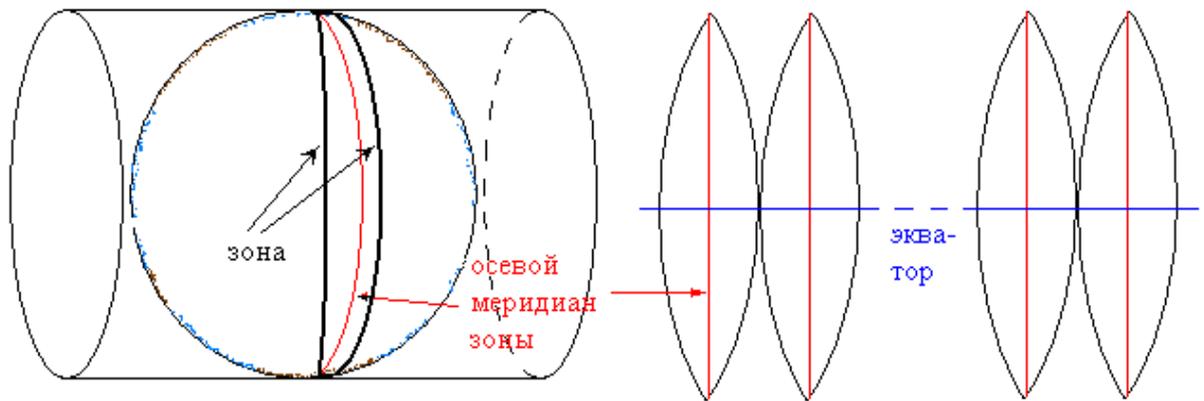


Рис. 1.11 Проекция Гаусса-Крюгера

Координатами точки на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера являются координаты  $x$  и  $y$ . Существуют формулы пересчёта координат точки из эллипсоидальных (широты  $B$  и долготы  $L$ ) в координаты  $x$  и  $y$  в проекции Гаусса-Крюгера и наоборот. Эти формулы изучаются в курсе высшей геодезии.

Система координат в проекции Гаусса-Крюгера является плоской прямоугольной (рис. 1.12). На рисунке, для примера,

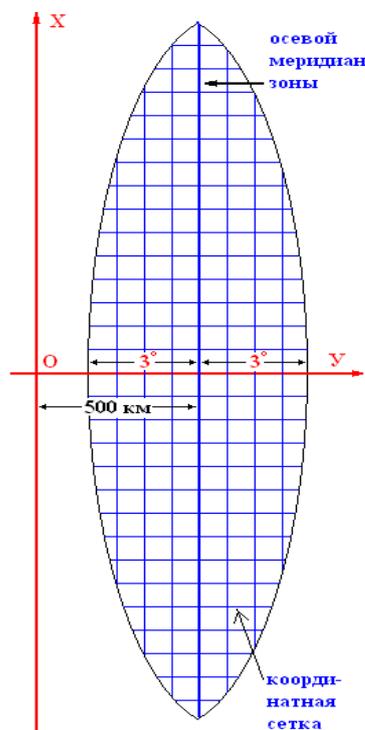


Рис. 1.12 Пример системы координат в проекции Гаусса-Крюгера

приведена шестиградусная зона проецирования, а для наглядности, в пределах зоны нанесена координатная сетка. Ось  $y$

совпадает с проекцией экватора. Для удобства, с тем, чтобы координаты по оси  $y$  были положительными во всей зоне, начало системы координат отнесено на запад на 500 км. Ось  $x$  направлена параллельно проекция осевого меридиана зоны.

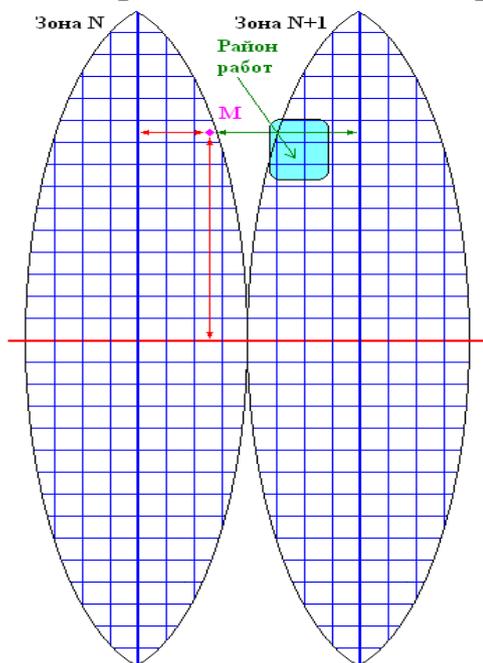


Рис. 1.13 Работа в смежных зонах

Если необходимо спроецировать участок Земли, превышающий по размеру размер выделенной зоны, то проецирование производится на несколько смежных зон. В некоторых случаях геодезические работы могут выполняться на границе смежных зон проецирования (рис. 1.13). При этом возникают дополнительные затруднения.

В проекции Гаусса-Крюгера угловые искажения минимизированы. Следовательно, она является конформной. Что касается линейных искажений, то на осевом меридиане они равны нулю, но по мере удаления от него они увеличиваются (рис. 1.14).



Рис. 1.14 Возрастание линейных искажений к краям зоны проецирования

Ширина зоны проецирования устанавливается, исходя из допустимых линейных искажений на краю зоны. При использовании проекции Гаусса-Крюгера необходимо указывать долготу осевого меридиана и параметры используемого земного эллипсоида.

Для того чтобы не было разнобоя в работе геодезистов и потребителей геодезической информации, конкретная система координат закрепляется законодательно.

Основной системой координат в проекции Гаусса-Крюгера является «Система координат 1995 года», или СК-95. Она является дальнейшим развитием системы СК-42. Основные характеристики этих систем достаточно близки (см. рис. 1.12):

- вся поверхность Земли проецируется на 60 зон;
- зоны нумеруются от 1 до 60;
- ширина каждой зоны проецирования  $6^\circ$ ;
- смещение начала координат по оси  $y$  – 500 км на запад;
- у первой зоны долгота западного меридиана  $0^\circ$ , осевого меридиана  $3^\circ$ , восточного  $6^\circ$ .

Для отличия координат точки, задаваемых в одной зоне от точно таких же координат, но задаваемых в другой зоне, к значению ординаты  $y$  в старшие разряды приписывают номер зоны. Например, если указано, что  $y = 32\ 334\ 456$  м, то точка находится в 32-й зоне.

По долготы точки легко определить, в какой зоне она находится. Для этого достаточно разделить долготу точки на 6 и округлив полученный при этом результат до большего.

Если указан номер зоны  $N$ , то долготу осевого меридиана зоны  $L_0$  можно вычислить по формуле

$$L = N \cdot 6^\circ - 3^\circ .$$

Различие между системами СК-42 и СК-95 состоит в расположении и ориентировке используемого земного эллипсоида. В СК-42 используется эллипсоид Красовского. В СК-95 используется эллипсоид с параметрами эллипсоида Красовского, но центр этого эллипсоида совпадает с центром масс Земли и малая полуось совпадает с осью вращения Земли. Детали этого различия описываются в курсе высшей геодезии.

Для производства крупномасштабных топографических и кадастровых съёмок, а также обеспечения строительства большинства объектов используют системы координат,

установленных для отдельных регионов в законодательном порядке. Примерами таких систем являются:

- РСК-47 - для Северо-Западного региона;
- СК-64 - для Санкт-Петербурга и некоторых близлежащих городов и поселений;
- СК-63 - для Ленинградской области.

Во всех этих системах ширина зон проецирования составляет  $3^\circ$ .

### 1.2.3 Топоцентрическая система координат на плоскости

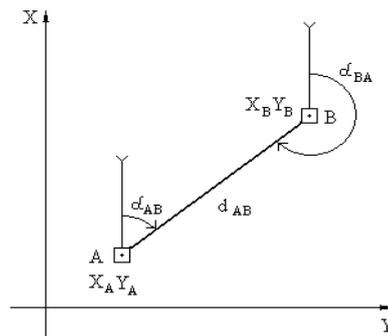


Рис. 1.15 Полярные координаты плоской прямоугольной системе

Рассмотрим в плоской прямоугольной системе координат в проекции Гаусса-Крюгера *топоцентрическую систему координат* (рис. 1.15). Примем за начало системы точку **A**. Тогда положение точки **B** определится полярными координатами: дирекционным углом  $\alpha_{AB}$  и расстоянием  $d_{AB}$ .

*Прямой дирекционный угол  $\alpha_{AB}$*  отсчитывается от линии координатной сетки, параллельной оси **x** и обозначенной на рисунке линией, раздвоенной на конце, до направления на точку **B**.

Дирекционный угол  $\alpha_{BA}$ , отсчитываемый от точки **B** к точке **A**, называют *обратным дирекционным углом*. Он отличается от прямого дирекционного угла ровно на  $180^\circ$ . Это выражается формулой

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} \pm 180^\circ .$$

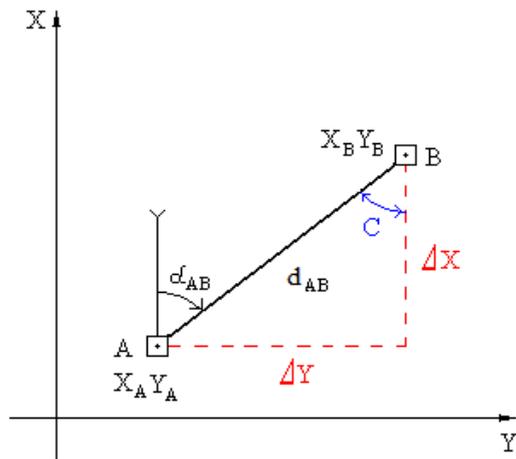


Рис. 1.16 Прямоугольная топоцентрическая система координат

Геометрический смысл прямоугольной топоцентрической системы координат демонстрирует рис. 1.16. Здесь координатами точки **B** относительно точки **A** будут величины  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Их значения вычисляются по координатам точек **A** и **B** в системе координат Гаусса-Крюгера по формулам:

$$\Delta x = x_B - x_A, \quad \Delta y = y_B - y_A.$$

При производстве геодезических работ достаточно часто требуется задание высоты объекта. В этом случае в топоцентрические системы добавляют дополнительные координаты (рис. 1.17): *зенитное расстояние Z*, *наклонное расстояние s*, *превышение h*. Под зенитным расстоянием **Z** понимают угол между отвесной линией в точке **A** и направлением на точку **B**, под превышением **h** – разность высот точек **B** и **A**.

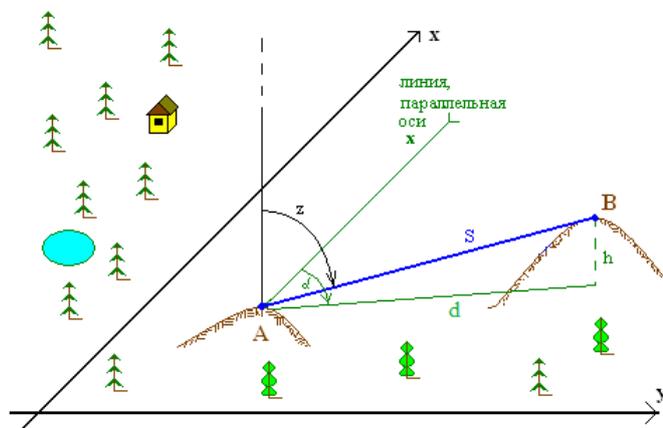


Рис. 1.17 Пространственная топоцентрическая система координат в проекции Гаусса-Крюгера

При решении некоторых задач с использованием топоцентрической системы координат положение точки задают углом между меридианом и направлением на точку. На рис. 1.18 он обозначен буквой  $A$ . Такой угол называют геодезическим азимутом. Из рисунка видно, что имеет место соотношение:

$$\alpha = A - \gamma ,$$

где: -  $A$  - геодезический азимут из точки **1** на точку **2**;

-  $\gamma$  - угол сближения меридианов;

-  $\alpha$  - дирекционный угол, отсчитываемый от линии координатной сетки (линии, параллельной осевому меридиану).

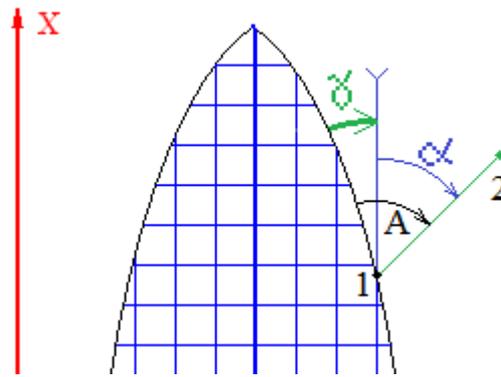


Рис. 1.18 Угол сближения меридианов

Формула для вычисления угла сближения меридианов рассматривается в курсе высшей геодезии. Для целей геодезии часто используют упрощённую формулу:

$$\gamma'' = (L - L_0)'' \cdot \operatorname{tg} B ,$$

где: -  $L$  и  $L_0$  – долготы меридиана точки и осевого меридиана соответственно;

-  $B$  – геодезическая широта.

В этой формуле разность  $(L - L_0)$  со своим знаком, переводится в секунды, исходя из соотношения: в каждом градусе содержится  $3600''$ , в каждой минуте -  $60''$ . Соответственно и угол сближения меридиан  $\gamma$  также получается в секундах дуги. При необходимости, полученный результат, по тому же соотношению, переводится в градусы, минуты и секунды.

Вследствие сферичности Земли (рис. 1.19) при построении проекций в расстояния, измеренные приборами, приходится вносить поправки. Этот процесс называют *редуцированием*.

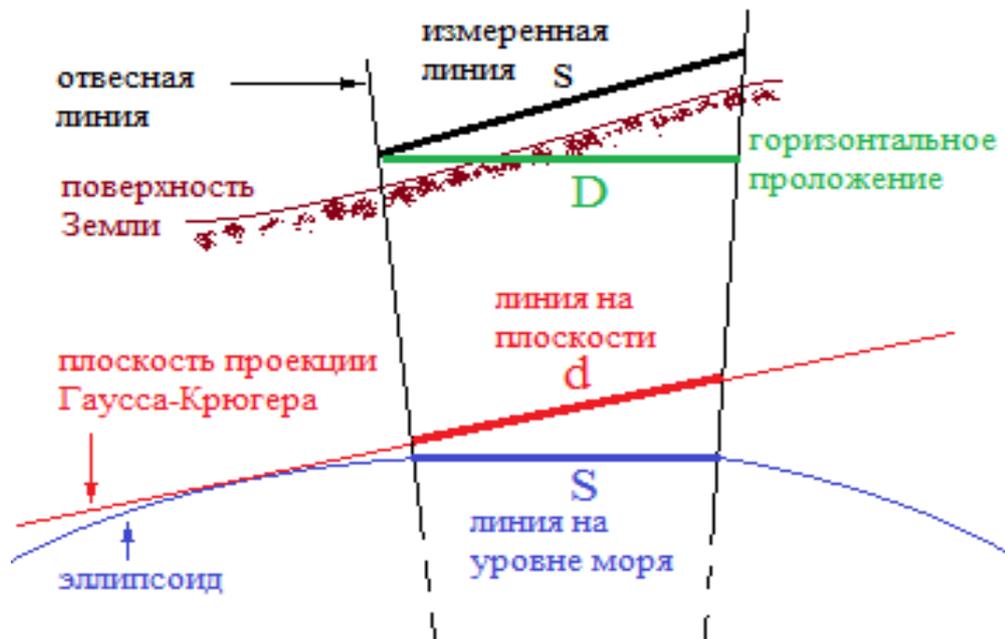


Рис. 1.19 Редуцирование измеренной линии

Предположим, что на земной поверхности измерена линия  $s$ . Чтобы продолжить обработку наблюдений на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера, необходимо:

- вычислить горизонтальное *проложение*  $D$ ;
- привести линию на уровень моря, или на поверхность эллипсоида (линия  $S$ );
- спроецировать линию  $S$  с эллипсоида на плоскость (линия  $d$ ).

Приведение линии на уровень моря проводится по формуле

$$S = D + \delta_H \quad ,$$

в которой поправка  $\delta_H$  определяется соотношением

$$\delta_H = -0.157 \cdot D(\text{км}) \cdot H(\text{км}) \quad ,$$

а расстояние  $D$  и высота линии  $H$  выражены в километрах и долях километра.

Линия на плоскости вычисляется по формуле

$$d = S + \delta_L \quad ,$$

в которой поправка  $\delta_L$  определяется соотношением:

$$\delta_L = 0.123 \cdot D(\text{км}) \cdot y_m^2 (\text{сотни км}) \quad ,$$

где  $y_m$  – ордината середины линии относительно осевого меридиана зоны.

Так как проекция Гаусса-Крюгера конформная, то углы в этой проекции практически соответствуют углам на местности. Но направления в это проекции отличаются от аналогичных направлений на местности (рис. 1.20).

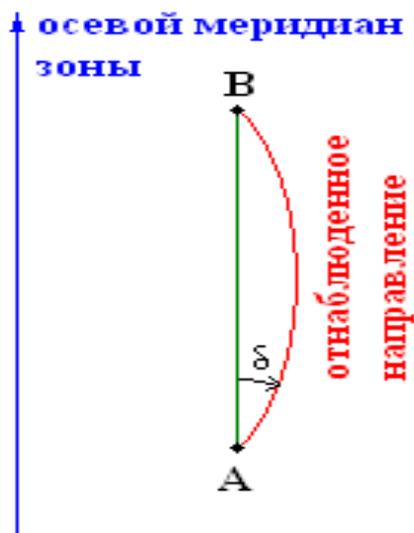


Рис. 1.20 Проекция измеренного направления

Предположим, что обрабатывается прямая  $AB$ . Измеренное направление спроецировалось в виде кривой, близкой по форме к дуге. Для перехода к прямой линии вводят поправку  $\delta$ , вычисляемую по формуле:

$$\delta'' = 0.00253 \cdot (x_A - x_B) \cdot y_m \quad ,$$

где разность абсцисс ( $x_A - x_B$ ) и ордината середины линии  $y_m$  выражены в километрах и долях километра, а результат получается в секундах.

Из последней формулы видно, что величина поправки на коротких расстояниях будет составлять доли секунд. Но на расстояниях в несколько километров она будет составлять несколько секунд, особенно на краях зоны. Но на практике эта поправка часто не вводится. В случае же необходимости её учёта, это оговаривается особо.

## 1.3 Геодезические сети

### 1.3.1. Понятие геодезического пункта

Рассмотренные геоцентрические системы координат обязательно имели точку начала системы. Но в основных системах координат такими точками являются центр Земли или точка пересечения меридиана и экватора. Эти точки, как и оси на местности не закреплены. Опишем, как в такой ситуации определять координаты точек.

Если имеется точка, координаты которой известны, можно как бы «восстановить» систему координат. Такая точка называется *исходным геодезическим пунктом*, или просто *исходным пунктом* (рис. 1.21). Но необходимости в «восстановлении» системы координат нет. Проще непосредственно передать координаты от исходного пункта на точки, координаты которых необходимо определить (рис. 1.22).

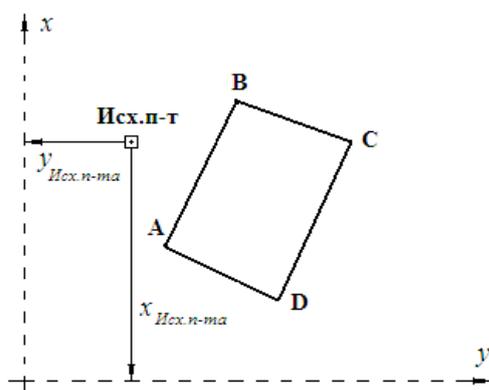


Рис. 1.21 Исходный пункт

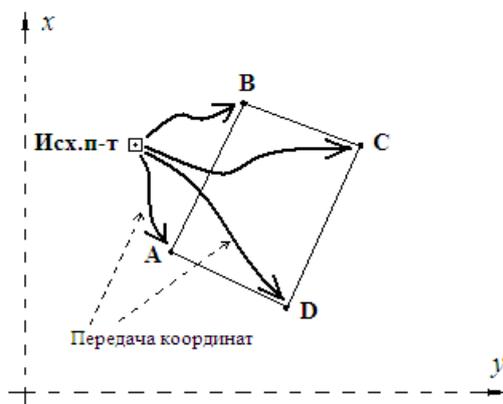


Рис. 1.22 Передача координат

В связи с этим в геодезии решаются задачи:

- определения координат исходных пунктов;
- передачи координат от исходных пунктов к определяемым точкам.

Совокупность исходных геодезических пунктов закрепляет систему координат. При этом исходные пункты получают от других исходных пунктов путём передачи координат. В конечном счёте, идя в обратном порядке, можно добраться до самого первого исходного пункта. Им является, например, центр главного зала Пулковской обсерватории.

К геодезическому пункту предъявляются требования сохранности и стабильности. Сохранность – это обеспечение наличия пункта в течение некоторого времени; стабильность – обеспечение неподвижности пункта. Различают пункты *постоянные* и *временные*.

*Постоянный геодезический пункт* – закреплённая на местности точка с известными координатами. Для закрепления точки используют *марки* (рис. 1.23). Обычно марку изготавливают из чугуна. На марке имеются:

- центр (собственно та точка, к которой отнесены координаты);
- уникальный номер;
- надпись, указывающая на производителя геодезических работ.

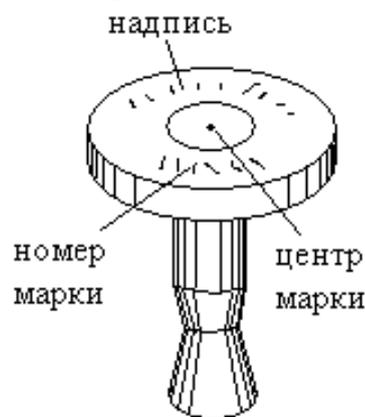


Рис. 1.23 Марка геодезического пункта

Марка крепится на каком-либо массивном основании. Например, марки вмуровывают в бетонные *пилоны*, стены каменных зданий, скальные образования, приваривают к стальным трубам (рис. 1.24). Закреплённая подобным образом марка образует центр геодезического пункта.

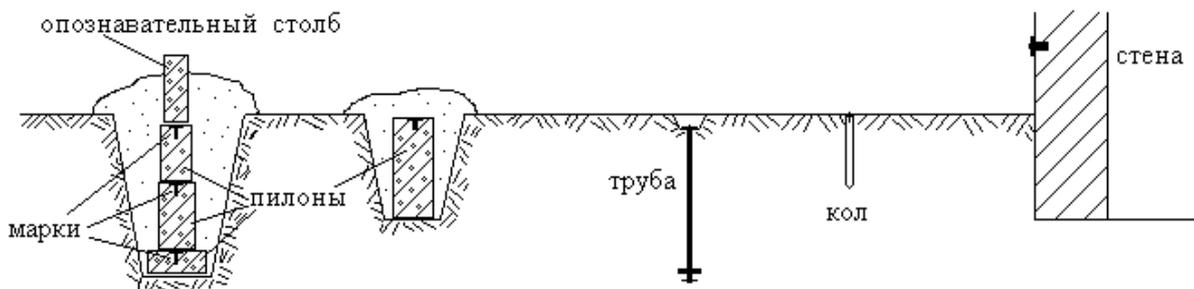


Рис. 1.24 Центры геодезических пунктов

Временные пункты могут представлять собой колы с гвоздём, пни или валуны, вросшие в землю с насечкой в верхней части (рис. 1.25).

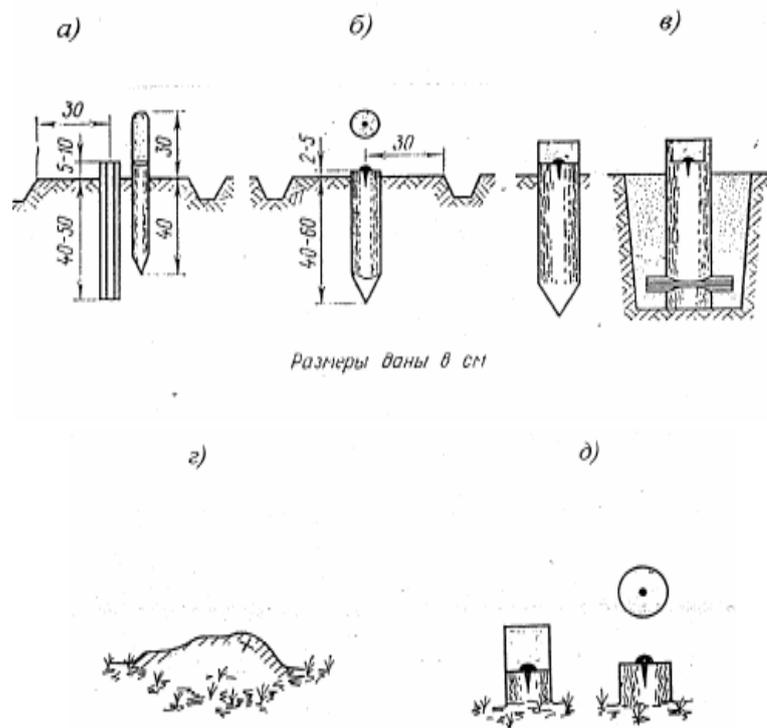


Рис. 1.25 Временные центры геодезических пунктов

Пункт, расположенный в грунте, окружают *окопкой* (рис. 1.26). Так называют канаву, выполненную с соблюдением профиля и размеров, заданных руководящими документами.

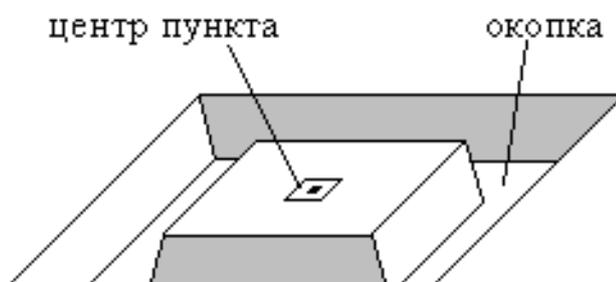


Рис. 1.26 Окопка геодезического пункта

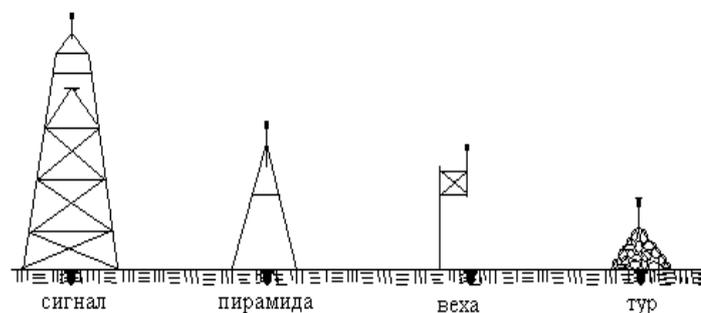


Рис. 1.27 Наружные знаки геодезических пунктов

Если пункты расположены на достаточно большом расстоянии друг от друга, или местность между пунктами не является ровной, или между пунктами расположена высокая

растительность, то прямая видимость от пункта к пункту отсутствует. В подобных случаях для производства геодезических измерений *визирную цель* или геодезический прибор поднимают над поверхностью Земли, используя *наружные знаки: сигналы* (вышки), *пирамиды, вехи, туры* и т. п. (рис. 1.27).

Многие типы постоянных геодезических пунктов состоят из основного и двух *ориентирных пунктов* (ОРП) (рис. 1.28). При этом дирекционные углы и расстояния от основного пункта на ОРП должны быть определены.

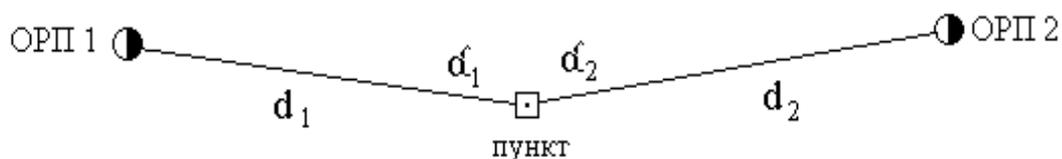


Рис. 1.28 Ориентирные пункты

### 1.3.2 Государственная геодезическая сеть

Для оперативной передачи координат к определяемым точкам создают на заданной территории и, в конечном счёте, на территории всей страны достаточно густую сеть исходных геодезических пунктов. Эту задачу российские геодезисты начали выполнять в 1816 году. Работа была завершена лишь в середине 1980-х годов созданием *государственной геодезической сети* (ГГС). Развитие сети проводилось по схеме, показанной на рис. 1.29.

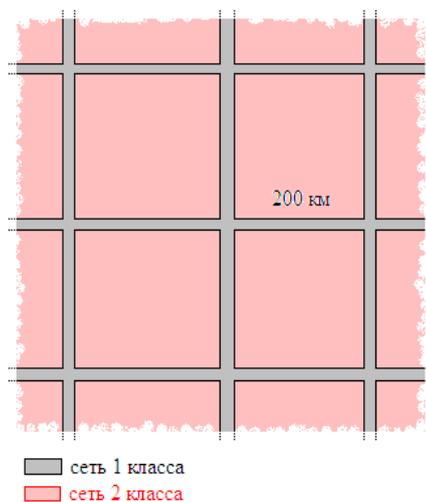


Рис. 1.29. Астрономо-геодезическая сеть

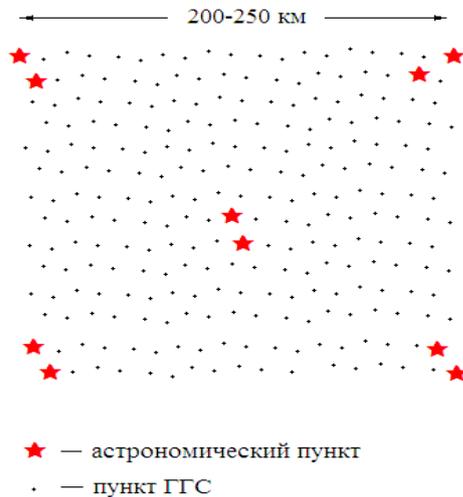


Рис. 1.30. Фрагмент астрономо-геодезической сети

Предусматривалось, что геодезические пункты будут определяться с разной точностью. Пункты высокой точности дорого стоят, поэтому основную часть сети составляют пункты несколько меньшей точности. Самая высокая точность принадлежит пунктам геодезической сети 1 класса. Эти сети развивались в виде замкнутых *полигонов* (прямоугольников) со сторонами *200-250 км*. Ширина линии полигона составляет около *20 км*.

Внутреннее пространство полигона заполнялось сетью пунктов 2 класса. Всего на территории Российской Федерации заложено и определено более 160 тыс. пунктов 1 и 2 классов.

В одном из узлов полигона находится пункт Пулково. Это - самый первый исходный пункт, от которого координаты передавались дальше по всей стране. Во всех других узлах, а также в центрах прямоугольников, находятся пары специальных геодезических пунктов – астрономические пункты, называемые пунктами Лапласа (рис. 1.30). В частности, на этих пунктах, для уточнения ориентировки всей сети, астрономическим путём определяют азимуты, а от них вычисляются дирекционные углы.

Для уточнения масштаба сети, между соседними астрономическими пунктами с высокой точностью измеряют расстояния, называемые *базисами*.

В некоторых местах (городах, промышленных и приграничных районах) создавались ещё менее точные пункты 3 и 4 классов. Это так называемые *геодезические сети сгущения* (ГСС). Всего было определено более 300 тысяч таких пунктов.

Средняя плотность пунктов 1 – 4 классов составляет 1 пункт на 50 км<sup>2</sup>.

По мере развития науки и техники и, прежде всего, спутниковых технологий, появилась возможность передачи координат с высокой точностью на большие расстояния (сотни и тысячи километров). Эту возможность реализуют использованием 26 астрономо-геодезических пунктов *космической геодезической сети* (АГП КГС) и 131 пункта *доплеровской геодезической сети* (ДГС). Эти пункты, наряду с пунктом Пулково, являются исходными для всей сети.

Таким образом, в состав ГГС включены сети: АГП КГС, ДГС, АГС, ГСС. Дальнейшее развитие ГГС предусматривает создание:

- *фундаментальной астрономо-геодезической сети* (ФАГС);
- *высокоточной геодезической сети* (ВГС);
- *спутниковой геодезической сети 1 класса* (СГС-1).

Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации представлены в соответствующем руководящем документе [15].

### 1.3.3 Специальные геодезические сети

Наряду с ГГС, по мере необходимости, создаются и развиваются *специальные геодезические сети*. Они могут существенно отличаться друг от друга по точности, плотности и площади развития.

Различают следующие специальные геодезические сети:

- высокоточные геодезические сети с высокой плотностью, предназначенные для обеспечения монтажа оборудования на важных промышленных объектах (мостов, плотин, турбин, насосных станций, радиолокационных станций и т. п.);
- геодезические сети 1 и 2 разрядов, предназначенные для создания топографических планов (крупномасштабных карт) и обеспечения строительства большинства гражданских и промышленных объектов;
- *опорная межевая сеть* (ОМС), предназначенная для межевания земель и кадастра объектов недвижимости;
- специальные геодезические сети военного назначения (СГС-15, СГС-30, СГС-60).

## 1.4 Основные геодезические задачи на плоскости

### 1.4.1 Прямая и обратная геодезические задачи

Рассмотрим математические основы методов и способов передачи координат от исходных геодезических пунктов к определяемым пунктам.

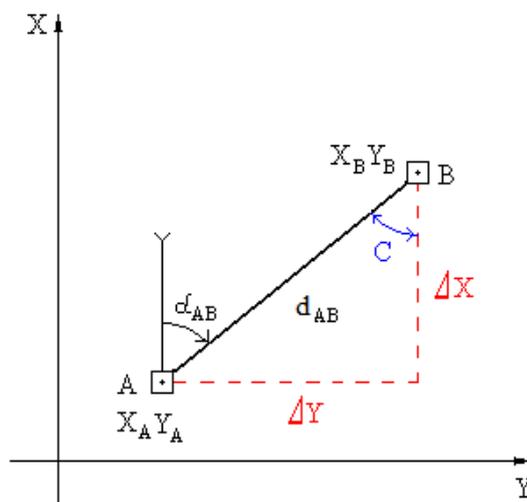


Рис. 1.31 Решение прямой геодезической задачи по дирекционному углу и расстоянию

Предположим, что координаты точки  $A$  (рис. 1.31) известны и равны  $x_A, y_A$ . Предположим также, что имеется точка  $B$ , для которой относительно точки  $A$  измерены дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  и расстояние  $d_{AB}$ . Требуется вычислить координаты точки  $B$ . Так поставленную задачу называют *прямой геодезической задачей* (ПГЗ).

Решение ПГЗ сводится к следующему. Из рисунка видно, что имеют место равенства

$$x_B = x_A + \Delta x, \quad y_B = y_A + \Delta y.$$

Очевидно, приращения координат пункта  $B$  относительно пункта  $A$  вычисляются из прямоугольного треугольника, образованного сторонами  $d_{AB}$ ,  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Учитывая, что угол  $C$  равен дирекционному углу  $\alpha_{AB}$ , получим:

$$\Delta x = d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}, \quad \Delta y = d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}.$$

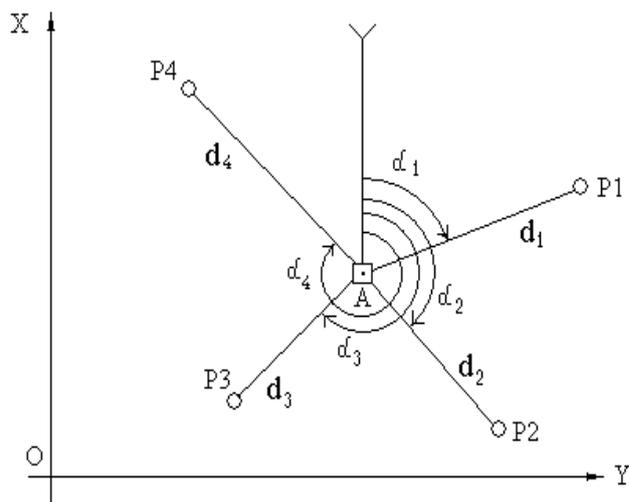


Рис. 1.32 Дирекционные углы различных четвертей

Определяемый пункт может находиться относительно исходного в разных сторонах света или, как говорят в математике, в разных четвертях круга (рис. 1.32). Знаки приращений получаются автоматически по знакам синусов и косинусов в соответствующих четвертях. Согласно рисунку, имеем:

- для пункта **P1** приращение  $\Delta x$  – положительное,  $\Delta y$  – положительное;
- для пункта **P2** приращение  $\Delta x$  – отрицательное,  $\Delta y$  – положительное;
- для пункта **P3** приращение  $\Delta x$  – отрицательное,  $\Delta y$  – отрицательное;
- для пункта **P4** приращение  $\Delta x$  – положительное,  $\Delta y$  – отрицательное.

Таким образом, если пункт **A** является исходным (известны координаты  $x_A$  и  $y_A$ ), а пункт **B** – определяемым, то его координаты вычисляются по полученным соотношениям. Следовательно, они выражают решение прямой геодезической задачи.

Достаточно часто приходится решать *обратную геодезическую задачу* (ОГЗ). В этой задаче координаты двух пунктов (**A** и **B**) предполагаются известными. Требуется найти дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  и расстояние  $d_{AB}$ . Для решения этой задачи предлагается ряд формул, выбор которых зависит от ситуации и желания геодезиста. Но всегда решение ОГЗ начинается с вычисления приращения координат.

При этом необходимо определиться, какая точка является первой, какая второй. Допустим, первой считается точка  $A$ . Тогда приращения вычисляются по формулам

$$\Delta x = x_B - x_A, \quad \Delta y = y_B - y_A.$$

Из этих формул, на основании теоремы Пифагора, следует

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Зная расстояние  $d_{AB}$  можно вычислить дирекционный угол, воспользовавшись любым из соотношений:

$$\alpha_{AB} = \arcsin(\Delta y / d_{AB}) \quad \text{или} \quad \alpha_{AB} = \arccos(\Delta x / d_{AB}).$$

Но если сначала вычислить дирекционный угол по формулам:

$$\alpha_{AB} = \arctg(\Delta y / \Delta x), \quad \alpha_{AB} = \text{arcctg}(\Delta x / \Delta y), -$$

то расстояние можно вычислить, используя соотношения:

$$d_{AB} = \Delta y / \sin \alpha_{AB}, \quad d_{AB} = \Delta x / \cos \alpha_{AB}.$$

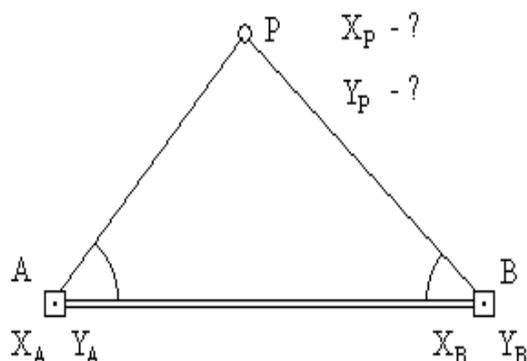
При определении дирекционного угла необходимо учитывать четверть, в которой находится пункт  $B$  относительно пункта  $A$ . Дело в том, что компьютеры и микрокалькуляторы вычисляют значения углов через обратные тригонометрические функции ( $\arcsin$ ,  $\arccos$ ,  $\arctg$ ,  $\text{arcctg}$ ) в пределах I четверти, то есть в пределах  $0^\circ - 90^\circ$ , а дирекционный угол может принимать значения в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Если обозначить буквой  $\alpha'$  значение дирекционного угла в первой четверти, вычисленное на компьютере или микрокалькуляторе, а буквой  $\alpha$  его истинное значение, то для его определения при решении ОГЗ рекомендуется воспользоваться следующей таблицей:

знак $\Delta x$	знак $\Delta y$	четверть	формула
+	+	I	$\alpha = \alpha'$
-	+	II	$\alpha = 180^\circ - \alpha'$
-	-	III	$\alpha = \alpha' + 180^\circ$
+	-	IV	$\alpha = 360^\circ - \alpha'$

## 1.4.2 Формулы Юнга и Гаусса

Рассмотрим ещё одну возможность передачи координат (рис. 1.33). Имеются два исходных пункта  $A$  и  $B$  с известными координатами  $x_A, y_A, x_B, y_B$ . На этих пунктах измерены углы  $A$  и  $B$ , определяющие положение пункта  $P$ . Координаты точки  $P$  вычисляются по *формулам Юнга*:



Формулы Юнга (по котангенсам углов треугольника)

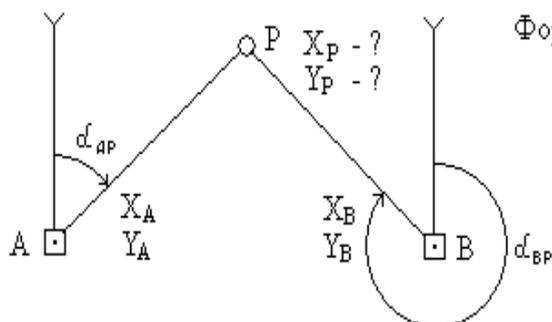
Углы  $A$  и  $B$  известны (измерены)

$$X_P = \frac{X_A \operatorname{ctg} B + X_B \operatorname{ctg} A + Y_B - Y_A}{\operatorname{ctg} A + \operatorname{ctg} B}$$

$$Y_P = \frac{Y_A \operatorname{ctg} B + Y_B \operatorname{ctg} A + X_A - X_B}{\operatorname{ctg} A + \operatorname{ctg} B}$$

Рис. 1.33 Передача координат по двум измеренным углам

По аналогичным формулам решается задача передачи координат при условии, что имеется два исходных пункта  $A$  и  $B$  с известными координатами  $x_A, y_A, x_B, y_B$  и с этих пунктов измерены дирекционные углы, определяющие положение пункта  $P$  (рис. 1.34). Координаты точки  $P$  вычисляются по *формулам Гаусса*:



Формулы Гаусса (по котангенсам дирекционных углов).

Дирекционные углы  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{BP}$  известны.

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

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

Рис. 1.34 Передача координат по двум измеренным дирекционным углам

Наконец, возможен и такой вариант передачи координат, когда имеется два исходных пункта  $A$  и  $B$  с известными координатами  $x_A, y_A, x_B, y_B$  и с этих пунктов измерены расстояния до пункта  $P$  (рис. 1.35). Требуется определить координаты пункта  $P$ .

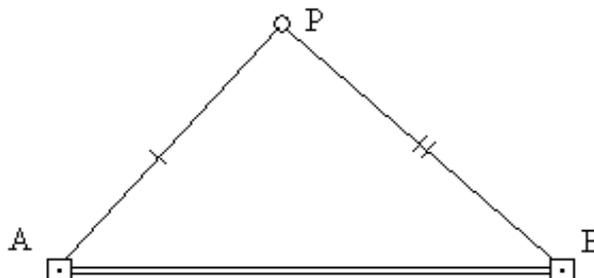


Рис. 1.35 Передача координат по двум измеренным сторонам

В этом случае порядок решения задачи сводится к следующему:

- 1) из решения ОГЗ вычисляется длина стороны  $AB$ ;
- 2) по теореме косинусов вычисляют углы  $A, B$  и  $P$ , используя формулы

$$\cos A = \frac{AB^2 + AP^2 - BP^2}{2 \cdot AB \cdot AP} ;$$

$$\cos B = \frac{AB^2 + BP^2 - AP^2}{2 \cdot AB \cdot BP} ;$$

$$\cos P = \frac{BP^2 + AP^2 - AB^2}{2 \cdot BP \cdot AP} ;$$

- 3) по формулам Юнга вычисляют координаты пункта  $P$ .

### 1.4.3 Вычисление площадей

Одной из геодезических задач является вычисление площадей объектов. Если объект представляет собой простую геометрическую фигуру (прямоугольник, треугольник, окружность), то используют известные формулы геометрии.

Если фигура объекта более сложная, но её можно представить состоящей из более простых фигур, как, например, на рис. 1.36, то вычисляют площади этих простых фигур, а результаты складывают.

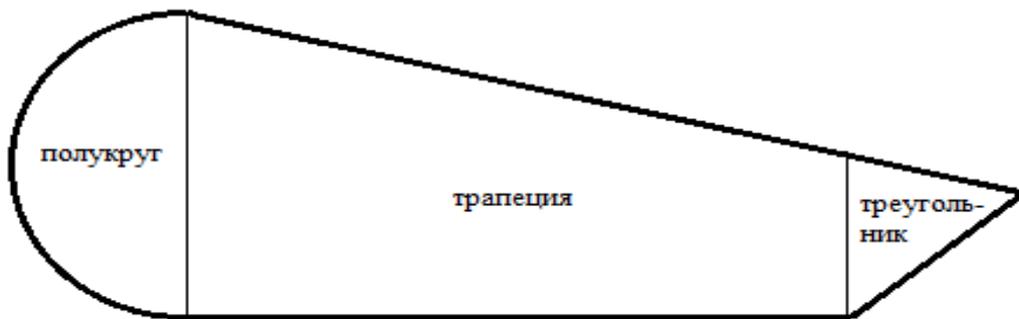


Рис. 1.36 Разбиение сложной фигуры на простые фигуры

Если очертания фигуры имеют сложную конфигурацию, то используют так называемую *палетку*. Она представляет собой прозрачную пластинку прямоугольной формы с нанесенной сеткой в виде квадратов (рис. 1.37).

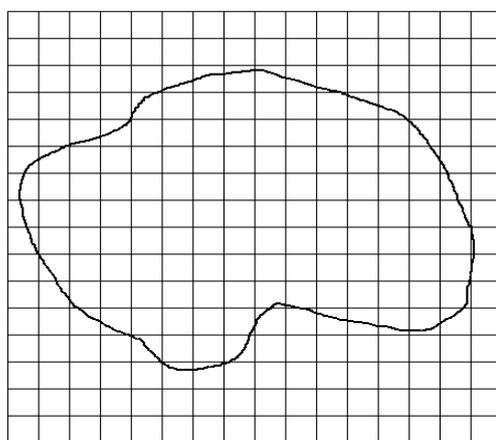
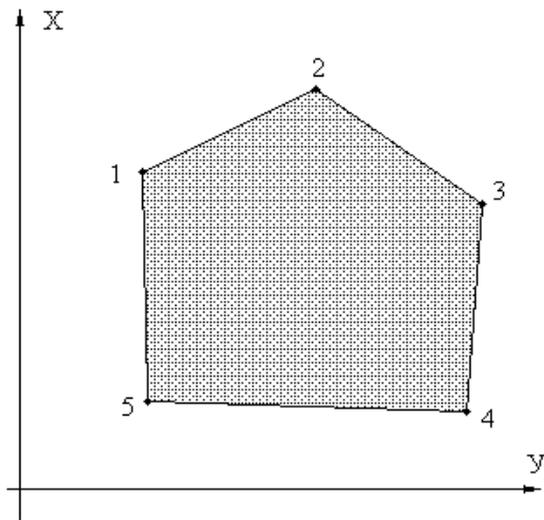


Рис. 1.37 Вид палетки

Палетка накладывается на изображение фигуры, площадь которой требуется определить. Сначала подсчитывается количество полных квадратов, покрывающих фигуру. Затем подсчитывается количество квадратов, покрывающих фигуру частично. Их количество делится на 2 и суммируется с количеством квадратов, покрывающих фигуру полностью. Площадь квадрата в заданном масштабе умножается на полученное количество.

Например, на рис. 1.37 количество полных квадратов равно 92, частично покрывающих – 40. Сумма квадратов  $92 + 40/2 = 112$ . Если площадь квадрата  $100 \text{ м}^2$  (10м x 10м), то площадь фигуры будет  $11\,200 \text{ м}^2$ .



Площадь многоугольника (формулы Герона)

$$S = 0.5 \sum_1^n (X_K + X_{K+1}) (Y_{K+1} - Y_K)$$

$$S = 0.5 \sum_1^n X_K Y_{K+1} - \sum_1^n X_{K+1} Y_K$$

$$S = 0.5 \sum_1^n X_K (Y_{K+1} - Y_{K-1})$$

Рис. 1.38 Вычисление площади объекта по формулам Герона

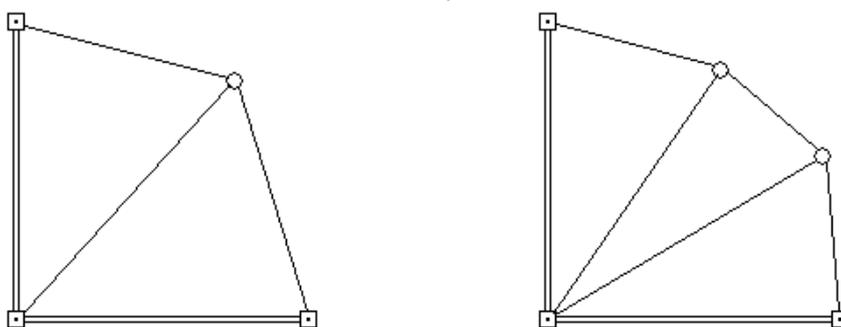
Более точный результат даёт использование *формулы Герона* (рис. 1.38).

## 2. Основные методы и способы определения координат

### 2.1 Основные методы определения координат

#### 2.1.1 Понятие о триангуляции и трилатерации

*Триангуляция* – метод развития геодезических сетей (передачи координат), которые состоят из геодезических пунктов, образующих треугольники с измеренными углами. Например, при наличии трёх исходных геодезических пунктов, можно определить координаты ещё одного или двух геодезических пунктов. Для этого необходимо, чтобы между ними была видимость, позволяющая измерить углы в треугольниках (рис. 2.1).



а) одного пункта

б) двух пунктов

Рис. 2.1 Вставка в угол

В частности, “*вставка в угол*” используется при получении пунктов 3-4 классов ГСС. И хотя в треугольнике достаточно измерить два угла, измеряются все три угла. Это позволяет выявить грубые ошибки измерений, повысить и оценить точность измерений. Вычислить координаты определяемого пункта можно из одного треугольника, используя формулы Юнга или Гаусса. Но используют всегда не менее двух треугольников, для контроля.

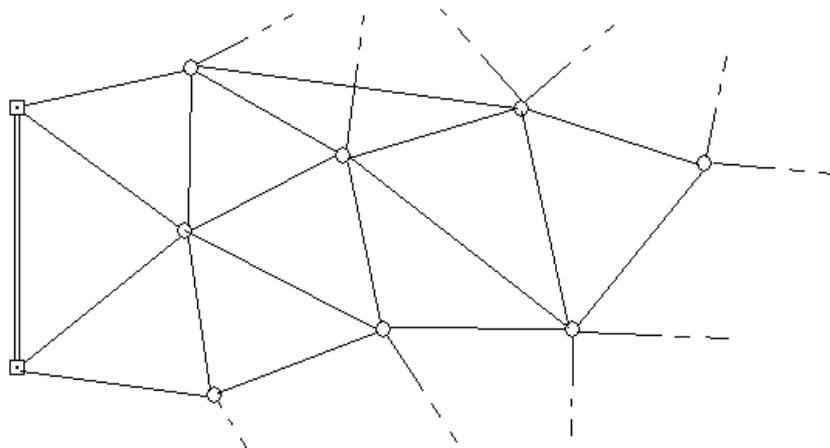


Рис. 2.2 Сплошная сеть триангуляции

Если вычислены координаты определяемого пункта (пунктов), то они становятся исходными. От них можно определять следующие определяемые пункты, создавая сплошную сеть треугольников (рис. 2.2).

В виде сплошных сетей строились сети АГС 2 класса. В отдельных случаях сеть триангуляции строится в виде ряда (рис. 2.3). Ряды триангуляции использовались при создании сетей 1 класса АГС.

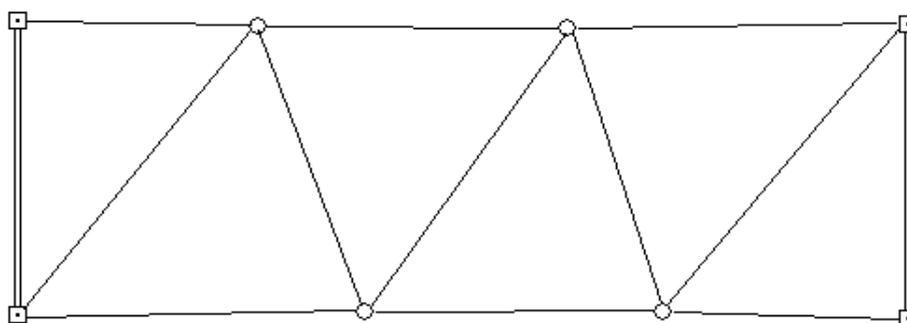
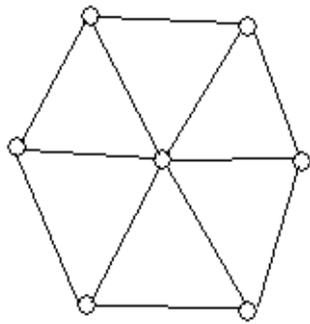
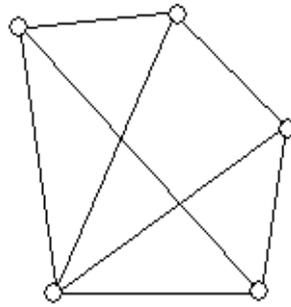


Рис. 2.3 Ряд триангуляции

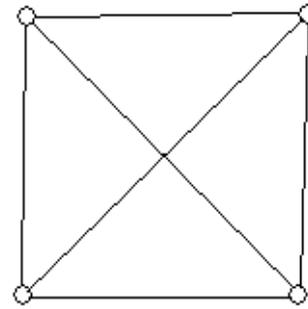
При развитии сетей методом триангуляции, кроме треугольников, выделяют и такие фигуры построения, как центральная система, «веер», геодезический четырёхугольник (рис. 2.4).



а) центральная система



б) «веер»



в) геодезический четырёхугольник

Рис. 2.4 Фигуры построения триангуляции

Другим методом развития геодезических сетей (передачи координат) является *трилатерация*. При использовании этого метода схемы построения такие же, как и в триангуляции, но измеряют длины сторон треугольников. Далее вычисляют по теореме косинусов значения углов в треугольниках и затем координаты пунктов, как в триангуляции.

Измерение третьего угла в треугольнике является избыточным. Именно это и позволяет проконтролировать результаты измерений и, тем самым, повысить точность. Если в треугольнике измерены длины трёх сторон, то избыточных измерений нет. Поэтому трилатерацию рекомендуется развивать, чаще используя геодезические четырёхугольники. Например, ряд трилатерации лучше всего прокладывать в виде геодезических четырёхугольников (рис. 2.5).

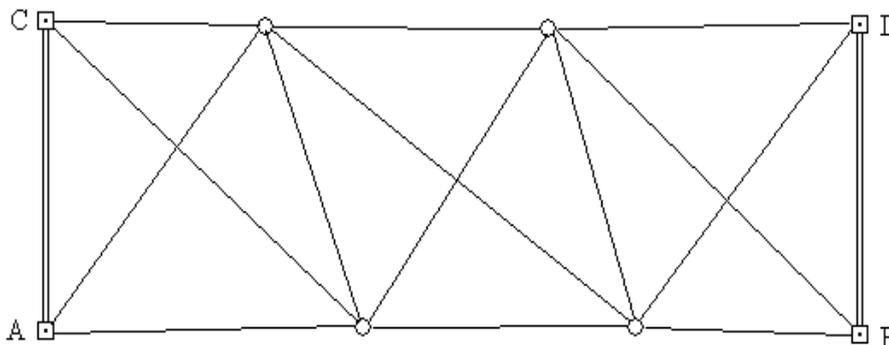


Рис. 2.5 Ряд геодезических четырёхугольников

При создании геодезических сетей самой высокой точности в построениях в виде треугольников, измеряют и углы, и длины сторон. Такие сети называют *линейно-угловыми*.

АГС 1-2 классов в основном была создана с использованием метода триангуляции. На рис. 2.6 показано, что триангуляция 1 класса развивалась в виде рядов, а триангуляция 2 класса - в виде сплошной сети.

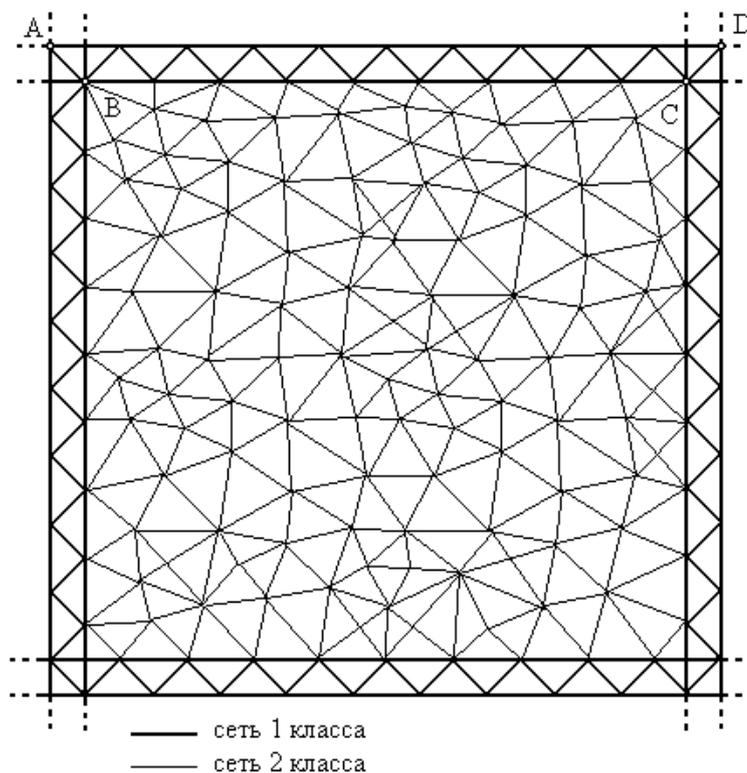


Рис. 2.6. Фрагмент триангуляции 1-2 классов АГС

### 2.1.2 Понятие о полигонометрии

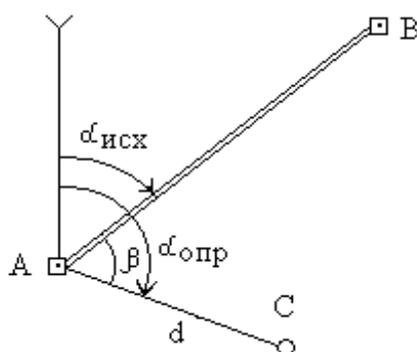


Рис. 2.7 Полярный способ определения координат

Исходными являются пункты  $A$  и  $B$  (рис. 2.7). Из решения ОГЗ можно вычислить дирекционный угол  $\alpha_{AB}$ , который на рисунке обозначен как  $\alpha_{исх}$ . Имеется точка  $C$ , координаты которой необходимо определить. Для этого достаточно измерить угол  $\beta$  между направлениями  $AB$  и  $AC$ , а также расстояние  $d$  линии  $AC$ .

Дирекционный угол стороны  $AC$ , который на рисунке обозначен как  $\alpha_{опр}$ , определяется формулой:

$$\alpha_{опр} = \alpha_{исх} + \beta.$$

Если при этом  $\alpha_{опр}$  получится более  $360^\circ$ , необходимо  $360^\circ$  вычесть.

Знание величин  $\alpha_{опр}$  и  $d$  позволяет вычислить координаты пункта  $C$ . Для этого достаточно воспользоваться формулами ПГЗ.

Описанный способ определения координат называют *полярным способом*. Его использование ограничено тем, что из-за отсутствия избыточных измерений координаты определяются бесконтрольно.

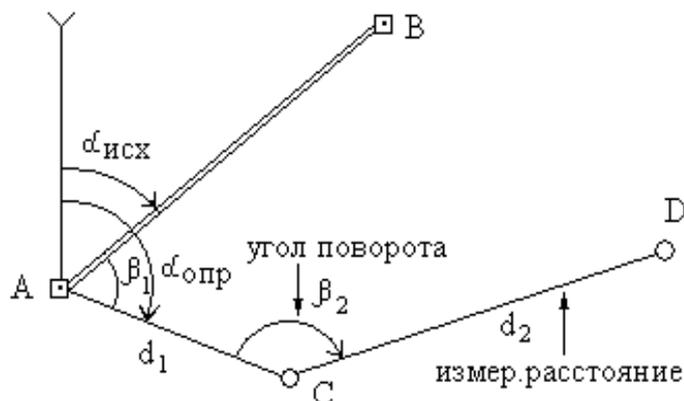


Рис. 2.8 Передача координат полярным способом

Но если координаты пункта  $C$  вычислены, то передачу координат можно продолжить (рис. 2.8). На пункте  $C$  измеряют угол поворота  $\beta_2$  и расстояние  $d_2$  до следующего пункта  $D$ . Из свойства плоской прямоугольной системы координат, дирекционный угол  $\alpha_{CA}$  определится по формуле:

$$\alpha_{CA} = \alpha_{опр} \pm 180^\circ.$$

Прибавив к этому углу значение измеренного угла поворота  $\beta_2$ , получим значение дирекционного угла стороны  $CD$

$$\alpha_{CD} = \alpha_{CA} + \beta_2.$$

Используя значение измеренного расстояния  $d_2$  и решая ПГЗ, вычисляют координаты точки  $D$ .

Метод, когда передача координат от точки к точке осуществляется через измерение углов поворота и расстояний между точками, называют *полигонометрией*. Само геометрическое построение называют *полигонометрическим ходом*.

Передачу координат можно продолжить дальше (рис. 2.9). Такой полигонометрический ход называют *висячим*.

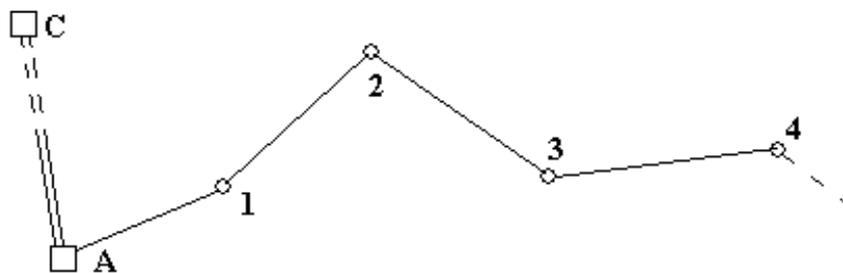


Рис. 2.9 Висячий полигонометрический ход

Рассмотренные способы в некоторых источниках носят название «ус». Вследствие отсутствия избыточных измерений при проложении висячих полигонометрических ходов, их применение ограничено. Возможность контроля выполненных измерений появляется, если самым последним определяемым пунктом назначается исходный пункт (рис. 2.10). При этом полигонометрический ход исходит из пункта *A* и к нему же возвращается. Контроль заключается в том, что, в конечном счёте, необходимо вычислить координаты исходного пункта и сравнить их с первоначальными значениями координат. Разность между вычисленными значениями координат исходного пункта и их истинными значениями называют *невязкой*.

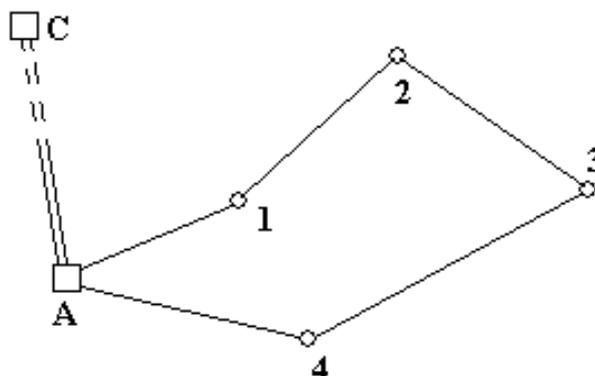


Рис. 2.10 Замкнутый полигонометрический ход

На исходном пункте *A* измерения производятся дважды: в начале проложения полигонометрического хода и в его конце. Для различения этих измерений, начальные измерения называют *отвязкой хода*, конечные – *привязкой хода*.

Замкнутый полигонометрический ход также допускается в геодезии, но и его применение ограничено. Наиболее

применимым видом полигонометрического хода является разомкнутый полигонометрический ход (рис. 2.11).

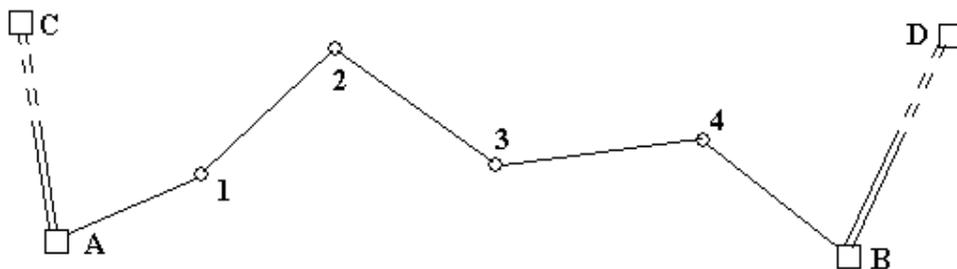


Рис. 2.11 Разомкнутый полигонометрический ход

Так же, как и при проложении замкнутого полигонометрического хода вычисляют координаты конечного исходного пункта (пункта **B** по рисунку) и сравнивают их с истинными, получая невязку.

### 2.1.3 Другие методы определения координат

К числу других методов определения координат относятся астрономический метод, методы космической геодезии и методы, основанные на использовании навигационных систем. Речь идет о радионавигационных, спутниковых навигационных и инерциальных навигационных системах.

Астрономический метод позволяет из наблюдений небесных светил определить астрономические широту и долготу. Однако, по ряду причин, непосредственно как геодезические широту и долготу их не используют. Эти причины будут обоснованы в дисциплинах «Астрономия», «Высшая геодезия» и «Геодезическая астрономия».

Методы космической геодезии в первом приближении можно рассматривать как пространственную триангуляцию или трилатерацию. Методы рассматриваются в дисциплине «Космическая геодезия».

Радионавигационные системы используют метод, близкий к трилатерации. Три радиопередатчика (или более) с известными координатами излучают радиоволны. Их принимает носимый (возимый) приёмник, и по информации, им принимаемой, вычисляют расстояния до радиопередатчиков. Затем решают задачу методом трилатерации.

Спутниковые навигационные системы используют аналогичный метод, но при этом измеряют не расстояния до ИСЗ, а псевдорасстояния. Подробнее метод будет рассмотрен в дисциплине «Спутниковые системы и технологии позиционирования».

Инерциальные навигационные системы используют метод, близкий к полигонометрии. В таких системах специальное электромеханическое устройство - гироскоп, сохраняет своё направление в пространстве (хранит дирекционный угол). При перемещении устройства от исходного пункта автоматически измеряется пройденное расстояние и решается прямая геодезическая задача.

## 2.2 Метод полигонометрии

### 2.2.1 Порядок проложения полигонометрического хода

Метод полигонометрии реализуется путём проложения полигонометрического хода в виде последовательного ряда точек, в котором измеряются углы поворота на точках и расстояния между точками (рис. 2.12). Математической основой для обработки измерений является прямая геодезическая задача (ПГЗ).

В производстве работ по проложению полигонометрического хода различают три основных этапа:

- подготовительные работы;
- полевые измерения;
- камеральная обработка результатов измерений.

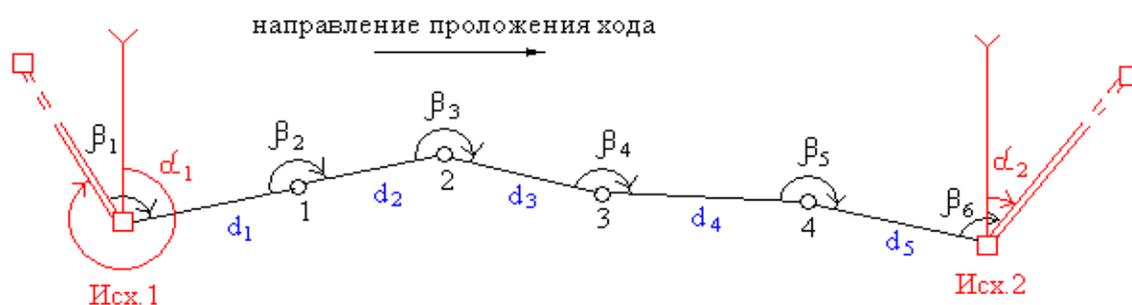


Рис. 2.12 Разомкнутый полигонометрический ход

Подготовительный этап начинается с уяснения задачи: где, в какие сроки, с какой точностью необходимо произвести проложение полигонометрического хода.

Затем производится оценка обстановки и, в первую очередь, определяется местоположение исходных геодезических пунктов. Рассматриваются физико-географические условия, влияющие на выполнение работ (наличие водных пространств, болот, возвышенностей, высота растительного покрова и т.п.), а также характеристики экономической и социальной инфраструктуры (наличие дорог, источников питьевой воды, предприятий связи, медицинских учреждений и т.п.).

В силу ряда обстоятельств, нельзя прокладывать ход любой произвольной длины и с любым произвольным количеством точек поворота. Руководящие документы ограничивают эти две величины. Некоторые требования руководящих документов будут рассмотрены позже. Опираясь на эти требования, геодезист принимает решение: по каким методикам будут производиться геодезические измерения, как будут располагаться на местности точки хода, и будет ли это один ход или система ходов с одной или несколькими узловыми точками (рис. 2.13).

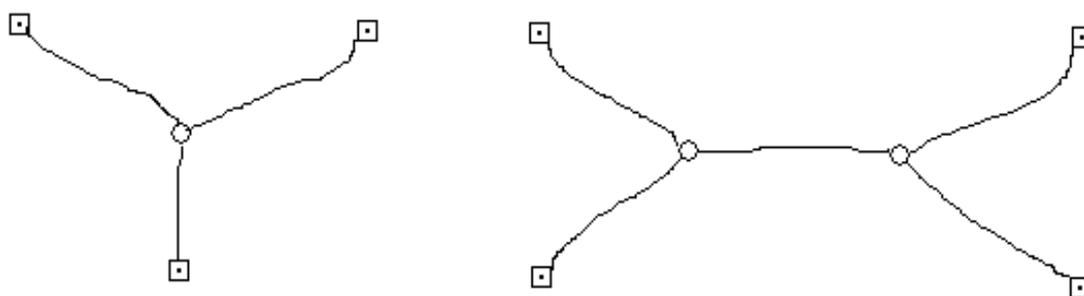


Рис. 2.13 Системы полигонометрических ходов

В некоторых случаях, при значительных расстояниях между исходными пунктами, придётся прокладывать несколько ходов разной точности. На рис. 2.14 показано, что сначала предполагается проложить ход 4 класса геодезической сети сгущения (ГСС), затем проложить ходы 1 и 2 разрядов специальных геодезических сетей (СГС). Это вызвано тем, что проложение ходов 4 класса допускается на значительные расстояния, но само производство работ весьма затратно как по времени, так и экономически. Ходы 2 разряда допускаются короткие, но их стоимость невелика.

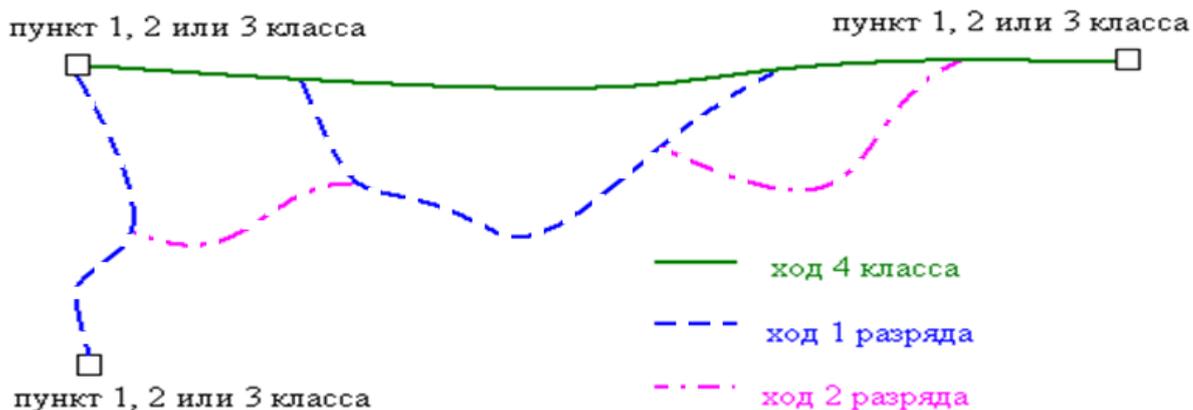


Рис. 2.14 Пример сгущения геодезической сети методом полигонометрии

В конечном счёте, принимают окончательное решение и, на его основе, создают технический проект. В его состав, в частности, входят: схемы проложения ходов (хода), календарный график, смета на выполнение работ.

Полевые измерения начинаются с рекогносцировки. Рекогносцировка подразумевает осмотр: исходных пунктов со вскрытием центров с целью определения их состояния, сохранности, а также местности, по которой будет проложен ход с пометкой точек хода.

Затем производят закладку временных и постоянных центров по точкам хода и производят собственно измерения углов поворота и длин линий. Кроме того, измеряют вертикальные углы, необходимые для приведения измеренных линий на плоскость горизонта.

### 2.2.2 Порядок обработки полигонометрического хода с приближённым уравниванием

Обработку наблюдений в полигонометрическом ходе производят в два этапа: предварительные и уравнивательные вычисления.

Этап *предварительных вычислений* начинают с проверки материалов полевых геодезических измерений, а именно: их полнота (все ли требуемые измерения произведены) и качество (соблюдена ли технология производства измерений).

После этого производят приведение измеренных длин линий на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера. Если прокладывался ход 4 класса ГСС, на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера

приводятся и измеренные направления. Составляется схема хода в выбранном масштабе (рис. 2.15). Производится выписка координат исходных пунктов и из решения обратных геодезических задач (ОГЗ) получаются дирекционные углы *примычных сторон* (на рис. 2.15 это дирекционные углы Сидорова-Иваново и Петрово-Зайцево).

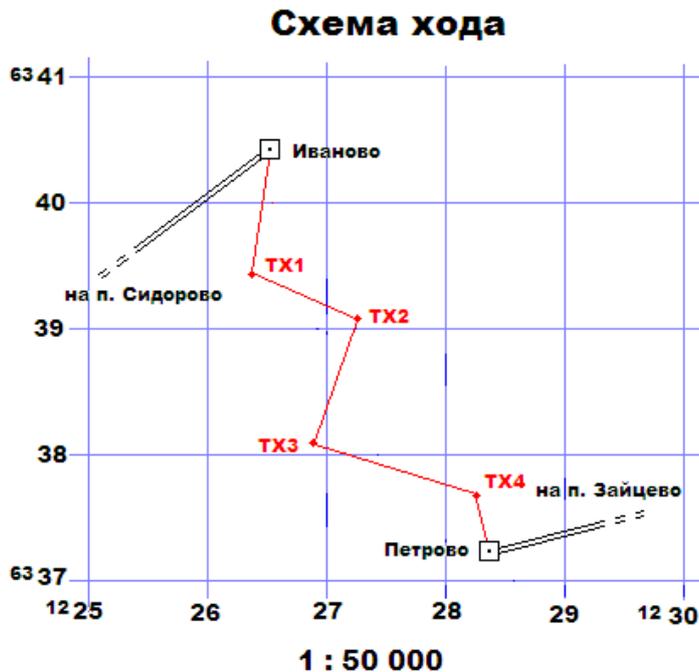


Рис. 2.15 Схема полигонометрического хода (образец)

Дальнейшие вычисления производят в следующем порядке. На первом этапе вычисляют угловую невязку. Её появление связано с тем, что измерения углов и длин линий отягощены «естественными» ошибками. Подробно такие ошибки рассматриваются в дисциплине «Теория математической обработки измерений». Некоторые сведения будут рассмотрены в одном из следующих разделов.

Смысл угловой невязки поясняет рис. 2.16. Если взять исходный дирекционный угол ( $\alpha_1$  по рисунку) и, используя измеренные углы  $\beta_1 - \beta_6$ , последовательно вычислять дирекционные углы сторон хода, в конечном счёте, будет вычислен дирекционный угол конечной примычной стороны ( $\alpha_{выч}$  по рисунку). Из-за ошибок измерений он практически никогда не совпадает с исходным дирекционным углом ( $\alpha_2$  по рисунку).

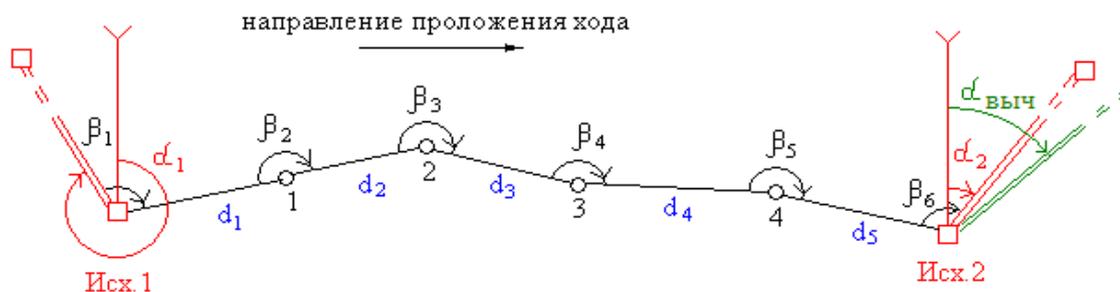


Рис. 2.16 Смысл угловой невязки

Разницу, получаемую по принципу «есть» минус «должно быть», называют *угловой невязкой* и вычисляют по формуле

$$w_{\beta} = \alpha_{\text{выч}} - \alpha_2 .$$

Угловая невязка характеризует точность выполненных работ. Она может быть как положительной, так и отрицательной, но не может быть больше допуска по абсолютной величине. В руководящих документах указаны предельные значения невязки для различных случаев. Если полученная невязка превышает допуск – ход проложен с недопустимыми ошибками и углы в ходе должны быть измерены повторно.

Наличие даже допустимой невязки не позволяет продолжать вычисления. Необходимо исправить измеренные углы *поправками* так, чтобы невязка стала равна нулю. Процесс вычисления и введения поправок называют *уравниванием*. Предполагается, что ошибки в измеренных углах распределяются равномерно (одинаковы в каждом измеренном углу), поэтому поправку в каждый из углов необходимо вычислить по формуле

$$v_{\beta} = -w_{\beta} / n ,$$

где  $n$  – количество измеренных углов поворота, включая и те из них, которые измерены на исходных пунктах.

При вычислении поправки, она может получиться дробной и должна быть округлена с учётом точности, с которой измерены углы. Из-за округления может оказаться, что сумма поправок не будет равна невязке с обратным знаком. В этом случае геодезист обязан «принудительно» исправить одну или несколько невязок с тем, чтобы сумма поправок была равна невязке с обратным знаком.

Рассмотрим пример. Допустим, для хода на рис. 2.16 была получена невязка, равная  $-26''$ . Поделив её на 6 (количество углов поворота), получим поправку, равную  $+4.33...''$ . Округлив до

целых секунд, получаем поправку, равную +4". Но сумма шести поправок будет +24", а не +26". Тогда геодезист должен четыре поправки принять по +4", а ещё две поправки взять равными +5".

Затем вводят поправки в измеренные углы и вычисляют дирекционные углы всех сторон хода. Используя полученные дирекционные углы и измеренные длины сторон, вычисляют координаты всех точек хода, включая координаты конечного исходного пункта. При этом сначала вычисляют приращения координат по каждой стороне  $\Delta x_i$  и  $\Delta y_i$ . Но, во-первых, ошибки в измеренных углах поворота исправлены лишь частично, во-вторых, измерения длин сторон содержат свои ошибки, вычисленные координаты конечного пункта не совпадут с его истинными значениями (рис. 2.17).

Возникающие при этом невязки по осям  $x$  и  $y$  вычисляют по формулам:

$$w_x = \sum_{i=1}^k \Delta x_i - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}), \quad w_y = \sum_{i=1}^k \Delta y_i - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}),$$

где  $k$  – количество сторон хода. Оно на единицу меньше, чем количество углов поворота.

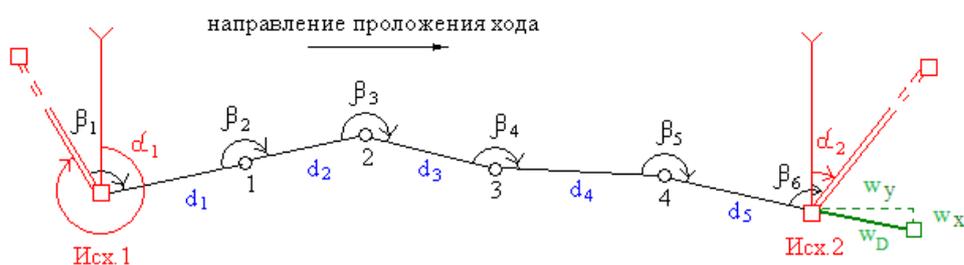


Рис. 2.17 Смысл линейной невязки

Характеристикой качества хода является *абсолютная линейная невязка*, вычисляемая, согласно теореме Пифагора, по формуле:

$$w_D^2 = w_x^2 + w_y^2.$$

Абсолютная линейная невязка не является окончательной характеристикой хода. Действительно, если измерена длина письменного стола с точностью («естественной» ошибкой) в 10 см, то это очень грубая работа. Но если с такой же точностью измерено расстояние между пунктами в 20 км, то работа выполнена достаточно качественно.

Поэтому и качество проложенного полигонометрического хода оценивается по отношению к длине хода, то есть по

относительной линейной невязке  $w_D / D$ . Здесь длина хода – сумма длин всех сторон хода:

$$D = \sum_{i=1}^k d_i .$$

Относительная линейная невязка приводится к виду  $1 / \dots$ , например,  $1 / 5000$ . При этом, чем больше величина знаменателя, тем выше качество работ. На эту величину в руководящих документах также указаны допуски. Если допуск не соблюдается, то измерения в ходе необходимо повторить.

Наличие невязок по координатам не позволяет продолжить вычисления. Поэтому необходимо исправить наблюдения поправками. При этом:

- углы поворота уже не исправляются;
- измеренные длины линий не исправляются, а поправки вводятся в приращения  $\Delta x_i$  и  $\Delta y_i$ ;
- поскольку исследованиями установлено, что абсолютная ошибка измерения длины возрастает с увеличением самого расстояния, поправки распределяются не поровну, как в углы, а пропорционально длинам сторон.

Для вычисления поправок сначала определяют поправки по осям координат на единицу хода: на *1 метр*, на *10 метров*, на *100 метров* и т.д., по выбору геодезиста,

$$v_{x1} = -w_x / D , \quad v_{y1} = -w_y / D .$$

Затем для каждого приращения вычисляют поправки

$$v_{xi} = v_{x1} \cdot d_i , \quad v_{yi} = v_{y1} \cdot d_i .$$

При этом необходимо соблюсти то же условие, что и при вычислении поправок в углы: сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Из-за округлений эта условие не всегда соблюдается, поэтому геодезист должен решить, в какую сторону он должен принудительно изменить поправку. После того, как поправки найдены, вычисляют последовательно координаты всех точек хода.

Рассмотрим некоторые особенности уравнивания систем полигонометрических ходов (рис. 2.18). На рисунке пункты *A*, *B* и *C* – исходные, пункт *P* – узловая точка. Каждый из ходов характеризуется длиной хода *D* и количеством углов поворота *n*. Если ходы прокладываются от пунктов *A*, *B* и *C* к узловой точке, то точка *P* для этих ходов является конечным исходным пунктом.

Но таковым он не является, его координаты неизвестны, и нет примычного направления.

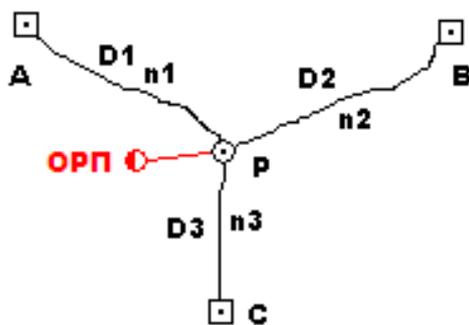


Рис. 2.18 К уравниванию системы полигонометрических ходов

Для корректного решения этой проблемы поступают следующим образом. Рядом с узловой точкой закладывают ориентирный пункт (ОРП) и угловую привязку производят на ОРП. То есть получают три значения дирекционного угла направления *P-ОРП* ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ). Из трёх значений вычисляют так называемое *средневесовое значение* дирекционного угла. Для этого сначала вычисляют веса дирекционных углов из ходов:

$$p_{\alpha_1} = 1/n_1; \quad p_{\alpha_2} = 1/n_2; \quad p_{\alpha_3} = 1/n_3 .$$

После этого вычисляют значение дирекционного угла на ОРП

$$\alpha_{ОРП} = \frac{\alpha_1 \cdot p_1 + \alpha_2 \cdot p_2 + \alpha_3 \cdot p_3}{p_1 + p_2 + p_3} .$$

Перед использованием формулы, дирекционные углы необходимо перевести или в размерность «градусы, доли градуса» или в размерность «секунды». Полученное средневесовое перевести обратно в размерность «градусы, минуты, секунды». Полученное значение дирекционного угла *P-ОРП* используют в качестве конечного исходного для вычисления поправок в измеренных углах в каждом из ходов.

После того, как в ходах уравниены углы и вычислены дирекционные углы сторон, вычисляют приращения координат и координаты узловой точки *P* ( $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ ). Окончательные координаты узловой точки также получают как средневесовые значения, но веса получают обратно пропорционально длинам ходов:

$$p_{D_1} = 1/D_1; \quad p_{D_2} = 1/D_2; \quad p_{D_3} = 1/D_3 ;$$

$$x_p = \frac{x_1 \cdot p_{D_1} + x_2 \cdot p_{D_2} + x_3 \cdot p_{D_3}}{p_{D_1} + p_{D_2} + p_{D_3}} ;$$

$$y_p = \frac{y_1 \cdot P_{D1} + y_2 \cdot P_{D2} + y_3 \cdot P_{D3}}{P_{D1} + P_{D2} + P_{D3}}.$$

В дальнейшем уравнивание координат в каждом из ходов производят обычным порядком. Уравнивание более сложных систем полигонометрических ходов производится по более сложным схемам. Такие системы уравнивают по принципам, излагаемым в курсе дисциплины «Теория математической обработки измерений».

### 2.2.3 Требования руководящих документов к полигонометрии

При производстве геодезических работ наиболее часто прокладывают полигонометрические ходы 4 класса ГСС и 1-2 разрядов СГС. Требования к их проложению изложены в «Инструкции по топографическим съёмкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500». К числу основных, относятся следующие требования:

№п/п	Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
1	Предельная длина отдельного хода, км	15	5	3
2	Предельная длина хода в системе ходов между исходным пунктом и узловой точкой, км	10	3	2
3	Предельная длина хода в системе ходов между узловыми точками, км	7	2	1.5
4	Наибольшая длина стороны хода, м	2000	800	350
5	Наименьшая длина стороны хода, м	250	120	80
6	Средняя длина стороны хода, м	500	300	200
7	Максимальное число сторон в ходе	15	15	15
8	Допустимая относительная линейная невязка	1:25000	1:10000	1:5000
9	Допустимая угловая невязка в секундах в зависимости от количества углов в ходе $n$	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$

## 2.3 Метод засечек

### 2.3.1 Классификация засечек

*Засечки* – способ получения координат отдельных пунктов. Различают засечки прямые и обратные. При реализации *прямой засечки* на определяемом пункте не устанавливаются геодезические приборы и часто их геодезист вообще не посещает. При реализации *обратной засечки* геодезические приборы не устанавливаются на исходных пунктах.

По измеряемым величинам различают угловые, линейные и линейно-угловые засечки. Встречаются комбинированные засечки, в которых комбинируются способы получения координат. Во всех случаях, с целью контроля точности работ, обязательно производят избыточные измерения.

Рассмотрим некоторые виды засечек.

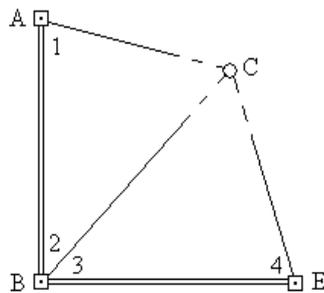


Рис. 2.19 Прямая угловая засечка

*Прямая угловая засечка* (рис. 2.19) аналогична вставке одного пункта в угол. Но в отличие от триангуляции, в этом случае измеряют только углы *1, 2, 3* и *4*. Координаты вычисляют по двум треугольникам, используя или формулы Юнга, или формулы Гаусса. Полученные результаты усредняют.

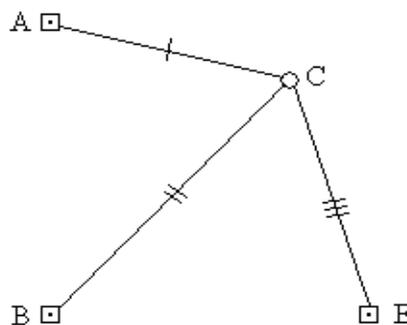


Рис. 2.20 Линейная засечка

*Прямая и обратная линейные засечки* (рис. 2.20). Здесь измеряют расстояния от исходных пунктов *A*, *B*, *E* до определяемого пункта *C*. При этом прибор-дальномер может находиться как на исходных, так и на определяемом пунктах. Измеренные расстояния приводятся на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера. Далее, из решения обратной геодезической задачи вычисляются расстояния между исходными пунктами, например, *A-B* и *B-E*. Получается два треугольника с известными сторонами. Используя теорему косинусов, вычисляют углы в треугольниках, прилегающих к исходным пунктам (как углы *1*, *2*, *3* и *4* на рисунке 2.19), а затем, также как и в прямой угловой засечке вычисляются координаты определяемого пункта.

*Прямая линейно-угловая засечка* (рис. 2.21) предполагает наличие двух исходных пунктов, а не трёх, как в предыдущем случае. При использовании этого способа необходимо измерять как углы, так и расстояния, причём расстояния приходится приводить на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера.

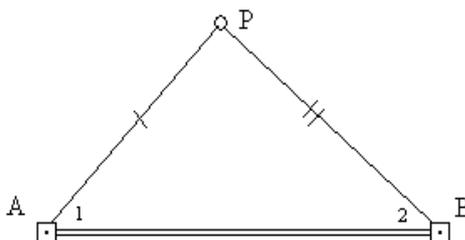


Рис. 2.21. Прямая линейно-угловая засечка

Задача решается в следующей последовательности:

- из решения обратной геодезической задачи вычисляется дирекционный угол исходной стороны ( $\alpha_{AB}$  и  $\alpha_{BA}$ );
- используя значения измеренных углов *A* и *B* (то есть углов *1* и *2*), вычисляют дирекционные углы определяемых сторон:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - A \quad , \quad \alpha_{BP} = \alpha_{BA} + B ;$$

- используя полученные дирекционные углы и значения измеренных расстояний дважды из решения прямых геодезических задач, вычисляют координаты пункта *P*;
- из двух определений вычисляют средние значения.

### 2.3.2 Обратная угловая засечка

При реализации *обратной угловой засечки* (рис. 2.22) геодезический прибор устанавливают на определяемом пункте  $P$ , с которого видны четыре исходных пункта  $1-4$ . Один из исходных пунктов, например, пункт  $1$ , выбирается в качестве начального. Относительно него измеряют углы на остальные три пункта  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ . Существует около ста способов решения этой засечки. Опишем *способ Кнейселя*.

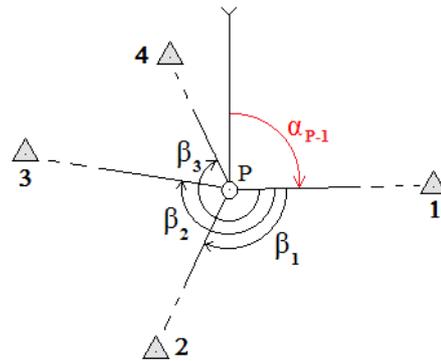


Рис. 2.22 Обратная угловая засечка

На первом этапе вычисляют вспомогательные переменные

$$\begin{aligned} k_1 &= (x_2 - x_1) \cdot \operatorname{ctg} \beta_1 + (y_2 - y_1), \\ k_2 &= (y_2 - y_1) \cdot \operatorname{ctg} \beta_1 + (x_2 - x_1), \\ k_3 &= (x_3 - x_1) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 + (y_3 - y_1), \\ k_4 &= (y_3 - y_1) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 + (x_3 - x_1), \\ \frac{k_1 - k_3}{k_2 - k_4} &= c. \end{aligned}$$

Геометрический смысл величины  $c$  выражает формула

$$c = \operatorname{ctg} \alpha_{1-P}.$$

Затем вычисляют приращения координат определяемого пункта относительно пункта  $1$ , используя формулы:

$$\Delta y_{1-P} = \frac{k_1 - c \cdot k_2}{1 + c^2} = \frac{k_3 - c \cdot k_4}{1 + c^2}, \quad \Delta x_{1-P} = c \cdot \Delta y_{1-P}.$$

Приращение  $\Delta y_{1-P}$  вычисляют для контроля дважды. По полученным приращениям получают координаты определяемого пункта:

$$x_P = x_1 + \Delta x_{1-P}, \quad y_P = y_1 + \Delta y_{1-P}.$$

Затем решение повторяют, но один из уже использованных пунктов заменяют на неиспользованный пункт.

В обоих случаях при выборе трёх исходных пунктов важно соблюсти условие, состоящее в следующем: определяемый пункт

должен быть в центре окружности, на которой лежат исходные пункты (рис. 2.23). Выбрать такое место идеально невозможно. Но необходимо учитывать, что, чем дальше определяемый пункт находится от идеального положения, тем ниже точность вычислений. Если определяемый пункт лежит непосредственно на окружности, то решение невозможно.

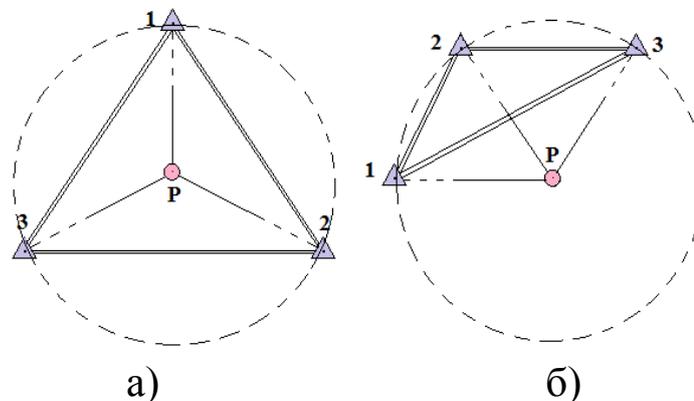


Рис. 2.23. Положение определяемого пункта: а) внутри треугольника; б) вне треугольника

### 2.3.3 Обратная линейно-угловая засечка

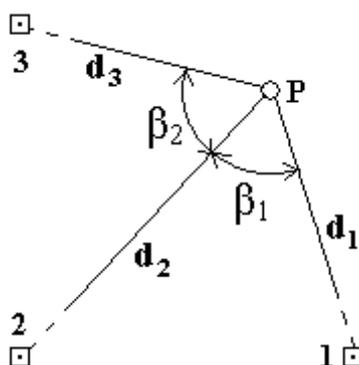


Рис. 2.24 Обратная линейно-угловая засечка

Достаточно часто, особенно при обеспечении строительства, используют *обратную линейно-угловую засечку* (рис. 2.24). При этом геодезический прибор устанавливают на определяемом пункте  $P$ . Затем измеряют расстояния до трёх исходных пунктов  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  и углы между направлениями на исходные пункты  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ .

Для обратной линейно-угловой засечки существует несколько решений (рис. 2.25). Из рис. 2.25,а видно, что между исходными пунктами  $1, 2$  и определяемым пунктом  $P$  измерены расстояния  $d_1$  и  $d_2$ . Измерены они с «естественными» ошибками.

То есть, расстояние от пункта  $I$  до пункта  $P$  может находиться в пределах, обозначенными дугами  $1a - 1b$ . То же касается и расстояния  $d_2$ , которое может быть в пределах  $2a - 2b$ .

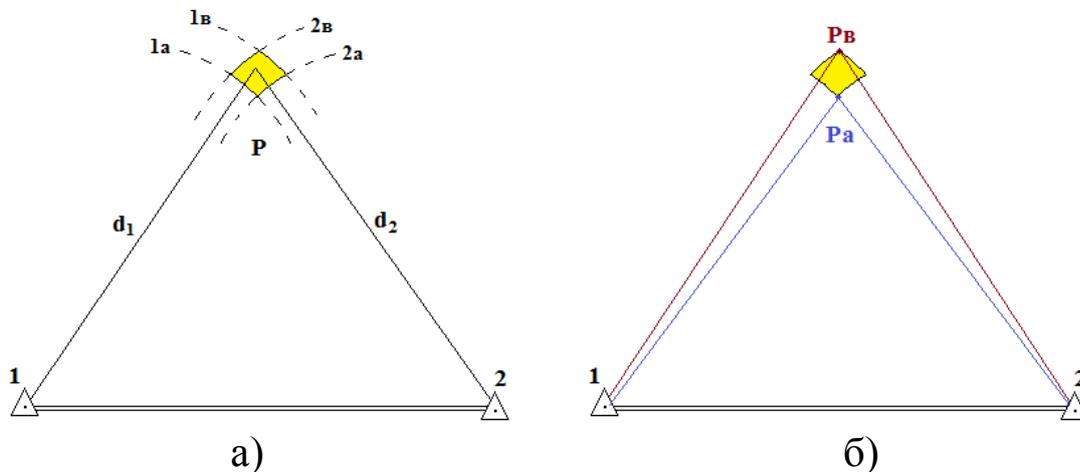


Рис. 2.25 К решению обратной линейно-угловой засечки

Дуги образуют четырёхугольную фигуру. Можно считать, что вычисленное значение положения пункта  $P$  может находиться в пределах этого четырёхугольника. Возьмём два крайних возможных положения –  $Pa$  и  $Pb$  на рис. 2.25,б. Из рисунка видно, что угол между направлениями на пункты  $1$  и  $2$  при положении  $Pa$  будет больше, чем при положении  $Pb$ .

Этот угол вычисляют по теореме синусов. Вычисленное значение косвенно содержит ошибку, вызванную ошибками измерения расстояний. Этот же угол будет измерен геодезическим прибором также с «естественной» ошибкой. Его значение в общем случае будет отличаться от вычисленного значения.

Например, можно взять среднее значение из вычисленного и измеренного углов, а возникшую в треугольнике невязку распределить между двумя другими углами треугольника. Затем по формулам Юнга вычислить координаты пункта  $P$ . Корректное решение этой задачи будет описано в курсе «Теория математической обработки измерений».

### 3. Основные методы и способы определения высот

#### 3.1 Основные сведения из теории высот

##### 3.1.1 Гравитационное поле и уклонение отвесной линии

Система координат Гаусса-Крюгера, в которой описываются объекты, обладает хорошей наглядностью и понятна потребителям геодезической информации. В ней геодезические задачи решаются с использованием достаточно простых формул. Но она ограничена пределами зоны проецирования и поэтому не является глобальной и для каждой зоны проецирования существует своё начало системы координат.

Для позиционирования точек по высоте также необходимо определиться с началом системы высотных координат. При этом следует исходить из принципов наглядности (понятности для пользователя), простоты решения задач, глобальности. Полностью удовлетворить этим требованиям практически невозможно.

Одна из систем высот показана на рис. 1.5. Высота точки *A* определяется как расстояние от поверхности земного эллипсоида до точки. Такая система является глобальной. В ней объединены все три пространственные координаты. Поэтому она удобна геодезистам, но не всегда удовлетворяет потребителей.

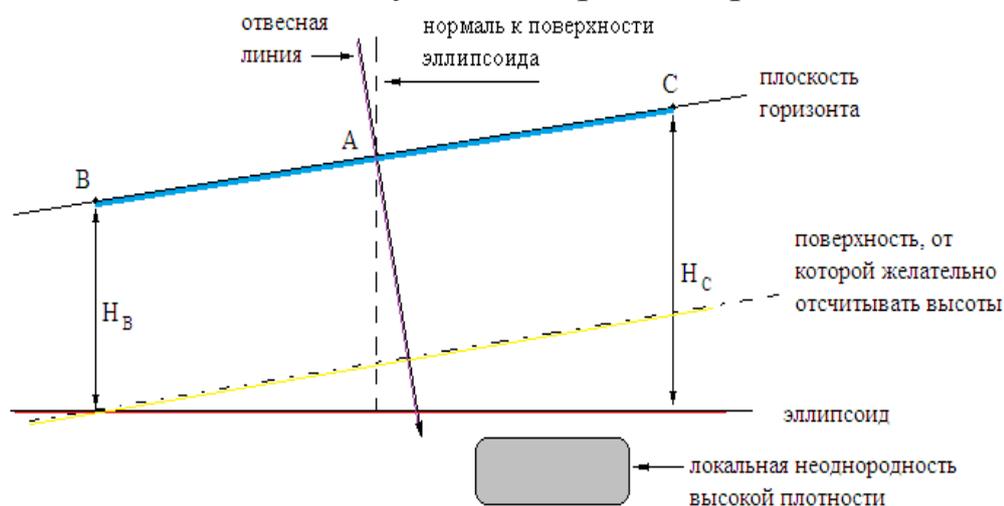


Рис. 3.1 К вопросу уклонения отвесной линии

Предположим (рис. 3.1), что наблюдатель находится в точке *A*. От точки *A* до точек *B* и *C* прокопан канал (канавка) с залитой в него водой. Вариант - точки могут находиться на берегу озера.

Будем называть поверхность воды *уровенной поверхностью*. На рисунке изображён вектор силы тяжести - *отвесная линия*, проходящий через точку *A*. Очевидно, вектор силы тяжести перпендикулярен поверхности воды во всех точках.

Плотность земной коры в разных точках земной коры разная. На рисунке показана локальная неоднородность высокой плотности. Согласно закону всемирного тяготения, отвесная линия отклонится в сторону локальной неоднородности.

В точках *B* и *C* определены геодезические высоты *H<sub>B</sub>* и *H<sub>C</sub>*. По геодезическим высотам точка *C* выше точки *B*, а по уровню воды высоты точек *B* и *C* одинаковы. То есть, для геодезиста высоты точек разные, а для потребителя они одинаковые. Кроме неоднородностей плотности земной коры, на возникновение непараллельности геоида и поверхности эллипсоида влияет и рельеф местности (рис. 3.2). Приходится констатировать, что система геодезических высот для большинства потребителей геодезической информации неприемлема.

На рисунке 3.1 изображена поверхность, от которой желательно отсчитывать высоты. Она должна быть параллельна уровенной поверхности в точках *A*, *B* и *C* и быть достаточно близкой к поверхности эллипсоида.

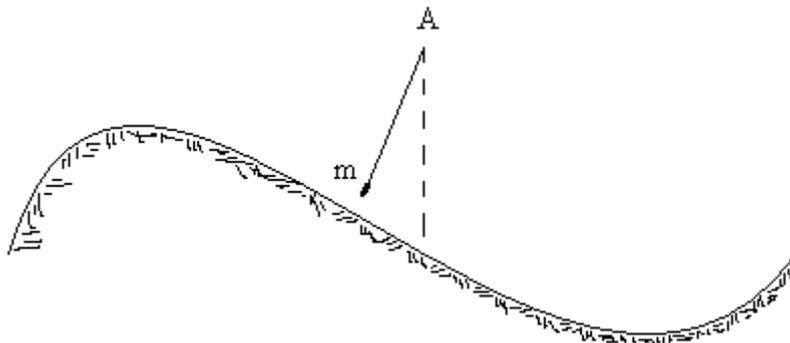


Рис. 3.2 Влияние рельефа на уклонение отвесной линии

### 3.1.2 Понятие геоида и квазигеоида

Если речь идёт об уровенной поверхности силы тяжести, то важнейшей из таковых является уровень океанов и морей. В геодезии невозмущённую поверхность океанов и морей, продолженную под континентами и островами так, чтобы везде быть перпендикулярной вектору силы тяжести, называют поверхностью геоида (рис. 3.3). Именно от неё и желательно отсчитывать высоты точек.

Из-за неравномерности плотности земной коры, поверхность геоида имеет неправильную форму и не может быть описана в виде конечных формул, как, например, поверхность эллипсоида. Вследствие этого возникает задача изучения фигуры геоида, как описания высот возможно большего количества его точек над или под поверхностью эллипсоида (рис. 3.4).

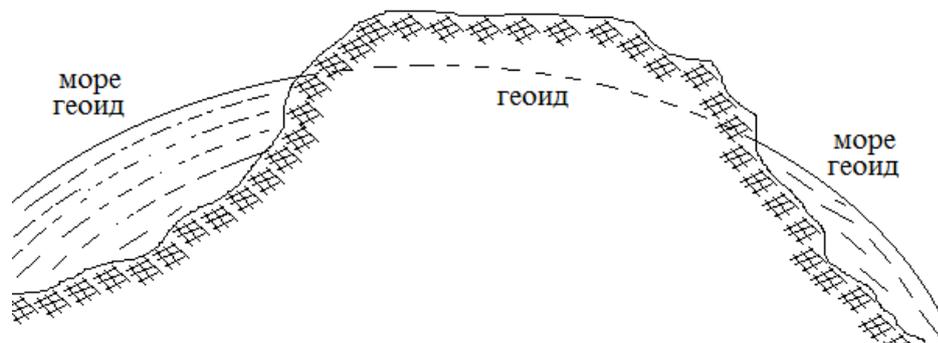


Рис. 3.3 Поверхность геоида

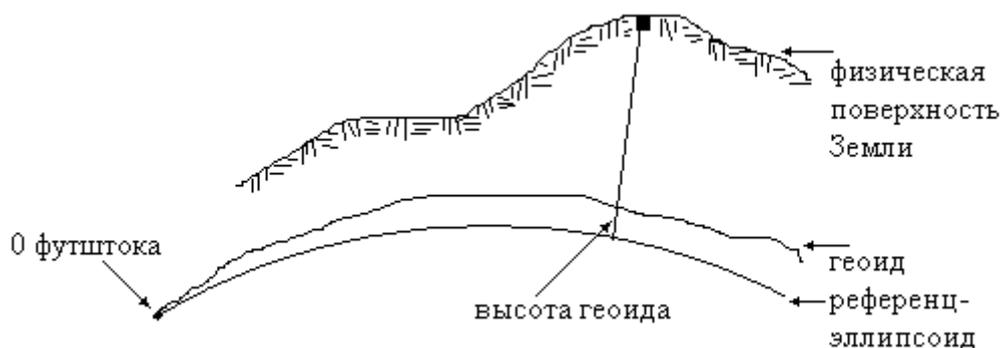


Рис. 3.4 Высота геоида



Рис. 3.5 Уровенные поверхности

Исследования показали, что линия силы тяжести в любой точке не является прямой, а искривлена. Поэтому и уровенные

(эквипотенциальные) поверхности, располагающиеся на разных высотах, не параллельны друг другу (рис. 3.5). Уровенная поверхность в точке стояния в общем случае несколько не параллельна поверхности геоида. Исследование этой непараллельности также является одной из задач высшей геодезии.

Российским учёным-геодезистом М.С. Молоденским было предложено отсчитывать высоту от поверхности, которая не является уровенной, но очень близка к поверхности геоида. Речь идёт о поверхности, практически параллельной уровенным поверхностям на поверхности Земли (рис. 3.6). При этом на морях и океанах она совпадает с поверхностью геоида. Такая поверхность была названа поверхностью *квазигеоида*.

Высоту от поверхности квазигеоида до точки (рис. 3.7) называют *нормальной высотой  $H_\gamma$* , а высоту расположения квазигеоида над эллипсоидом - *аномалией высоты  $\zeta$* . Нормальная высота и аномалия высоты в сумме дают геодезическую высоту точки  $H$ , то есть:

$$H = H_\gamma + \zeta .$$

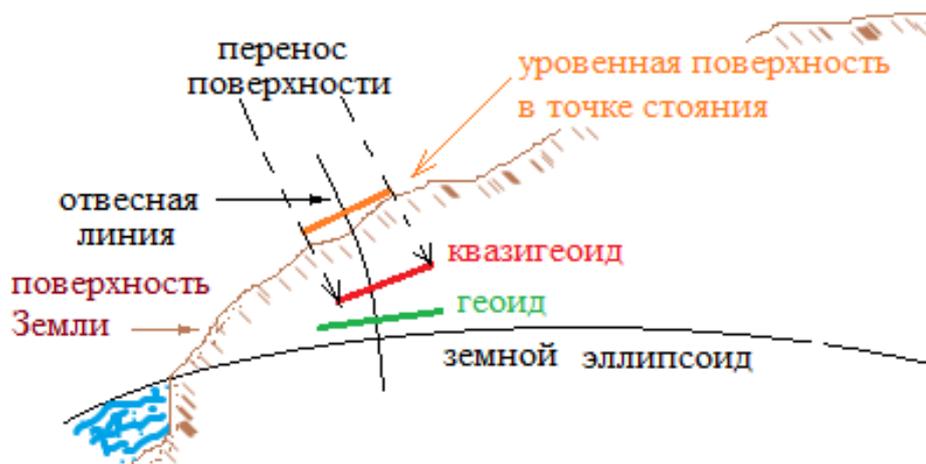


Рис. 3.6 Фрагмент квазигеоида



Рис. 3.7 Нормальная высота и аномалия высоты

Определение аномалий высоты, составление карт высот квазигеоида и математических моделей этих высот входят в число задач высшей геодезии.

### 3.1.3 Роль астрономических определений в геодезии

Из рис. 3.1 видно, что в точке  $A$  отвесная линия не совпадает с нормалью к поверхности эллипсоида. На этот же угол наклонена поверхность, от которой желательно отсчитывать высоты (геоид, квазигеоид) по отношению к поверхности эллипсоида. Этот угол называют *углом уклонения отвесной линии* (УОЛ).



Рис. 3.8. Астрономо-геодезическое нивелирование

Предположим (рис. 3.8), что в точке  $O$  находится футшток. В этой точке соприкасаются эллипсоид, геоид и квазигеоид. В точке  $O$  уклонение отвесной линии равно углу  $\theta$  (УОЛ 1). Если известно расстояние до следующей точки, можно вычислить аномалию высоты  $\zeta_1$ . В этой точке также может быть определено уклонение отвесной линии (УОЛ 2) и вычислена аномалия высоты в следующей точке ( $\zeta_2$ ). Далее процесс может быть

продолжен. Он носит название *астрономо-геодезического нивелирования*.

В каждой из точек на рис. 3.8 определяют:

- геодезическими методами (триангуляция, полигонометрия и т.п.) координаты  $x$  и  $y$ , которые затем пересчитываются в геодезические широту  $B$  и долготу  $L$ ;
- астрономическим путём определяют астрономические широту  $\varphi$  и долготу  $\lambda$ .

Отличие геодезических координат от астрономических состоит в том, что первые определяются относительно нормали к поверхности эллипсоида, а вторые – относительно отвесной линии (рис. 3.9).

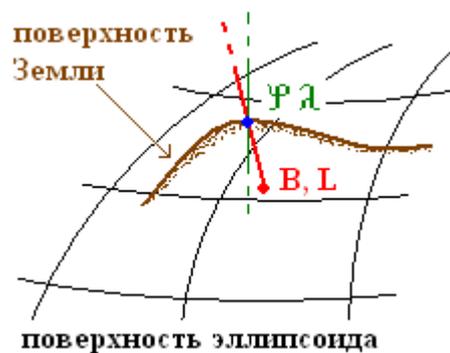


Рис. 3.9 Линии и поверхности относимости

По разностям широт и долгот определяют составляющие УОЛ в меридиане  $\xi$  и первом вертикале  $\eta$  (рис. 3.10).

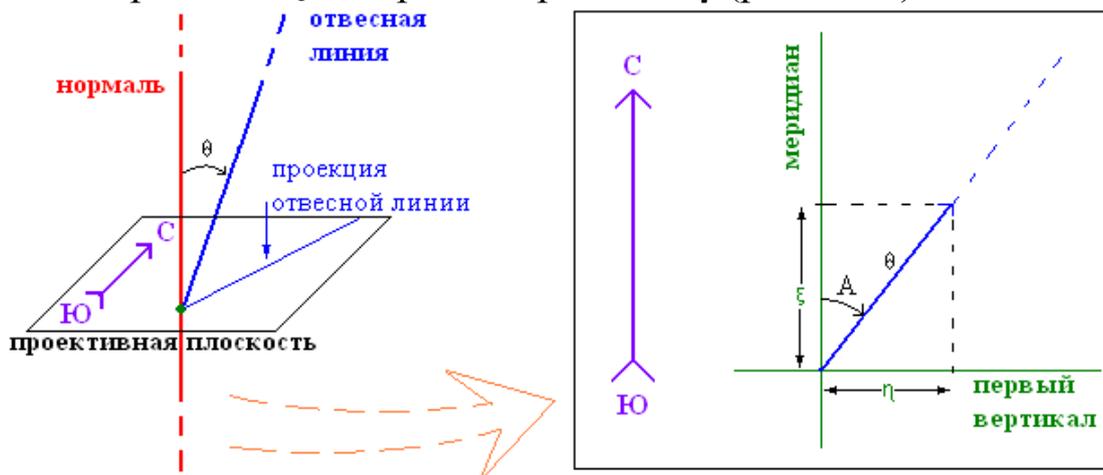


Рис. 3.10 Составляющие уклонения отвесной линии

Составляющие уклонения отвесной линии вычисляют по формулам:

$$\xi = \varphi - B, \quad \eta = (\lambda - L) \cdot \cos \varphi,$$

а уклонение отвесной линии - по формуле

$$\theta^2 = \xi^2 + \eta^2 .$$

## 3.2 Основные методы нивелирования

### 3.2.1. Понятие о нивелировании

Предположим, что имеются пункты *A* и *C* (рис. 3.11). Высота пункта *A* известна и равна *H<sub>A</sub>*. Требуется определить высоту *H<sub>C</sub>* пункта *C*. Для этого с использованием соответствующего прибора измеряют *превышение ha*. Процесс определения превышения называют *нивелированием*. По результатам нивелирования высоту пункта *C* определяют по формуле:

$$H_c = H_a + h_a .$$

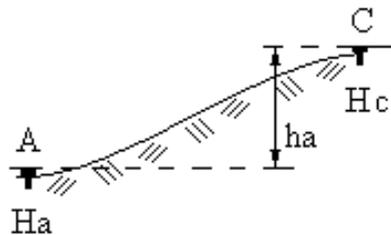


Рис. 3.11 Схема нивелирования

Различают следующие основные методы нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое, барометрическое.

### 3.2.2 Геометрическое нивелирование

Методом определения высот, обеспечивающим высокую точность, является *геометрическое нивелирование* (рис. 3.12). При реализации этого метода в точках *A* и *B* вертикально устанавливают линейки и между ними прокладывают горизонтальную линию. Затем с линеек считывают отсчёты *l<sub>A</sub>* и *l<sub>B</sub>*, а превышение вычисляют по формуле:

$$h_a = l_A - l_B .$$

В качестве линеек чаще всего используют *нивелирные рейки* длиной 1-4 метра.



Рис. 3.12 Схема геометрического нивелирования

Для этого метода нивелирования принципиально важна методика построения горизонтальной линии. Наиболее распространённый способ связан с использованием оптико-механического прибора, называемого *нивелиром*. Этот прибор представляет собой зрительную трубу. В процессе нивелирования ее визирную ось устанавливают в плоскости горизонта. В зрительной трубе нивелира есть сетка нитей, с помощью которой и снимают отсчёты по рейке. Сетка имеет три горизонтальных нити: среднюю, верхнюю и нижнюю. Отсчёты по рейке снимают по средней нити.

Различают два способа визирования с использованием нивелира: нивелирование «вперёд» и нивелирование «из середины».

Нивелирование «вперёд» показано на рис. 3.13. Высоту прибора  $a$  (на рис. 3.12 это  $l_A$ ) измеряют рулеткой, а по рейке (линейке) снимают отсчёт  $b$  (на рис. 3.12 это  $l_B$ ).

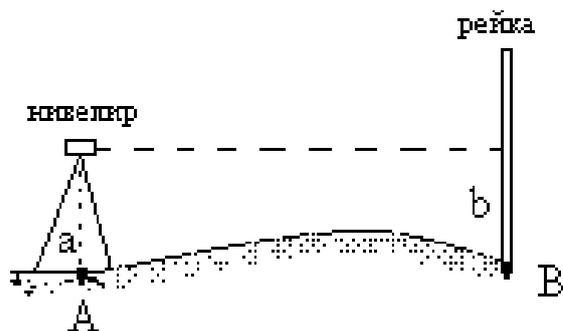


Рис. 3.13 Схема геометрического нивелирования «вперёд»

Способ имеет ограничения, связанные с возможностью получения отсчётов, содержащих заметные ошибки. Эти ошибки могут возникать или из-за наклона визирной оси, или из-за рефракции.



Рис. 3.14 Влияние наклона визирной оси

Влияние наклона визирной оси иллюстрирует рис. 3.14. Невозможно изготовить прибор, абсолютно точно обеспечивающий горизонтальность линии визирования. Поэтому по рейке (рис. 3.14) будет снят отсчёт не  $a_2$ , соответствующий линии истинного горизонта, а ошибочный отсчёт  $a_1$ . Разница может быть как положительной, так и отрицательной. В некоторых случаях она допустима, но при производстве точного нивелирования может оказаться недопустимой.

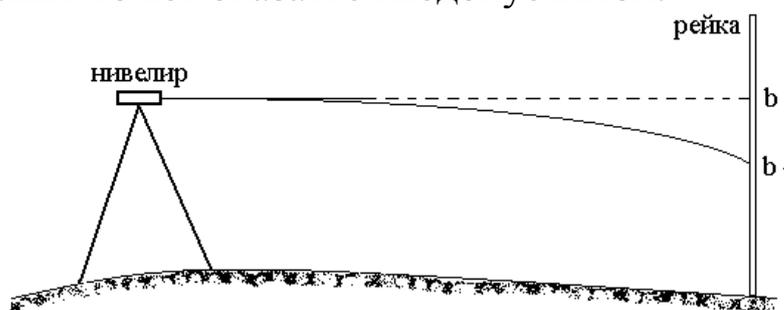


Рис. 3.15 Влияние рефракции при нивелировании «вперёд»

Влияние рефракции при нивелировании «вперёд» иллюстрирует рис. 3.15. При своём перемещении луч света проходит через слои атмосферы с разной плотностью. Вследствие этого он изгибается, и вместо отсчёта  $b$  будет снят отсчёт  $b_1$ . При этом ошибка увеличивается пропорционально квадрату расстояния.

Для уменьшения влияния указанных ошибок применяют способ нивелирования «из середины» (рис. 3.16). При реализации этого способа нивелир располагают посередине между двумя рейками. Это приводит к тому, что рассматриваемые ошибки оказываются примерно одинаковыми в обе стороны и компенсируют друг друга (рис. 3.17).



Рис. 3.16 Нивелирование «из середины»

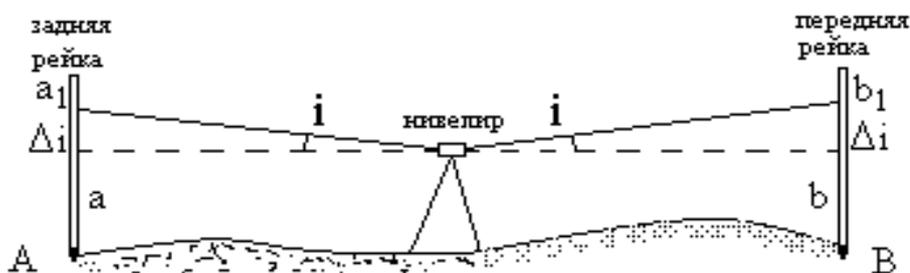


Рис. 3.17 Компенсация ошибок при нивелировании «из середины»

Вместо отсчётов  $a$  и  $b$  будут сняты отсчёты  $a_1$  и  $b_1$ . Они содержат ошибку  $\Delta i$ , представляющую сумму двух ошибок. Первая из них вызвана наличием угла между горизонтальной плоскостью и визирной линией (угла  $i$ ). Вторая ошибка вызвана рефракцией, которую считают более-менее постоянной для всего района проведения работ при конкретных погодных условиях и высоте над поверхностью земли. Ошибочные отсчёты определяются равенствами:

$$a_1 = a + \Delta i, \quad b_1 = b + \Delta i.$$

С учётом этих соотношений и равенства

$$ha = a - b$$

получим

$$ha = (a_1 - \Delta i) - (b_1 - \Delta i) = a_1 - \Delta i - b_1 + \Delta i = a_1 - b_1.$$

Это означает, что разность ошибочных отсчётов практически совпадает с истинным превышением.

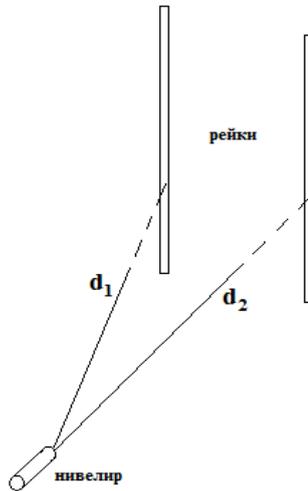


Рис. 3.18 Равенство плеч

Расположение нивелира посередине между рейками не означает, что рейки и нивелир должны быть в створе (на одной линии). Нивелир может располагаться в стороне (рис. 3.18). Важно, чтобы соблюдалось равенство расстояний от нивелира до реек (равенство плеч), то есть равенство расстояний  $d_1$  и  $d_2$ .

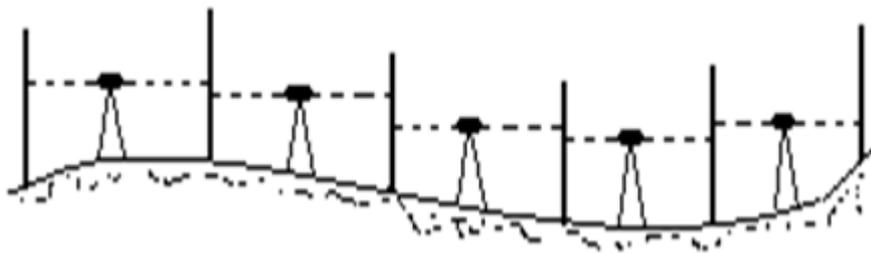


Рис. 3.19 Нивелирный ход

При геометрическом нивелировании рейки должны быть, как минимум, в пределах видимости. Кроме того, длины плеч ограничиваются тем обстоятельством, что неравенство величины рефракции по плечам существенно увеличивается с увеличением расстояния. Передача превышений на большие расстояния осуществляется путём проложения нивелирных ходов (рис. 3.19).

### 3.2.3 Тригонометрическое нивелирование

Наряду с геометрическим нивелированием используют *тригонометрическое нивелирование* (рис. 3.20).

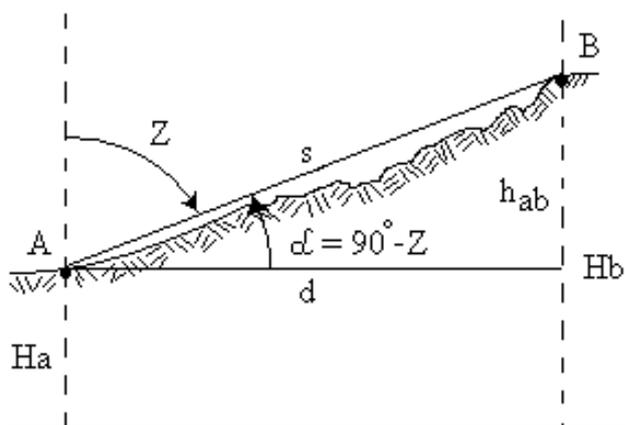


Рис. 3.20 Схема тригонометрического нивелирования

При этом способе от точки *A* до точки *B* измеряют:

- угол между отвесной линией и направлением на точку *B* - зенитное расстояние *Z*;
- расстояние между точками *S*.

Превышение между точками определяют по формуле

$$h_{ab} = S \cdot \cos Z .$$

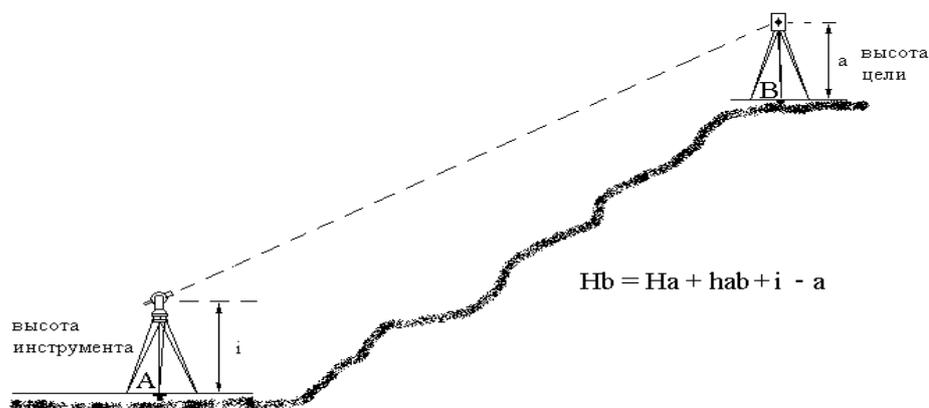


Рис. 3.21 Учёт высоты прибора и высоты визирной цели

При тригонометрическом нивелировании угломер и визирную цель устанавливают на подставки (штативы) (рис. 3.21). Вследствие этого в правую часть последней формулы добавляют высоту инструмента *i* и высоту цели *a*.

При тригонометрическом нивелировании на больших расстояниях передача превышений производится так же, как и при геометрическом нивелировании, путём проложения высотного хода (рис. 3.22).

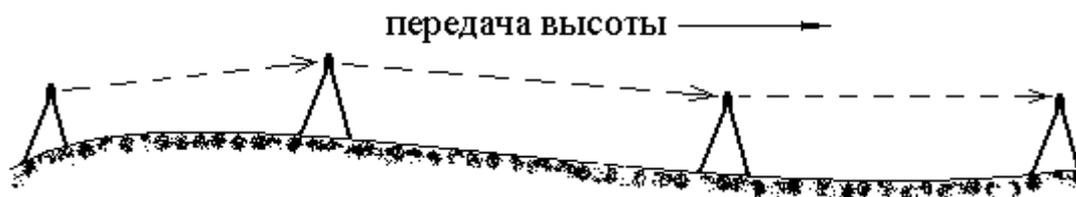


Рис. 3.22 Высотный ход

Следует заметить, что при тригонометрическом нивелировании ошибка из-за рефракции не компенсируется. Поэтому на расстояниях в несколько километров ошибка в определении высоты может составить заметную величину (вплоть до метра).

### 3.2.4 Гидростатическое и барометрическое нивелирование

Метод *гидростатического нивелирования* поясняет рис. 3.23. Гидростатический нивелир представляет собой две стеклянные (или пластиковые) трубки, соединённые шлангом. На трубках нанесены деления. В трубки и шланг налита вода. Согласно закону сообщающихся сосудов, уровень воды в трубках располагается по линии горизонта. Приставляя трубки к точкам (пункта) и снимая отсчёты, можно вычислить превышения между точками. Метод даёт высокую точность, но требует больших временных и финансовых затрат.

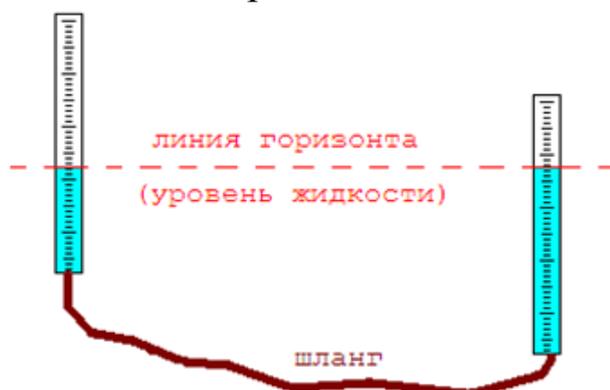


Рис. 3.23. Схема гидростатического нивелирования

Метод *барометрического нивелирования* иллюстрирует рис. 3.24. Он основан на том, что с подъёмом над поверхностью Земли давление атмосферы снижается. Это регистрируется отсчётами со шкалы барометра.

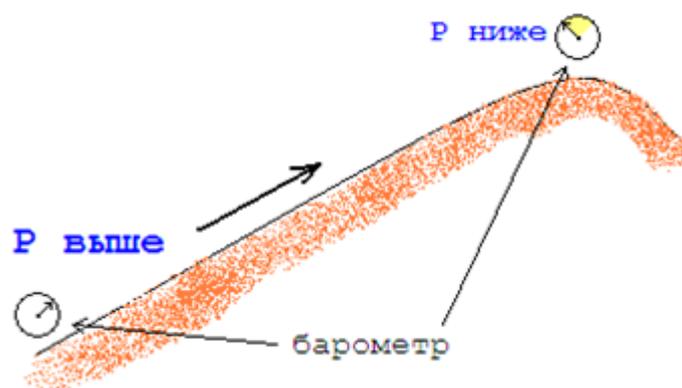


Рис. 3.24. Схема барометрического нивелирования

Ошибки этого метода составляют десятки сантиметров. Поэтому он применяется чаще всего в горной местности, где использование других методов либо даёт ещё большие ошибки, либо слишком дорого.

### 3.3 Нивелирная сеть Российской Федерации

#### 3.3.1 Реперы

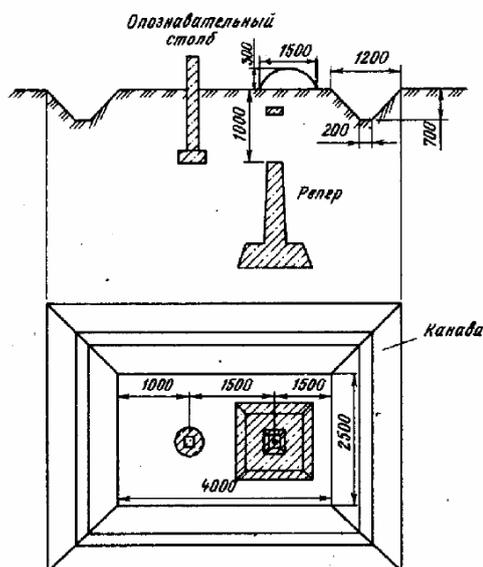


Рис. 3.25. Грунтовый репер

На территории Российской Федерации создана сеть геодезических пунктов с исходными высотами, называемых *реперами*. Реперы – отдельный вид геодезического пункта.

Различают реперы грунтовые (рис. 3.25) и настенные. Настенные реперы бывают двух видов: для подвесной рейки и

для устанавливаемой рейки. Совокупность реперов составляет нивелирную сеть Российской Федерации. Эта сеть создаётся в соответствии с «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов».

Основой сети служат реперы I класса, получаемых из проложения ходов в виде замкнутых полигонов периметром от 1200 км до 2000 км. От реперов I класса прокладываются ходы II класса также в виде полигонов периметром от 400 км до 1000 км. От реперов II класса прокладываются нивелирные ходы III класса, а в некоторых случаях – ходы IV класса (рис. 3.26). Реперы III и IV классов закладываются в обжитых местах, городах, районах больших строек и пр. Исходным пунктом нивелирной сети Российской Федерации является *Кронштадский футшток*. Используется система нормальных высот. При этом полагается, что в нуле Кронштадского футштока совпадают поверхности референц-эллипсоида, геоида и квазигеоида. Такая система названа *Балтийской системой высот*.

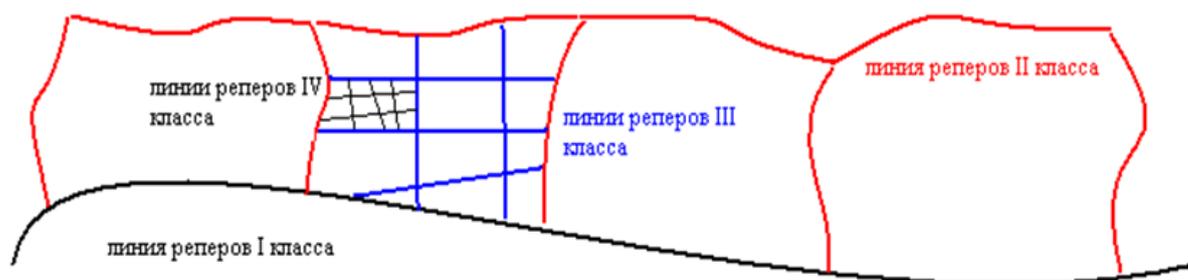


Рис. 3.26 Нивелирная сеть

### 3.3.2 Геометрическое нивелирование III и IV классов

Нивелирование III и IV классов производится путём проложения ходов. Технология проложения таких ходов изложена в указанной выше инструкции.

Производство нивелирования III класса сводится к следующему. Ход прокладывается от репера до репера. Определяемые реперы закладываются не реже, чем через каждые 5 км хода (в труднодоступных местах – до 7 км).

Ориентировочные значения периметров нивелирных ходов:

- в обжитых районах – 60-150 км;
- в малообжитых районах – 100-300 км;
- на застроенных территориях городов – 25 км;
- на незастроенных территориях городов – 40 км.

Ход может состоять из секций, прокладываемых от репера до временного репера или между временными реперами. Секция прокладывается дважды: в прямом и обратном направлениях. Секция состоит из нескольких *станций*. Станция – точка стояния нивелира между рейками.

Местоположение нивелира и передней рейки, то есть рейки, устанавливаемой вперёд по ходу, определяется следующими требованиями:

- расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 75 м;
- разность расстояний между нивелиром и рейками (разность плеч) не должна превышать 2 м;
- высота луча визирования над препятствием не менее 0.3 м.

Если колебания изображения отсутствуют, а увеличение зрительной трубы нивелира составляет не менее 35х, то расстояние до реек можно увеличивать до 100 м.

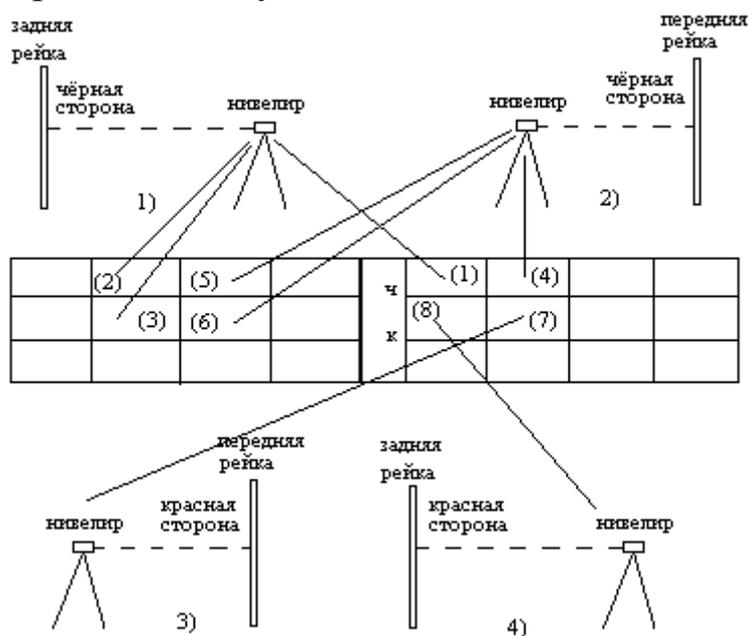


Рис. 3.27 Наблюдения на станции III класса нивелирования

На каждой станции выполняется соответствующая процедура наблюдений (рис. 3.27). При проложении хода используют шашечные рейки с чёрной и красной сторонами. Наблюдения проводят, снимая последовательно следующие отсчёты:

- по средней нити по задней рейке по чёрной стороне;
- по крайним нитям;
- по средней нити по передней рейке по чёрной стороне;
- по крайним нитям по чёрной стороне;

- по средней нити по красной стороне по передней рейке;
- по средней нити по красной стороне по задней рейке.

При обработке результатов нивелирования обращают внимание на то, чтобы накопление разности плеч в секции не превышало 5 м. Допустимая невязка в ходе, то есть разность суммарных превышений, полученных из прямого и обратного ходов, зависит от длины хода и вычисляется по формуле

$$w_{\text{дон}} = 10\sqrt{L} ,$$

где длина хода  $L$  берётся в километрах, а невязка получается в миллиметрах.

При производстве нивелирования IV класса ход также прокладывается от репера до репера более высоких классов (I - III).

Ориентировочные значения периметров нивелирных ходов:

- в обжитых районах – 20-60 км;
- в малообжитых районах – 25-80 км;
- на застроенных территориях городов – 8 км;
- на незастроенных территориях городов – 12 км.

Ход может состоять из секций, прокладываемых от репера до временного репера или между временными реперами. Секция прокладывается в одном направлении.

При выборе местоположения нивелира и передней рейки исходят из требований:

- расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 100 м;
- разность расстояний между нивелиром и рейками (разность плеч) не должна превышать 5 м;
- высота луча визирования над препятствием не менее 0.2 м.

При отсутствии колебания изображений и увеличении зрительной трубы нивелира не менее 30х расстояния до реек можно увеличивать до 150 м.

Наблюдения на станции производят аналогично тому, как это делается в III классе, но отсчёты производят не по двум, а по одной крайней нити. Накопление разности плеч в секции допускается до 10 м. Невязка в ходе получается как разность между превышением, вычисленным по высотам исходных реперов и превышением, полученным из нивелирного хода. Допустимая невязка в ходе вычисляется по формуле

$$w_{\text{дон}} = 20\sqrt{L} ,$$

где длина хода  $L$  берётся в километрах, а невязка получается в миллиметрах.

### 3.3.3 Техническое нивелирование

Ходы технического нивелирования прокладывают между двумя исходными реперами в виде одиночных ходов или в виде системы ходов с одной или несколькими узловыми точками. Проложение замкнутых ходов разрешается в исключительных случаях.

Допустимые длины ходов зависят от назначения конкретного вида работ и могут быть от одного километра до полутора десятков километров.

Ход прокладывается в одном направлении. Работа на станции проводится аналогично тому, как это делается при нивелировании IV класса. Расстояние до реек может достигать 120 м, при хороших условиях видимости – до 200 м. Ограничения на разность плеч не устанавливаются. Допустимая невязка рассчитывается по формуле:

$$w_{дон} = 50\sqrt{L} ,$$

где длина хода  $L$  берётся в километрах, а невязка получается в миллиметрах.

## 4. Угловые и линейные измерения на местности

### 4.1 Угломерные приборы

#### 4.1.1 Теодолит

*Теодолит* предназначен для измерения горизонтальных направлений и вертикальных углов. С помощью теодолита можно также откладывать на местности углы и с невысокой точностью измерять небольшие расстояния.

Схематическое устройство теодолита показано на рис. 4.1. Основой теодолита является вертикальная ось. На оси находится горизонтальный круг (ГК), представляющий собой, по сути, транспорт. При производстве измерений ГК неподвижен, но в промежутках между измерениями может быть повернут (переставлен) при помощи винта установки *ГК*.

Для наведения теодолита на визирную цель используется *зрительная труба* – небольшой телескоп. Зрительная труба вращается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси теодолита и в вертикальной плоскости вокруг собственной горизонтальной оси вращения.

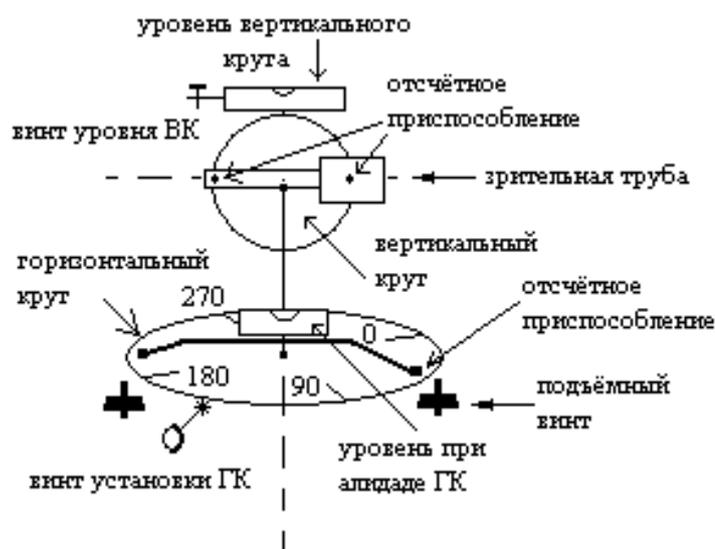


Рис. 4.1 Схема устройства теодолита

Со зрительной трубой скреплены отсчётные приспособления для снятия отсчёта по ГК. Вращающаяся часть теодолита со зрительной трубой и отсчётными приспособлениями называется *алидадой* горизонтального круга.

Для приведения оси теодолита в вертикальное положение на алидаде устанавливается уровень, а в нижней части теодолита имеются подъёмные винты, позволяющие наклонять теодолит в нужном направлении.

На горизонтальной оси теодолита находится вертикальный круг (ВК) со своими отсчётными приспособлениями и своим уровнем вертикального круга. Для выведения уровня есть *винт уровня ВК*.

Каждый теодолит имеет оптический центрир, закрепительные и наводящие винты ГК и ВК. *Оптический центрир* – это небольшая зрительная труба, предназначенная для установки теодолита над центром пункта. Закрепительные винты служат для закрепления (обездвиживания) прибора после его приблизительной наводки на визирную цель. После этого теодолит наводится более точно на цель в горизонтальной и вертикальной плоскостях наводящими винтами. Для точного наведения зрительной трубы на визирную цель внутри зрительной трубы имеется *сетка нитей* (рис. 4.2).

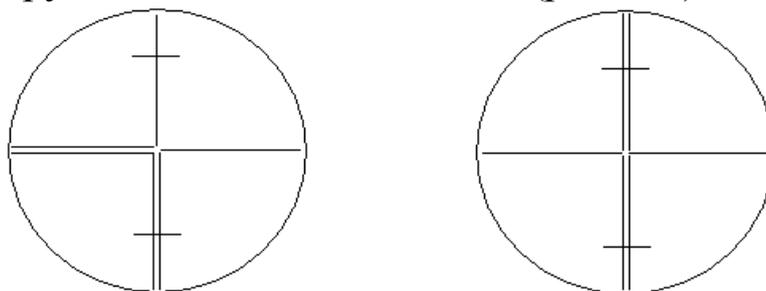


Рис. 4.2. Образцы сетки нитей теодолита

Теодолиты классифицируют по точности. Наименование теодолита состоит из буквы Т и числа, которое характеризует точность измерения направления в секундах дуги. Принята следующая классификация: Т05, Т1, Т2, Т5, Т15 и Т30. Теодолиты Т05 и Т1 считаются высокоточными, Т2 и Т5 – точными, остальные техническими.

Для того чтобы измерения, проводимые с использованием теодолита, были корректными, в его конструкции должны соблюдаться соответствующие геометрические условия. В частности, ось уровня при алидаде ГК должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита (рис. 4.3, а). Для исправления несоблюдения этого геометрического условия, в приборе имеется специальный исправительный винт.

Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита (рис. 4.3, б). Неперпендикулярность обычно вызвана неравенством колонок оси зрительной трубы. Исправление неравенства колонок производится в специальных лабораториях. *Визирная ось* зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения зрительной трубы (рис. 4.3, в).

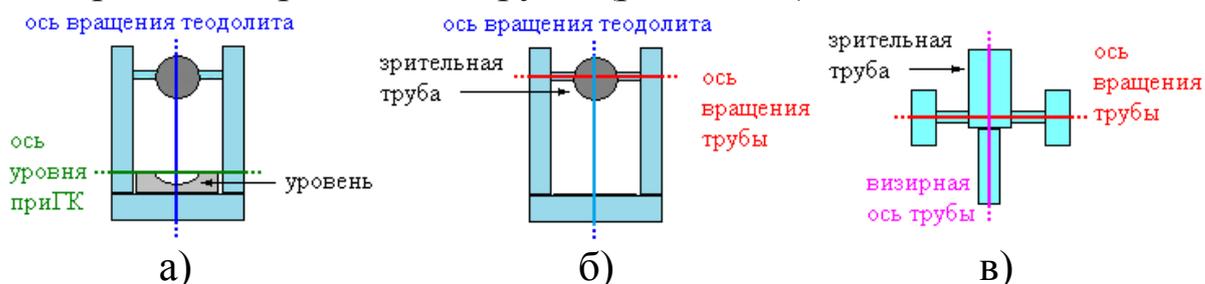


Рис. 4.3 Взаимное расположение:

- а) оси уровня и вертикальной оси теодолита; б) расположение осей вращения теодолита;  
 в) визирной оси и оси вращения зрительной трубы

Несоблюдение последнего условия называют *коллимационной ошибкой*. Её величину обычно обозначают символом  $c$ . Эта ошибка исправляется перемещением сетки нитей соответствующими установочными винтами (рис. 4.4).

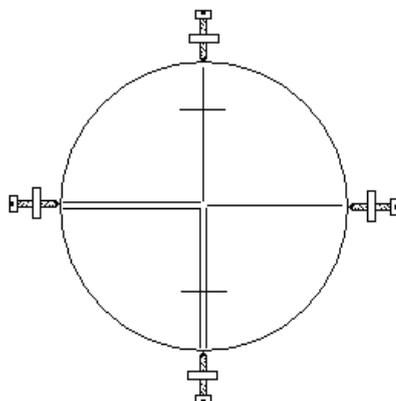


Рис. 4.4 Сетка нитей и установочные винты

Диаметр нулевого отсчёта ВК должен быть вертикален. Установка нулевого диаметра в вертикальное положение производится по уровню при ВК (рис. 4.5). При неправильном положении уровня наблюдается несовпадение нулевого диаметра с отвесной линией. Его называют *местом зенита* и обычно обозначают символом  $MZ$ . Для исправления этой ошибки в приборе имеется исправительный винт.

Определение соблюдения геометрических условий носит название *поверок*. Поверки производят обязательно перед производством измерений и в процессе производства измерений.

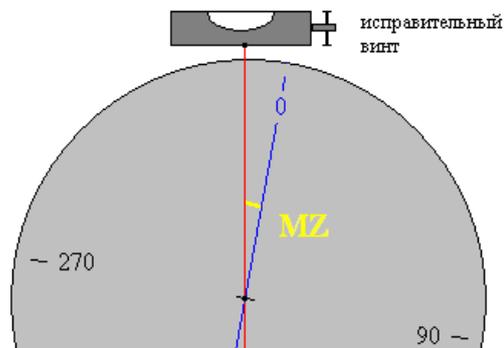


Рис. 4.5 Место зенита ВК

#### 4.1.2 Кипрегель, астролябия, экер

*Кипрегель* - угломерный прибор, позволяющий измерять вертикальные углы и определять превышения. В основании кипрегеля имеется линейка для прочерчивания направлений. Прибор имеет вертикальный круг, с помощью которого измеряют вертикальные углы (рис 4.6).

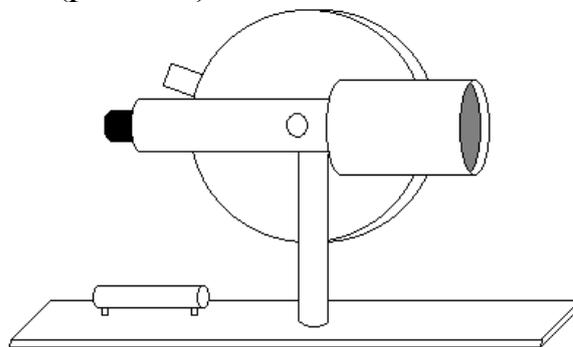


Рис. 4.6 Кипрегель

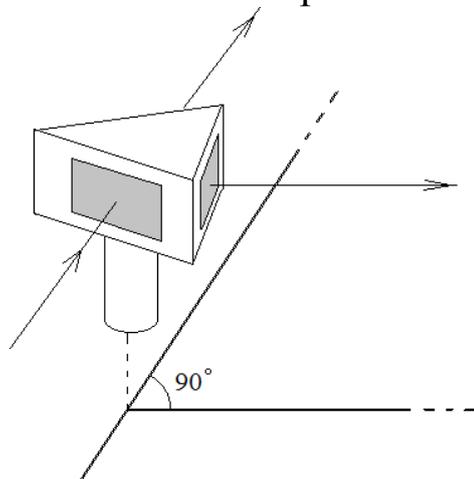


Рис. 4.7 Схема функционирования экера

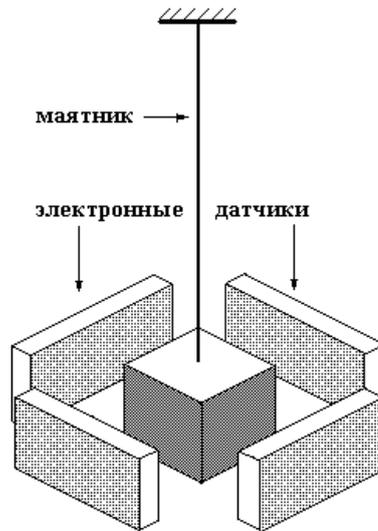


Рис. 4.8 Схема электронного уровня

*Астролябия* - геодезический прибор, предназначенный для измерений горизонтальных направлений.

*Экер* – геодезический инструмент, предназначенный для разбивки углов на местности. Схема функционирования экера показана на рис. 4.7.

В современных теодолитах круги для отсчёта результатов измерений позволяют снимать отсчёты автоматически, с использованием электроники. В таких теодолитах отсчёты выводятся на дисплей и записываются во встроенную память. Такие теодолиты называют электронными.

Важным устройством электронного теодолита является электронный уровень. Он представляет собой маятник с датчиками, расположенными в двух плоскостях (рис. 4.8). Электронная система такого уровня определяет наклон теодолита и вводит поправки в отсчёты, снимаемые с кругов.

## 4.2. Работа с теодолитом

### 4.2.1 Подготовка теодолита к наблюдениям

Перед производством наблюдений необходимо:

- установить теодолит на *штативе* над центром пункта или точкой;
- привести горизонтальный круг (ГК) теодолита в горизонтальное положение, а его ось, соответственно, в вертикальное положение;
- определиться с направлениями и убедиться через зрительную трубу в их видимости.

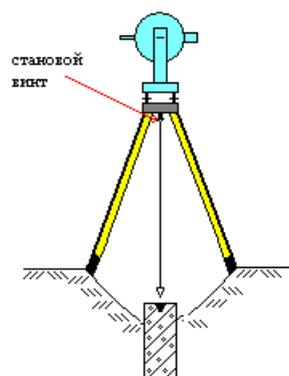


Рис. 4.9 Центрирование теодолита

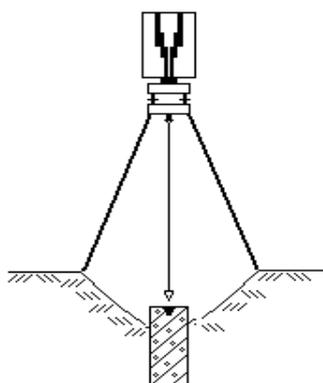


Рис. 4.10 Центрирование марки

*Центрирование* теодолита производится над центром пункта по оптическому центру или нитяному *отвесу* (рис. 4.9). Если визирной целью является марка, то она также центрируется (рис. 4.10).

Приведение горизонтального круга теодолита в горизонтальное положение производится по уровню при алидаде горизонтального круга, с использованием подъёмных винтов. Алидада устанавливается по направлению двух подъёмных винтов (рис. 4.11). Затем алидаду разворачивают на  $90^\circ$ , выводя пузырёк уровня на середину вращением подъёмных винтов «оба внутрь» или «оба вне» (рис. 4.12).

Процесс повторяют при разных положениях алидады до тех пор, пока при любом положении алидады отклонение пузырька уровня от середины не будет превышать 0.5 деления. Электронный теодолит (электронный *тахеометр*) *горизонтируется* по круглому уровню.

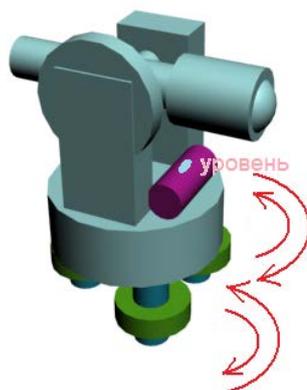


Рис. 4.11 Установка алидады по двум подъёмным винтам

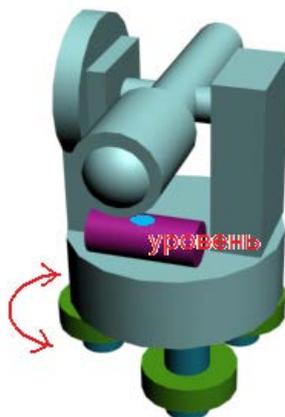


Рис. 4.12 Разворот алидады на 90°

Для настройки резкости изображения сетки нитей зрительная труба наводится на какой-нибудь монотонный фон, например, небо. Расслабив глаз, настраивают резкость изображения сетки нитей вращением кольца окуляра.

Теодолит может находиться в двух основных положениях: «круг лево» (КЛ) или «круг право» (КП). Положение КЛ – это такое положение, при котором вертикальный круг (ВК) находится слева от зрительной трубы. Положение КП – это такое положение, при котором вертикальный круг находится справа от зрительной трубы. Перевод теодолита из одного положения в другое производится переводом зрительной трубы через зенит.

Визирные цели отыскиваются визуально. Убедившись через зрительную трубу в их видимости, выбирают начальное направление. При этом зрительная труба наводится на цель и производится начальная установка горизонтального круга.

Наведение на цель производится *биссектором* (рис. 4.13). Наведение сначала осуществляется приближённо вручную. Затем, закрепительными винтами фиксируются алидада и зрительная труба, а наводящим винтом производится точное

наведение. При этом наводящий винт вращают «на ввинчивание».

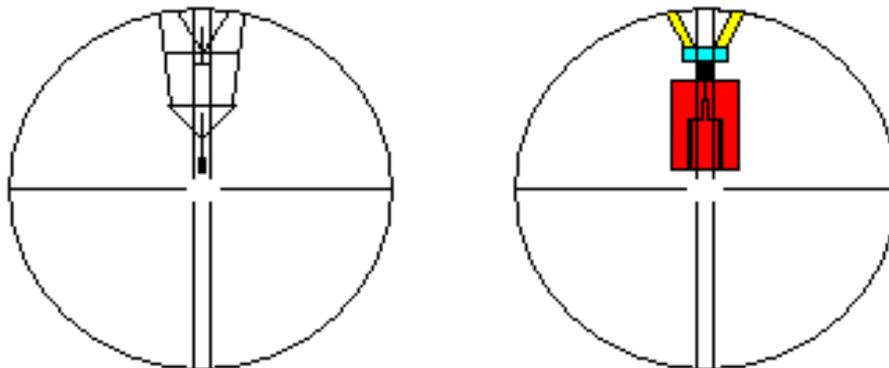


Рис. 4.13 Наведение на цель биссектором

При измерении горизонтальных направлений рекомендуется сначала наводящим винтом установить изображение по высоте, а затем уже точно навести его по горизонтали.

После точного наведения на визирную цель, производят снятие отсчёта с горизонтального круга. Процесс снятия отсчёта зависит от конструкции теодолита. В оптических теодолитах снятые отсчёты записывают в журнал наблюдений. В электронных теодолитах (тахеометрах) отсчёт записывают автоматически во встроенную память. Некоторые типы электронных теодолитов не имеют встроенной памяти. В этом случае выводимые на дисплей теодолита отсчёты записывают в журнал наблюдений вручную.

#### 4.2.2 Измерение горизонтальных направлений

Измерение горизонтальных направлений производят тремя основными способами:

- отдельного угла;
- круговых приёмов;
- во всех комбинациях.

Если имеется только два направления (рис. 4.14), то производят измерение отдельного угла. Сначала теодолит устанавливают в положение КЛ, наводят на левое направление ( $M1$ ) и снимают отсчёт по ГК ( $КЛ_{M1}$ ). Затем теодолит вращением по часовой стрелке наводят на правое направление ( $M2$ ) и также снимают отсчёт по ГК ( $КЛ_{M2}$ ).

После этого теодолит переводят в положение КП. Теодолит вращением против часовой стрелки наводят на правое направление ( $M2$ ) и снимают отсчёт по ГК ( $KП_{M2}$ ). Наконец, теодолит вращением против часовой стрелки наводят на левое направление ( $M1$ ) и снимают отсчёт по ГК ( $KП_{M1}$ ).

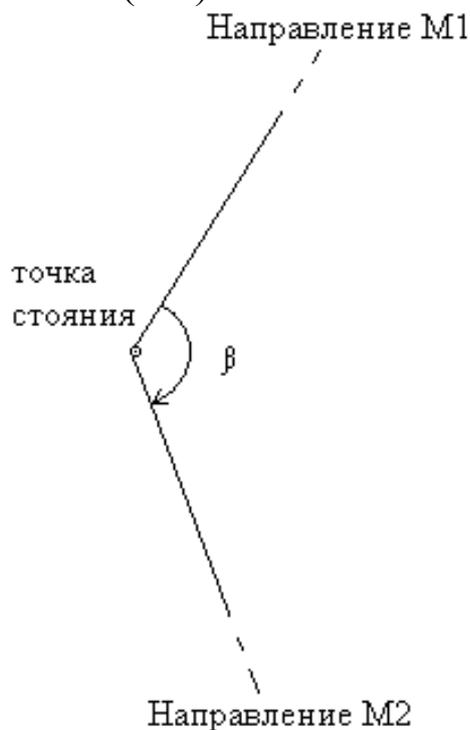


Рис. 4.14. Измерение отдельного угла



Рис. 4.15. Левый по ходу угол

С целью контроля точности измерений, по каждому из направлений вычисляют двойную коллимационную ошибку  $2c$ , определяемую формулой

$$2c = KЛ - КП \pm 180^\circ .$$

Для точных теодолитов эта ошибка не должна превышать  $20''$ .

По полученным отсчётам вычисляют сначала значения направлений, а затем значение измеренного угла. При этом используют формулы:

$$M1 = (KЛ_{M1} + КП_{M1} \pm 180^\circ) / 2 ,$$

$$M2 = (KЛ_{M2} + КП_{M2} \pm 180^\circ) / 2 ,$$

$$\beta = M2 - M1 .$$

Описанную процедуру называют *приёмом наблюдений*. Наблюдения при одном положении (КЛ или КП) называют *полуприёмом*. В зависимости от характера производимых работ, угол может измеряться двумя, тремя и более приёмами.

Количество приёмов измерений определяется руководящими документами. Второй и последующий приёмы производят так же, как и первый. При производстве наблюдений оптическим теодолитом в каждом последующем приёме при наведении на направление *MI* при КЛ необходимо переставлять ГК. Эту процедуру называют *начальной установкой*.

Первый приём производят при начальной установке, близкой к нулю. Начальную установку в любом приёме вычисляют по формулам:

$$q = 180^\circ / n ,$$
$$Q = (q + 10') \cdot (k - 1) ,$$

где *n* – количество приёмов; *k* – номер приёма.

Перед началом наблюдений по этим формулам вычисляют начальные установки для всех приёмов. Например, если в руководящем документе указано, что угол необходимо измерить четырьмя приёмами, то начальными установками будут:

1 приём -	0° 00'	3 приём -	90° 20'
2 приём -	45° 10'	4 приём -	135° 30'

Вычисленные в каждом из приёмов значения угла сравниваются между собой. В руководящих документах указываются допустимые величины расхождения. Если расхождение превышает указанный допуск, выбирается приём, значение угла в котором наиболее отстоит от среднего значения, измерения в приёме повторяются. Если все допуски соблюдены, из всех приёмов вычисляют среднее значение измеренного угла.

При измерении отдельного угла весьма важен выбор начального направления. Например, при проложении полигонометрического хода, начальным направлением всегда выбирают направление на заднюю точку по направлению проложения хода (рис. 4.15). Это означает, что измеряют левый по ходу угол.

При наличии на точке стояния (пункте) более двух направлений их измерение производится способом круговых приёмов (рис. 4.16). При использовании этого способа рекомендуется за начальное направление выбирать хорошо видимую визирную цель, находящуюся на среднем, по отношению к другим направлениям, расстоянии. Так же, как и при измерении отдельного угла, измерения выполняют заданным

количеством приёмов и при заданных начальных установках на начальное направление.

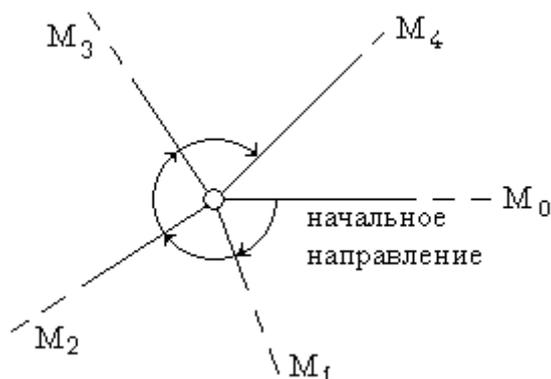


Рис. 4.16. Способ круговых приёмов

Измерение направлений производят в следующей последовательности:

- при КЛ теодолит наводят на начальное направление и снимают отсчёт по ГК;
- наводят теодолит на остальные направления в последовательности «по часовой стрелке» и снимают отсчёты по ГК;
- теодолит снова наводят на начальное направление и снимают отсчёт по ГК;
- сравнивают отсчёты на начальное направление в начале и в конце полуприёма;
- теодолит переводят в положение КП, наводят на начальное направление и снимают отсчёт по ГК;
- наводят теодолит на остальные направления в последовательности «против часовой стрелки» и снимают отсчёты по ГК;
- теодолит снова наводят на начальное направление и снимают отсчёт по ГК;
- сравнивают отсчёты на начальное направление в начале и в конце полуприёма.

Разность в отсчётах на начальное направление в начале и в конце полуприёма называют *незамыканием горизонта*. Его допустимое значение указано в руководящих документах.

После проведения измерений по каждому из направлений вычисляют среднее из полуприёмов. Затем из каждого среднего вычитают среднее значение на начальное направление.

Соответственно, значение на начальное направление становится равным нулю. Эту процедуру называют «приведением к нулю».

Значения направлений, полученные из разных приёмов, сравнивают между собой. Так же, как и при измерении отдельного угла, расхождения сравнивают с допуском, указанным в руководящих документах. Направления, наиболее отстоящие от среднего значения, перенаблюдают с начальным направлением по способу отдельного угла.

#### 4.2.3 Измерение зенитных расстояний

Измерение зенитных расстояний при производстве наблюдений оптическим теодолитом осуществляют в следующем порядке:

- при КЛ производят наведение зрительной трубы на выбранную визирную цель;
- пузырёк уровня на вертикальном круге (ВК) выводят на середину;
- снимают отсчёт по ВК при КЛ;
- переводят теодолит в положение КП;
- наводят зрительную трубу на цель;
- при выведенном на ВК уровне снимают отсчёт.

При измерении зенитного расстояния большое значение имеет выбор точки (линии) наблюдения. Примеры наведения на визирную цель при измерении зенитного расстояния показаны на рис. 4.17. Сразу после наведения прибора на визирную цель рекомендуется изображение, видимое в зрительной трубе, зарисовать в журнале наблюдений.

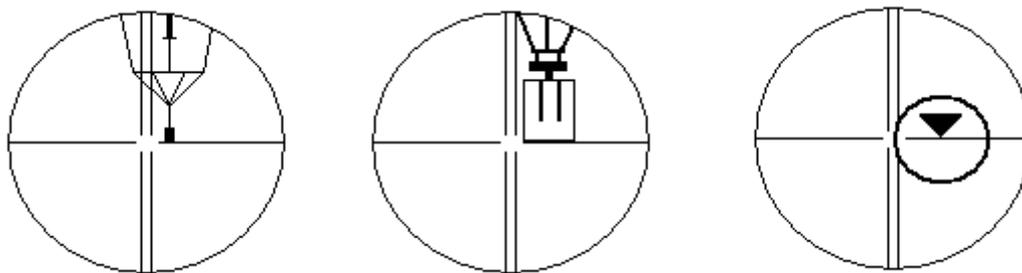


Рис. 4.17 Наведение зрительной трубы при измерении зенитного расстояния

Место зенита по измеренным значениям вычисляют по формулам

$$MZ = (KL + KP - 360^\circ) / 2 ,$$

$$Z = KL - MZ .$$

Допуск на абсолютную величину места зенита (например, 15", 30") указан в руководящих документах.

Измерение зенитного расстояния производят двумя или четырьмя приёмами. Допустимая разность значений зенитного расстояния между приёмами также определяется руководящими документами. При получении результатов, не удовлетворяющих по разности, измерения проводят повторно.

Следует обратить внимание на то, что имеются теодолиты, которые не позволяют измерять зенитное расстояние. Они позволяют измерять угол наклона.

### **4.3 Поверки и исследования теодолита**

#### **4.3.1 Поверки сетки нитей зрительной трубы**

Поверку сетки нитей зрительной трубы проводят с целью убедиться, что при отгоризонтированном теодолите на сетке нитей зрительной трубы вертикальная нить действительно вертикальна. Имеются два способа проведения поверки.

Первый способ поверки состоит в том, что в лаборатории подвешивается нитяной отвес. На отвес наводится зрительная труба, и вертикальная нить сетки нитей наводится на отвес. Вертикальная нить и нить отвеса должны совпадать.

Второй способ поверки состоит в том, что вне лаборатории на некотором удалении на стене изображается точка. Краем горизонтальной нити сетки нитей наводят на точку. Вращением наводящего винта алидады горизонтального круга доворачивают зрительную трубу так, чтобы точка переместилась на другой край поля зрения трубы. Изображение точки не должно выходить из-за нити. В случае необходимости, исправление сетки нитей производят её разворотом.

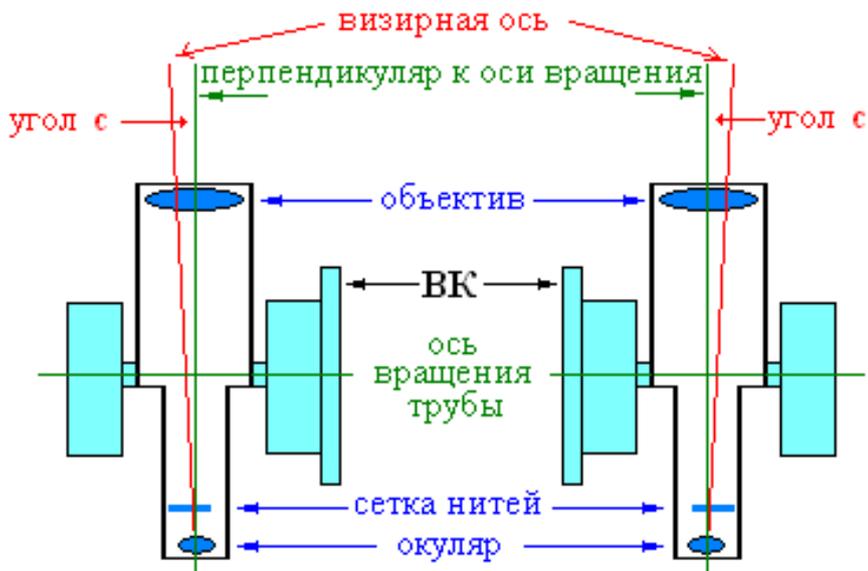


Рис. 4.18 Сущность двойной коллимационной ошибки

Вследствие неправильного положения сетки нитей зрительной трубы возникает разница между отсчётами КЛ и  $КП \pm 180^\circ$  (рис. 4.18). Это так называемая *коллимационная ошибка*. Для ее исправления вычисляют верный отсчёт по формуле

$$КЛ_{испр} = КЛ - \epsilon .$$

Этот отсчёт наводящим винтом ГК устанавливают по горизонтальному кругу. При этом изображение визирной цели сместится относительно середины биссектора. Действуя установочными винтами сетки нитей (рис. 4.4), сетку перемещают так, чтобы визирная цель оказалась посередине сетки нитей.

Сначала слегка открепляют вертикальные винты, затем, вращая горизонтальные винты (один - на вывинчивание, другой - на ввинчивание), перемещают сетку нитей. После исправления ситуации вертикальные винты закрепляют.

### 4.3.2 Поверки уровней

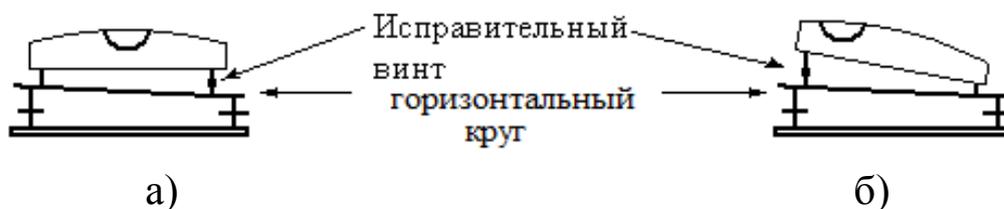


Рис. 4.19 Поверка уровня при алидаде горизонтального круга

Поверку уровней проводят с целью убедиться, что ось уровня ГК перпендикулярна вертикальной оси теодолита. В случае их неперпендикулярности, при выведении теодолита оси уровня прибора в горизонтальное положение, плоскость ГК занимает наклонное положение (рис. 4.19,а).

При развороте алидады на  $180^\circ$  пузырёк уровня уйдёт от середины (рис. 4.19,б). Чтобы привести ось уровня в положение, перпендикулярное оси вращения теодолита, необходимо сначала исправительным винтом вывести пузырёк уровня на половину отклонения, а затем снова произвести горизонтирование и проверить перпендикулярность.

Место зенита вычисляют из измерений при КЛ и КП. Если значение места зенита превышает допуск, то его исправляют.

В оптических теодолитах для этого необходимо:

- вычислить истинное значение зенитного расстояния на визирную цель;
- навести теодолит при положении КЛ на визирную цель;
- вращением винта уровня при ВК установить значение вычисленного истинного значения зенитного расстояния.

Изображение концов пузырька уровня

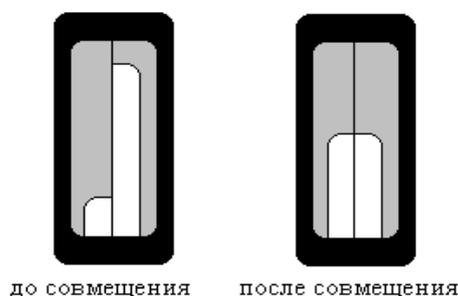


Рис. 4.20. Контактный уровень

Так как при этом уровень уйдёт из середины, то исправительным винтом его выводят на середину и поверку повторяют.

В точных теодолитах используют так называемые контактные уровни (рис. 4.20). В них концы пузырька показывает специальная оптическая система. Уровень считается выведенным на середину, если концы пузырька совмещены.

Электронные теодолиты (тахеометры) уровня при ВК не имеют. Но в программном обеспечении этих приборов есть программа исправления места зенита. Порядок её использования описан в инструкции к конкретному прибору.

### 4.3.3 Определение наклона горизонтальной оси

Один из способов поверки наклона горизонтальной оси теодолита состоит в следующем:

- устанавливают прибор в положение КЛ;
- зрительную трубу поднимают над горизонтом на угол, равный  $25^\circ \dots 30^\circ$ ;
- в поле зрения трубы на стене устанавливают марку;
- считывают значение вертикального угла;
- наводят прибор на марку и считывают значение направления по ГК;
- переводят зрительную трубу в положение ниже горизонта, симметричное тому, которое она занимала в положении выше горизонта, с точностью  $1^\circ$ ;
- в поле зрения трубы на стене помещают вторую (нижнюю) марку;
- прибор наводят на нижнюю марку и снимают отсчёт по ГК;
- переводят прибор в положение КП и, наводя его на марки аналогично предыдущему, снимают отсчёты по ГК соответственно;
- теодолит располагают на расстоянии 2 - 3 м от стены и горизонтируют.

Наклон горизонтальной оси вычисляют по формуле

$$i = 0.25 \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot ((KЛн - KЛв) - (KПн - KПв)),$$

где  $\alpha$  - угол наклона зрительной трубы к горизонту;

-  $KЛн$ ,  $KЛв$ ,  $KПн$ ,  $KПв$  - значения направления по ГК в положениях КЛ и КП при установке зрительной трубы под горизонтом ( $n$ ) и над горизонтом ( $v$ ).

Величина  $i$  не должна превышать  $20''$ . Если повторная поверка подтверждает превышение, то прибор необходимо отъюстировать.

## 4.4 Измерение расстояний

### 4.4.1 Механические и оптические дальномеры

Простейшим и достаточно надёжным средством измерения расстояния является *рулетка*, или *мерная лента* (рис. 4.21). При её использовании точность измерения расстояния существенно зависит от измеряемого расстояния: чем оно больше, тем больше

погрешность измерения. К увеличению погрешности измерения приводят такие факторы, как нестворность при укладке ленты (рис. 4.22) и неровности рельефа (рис. 4.23).

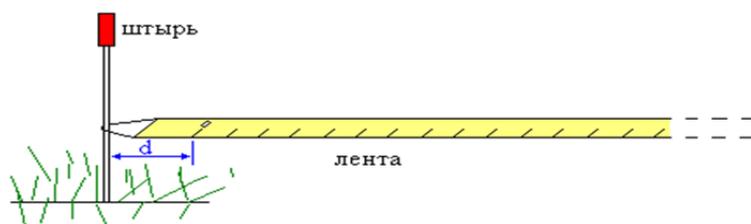


Рис. 4.21 Измерение расстояния рулеткой

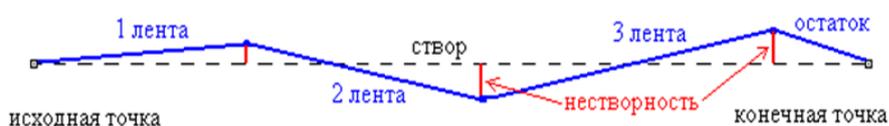


Рис. 4.22 Нестворность укладки ленты



Рис. 4.23 Влияние неровностей рельефа

Для измерения расстояния достаточно часто используют дальномерные нити зрительных труб геодезических приборов (рис. 4.24). В таких приборах угол зрения устанавливают так, чтобы измеряемый базис  $b$  соотносился с длиной расстояния  $D$  как 1:100. Если по рейке измерить расстояние  $b$  между дальномерными нитями, умножить его на 100, то получится расстояние  $D$ .

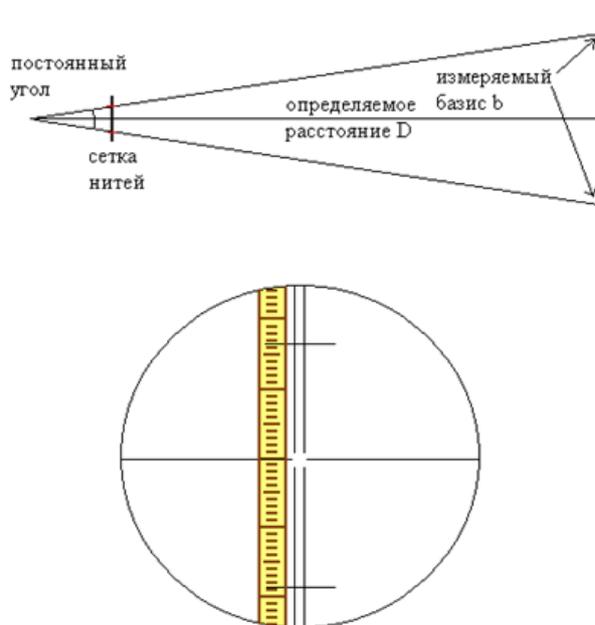


Рис. 4.24. Дальномер с постоянным углом

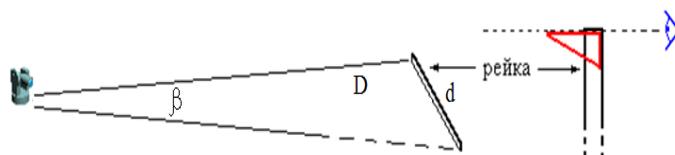


Рис. 4.25. Расстояние по рейке

Другой способ определения расстояния по рейке. При измерении расстояния теодолитом, рейку располагают горизонтально, перпендикулярно измеряемой линии по одному из концов (рис. 4.25). По концам рейки измеряют теодолитом горизонтальный угол  $\beta$  шестью полуприёмами (при одном положении ГК). Расстояние вычисляют по формуле

$$D = d \cdot \operatorname{ctg} \beta .$$

Получаемая при этом величина  $D$  измерена в горизонтальной плоскости и в приведении не нуждается. Точность измерения в этом случае несколько выше, чем та, которую обеспечивает измерение по дальномерным нитям зрительной трубы.

Наконец, можно определить расстояние, разбив и измерив базисы ( $b_1$  и  $b_2$ ) и углы ( $1, 2, 3$  и  $4$ ) при базисах (рис. 4.26). Далее достаточно воспользоваться теоремой косинусов.

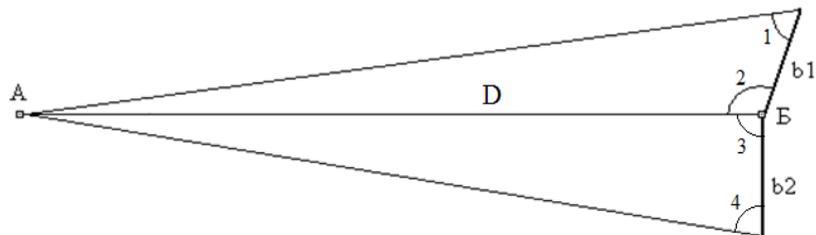


Рис. 4.26 Определение расстояния на базисах

#### 4.4.2 Электромагнитные дальномеры

Принцип работы *электромагнитных дальномеров* основан на использовании электромагнитных волн (радио- и светового излучения). Различают импульсные и фазовые электромагнитные дальномеры.

Принцип работы импульсного дальномера показан на рис. 4.27. Светодальномер излучает импульс света. В момент излучения импульса в светодальномере запускаются быстродействующие электронные часы. Импульс света, вернувшись от отражателя, находящегося на другом конце измеряемой линии, останавливает часы. Расстояние вычисляют по формуле

$$D = 0.5(v \cdot \tau) ,$$

где  $v$  – скорость света в атмосфере,  $\tau$  – измеренный промежуток времени.

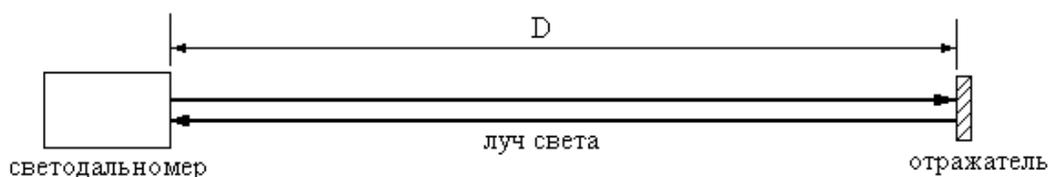


Рис. 4.27 Принцип работы импульсного дальномера

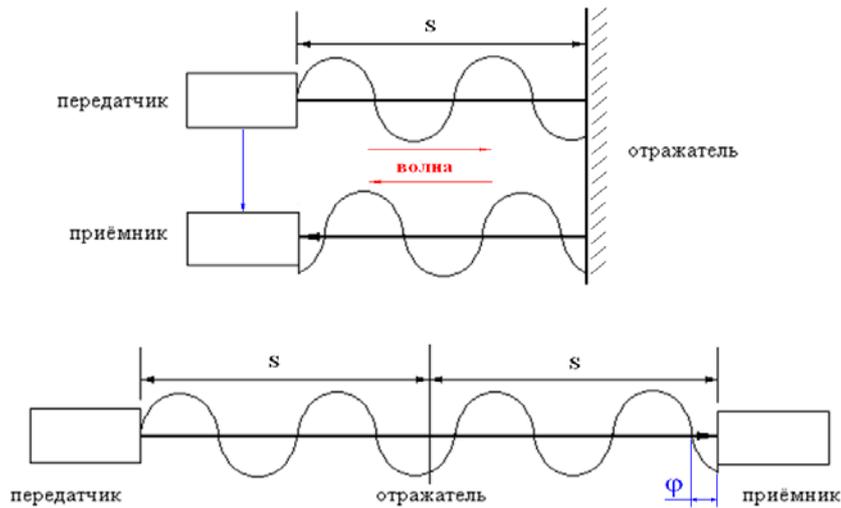


Рис. 4.28 Принцип работы фазового дальномера

Принцип работы фазового дальномера показан на рис. 4.28. Передатчик излучает электромагнитную волну, модулированную по частоте. Приёмник принимает волну, вернувшуюся от отражателя.

Длина измеряемой линии определяется формулой

$$S = 0.5 \cdot (n + \varphi) \cdot \lambda ,$$

где -  $n$  - целое количество длин волн, уложившихся в измеряемой линии;

-  $\varphi$  - фаза неполной волны в долях полной;

-  $\lambda$  - длина волны,  $\lambda = v / f$  ,

-  $f$  - частота электромагнитной волны.

Например, если  $\lambda = 10$  м,  $\varphi = 0.6$ ,  $n = 3$ , то  $S = 18$  м. Таким образом, в конструкции фазового дальномера входят: высокоточный генератор измерительной частоты  $f$ , приёмопередатчик и фазометр, который подсчитывает количество полных длин волн  $n$  и фазу неполной волны  $\varphi$ .

#### 4.4.3 Электронные тахеометры

Электронный тахеометр объединяет в своей конструкции электронный теодолит и светодальномер. Типовая структурная схема такого прибора показана на рис. 4.29. Источниками измерительной информации в электронном тахеометре служат:

- светодальномер («Наклонное расстояние  $S$ »);

- электронный теодолит («Горизонтальный угол» и «Вертикальный угол»);

- электронный уровень («Автоматический вертикальный индекс»).

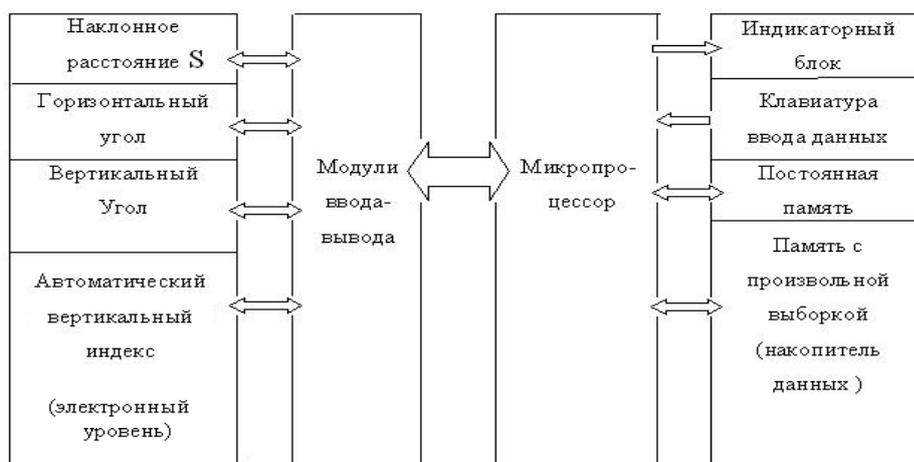


Рис. 4.29 Типовая структурная схема электронного тахеометра

Измерительная информация через модули ввода-вывода (интерфейс) поступает в микропроцессор. Обработка информации ведётся по программам, записанным в постоянной памяти. Результаты измерений и вычислений хранятся в накопителе данных. Для контроля работы прибора служит индикаторный блок, а для управления - клавиатура ввода данных. Накопленная информация может быть переписана для дальнейшей обработки из памяти прибора в память компьютера.

## 4.5 Определение элементов приведения

### 4.5.1 Элементы приведения

Необходимость в определении элементов приведения возникает в тех случаях, когда прибор или визирную цель невозможно расположить точно над центром геодезического пункта. Например, при производстве наблюдений могут встретиться следующие ситуации (рис. 4.30):

- прибор и визирная цель находятся не над центром пункта, то есть они не центрированы (А);
- прибор центрирован, но визирная цель - не над центром пункта (В);
- прибор и визирная цель центрированы (С).

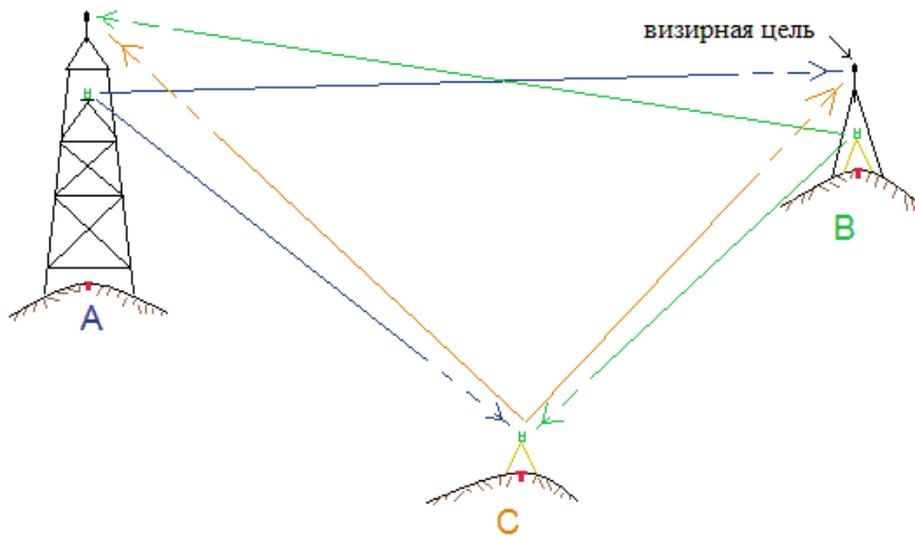


Рис. 4.30 Производство наблюдений в реальной обстановке

Во всех аналогичных ситуациях результаты измерения горизонтальных направлений не будут соответствовать тем, которые были бы получены, если бы прибор и визирные цели были центрированы. Следовательно, в подобных случаях в измеренные направления необходимо ввести поправки.

Поправку на внецентренность прибора называют *центрировкой*, поправку на внецентренность визирной цели - *редукцией*.

Предположим, что прибор, визирная цель и геодезический пункт расположены так, как показано на рис. 4.31. Здесь в плоскости горизонта (вид сверху) показаны проекции:

- $C_1$  - центра пункта, на котором производились наблюдения;
- $C_2$  - центра пункта, на который производились наблюдения;
- $I$  - оси прибора (теодолита).



Рис. 4.31 Центрировка

Соответственно, в результате измерений вместо направления  $C_1 - C_2$  измерено направление  $I - C_2$ . Значения этих направлений отличаются из-за наличия угла  $\epsilon$ . Величина этого угла обычно имеет порядок единиц - десятков секунд. Именно

этот угол и является поправкой за внецентренность теодолита - и называется поправкой за центрировку или просто центрировкой. Величина центрировки (в секундах дуги) вычисляется по формуле

$$c'' = \frac{l \cdot \rho'' \cdot \sin(M + \Theta)}{D},$$

где: -  $l$  - расстояние от  $C_1$  до  $I$  (линейный элемент центрировки);  
 -  $\rho''$  - угол в 1 радиан, выраженный в секундах дуги, то есть 206265";

-  $D$  - расстояние между центрами пунктов  $C_1$  и  $C_2$ ;

-  $\Theta$  - угловой элемент центрировки - угол между линейным элементом центрировки и начальным направлением (см. вопрос измерения направлений круговыми приёмами);

-  $M$  - направление, измеренное теодолитом.

Аналогично, для случая редукиции (рис. 4.32) имеем

$$r'' = \frac{l_1 \cdot \rho'' \cdot \sin(M + \Theta_1)}{D}.$$

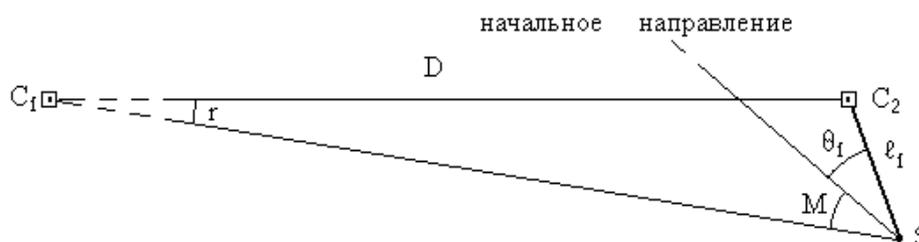


Рис. 4.32 Редукиция

Таким образом, для вычисления центрировки и редукиции необходимо определить линейные ( $l$  и  $l_1$ ) и угловые ( $\Theta$  и  $\Theta_1$ ) элементы приведения.

#### 4.5.2 Определение элементов приведения

Существуют два способа определения элементов приведения: графический и аналитический.

Графический способ обычно применяют на геодезических пунктах, оборудованных геодезическим знаком (рис. 4.33). Лист бумаги, на который проецируют по вертикали необходимые точки (визирной цели, инструмента, центра пункта), называют *центрировочным листом*. То есть на лист бумаги проецируют основные точки, как показано на рисунке 4.34.

Предположим, что требуется спроецировать по вертикали точки, показанные на рис. 4.33. Над центром пункта устанавливают переносной столик. На нем закрепляют центрировочный лист. Теодолит устанавливают в стороне (например, в точке 1) на расстоянии от знака примерно 1.5-2 высоты визирной цели.



Рис. 4.33 Проецирование основных точек

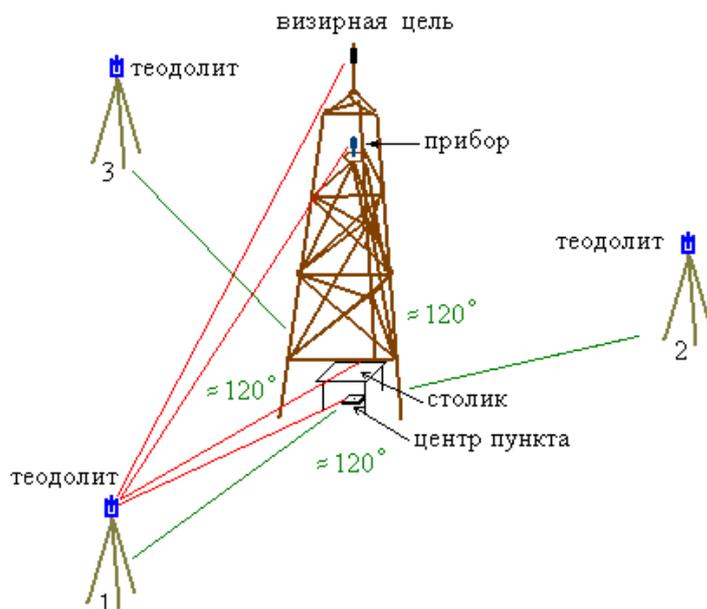


Рис. 4.34 Определение элементов приведения на сигнале

Зрительную трубу при КЛ сначала наводят на визирную цель, а затем, не открепляя алидаду ГК, на столик. Помощник наблюдателя устанавливает карандаш и по команде наблюдателя перемещает его по ближнему краю листа так, чтобы изображение карандаша попало в биссектор зрительной трубы.

Полученную точку фиксируют и обводят кружком. То же производят и по дальнему краю листа. Проецирование повторяют при положении теодолита КП. Вследствие наличия коллимационной ошибки и наклона горизонтальной оси полученные точки чаще всего не совпадают, хотя и находятся недалеко друг от друга.

На следующем этапе, аналогично, проецируют точку стояния прибора и центра пункта. Для этого над маркой подвешивают отвес. Теодолит переносят на другое направление, под углом примерно  $120^\circ$  и проецирование повторяют (точка 2 на рисунке 4.33).

Затем теодолит переставляют на третье направление под углом примерно в  $120^\circ$  и наблюдения ещё раз повторяют ещё раз (точка 3 на рисунке 4.33).

В результате этого на центрировочном листе по краям листа получают совокупность точек (рис. 4.35). На рисунке дан пример проецирования одной из точек, например, визирной цели.

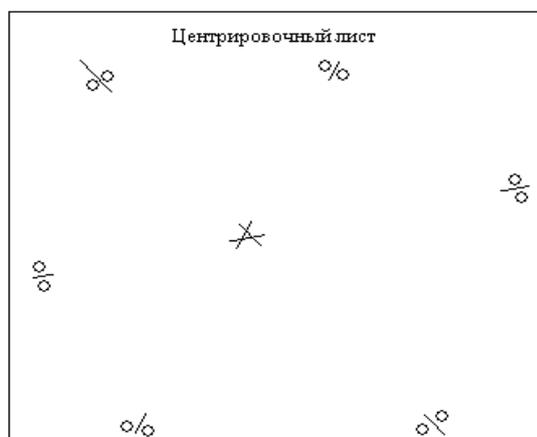


Рис. 4.35 Центрировочный лист

Соединяя линиями противоположные точки, в месте пересечения получают проекцию, например, визирной цели. Из-за естественных ошибок наблюдений в месте пересечения может образоваться треугольник. Его середину принимают за проекцию.

В результате проецирования в полном объеме на центрировочном листе:

- изображены проекции всех точек (визирной цели, прибора, центра пункта);
- визуально, по линейке, прочерчено начальное направление;
- указано, на каком пункте произведено определение;
- измерены линейкой линейные элементы приведения и транспортиром - угловые элементы приведения.

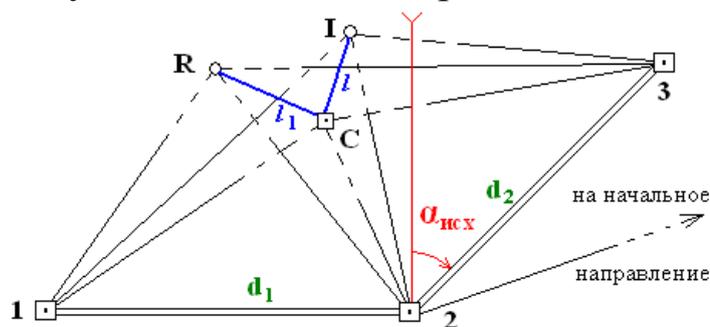


Рис. 4.36 Аналитическое определение элементов приведения

Аналитический способ используют в тех случаях, когда графический способ использовать невозможно, например, когда невозможно установить столик или линейные элементы слишком велики и не помещаются на лист бумаги (А1 - А0). В этом случае создают локальную (местную) геодезическую сеть (рис. 4.36). На местности закрепляют временными центрами три точки (**1**, **2** и **3**). Измеряют между ними расстояния ( $d_1$  и  $d_2$ ) и приводят их к горизонту. На каждой точке измеряют теодолитом все направления. На одной из точек (например, на второй) измеряют направление на начальное направление внешней сети. Задают:

- произвольный исходный дирекционный угол  $\alpha_{исх}$  (например,  $30^\circ 00' 00''$ );
- произвольные координаты точки **2** (например,  $x = 100 \text{ м}$ ,  $y = 100 \text{ м}$ ).

Из решения ПГЗ вычисляют координаты точки **3**, а затем, используя значения измеренных направлений, вычисляют дирекционный угол на точку **1**. После этого из решения ПГЗ вычисляют координаты точки **1**. Из треугольников, по формулам Юнга, вычисляют координаты точек: **I** (прибора), **R** (визирной цели), **C** (центра пункта).

По полученным координатам, из решения ОГЗ, вычисляют величины линейных элементов приведения  $l$  и  $l_1$ . Значения угловых элементов приведения  $\theta$  и  $\theta_1$  вычисляют через измеренные направления на пункте **2**.

#### 4.5.3 Измерение высоты геодезического знака

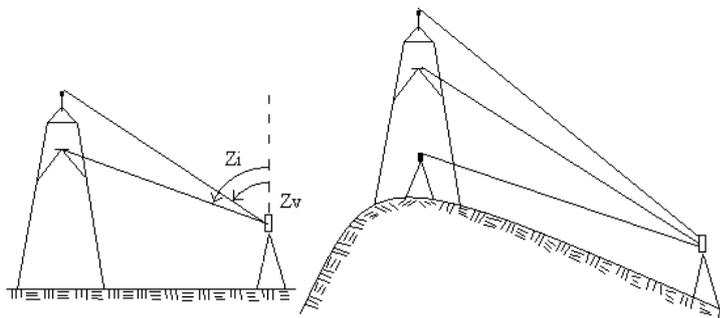


Рис. 4.37 Аналитическое определение высоты геодезического знака

При выполнении некоторых видов работ, например, при тригонометрическом нивелировании, требуется знать высоту геодезического знака. Иногда ее можно определить

непосредственно с помощью рулетки (мерной ленты). В некоторых случаях это сделать невозможно, и тогда высоту определяют аналитически (рис. 4.37).

Для этого сначала измеряют зенитные расстояния на цели (визирная цель, прибор, центр или штатив над центром). Например, при определении элементов приведения (рис. 4.33) измерение высот может производиться с точек 1, 2 и 3. Затем по формуле тригонометрического нивелирования определяют превышения выбранных целей над центром пункта. Измерения и вычисления, для контроля, проводят неоднократно.

## 4.6 Устройство нивелира

### 4.6.1 Оптико-механический нивелир и нивелирные рейки

Основным назначением нивелира является установка визирной оси зрительной трубы в горизонтальной плоскости. В зависимости от требуемой точности производства работ нивелиры классифицируют по применимости к производству нивелировки I, II, III и VI классов.

Существует нивелиры (например, НВ-1), у которых зрительная труба скреплена с пузырьковым контактным уровнем (рис. 4.38).

При работе с таким нивелиром наблюдатель, после наведения зрительной трубы на рейку, *элевационным винтом* поднимает или опускает один из концов трубы и добивается выведения уровня на середину. После выведения уровня, по рейке снимают отсчёты.

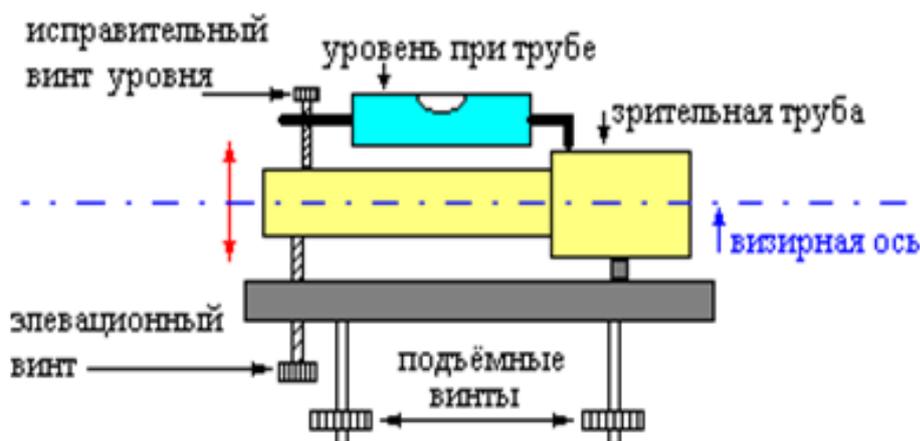


Рис. 4.38 Схема нивелира с уровнем при трубе

Более современные конструкции нивелиров имеют компенсаторы (рис. 4.39). Примером такого прибора является нивелир Н-ЗК.

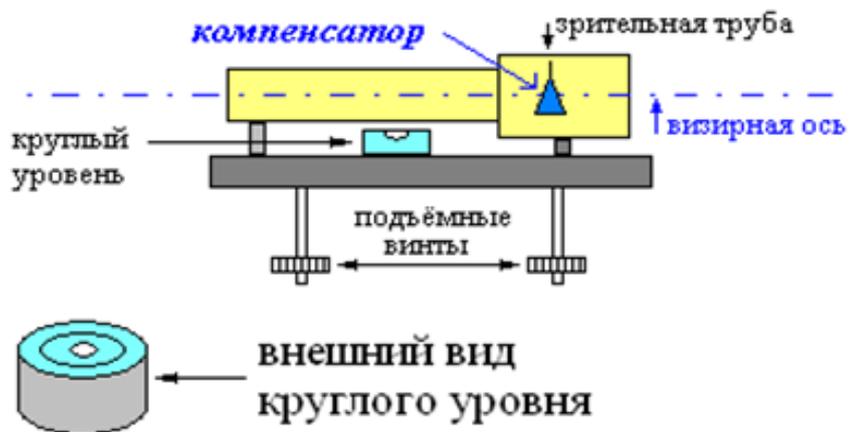


Рис. 4.39 Схема нивелира с компенсатором

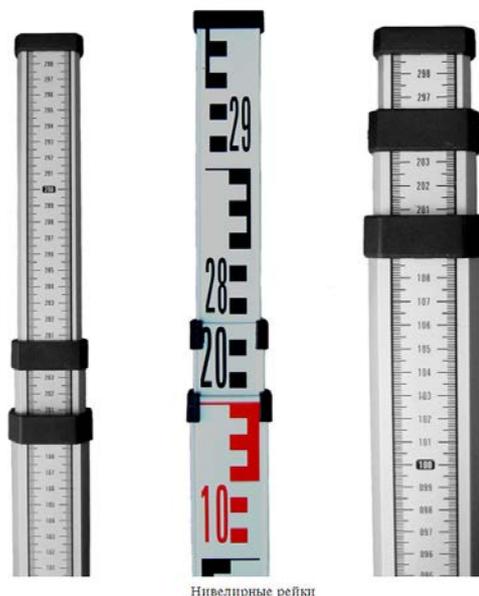


Рис. 4.40. Складные шкаловые и шашечная рейки

Компенсатор представляет собой оптическую систему (линзу, призму, зеркало), укрепленную на маятниковом подвесе. При небольших наклонах зрительной трубы система сохраняет положение визирной оси в горизонтальной плоскости. Это позволяет при наведении нивелира на рейку сразу снимать отсчет. Перед производством наблюдений достаточно отгоризонтировать нивелир по круглому уровню невысокой точности.

Нивелирные рейки изготовляют из дерева или металла. Длина реек может быть от 2-х до 4-х метров. Рейки могут быть: нескладные, складные и раздвижные. По виду линейки, различают рейки шашечные и шкаловые (рис. 4.40). При производстве измерений рейки устанавливаются вертикально на

твёрдое основание. Если в месте стояния мягкий грунт, рейка устанавливается на специальный *нивелирный башмак*.

#### 4.6.2 Электронный нивелир и рейки со штрих-кодом

Основной составляющей электронного нивелира является система сканирования. В процессе измерения она обеспечивает считывание информации с рейки (рис. 4.41). При этом используется специальная рейка, на которую нанесён штрих-код (рис. 4.42). С помощью нивелира и рейки со штрих-кодом производится считывание отсчёта, соответствующего положению луча, который находится в плоскости горизонта.

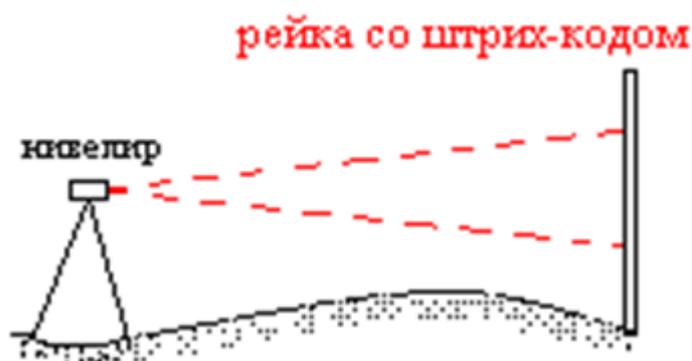


Рис. 4.41 Схема функционирования электронного нивелира



Рис. 4.42. Рейка со штрих-кодом

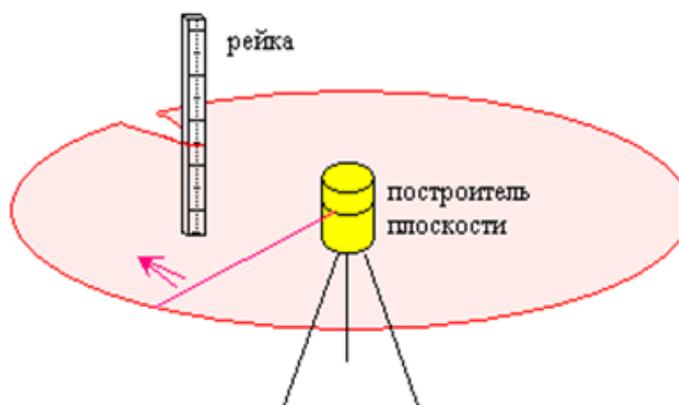


Рис. 4.43 Схема работы лазерного построителя горизонтальной плоскости

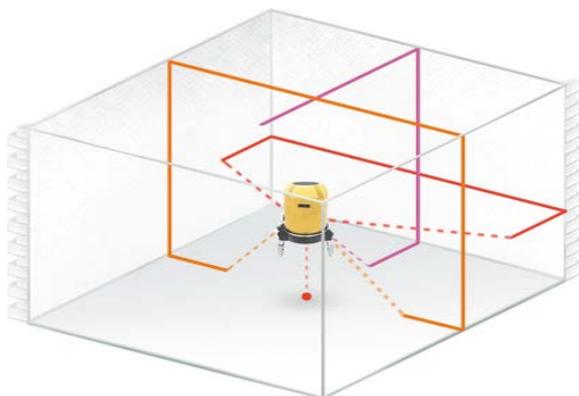


Рис. 4.44 Формирование лазерным построителем вертикальных плоскостей

Одной из разновидностей применения электроники в геодезии является использование так называемых лазерных *построителей плоскости*. Принцип работы таких систем иллюстрирует рис. 4.43. При их использовании рейка устанавливается в любом выбранном месте, а отсчёт снимают непосредственно с рейки по следу луча. Лазерные построители плоскости позволяют производить геометрическое нивелирование «вперёд».

Некоторые лазерные построители создают лучом не только горизонтальные, но и вертикальные плоскости (рис. 4.44).

Иногда в качестве нивелира используют теодолит или тахеометр (электронный теодолит). При этом сначала уровень ВК при наведении на рейку выводится на середину и по ВК устанавливают отсчёт зенитного расстояния, равный  $90^{\circ} 00' 00''$ . Затем с рейки снимают отсчёт. Естественно, что использование электронного уровня даёт более высокую точность измерений.

#### 4.6.3 Поверки и исследования нивелиров и реек

В руководящих документах указаны следующие основные виды поверок и исследований нивелиров и реек:

- поверка сетки нитей;
- определение угла между визирной осью зрительной трубы нивелира и плоскостью горизонта;
- поверка работы компенсатора;
- определение стрелки прогиба рейки.

Поверка сетки нитей является первой обязательной поверкой. При отгоризонтированном нивелире вертикальная нить сетки

нитей зрительной трубы должна быть вертикальна. Поверка и исправление сетки нитей выполняется так же, как и в теодолите.

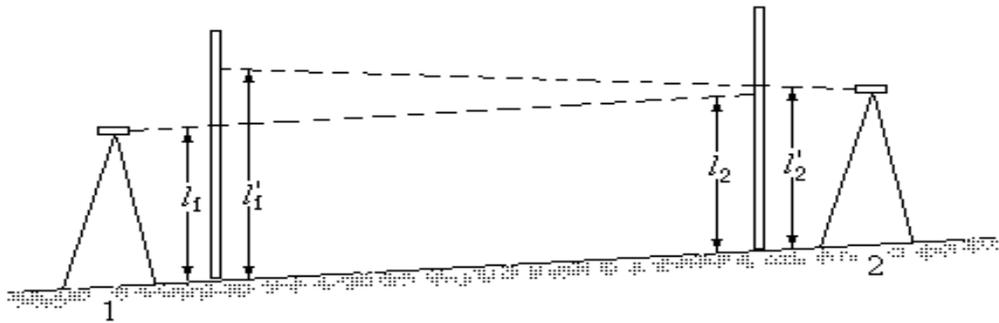


Рис. 4.45 Исследование угла между визирной осью зрительной трубы и плоскостью горизонта

Важнейшим исследованием нивелира является определение угла между визирной осью зрительной трубы и плоскостью горизонта у нивелира, приведённого в рабочее положение (угла  $i$ ). Геометрическим условием в конструкции нивелира является то, что визирная ось зрительной трубы должна лежать в плоскости горизонта (рис. 4.45).

Рейки устанавливают на твёрдые основания на расстоянии  $L = 50$  м друг от друга. Нивелир устанавливают за одной из реек (положение 1) на минимальном расстоянии от неё, допускаемом фокусировкой зрительной трубы. Затем производят нивелирование «вперёд» (отсчёты  $l_1$  и  $l_2$ ). Считается, что отсчёт  $l_1$  практически не содержит ошибки из-за малости расстояния до ближней рейки, в то время как отсчёт по дальней рейке  $l_2$  такую ошибку содержит.

Аналогично поступают, переставив нивелир за дальнюю рейку (положение 2), и определяют отсчёты  $l'_1$  и  $l'_2$ . При этом отсчёт  $l'_1$  также содержит ошибку из-за наличия угла  $i$ . Эта ошибка (в миллиметрах) вычисляется по формуле

$$X = (l_1 - l_2) / 2 - (l'_1 - l'_2) / 2,$$

а угол  $i$  (в секундах) - по формуле

$$i'' = X \cdot \rho'' / L,$$

где  $\rho''$  - один радиан в секундах дуги ( $206265''$ ),  $L$  - в миллиметрах.

Исследование повторяют ещё раз. Расхождение в полученных результатах не должно превышать  $3''$ . Если среднее значение угла  $i$  из двух определений по абсолютной величине более  $10''$ , то нивелир необходимо исправить. Для нивелиров с

уровнем исправление производят исправительным винтом уровня, а для нивелиров с компенсатором — перемещением сетки нитей.

Проверку работы компенсатора производят следующим образом. Устанавливают рейку и нивелир. Нивелир горизонтируют по круглому уровню. Снимают отсчёт с рейки. Затем подъёмными винтами нивелир последовательно наклоняют вперёд, назад, вправо, влево (по круглому уровню) и снимают отсчёты с рейки (рис. 4.46). По величине несовпадения отсчётов определяют качество работы компенсатора.



Рис. 4.46 Положение пузырька круглого уровня при проверке работы компенсатора



Рис. 4.47 Определение стрелки прогиба рейки

Определение стрелки прогиба рейки иллюстрирует рис. 4.47.

В руководящих документах указаны также и такие виды проверок и исследований, как:

- определение разности начал шкал (разности пят) по красным сторонам пары шашечных реек;
- проверка перпендикулярности основания (пяты) самой рейки;
- проверка цены деления шкалы в целом и на разных участках рейки.

## 4.7 Элементы теории ошибок измерений

### 4.7.1 Источники и классификация ошибок измерений

Величина, полученная в результате измерения, всегда отличается от истинной величины. Это связано с наличием погрешностей собственно измерения и погрешностей обработки результата измерения. Основные виды ошибок измерений перечислены на рис. 4.48. Отметим причины их возникновения.

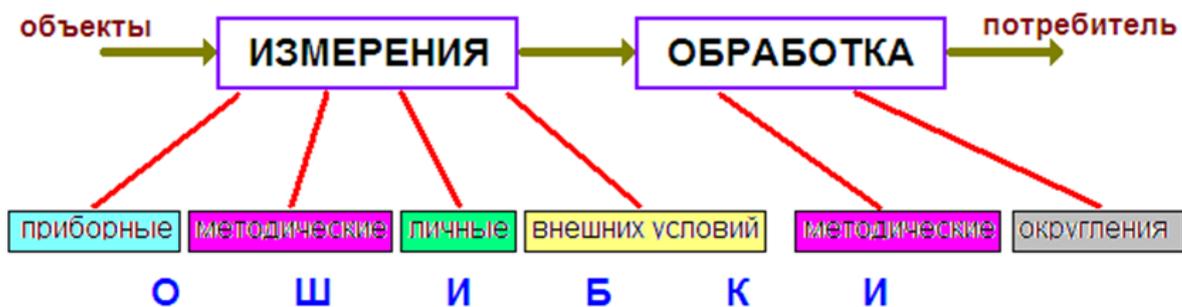


Рис. 4.48 Основные виды ошибок измерений

*Приборные ошибки* возникают из-за погрешностей в конструкции измерительного прибора. Понятно, что изготовить идеальный прибор невозможно.

*Методические ошибки* возникают из-за погрешностей в использовании методики производства измерений и методики их математической обработки. Они могут также возникать из-за использования упрощённых методик.

*Личные ошибки* являются следствием индивидуальных особенностей наблюдателя, его общего психофизического состояния, остроты его зрения, недостаточной скорости реагирования на возникающие ситуации и т. п.

*Ошибки внешних условий* связаны с состоянием атмосферы (вертикальная и боковая рефракция), наличием температурных воздействий на прибор, степенью освещённости визирных целей и т. п.

*Ошибки округления* возникают при отклонениях в правилах округления результатов расчётов. Они возникают особенно при больших объёмах вычислений и связаны с тем, что на всех этапах их производства постоянно приходится округлять промежуточные результаты.

Различают ошибки измерений систематические и случайные. *Систематические ошибки* измерений это такие ошибки, которые проявляются всегда с одним и тем же знаком и постоянной величиной. *Случайные ошибки* измерений это такие ошибки, которые проявляются случайным образом. Их знак и величину предсказать нельзя, но можно оценить вероятность их появления в некотором диапазоне.

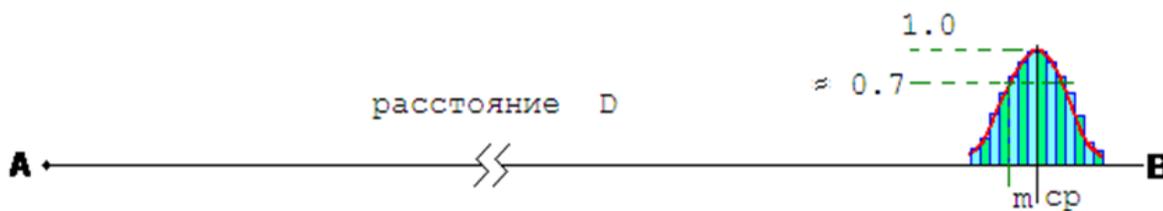


Рис. 4.49 Случайные ошибки измерений

Предположим, что измерялось расстояние между точками  $A$  и  $B$  (рис. 4.49). Измерения проводились рулеткой, причем расстояние  $AB$  намного больше, чем длина рулетки. Будем считать, что сделано достаточно много (порядка тысячи) измерений. Понятно, что результаты каждого из них отличаются друг от друга. Это является следствием: нестворности укладки ленты, ошибками в совмещении штрихов ленты, изменением длины ленты из-за перепадов температуры и т. п.

Возьмём наибольшее и наименьшее из полученных значений. Разность между ними определяет диапазон, в котором располагаются все другие результаты. Поделим полученный диапазон на несколько поддиапазонов (рис. 4.49) и в каждом из них подсчитаем количество результатов, попавших в них. Исходя из этого, построим столбчатую диаграмму.

Если вершины столбцов соединить аппроксимирующей (плавной) кривой, то увидим, что она будет иметь форму колокола. В курсе «Теория математической обработки измерений» будет показано, что эта кривая описывает закон нормального распределения Гаусса и аналитически выражается функцией, которую называют функцией плотности вероятности.

Согласно закону нормального распределения, имеют место два обстоятельства:

- линия симметрии наиболее близка к значению истинного расстояния (математическому ожиданию);
- количество результатов, больших и меньших среднего, одинаково (свойство симметрии).

Ширину полосы в одну сторону от оси симметрии на уровне примерно 0.7 от максимума называют средним квадратическим отклонением.

На основании закона нормального распределения, при обработке геодезических наблюдений используют два правила:

- среднее значение из нескольких наблюдений считается оценкой математического ожидания, то есть наиболее близка к истинному значению;
- средняя квадратическая ошибка является оценкой среднего квадратического отклонения и характеризует точность выполнения геодезических работ.

#### 4.7.2 Оценка точности измерений

Оценка точности измерений возможна только при наличии многократных, избыточных измерений. Ее проводят, вычисляя *среднюю квадратическую ошибку*.

После проведения измерений величины  $X$  (число измерений обозначим  $n$ ) вычисляют среднее значение  $X_{ср}$ . Затем вычисляют отклонения значения каждого измерения от среднего:

$$v_i = X_i - X_{ср} .$$

Среднюю квадратическую ошибку измерения одним приёмом ( $X_i$ ) вычисляют по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} ,$$

а среднюю квадратическую ошибку среднего значения  $X_{ср}$  - по формуле:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} .$$

Особым случаем является оценка точности измерений углов в треугольниках. Для этого в каждом треугольнике с измеренными углами вычисляют сумму углов  $\Sigma\beta$  и невязку:

$$w = \sum \beta - 180^\circ .$$

Среднюю квадратическую ошибку измерения одного угла в сети из  $n$  треугольников вычисляют по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\sum w^2}{3n}} .$$

Здесь величина  $n$  - количество треугольников в сети триангуляции. Это равенство называют *формулой Ферреро*.

### 4.7.3 Пути повышения точности измерений

Повышение точности производства работ - одна из задач геодезии.

Для уменьшения систематических ошибок используют следующие методики:

- *эталонирование* прибора, то есть сравнение результатов его работы с геодезическим эталоном и определение приборной поправки с целью исправления последующих измерений (например, сравнение рабочей мерной ленты с эталонной лентой);
- взаимное компенсирование систематических ошибок (например, нивелирование «из середины»);
- сведение проявления систематических ошибок к случайным ошибкам (например, производство наблюдений в разное время суток).

Для уменьшения влияния случайных ошибок на результаты измерений используют такие методики, как:

- увеличение числа приёмов наблюдений;
- разработка и использование более точных приборов;
- производство наблюдений в наиболее благоприятных условиях;
- применение методов и способов обработки результатов наблюдений, учитывающих свойства случайных величин.

## 5. Топографические карты и планы

### 5.1 Разграфка и номенклатура топографических карт и планов

Топографические карты и планы создаются в проекции Гаусса-Крюгера.

Важной характеристикой карты является её масштаб. *Масштаб карты* - отношение расстояния на листе карты к соответствующему расстоянию на местности. *Топографические карты* делят на мелкомасштабные (масштаб от 1 : 1 000 000 до 1 : 200 000) и крупномасштабные (масштаб от 1 : 100 000 до 1 : 10 000). Топографические карты более крупного масштаба (от 1 : 5 000 до 1 : 500) называют *топографическими планами*.

*Разграфка* - принятые правила деления земной поверхности на участки для создания топографических карт и планов. Это сделано для того, чтобы границы соседних листов карты соприкасались без разрывов и перекрытий. Каждый лист карты или плана имеет уникальное название (номенклатуру).

*Номенклатура листа топографической карты или плана* - уникальное название (наименование) листа карты в соответствии с принятой разграфкой. Она определяется по вычислениям или по сборной таблице.

Основой разграфки является шестиградусная зона, которую называют *колонной* (рис. 5.1). Колонны нумеруют от 1 до 60, как и зоны, но начало нумерации идёт от 180° долготы на восток. То есть 1-я зона соответствует 31-й колонне.

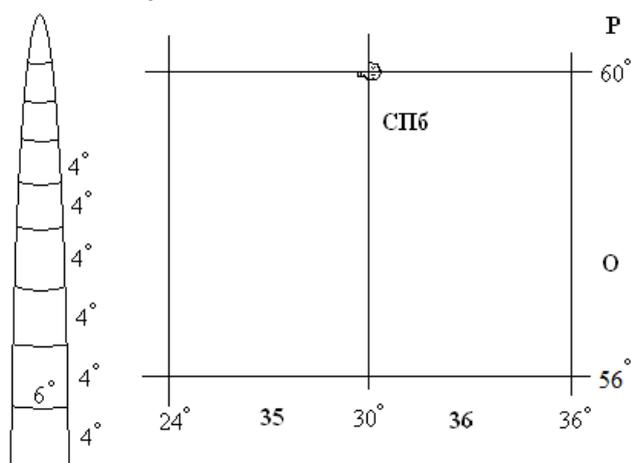


Рис. 5.1 Колонна

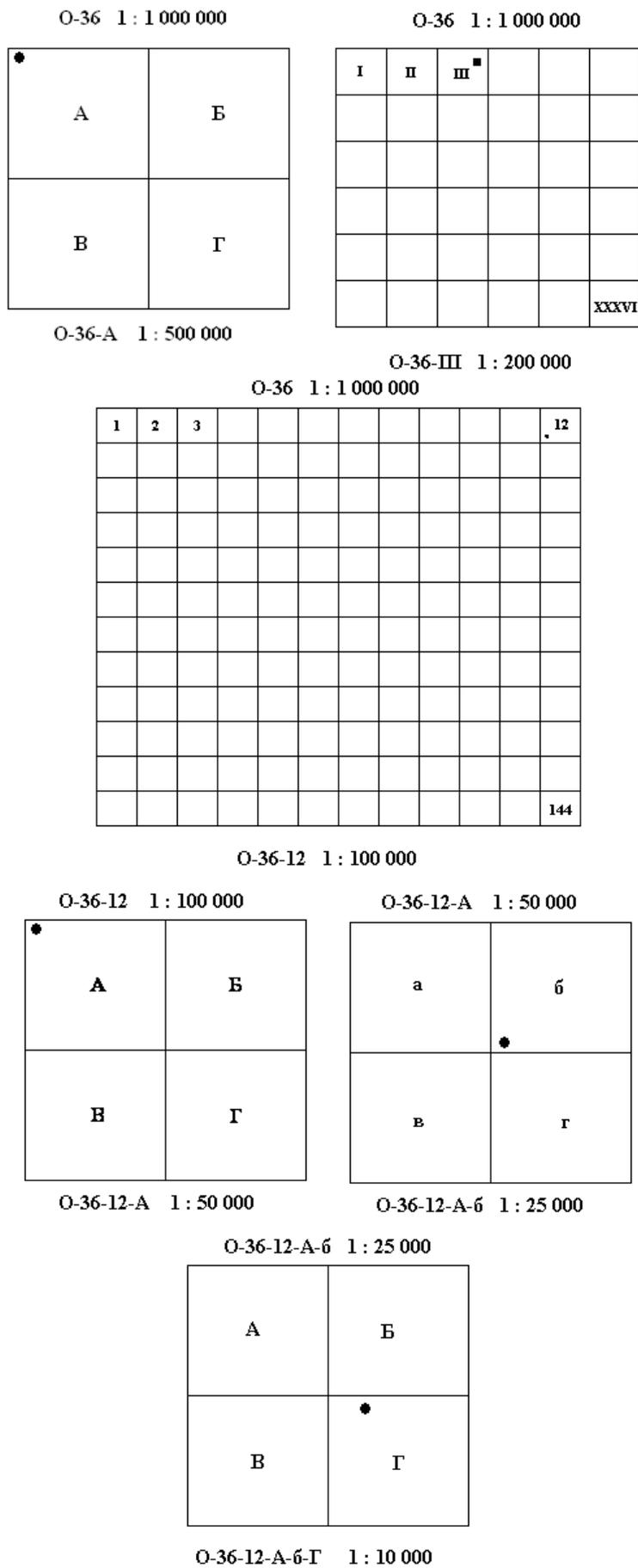


Рис. 5.2 Разграфка и номенклатура листов карт различного масштаба

Колонну делят по широте на пояса по  $4^\circ$ . Пояса обозначаются буквами латинского алфавита. Участок местности в пределах  $6^\circ$  по долготе и  $4^\circ$  по широте служит для создания топографической карты масштаба  $1 : 1\,000\,000$  (одна миллионная). Так как северные рамки листов меньше южных рамок (в северном полушарии), то лист называют *трапецией*.

На рис. 5.1 показано, что Санкт-Петербург расположен на трапециях О-35, О-36, Р-35, Р-36. Эти обозначения и есть номенклатуры листов (трапеций) масштаба  $1 : 1\,000\,000$ .

Примеры разграфки и номенклатуры карт различных масштабов показаны на рис. 5.2. Первый пример показывает карту масштаба  $1 : 500\,000$ . Для ее получения лист карты масштаба  $1 : 1\,000\,000$  делится на 4 части. Каждая из них обозначается прописной (заглавной) буквой: А, Б, В, Г. На рисунке северо-западный лист масштаба  $1 : 500\,000$  имеет номенклатуру О-36-А. Размер трапеции:  $3^\circ$  по долготе и  $2^\circ$  по широте.

Карта масштаба  $1 : 200\,000$  получается делением листа карты масштаба  $1 : 1\,000\,000$  на 36 частей (6x6). Размер листа карты  $1^\circ$  по долготе и  $45'$  по широте. Листы обозначают римскими цифрами от I до XXXVI. На рисунке обозначен лист О-36-III. На обратной стороне листа карты впечатывается *легенда*. В ней указывают основные характеристики почвогрунтов и сведения о климате.

Следующий масштаб из масштабного ряда –  $1 : 100\,000$ . Лист этого масштаба получают делением листа  $1 : 1\,000\,000$  на 144 части (12x12). Листы последовательно нумеруют арабскими цифрами от 1 до 144. Размер трапеции  $30'$  по долготе и  $20'$  по широте. Образец номенклатуры показан на рисунке.

Лист карты масштаба  $1 : 50\,000$  получают делением листа  $1 : 100\,000$  на 4 части и каждую из них обозначают заглавными (прописными) буквами: А, Б, В, Г. Размер трапеции  $15'$  по долготе и  $10'$  по широте.

Следующим является масштаб –  $1 : 25\,000$ . Лист этого масштаба получают делением листа масштаба  $1 : 50\,000$  на 4 части и каждую из них обозначают строчными буквами: а, б, в, г. Размер трапеции  $7' 30''$  по долготе и  $5'$  по широте.

Последним в масштабном ряду стоит масштаб  $1 : 10\,000$ . Его также получают делением листа карты масштаба  $1 : 25\,000$  на 4 части и каждую из них обозначают заглавными (прописными)

буквами: А, Б, В, Г. Размер трапеции 3' 45" по долготе и 2' 30" по широте.

На масштабе 1 : 10 000 заканчиваются номенклатурный и масштабный ряды топографических карт. Для ускорения поиска необходимого листа карты используют *сборные таблицы*. Образец такой таблицы показан на рис. 5.3.

СБОРНАЯ ТАБЛИЦА карты масштаба 1:100 000



Рис. 5.3 Образец сборной таблицы

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

Рис. 5.4. Разграфка масштаба 1 : 5 000

Карты более крупных масштабов называют *топографическими планами*. Они также имеют свою разграфку и соответствующую номенклатуру. Например, лист топографического плана масштаба 1 : 5 000 получают делением листа карты масштаба 1 : 100 000 на 256 частей (16x16), как показано на рис. 5.4.

Лист карты масштаба 1 : 2 000 получают делением листа масштаба 1 : 5 000 на 9 (3x3) или на 4 (2x2) частей. Лист карты масштаба 1 : 1 000 получают делением на 4 части листа масштаба 1 : 2 000. Лист карты масштаба 1 : 500 получают делением на 4 части листа масштаба 1 : 1 000.

## 5.2 Изображение местных предметов

Местные предметы (объекты) отображают на картах и планах посредством *условных знаков*. К их числу относят такие знаки, как:

- пункты геодезической и нивелирной сетей;
- здания и постройки;
- промышленные объекты;
- железные, шоссейные и грунтовые дороги всех видов и сооружения при них (мосты, туннели, переезды, переправы, путепроводы, виадуки и т. п.);
- реки, озера, водохранилища, площади разливов, приливно-отливные полосы и т. д.;
- объекты гидротехнические и водного транспорта (каналы, канавы, водоводы и водораспределительные устройства, плотины, пристани, причалы, молы, шлюзы, маяки, навигационные знаки и др.);
- объекты водоснабжения (колодцы, колонки, резервуары, отстойники, естественные источники и др.);
- рельеф местности с применением горизонталей, отметок высот и условных знаков обрывов, скал, воронок, осыпей, оврагов, оползней, ледников и др.;
- леса, сады, плантации, луга отдельно стоящие деревья и кусты и др.;
- грунты и микроформы земной поверхности (пески, галечники, такыры, глинистые, щебёночные, монолитные, полигональные и другие поверхности, болота и солончаки);
- границы (политико-административные, землепользований и заповедников, различные ограждения).

На картах и планах помещают также собственные названия населённых пунктов, улиц, железнодорожных станций, пристаней, лесов, песков, солончаков, вершин, перевалов, долин, балок, оврагов и других географических объектов.

Условные знаки и правила их использования для крупномасштабных съёмок изложены в руководящих документах. Для карт более мелких масштабов имеются соответствующие сборники условных знаков.

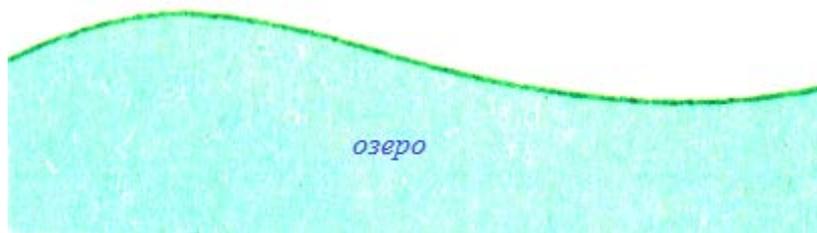


Рис. 5.5. Изображение озера



Рис. 5.6. Условный знак мельницы

Различают условные знаки *масштабные* и *внемасштабные*. Например, достаточно большое озеро изображают в масштабе (рис. 5.5). Внемасштабными условными знаками изображают объекты, которые имеют большое значение, но не могут быть изображены в масштабе. Примерами таких объектов являются колодцы, отдельно стоящие деревья и кусты, вышки, мельницы (рис. 5.6) .

## 5.3 Отображение рельефа

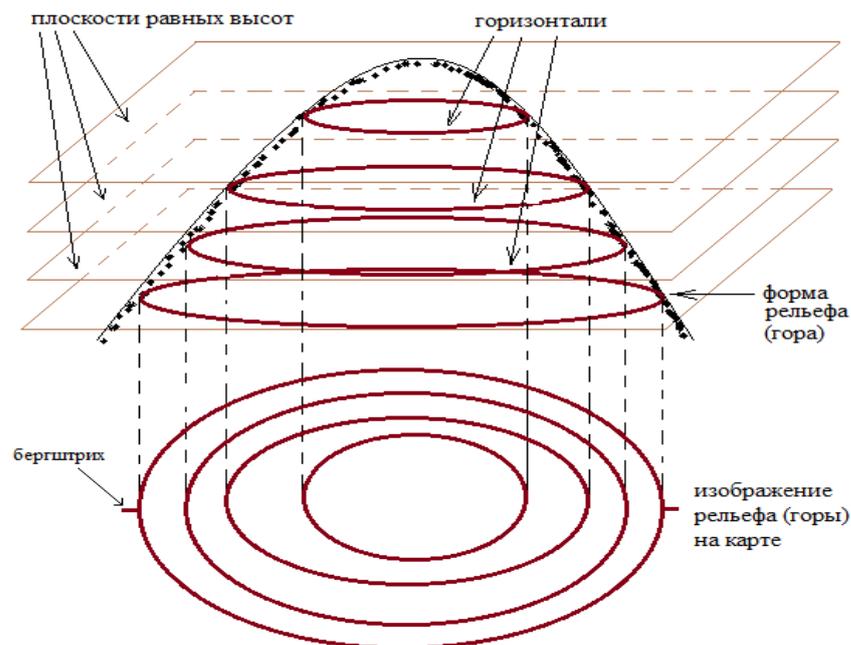


Рис. 5.7 Изображение рельефа горизонталями

Рельеф на картах и планах отображают горизонталями и другими условными знаками. *Горизонталь* – проекция сечения рельефа горизонтальной плоскостью (рис. 5.7). В некоторых случаях используют полугоризонталы и четвертьгоризонталы.

Имеются условные знаки обрывов, промоин, ям и курганов, канав и насыпей, скал, кратеров, осыпей и т. п.

## 5.4 Решение задач по картам

### 5.4.1 Определение характеристик объектов

На топографических картах размещают информацию об объектах, необходимых для решения соответствующих задач.

На реках указывают направление течения и его скорость, ширину и глубину реки, а также характеристики грунта дна. Кроме того, на реках обозначают броды. Эта информация даёт возможность определить объём стока для решения различных вопросов, а также определить возможности преодоления водного препятствия.

Для лесов указывают вид растительности, высоту деревьев, расстояния между деревьями, толщину деревьев на высоте груди. По этим данным можно определить объём древесины и её применимость для решения хозяйственных задач. В лесных

массивах также указывают номера кварталов леса, просеки и их ширину. Эта информация может помочь ориентироваться в лесу.

По шрифту подписи населённого пункта на карте можно определить количество жителей. По изображению самого населённого пункта можно оценить плотность застройки, характер строений, наличие зданий, храмов, предприятий промышленности больших размеров.

По рисунку болота можно определить его проходимость, а по подписи к его обозначению - его глубину, а, следовательно, и возможность его преодоления.

По характеристикам моста, указанным на карте, можно определить его ширину, длину, грузоподъёмность, а также материал, из которого он построен. Эта информация лежит в основе принятия решения об использовании моста для преодоления препятствия тяжёлой техникой.

По характеристикам дороги можно определить её ширину, материал покрытия, пропускную способность, проходимость в различные сезоны.

#### 5.4.2 Линейные измерения по карте

Топографическая карта и топографический план являются измерительными документами. Измерение расстояний по ним производят с использованием линейки. При этом необходимо помнить, что ошибка измерений линейкой составляет около 0.5 мм. Это означает, что если измерение производилось по карте масштаба 1 : 100 000, то на местности это будет эквивалентно 50 м. Более точные измерения производят с использованием циркуля-измерителя и нониусной линейки. Для решения некоторых задач используется информация, находящаяся за рамками трапеции. Эта совокупность информации называется *зарамочным оформлением*.



Рис. 5.8 Определение координат объекта на карте

По карте можно определить координаты точки: как широту  $B$  и долготу  $L$ , так и прямоугольные координаты  $x$  и  $y$ . Так, согласно фрагменту карты, показанному на рис. 5.8, один из объектов (камень) имеет координаты:

$$B = 18^{\circ} 09' 32'', \quad L = 54^{\circ} 49' 33'';$$

$$x = 6\,081\,648 \text{ м}, \quad y = 4\,317\,454 \text{ м}.$$

Измерив расстояния между соседними горизонталями (на рис. 5.8 величина  $D$ ), можно определить крутизну склона. Для этого достаточно воспользоваться номограммой, расположенной под южной рамкой листа карты. Она имеет вид, показанный на рис. 5.9.

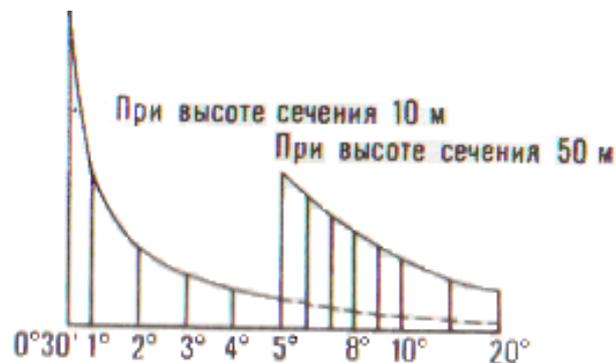


Рис. 5.9 Номограмма для определения крутизны склона

Используя горизонтали, можно построить профиль местности, например, дороги или трассы трубопровода. По построенному профилю можно определить наличие видимости между точками.

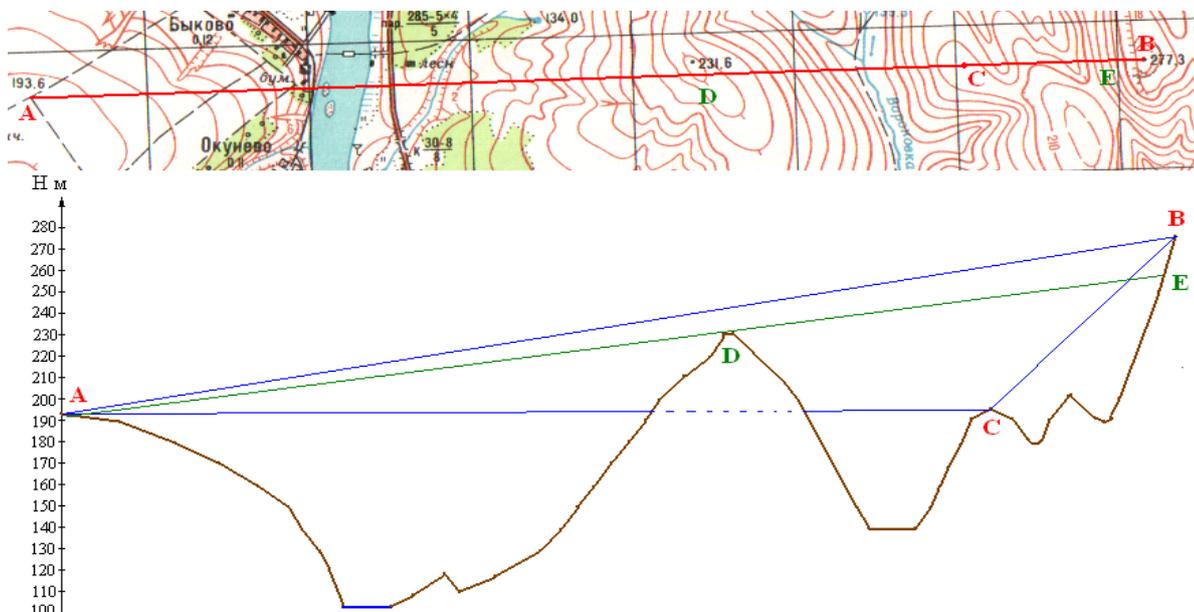


Рис. 5.10 Построение профиля местности и определение видимости

Например, по профилю, изображённому на рис. 5.10, заключаем, что видимость по линиям *A-B* и *B-C* есть, а по линии *A-C* - нет. Кроме того, приходится констатировать, что в пределах линии *D-E* с точки *A* не видно ни одного объекта.

### 5.4.3 Угловые измерения по карте

По карте возможны различные угловые измерения. Они могут потребоваться, например, при работе с компасом.

Для угловых измерений по карте используют транспортир. От выбранной на карте точки прочерчиваются линию, направленную в сторону другой выбранной точки. От вертикальной линии координатной сетки до прочерченной линии транспортиром измеряют угол. Это дирекционный угол с точки на точку.

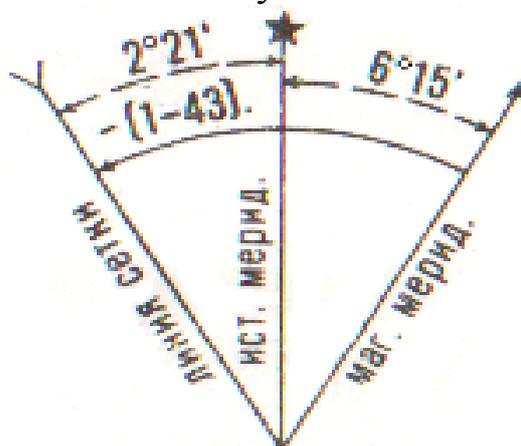


Рис. 5.11 Сближение меридианов и магнитное склонение

Используя чертёж, расположенный под южной рамкой карты, можно определить магнитное склонение и сближение меридианов. Это позволяет вычислить магнитный азимут линии.

В примере, показанном на рис. 5.11, для того, чтобы вычислить магнитный азимут, необходимо к измеренному транспортиром дирекционному углу прибавить  $8.5^\circ$ . Магнитный азимут используют для ориентирования на местности при движении вне дорог (от точки к точке).

## 6. Топографические съёмки местности

### 6.1 Методы производства топографических съёмок

#### 6.1.1 Назначение и производство топографических съёмок

*Топографическая съёмка* - совокупность работ по созданию топографических карт или планов местности посредством измерений расстояний, высот, углов и т. п. с помощью различных инструментов (наземная съёмка), а также получение изображений земной поверхности с летательных аппаратов (аэрофотосъёмка, космическая съёмка). Изображение рельефа и местных объектов производится в соответствии с принятыми условными знаками.

Топографическая съёмка производится на территориях, ограниченных рамками трапеций. Рамки трапеций соответствуют принятой для данного масштаба разграфки. Исключения могут составлять съёмки топографических планов в случаях, когда границы снимаемой поверхности определяются заказчиком.

*Топографическая карта* - это карта, у которой полнота содержания и точность позволяют решать технические задачи. Топографические карты создаются на основе результатов топографической съёмки или составления по картам более крупного масштаба на основе генерализации изображения. В Российской Федерации топографические карты масштаба 1 : 100 000 являются основными из подлежащих съёмке. Карты более мелкого масштаба составляются по картам масштаба 1 : 100 000. На некоторые территории создаются карты более крупного масштаба - от 1 : 50 000 до 1 : 10 000.

*Топографический план* - топографическая карта, снятая в масштабе от 1 : 5 000 до 1 : 500. Иногда встречаются топографические планы масштаба 1 : 200. Топографические планы создаются по мере необходимости.

Основой топографической карты (плана) являются геодезические пункты с известными координатами и высотами. Плотность и точность этих пунктов должны обеспечивать производство топографической съёмки с заданной точностью в определении положения местных объектов.

Плотность пунктов государственной геодезической сети (ГГС) обычно недостаточна для производства топографических съёмок, поэтому геодезическая сеть сгущается до необходимой

плотности. Такую сеть называют *сетью планово-высотного обоснования* топографической съёмки, или *съёмочной геодезической сетью*, или *съёмочным обоснованием*.

В зависимости от метода производства съёмки, сеть развивают геодезическими методами (триангуляция, полигонометрия) или методами фотограмметрии.

### 6.1.2 Основные методы топографических съёмок

К основным методам топографических съёмок относятся:

- стереотопографическая;
- мензульная;
- буссольная;
- теодолитная;
- тахеометрическая.

Существуют также комбинированные методы.

*Стереотопографическая съёмка* осуществляется с использованием материалов аэро- или космической фотосъёмки. В результате производства фотограмметрических работ получают плановые фотоснимки земной поверхности в заданном масштабе. Положение объектов определяют путём *дешифрирования*. Рельеф вычерчивают по результатам фотограмметрической обработки стереопар, то есть пар снимков поверхности, снятых с двух точек (рис. 6.1).

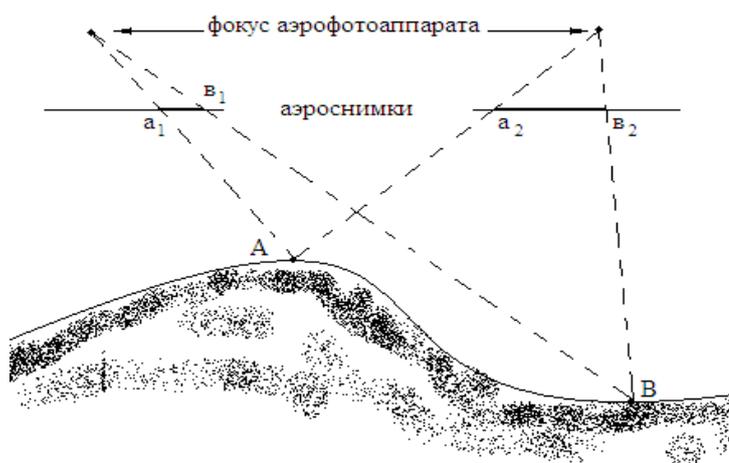
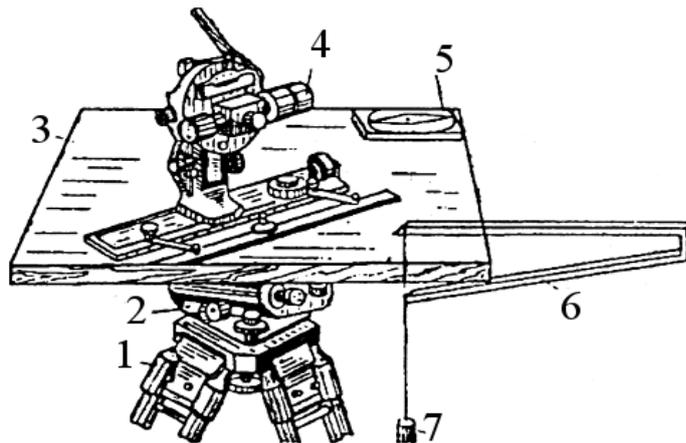


Рис. 6.1 Продольный параллакс точек на стереопаре

Вследствие неровности поверхности, расстояние между точками  $A$  и  $B$  на одном снимке ( $a_1 - b_1$ ) может отличаться от расстояния между теми же точками на другом снимке ( $a_2 - b_2$ ). Разница между этими величинами несёт в себе информацию о

превышении между точками *A* и *B*. Ее называют *продольным параллаксом*.



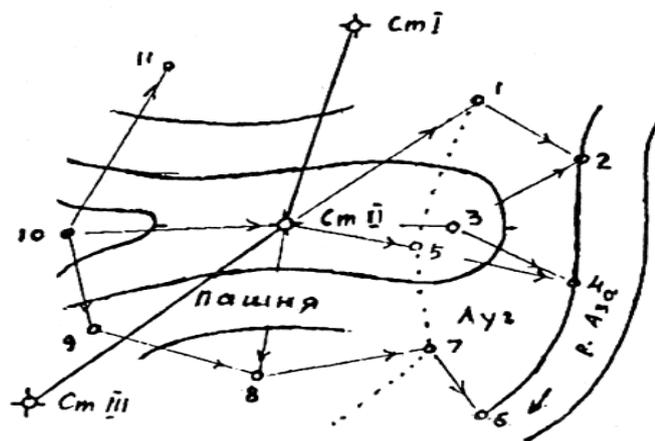
Устройство мензулы и кипрегеля: 1 — штатив;  
2 — подставка; 3 — планшет; 4 — кипрегель;  
5 — буссоль; 6 — центрировочная вилка; 7 — отвес

Рис. 6.2 Мензула и кипрегель

*Мензульная* съёмка производится с использованием специального столика, называемого *мензулой*, и прибора, известного как *кипрегель* (рис. 6.2).

Перед съёмкой на мензулу закрепляют лист снимаемой карты. Мензулу устанавливают на выбранной точке, ориентируясь по пунктам геодезической сети или по буссоли. Кипрегель наводят на характерную точку местного объекта и по линейке кипрегеля определяют направление. По рейке и дальномерным нитям кипрегеля определяют расстояние и откладывают его по линейке. Точка наносится на лист карты. По измеренному кипрегелем вертикальному углу и расстоянию определяют сначала превышение между точками, а затем абсолютные высоты точек. С учётом этой информации изображают рельеф.

*Буссольную, теодолитную и тахеометрическую съёмку* начинают с предварительной глазомерной съёмки. По её результатам составляют приближённый план участка местности (рис. 6.3). Его называют *абрисом*. Направления определяют *буссолью*, теодолитом или тахеометром соответственно. Расстояния измеряют по рейке, лентой (рулеткой) или дальномером. Превышения определяют тригонометрическим или геометрическим методом. Данные на каждую точку (пикет) записывают в журнал наблюдений или сохраняют в памяти прибора (например, электронного тахеометра).



Абрис тахеометрической съемки

Рис. 6.3 Образец абриса

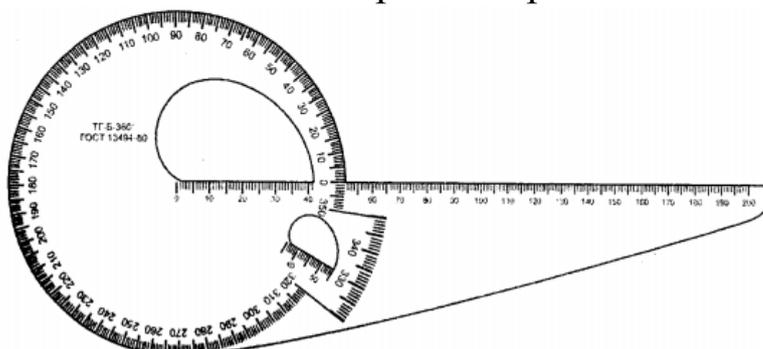


Рис. 6.4 Вид геодезического транспортира

По абрису и результатам измерений выполняют камеральную обработку и создают съёмочный оригинал. Камеральная обработка может выполняться графически или аналитически. При графическом выполнении камеральной обработки результаты измерений транспортиром и линейкой отражают на листе бумаги. Для этого удобно использовать специальный геодезический транспортир (рис. 6.4). При аналитическом выполнении камеральной обработки решением прямой геодезической задачи вычисляют координаты всех точек. Затем по полученным координатам их наносят на лист бумаги.

В процессе камеральной обработки рельеф вычерчивают вручную. При этом все точки (пикеты) наносят на лист и рядом с ними указывают (карандашом) высоты точек. Между точками определяют положение горизонталей. Их вычерчивают с учётом конфигурации, описанной в абрисе.

При использовании электронного тахеометра аналитический способ реализуют с использованием программного пакета. Он обеспечивает вычерчивание горизонталей автоматически.

Во всех случаях на лист карты (плана) составляют *формуляр*. В нем указывают методы и способы производства

съёмки, а также исполнителей полевых и камеральных работ, их руководителей и лиц, осуществлявших контроль и приёмку выполненных работ.

### 6.1.3 Особенности кадастровых съёмок

Кадастровую съёмку производят в масштабе 1 : 500. Съёмке подлежит только объект недвижимости, указанный в заказе, без учёта рамок трапеций. Измеренные расстояния на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера не приводятся, рельеф не снимается.

Кадастровую съёмку допускается производить от так называемой опорной межевой сети, а не только от пунктов планово-высотного обоснования.

## 6.2 Тахеометрия

### 6.2.1 Создание съёмочного обоснования

Метод тахеометрии наиболее часто применяется как для топографических, так и для кадастровых съёмок. Метод предполагает выполнение следующей совокупности геодезических работ:

- проектирование и планирование топографо-геодезических работ;
- создание съёмочного обоснования;
- производство съёмки;
- обработка результатов съёмки;
- создание съёмочного оригинала карты (плана) и формуляра;
- составление технического отчёта.

Съёмочное обоснование создаётся с учётом следующих ограничений тахеометрических ходов:

Масштаб съёмки	Допустимая длина хода, м	Максимальная длина линий, м	Максимальное число линий в ходе
1 : 5 000	1200	300	6
1 : 2 000	600	200	5
1 : 1 000	300	150	3
1 : 500	200	100	2

Исходя из этого, определяется расстояние между пунктами съёмочного обоснования. При этом необходимо учесть возможную изломанность тахеометрических ходов. Поэтому расстояния между пунктами съёмочного обоснования должны быть в 1.5 - 2 раза меньше.

Развитие съёмочного обоснования производится по принципу «от общего к частному», что означает «от более точного к менее точному». Таким образом, пункты съёмочного обоснования должны определяться передачей координат от исходных геодезических пунктов, полученных с более высокой точностью: пункты государственной геодезической сети (ГГС), пункты сети 1 разряда, пункты сети 2 разряда.

Координаты пунктов съёмочного обоснования могут быть получены методами: триангуляции, засечек, полигонометрии (теодолитные ходы), с использованием спутниковых технологий.

Необходимо учесть, что и пункты ГГС, пункты сетей 1 и 2 разрядов также используются в качестве пунктов съёмочного обоснования.

Высоты пунктов съёмочного обоснования получают методом геометрического нивелирования. Применение метода тригонометрического нивелирования допускается для определения высот при съёмках мелких масштабов.

### 6.2.2 Порядок производства тахеометрической съёмки

Тахеометрический ход представляет собой разновидность полигонометрического хода и отличается от него тем, что:

- измерение углов поворота в ходе производят двумя полуприёмами при положении КЛ и КП соответственно и с перестановкой ГК между полуприёмами;
- с каждой точки хода, включая исходные пункты, измеряют направления, расстояния и превышения на все характерные точки местности (съёмка рельефа) и местных объектов (съёмка контуров).

При этом соблюдаются требования к предельно допустимому расстоянию до точек (*пикетов*) как при съёмке рельефа, так и при съёмке контуров. Например, при съёмке в масштабе 1 : 500 расстояние до пикета при съёмке рельефа должно быть не более 150 м, а при съёмке контуров – не более 60

м. Эти требования рекомендуется учитывать при планировании расположения точек ходов (рис. 6.5).

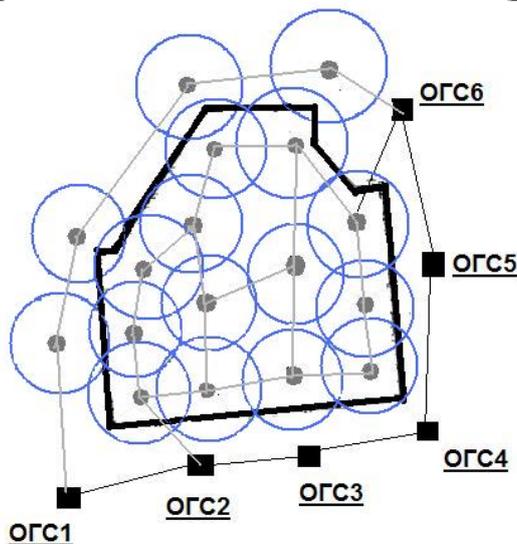


Рис. 6.5 Пример плана расположения точек ходов

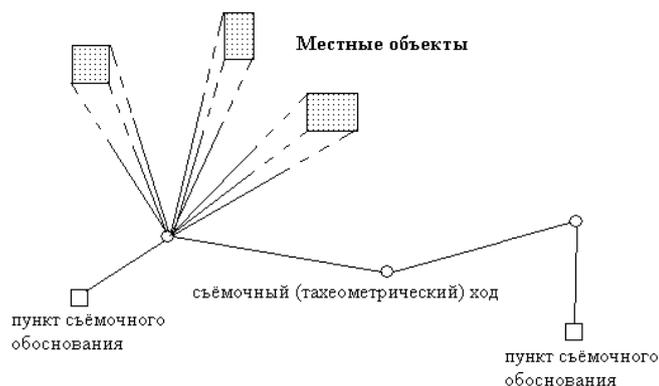


Рис. 6.6 Схема тахеометрической съёмки

Для производства наблюдений на пикетах устанавливаются специальные *вешки*.

На исходных пунктах, а также на каждой точке хода, с которой производится съёмка, ведётся абрис. Превышения на пикеты определяются геометрическим или тригонометрическим нивелированием, в зависимости от требований руководящих документов. Использование электронных тахеометров позволяет создавать достаточно густую сеть пунктов съёмочного обоснования в короткие сроки.

### 6.2.3 Порядок обработки результатов тахеометрической съёмки

Если известны координаты точек тахеометрического хода, измерены направления на все характерные точки местных объектов, а также расстояния до них (рис. 6.6), то координаты этих точек находят полярным способом из решения прямой геодезической задачи.

Камеральная обработка складывается из следующих действий:

- проверка материалов полевых наблюдений;

- вычисление координат и высот пунктов съёмочного обоснования;
- вычисление координат и высот точек тахеометрического хода;
- вычисление координат и высот характерных точек (пикетов);
- нанесение точек на лист и прорисовка контуров объектов;
- определение расположения горизонталей и их прорисовка.

При съёмке электронным тахеометром камеральная обработка производится на персональном компьютере с использованием специальных программных продуктов. Например, обработка ходов может осуществляться в пакете CREDO, а создание собственно листа карты в электронном виде с использованием пакета AutoCAD. Многие операции можно выполнить с использованием такого пакета, как «ПАНОРАМА». При использовании компьютерных программ электронную карту получают в виде компьютерного файла.

Лист карты с нанесённым на него рамкой трапеции, изображением местности и зарамочным оформлением называют *планшетом*.

Результаты тахеометрической съёмки оформляют в виде следующих документов:

- абрисы к соответствующим планшетам;
- журналы тахеометрической съёмки;
- план тахеометрической съёмки;
- схема съёмочного обоснования;
- формуляр плана;
- ведомости вычисления координат и высот точек съёмочного обоснования;
- акты контроля и приёмки работ.

## 7. Основы планирования и организации топографо-геодезических работ

### 7.1 Содержание топографо-геодезических работ

Топографо-геодезические работы производятся как по заказу, в том числе и государственному, так и для решения внутренних задач геодезии. К ним относятся такие виды работ, как развитие государственной геодезической сети (ГГС), астрономо-геодезические и гравиметрические определения, уточнение формы и размеров Земли, картографирование территории страны, обеспечение потребителей геодезической информации соответствующими геопространственными данными. На текущий момент наибольшие объёмы геодезических работ приходятся на обеспечение строительства, землеустройства, кадастра.

Геодезические работы в строительстве или землеустройстве складываются из трёх основных этапов: инженерно-геодезические изыскания, вынос проекта в натуру (сопровождение строительства или землеустройства), исполнительная, в том числе кадастровая, съёмка (рис. 7.1).

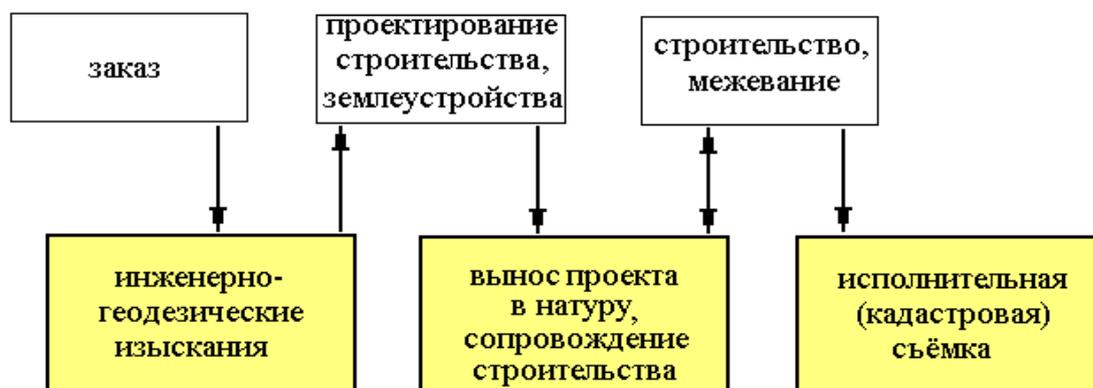


Рис. 7.1 Основные этапы геодезических работ в строительстве или землеустройстве

В период *инженерно-геодезических изысканий* выполняют крупномасштабную топографическую съёмку, обычно в масштабе 1:500. В некоторых случаях съёмка может быть выполнена в более мелких масштабах - 1:1000 и даже 1:2000. При строительстве линейных объектов различные части участков строительства могут выполняться в разных масштабах. Часто

топографическая съёмка сопровождается съёмкой подземных коммуникаций. В отдельных случаях, по согласованию с геологами, может потребоваться вынос в натуру точек стояния буровых установок и т. п.

Период сопровождения строительства или землеустройства обычно начинается с выноса проекта в натуру (на местность). Для этого используют различные методики. В процессе строительства землеустройства или межевания геодезические работы предусматривают выполнение комплекса мероприятий по установке и контролю положения монтируемых элементов зданий и сооружений, границ участков, площадок, полей, канав, дорог, коммуникаций, межей и межевых знаков.

*Исполнительная, в том числе кадастровая, съёмка* производится после завершения строительства и межевания. Результаты кадастровой съёмки используются в дальнейшем для формирования землеустроительного дела и постановки объектов на кадастровый учёт.

На всех этапах в число геодезических работ включают работы по сгущению геодезической сети (планово-высотное обоснование).

При реализации отдельных проектов могут потребоваться и другие виды работ. К их числу относятся такие:

- создание сети пунктов для осуществления мониторинга объектов (смещений, осадок и т.п.);
- построение профилей (на линейных объектах);
- геодезическая привязка отдельных элементов объектов или координирование внутренних помещений и т. д.

По каждому этапу составляют проект производства геодезических работ. Если проекты работ, относящиеся к разным этапам, выполняет одна организация, то работы можно объединить в один проект.

## **7.2 Составление проекта**

Проект должен отвечать следующим требованиям:

- быть полным, то есть, по сути дела, давать ответ на любой вопрос, возникающий в процессе производства работ; при этом проект должен быть по возможности наиболее кратким, то есть не содержать излишней или повторяющейся информации;

- быть обоснованным, то есть каждое положение проекта должно быть доказано или иметь ссылку на руководящие документы (законы, инструкции, нормативы, правила и пр.);
- быть строгим, то есть не допускающим двоякого толкования;
- быть понятным специалистам разных профилей и уровня образования, участвующих в производстве работ в части их касающихся;
- быть выполненным в соответствии требованиям ГОСТов.

Проект состоит из пояснительной записки и приложений.

*Пояснительная записка* включает:

- титульный лист;
- оглавление;
- список принятых сокращений;
- введение;
- анализ исходных данных;
- выбор методов, способов и технологии выполнения работ, необходимых инструментов и приборов;
- собственно *технический проект*, включающий схемы выполнения работ (обычно на карте), расчёт сил и средств, календарный план выполнения работ, экономическую часть (смету);
- заключение, включающее в себя выводы о выполнимости проекта с указанием сроков и себестоимости работ.

Приложения содержат технические указания по выполнению работ, инструкции по технике безопасности, охране природной среды и т. п.

### **7.3 Расчёт объёма и себестоимости работ**

Первично расчёт объёма работ производится в натуральных единицах. Исходными данными для расчёта служат схемы выполнения работ. Из схем выбирают, в частности, такие данные:

- сколько исходных пунктов необходимо обследовать;
- длины полигонометрических и нивелирных ходов отдельно по каждому классу точности;
- площади топографических съёмок отдельно по каждому масштабу;
- расстояния для совершения переход и переездов;
- категория сложности, в зависимости от характера рельефа, залесённости, наличия дорог, плотности застройки и т. п.

Объёмы, измеренные в натуральных единицах, переводятся в объёмы, измеренные в технико-днях. Затем они суммируются по полевым и камеральным работам отдельно. К полученным суммам прибавляют временные затраты на переезды, посещения офисов и пр.

По полученным объёмам принимается решение о том, на сколько расчётов (бригад, исполнителей) целесообразно распределить выполнение работы. Чем больше будет привлечено людей к выполнению работ, тем в более короткие сроки они будут выполнены, но тем дороже обойдётся реализация проекта.

На основании полученных данных строят план-график выполнения работ. В нем отмечают начало и окончание каждого этапа работ по расчётам (бригадам, исполнителям) отдельно.

Себестоимость работ складывается из следующих основных составляющих:

- заработная плата сотрудникам;
- амортизация геодезических приборов;
- накладные расходы (расходы на переезды и проживание, обеспечение связи между исполнителями и руководством, приобретение необходимых материалов и т.п.).

Расчёт себестоимости оформляется в виде сметы. Она может быть единой или состоять из нескольких смет.

#### **7.4 Организация выполнения топографо-геодезических работ**

Топографо-геодезические работы выполняются в соответствии с требованиями руководящих документов. Для обеспечения соблюдения требований, в Российской Федерации осуществляется государственный геодезический надзор.

Качественная организация выполнения работ заключается:

- в тщательном изучении проекта, изучении руководящих документов, уяснении поставленной задачи;
- постановке конкретных задач сотрудникам, участвующих в реализации проекта, контроле понимания ими своих задач, знании технологий выполнения работ, знания требований руководящих документов в части их касающейся;
- всестороннем обеспечении выполнения работ;
- постоянном и целенаправленном руководстве выполнением работ;

- контроле качества и полноты выполнения работ на каждом из этапов;
- прогнозировании и учёте нештатных, в том числе форс-мажорных, ситуаций.

Постановка задач сотрудникам заключается во всестороннем описании где, когда и как необходимо выполнить конкретные виды работ, вид и порядок предоставления результатов. Постановка задач сотрудникам включает также инструктаж:

- по обеспечению питания и размещения работников, соблюдению санитарных норм;
- поддержке связи с руководством, заказчиком и органами местного управления;
- поведению в ситуациях, препятствующих выполнению работ (неблагоприятные погодные условия, заболевания и травмы, криминальные случаи т. п.).

## **7.5 Обеспечение выполнения работ**

В число мероприятий по обеспечению выполнения работ входит поиск и приобретение необходимых исходных геодезических данных, как графических, так и числовых. Наиболее важные данные хранятся в федеральном картографо-геодезическом фонде.

Важно обеспечить работников необходимыми геодезическими приборами, инструментами (лопатами, топорами, пилами, фонарями), строительными и расходными материалами (доски, гвозди, цемент, журналы наблюдений, бумага, карандаши, тушь, батарейки, бензин, смазочные материалы, ветошь, спирт, марки, краска и пр.).

При необходимости бригадир (начальник расчёта, исполнитель) обеспечиваются подотчётными денежными средствами, необходимыми для: найма жилья, приобретения продуктов питания и топлива, проезда по территории, где выполняются работы и пр. Во многих случаях при выполнении полевых работ предоставляется автотранспорт и водитель.

В обязательном порядке со всеми работниками проводятся инструктажи по правилам техники безопасности при выполнении работ, согласно разрабатываемой в геодезической организации инструкции.

При выполнении работ руководитель обязан постоянно поддерживать связь с исполнителями работ, требовать от них отчётов о проделанной работе, сравнивать объём выполнения с планом. В случае отставания от плана-графика, выявлять причины и принимать меры к ликвидации отставания.

## **7.6 Контроль и приёмка работ**

Контроль и приёмка работ осуществляется руководителями всех рангов в геодезической организации согласно соответствующим руководящим документам. Контроль может быть текущим (в процессе выполнения конкретной работы), после завершения этапа работы при её приёмке и передаче результатов заказчику. В руководящих документах описано, какие виды работ, в каком объёме и кем проверяются.

Некоторые материалы проверяются в полном объёме, некоторые выборочно. Отдельные наиболее важные виды работ могут поручаться двум независимым исполнителям с последующим полным сравнением результатов.

По завершении работ, при которых закладывались долговременные геодезические пункты, они передаются по акту заказчику или представителям местных органов власти.

Окончательные результаты выполнения работ передаются заказчику по акту. Если геодезические работы выполнялись с точностью 2 разряда и выше, копии их передаются в картографо-геодезический фонд.

## Заключение

*Геодезия* – научная и практическая дисциплина, занимающаяся пространственным позиционированием объектов на земной поверхности или в околоземном пространстве в заданной системе координат и с заданной точностью с использованием специальных геодезических приборов и инструментов.

Одним из важнейших информационных продуктов геодезии является отображение основных объектов в графическом или электронном виде: на топографической карте или плане. Они могут быть реализованы или на бумаге, или на экране компьютера.

До Октябрьской революции 1917 года топографические карты были созданы всего для 14% территории Европейской России. Развитие народного хозяйства после революции потребовало серьёзных топографо-геодезических работ. В 1919 году было учреждено Высшее геодезическое управление. На него были возложены задачи объединения и приведения в единую систему всей геодезической и кадастровой деятельности в стране, а также проведение полного картографирования России. Позднее этот орган был переименован в Комитет геодезии и картографии (Госгеодезия СССР), а уже в новое время на его базе создана Федеральная служба геодезии и картографии России (Роскартография).

В настоящее время в России всю картографо-геодезическую деятельность и геодезические работы выполняют аэрогеодезические и картографические предприятия, расположенные в различных городах, и их полевые подразделения – картографические экспедиции и партии. Кроме того, геодезией занимаются организации различных министерств.

Для обработки и систематизации собираемых данных, а также для организации научно-исследовательских работ в этой сфере создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъёмки и картографии им. Ф. Н. Красовского (ЦНИИГАиК). Научными исследованиями в этой области занимается также Новосибирский НИИ прикладной геодезии (Сибгеоинформ).

Большую помощь геодезистам оказывает использование космических летательных аппаратов. Информация, поступающая с них, обрабатывается Государственным научно-исследовательским центром «Природа» и активно используется для картографирования территорий. Созданием геодезического оборудования занимается ЦНИИГАиК и специально созданный Экспериментальный оптико-механический завод.

Сегодня профессия геодезиста стала очень актуальной и востребованной. Происходит это вследствие роста строительства, освоения месторождений полезных ископаемых и так далее. Но для того, чтобы стать хорошим специалистом в области геодезии, нужно обладать повышенным вниманием и аналитическим складом ума, быть аккуратным и наблюдательным, иметь отличную память. Ведь работа геодезиста связана с точными расчётами, составлением планов и чертежей, использованием лазеров и других инновационных приборов. Поэтому в геодезию стоит идти только ответственными людьми, способными к быстрому обучению и переквалификации.

Подготовка профессиональных геодезистов и кадастровых инженеров в России сегодня ведётся в ряде образовательных учреждений высшего профессионального образования. К их числу относятся: Московский государственный университет геодезии и картографии, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Сибирская государственная геодезическая академия, Национальный открытый институт, Санкт-Петербург.

Сегодня в РФ создана единая картографо-геодезическая сеть, завершены создание топографических карт России в масштабах 1:100 000 и 1:25 000, большинство промышленных и сельхозрайонов покрыты съёмками в масштабе 1:10 000, большинство городов и поселков картографированы в масштабах 1:5 000 и 1:2 000.

На территории материковой России проведён весь комплекс астрономо-геодезических и аэрофотосъёмка, составлена космическая карта Антарктиды, Атлас мира, Большой физико-географический атлас, атласы республик, Атлас офицера, наборы политических, административных и народнохозяйственных карт.

В ближайшей перспективе геодезия и картография должна будет продолжать работать на рост экономики, удовлетворяя потребности народного хозяйства, науки, образования.

Завершается создание топографической карты России в масштабе 1:10 000, создаются карты подземных коммуникаций всех городов России, активно ведётся кадастровая деятельность, картография внутренних водоёмов и прибрежной полосы (шельфовая съёмка).

Основные ближайшие задачи Федеральной службы геодезии и картографии в России определены в специальном Постановлении правительства РФ от 22.12.1992г. Службе предстоит совершенствовать единую государственную политику и управление при производстве работ по картографии, обеспечивать точными геодезическими данными органы управления страны, народное хозяйство, оборону, науку и образование. Для успешной реализации поставленных задач служба планирует активнее использовать вычислительную технику и космическую съёмку, внедрять цифровое картографирование, создавать более совершенные электронные геодезические приборы.

Выдающийся учёный-геодезист, автор фундаментальных трудов: «Уравнивание геодезических сетей» и «Планетарные теории геодезии», - М. М. Машимов блестяще охарактеризовал значимость геодезии словами: ***“Геодезия изучает геодинамические явления, связанные с планетарной эволюцией Земли”***.

## **Итоговый контроль успеваемости**

### **Перечень вопросов для подготовки к экзамену за второй семестр**

Раздел 4. Угловые и линейные измерения на местности

1. Общее устройство теодолита. Назначение его составных частей.
2. Геометрические условия в конструкции теодолита.
3. Поверки и исследования теодолита.
4. Порядок измерения направлений (углов), зенитных расстояний.
5. Требования руководящих документов к порядку производства угловых измерений.
6. Основы устройства электронных кругов теодолита.
7. Сущность электромагнитного метода измерения расстояний.
8. Общие сведения о конструкции электронных тахеометров.
9. Среднее и средневесовое из ряда измерений.
10. Систематические и случайные ошибки. Нормальный закон распределения Гаусса.
11. Средняя квадратическая ошибка измерений как характеристика прибора.
12. Средняя квадратическая ошибка ряда равноточных измерений.
13. Средняя квадратическая ошибка суммы измерений.
14. Относительная средняя квадратическая ошибка.

Раздел 5. Топографические карты и планы

1. Масштабный ряд топографических карт и планов.
2. Номенклатуры топографических карт и планов.
3. Геодезические эллипсоидальные координаты углов и сторон рамок трапеций топографических карт и планов.
4. Размеры рамок трапеций топографических карт и планов в градусной мере.
5. Метрическая и семантическая информация на карте.
6. Сущность генерализации при составлении карт.
7. Решение задач с использованием масштаба карты.
8. Отображение рельефа на топографических картах.

Раздел 6. Топографические съёмки местности

1. Основные методы топографической съёмки.
2. Сущность тахеометрической съёмки.
3. Требования руководящих документов к производству тахеометрической съёмки различных масштабов.

4. Отображение рельефа и местных предметов на крупномасштабных топографических планах.
5. Требования руководящих документов к развитию съёмочного обоснования.
6. Особенности кадастровой съёмки.

Раздел 7. Основы планирования и организации топографо-геодезических работ

1. Принципы выбора методов и способов производства геодезических работ.
2. Составные части технического проекта выполнения работ: схема, расчёт объёма, календарный график, смета.
3. Использование руководящих документов при планировании работ («Единые нормы выработки...», «Сборник базовых цен...»).
4. Основы организации взаимодействия и связи между подразделениями геодезического предприятия.
5. Особенности организации полевых работ в отдалённых местностях.
6. Порядок производства контроля качества производимых работ.
7. Порядок приёмки материалов выполненных работ.
8. Техника безопасности при производстве геодезических работ.

### **Тесты для аттестации по итогам освоения дисциплины**

Раздел 1. Теоретические основы геодезии

1. Объект с долготой  $L=22^\circ$  в системе координат СК-95 находится:
  - 1) в зоне 3;
  - 2) в зоне 4;
  - 3) в зоне 5.
2. Геодезическая широта Южного полюса Земли равна:
  - 1)  $0^\circ$ ;
  - 2)  $+90^\circ$ ;
  - 3)  $-90^\circ$ .
3. Координаты геодезического пункта соотносятся:
  - 1) с маркой;
  - 2) с визирной целью;
  - 3) со столиком для инструмента.
4. В прямой геодезической задаче при  $\alpha = 180^\circ$  и  $d = 50$  м приращение  $\Delta x$  равно:
  - 1)  $+50$  м;
  - 2)  $-50$  м;
  - 3)  $0$  м.
5. Полярным сжатием эллипсоида называют отношение:
  - 1) большой полуоси к малой полуоси;
  - 2) малой полуоси к большой полуоси;
  - 3) разности большой и малой полуосей к большой полуоси.
6. Полярное сжатие эллипсоида Красовского равно:

- 1)  $1/287.3$ ;      2)  $1/298.3$ ;      3)  $1/300$
7. Значение большой полуоси эллипсоида Красовского равно:  
1) 6 378 000 м;      2) 6 378 245 м;      3) 6 378 425 м.
8. В геодезии долгота места отсчитывается:  
1) от Гринвичского меридиана на восток;  
2) от Пулковского меридиана на запад;  
3) от Парижского меридиана на восток.
9. В состав астрономо-геодезической сети Российской Федерации включены пункты:  
1) 1, 2, 3 и 4 классов;      2) 1 и 2 классов;      3) высокоточной геодезической сети.
10. Длина дуги меридиана Земли, на которую опирается центральный угол в один градус, равна:  
1) 30 км;      2) 111 км;      3) 1852 км.

## Раздел 2. Основные методы и способы определения координат

1. Полигонометрический ход, опирающийся на два исходных пункта, называют:  
1) висячим;      2) разомкнутым;      3) замкнутым.
2. При развитии триангуляции в треугольниках измеряют:  
1) углы;      2) длины сторон;      3) углы и длины сторон.
3. В полигонометрии примычной стороной называют:  
1) исходную сторону;  
2) первую сторону хода;  
3) сторону хода, примыкающую к определяемому пункту.
4. При реализации способа обратной засечки инструмент устанавливают только:  
1) на исходном пункте;  
2) на определяемом пункте;  
3) в стороне от определяемого пункта.
5. Полигонометрический ход, опирающийся на один исходный пункт, называют:  
1) сомкнутым;      2) замкнутым;      3) висячим.
6. В геодезическом четырёхугольнике число треугольников равно:  
1) двум;      2) трём;      3) четырём.
7. В геодезическом четырёхугольнике с измеренными сторонами число избыточных измерений равно:  
1) двум;      2) одному;      3) нулю.

8. В системе из трёх полигонометрических ходов дирекционные углы уравниваются:

- 1) пропорционально длинам ходов;
- 2) пропорционально количеству углов поворота в ходах;
- 3) как среднее из трёх результатов.

9. В системе из трёх полигонометрических ходов координаты уравниваются:

- 1) пропорционально длинам ходов;
- 2) пропорционально количеству углов поворота в ходах;
- 3) как среднее из трёх результатов.

10. Точность полигонометрического хода тем выше:

- 1) чем меньше знаменатель относительной линейной ошибки;
- 2) чем больше знаменатель относительной линейной ошибки;
- 3) чем больше длина хода.

Раздел 3. Основные методы и способы определения высот

1. Квазигеоидом называют:

- 1) уровенную поверхность гравитационного поля Земли;
- 2) поверхность, отстоящую от поверхности геоида во всех своих точках;
- 3) поверхность, совпадающую с поверхностью геоида на морях и океанах.

2. Согласно формуле тригонометрического нивелирования, превышение равно произведению:

- 1) расстояния до объекта и косинуса угла наклона линии визирования;
- 2) горизонтального проложения на синус угла наклона линии;
- 3) расстояния до объекта на синус угла наклона линии визирования.

3. При тригонометрическом нивелировании на больших расстояниях наибольшую погрешность даёт ошибка:

- 1) снятия отсчёта по вертикальному кругу;
- 2) измерения расстояния;
- 3) учёта вертикальной рефракции.

4. При геометрическом нивелировании снимают отсчёты:

- 1) по вертикальному кругу;
- 2) по рейкам;
- 3) по экеру.

5. Значение вертикальной рефракции с увеличением расстояния:  
1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) становится равной нулю.
6. Длина плеча при геометрическом нивелировании III класса, при прочих равных условиях, составляет не более:  
1) 75 м; 2) 100 м; 3) 150 м.
7. При тригонометрическом нивелировании величина зенитного расстояния за счёт вертикальной рефракции:  
1) уменьшается;  
2) увеличивается;  
3) увеличивается или уменьшается в зависимости от состояния атмосферы.
8. При тригонометрическом нивелировании высота цели:  
1) на результат не влияет;  
2) из результата вычитается;  
3) с результатом складывается.
9. При тригонометрическом нивелировании высота инструмента:  
1) на результат не влияет;  
2) из результата вычитается;  
3) с результатом складывается.
10. Нивелирные ходы I класса прокладывают в форме:  
1) полигонов; 2) висячих ходов; 3) строенных параллельных линий.

#### Раздел 4. Угловые и линейные измерения на местности

1. Горизонтирование теодолита - это приведение:  
1) оси вращения прибора в вертикальное положение;  
2) зрительной трубы в горизонтальное положение;  
3) подъёмных винтов в среднее положение.
2. Нивелиром измеряют:  
1) превышение; 2) высоту; 3) наклонность.
3. Верхняя и нижняя нити сетки нитей служат:  
1) для проведения поверок прибора;  
2) для наблюдения верхних и нижних визирных целей;  
3) для измерения расстояний по рейке.
4. Причиной наклона горизонтальной оси теодолита может быть:  
1) неравенство колонок;  
2) наклон сетки нитей;  
3) наличие коллимационной ошибки.

5. Причиной эксцентриситета горизонтального круга теодолита по отношению к оптической оси прибора может быть:

1) несовпадение центров вращения алидады и отсчётов на круге;

2) несовпадение центров вращения горизонтального и вертикального кругов;

3) несовпадение центра оптического центра и оси вращения теодолита.

6. При измерении расстояния электромагнитным дальномером в качестве меры используют:

1) частоту излучения лазера;

2) длину электромагнитной волны;

3) скорость распространения света в атмосфере.

7. При нагревании мерной ленты (стальной рулетки) значение отсчёта:

1) увеличивается;                      2) уменьшается;                      3) остается неизменным.

8. При измерении рулеткой расстояния на неровной поверхности значение отсчёта:

1) зависит от рельефа;                      2) от рельефа не зависит;                      3) всегда увеличивается.

9. При увеличении числа наблюдений в четыре раза точность среднего значения повышается:

1) в 2 раза;                      2) в 4 раза;                      3) в 16 раз.

10. Теодолитом измеряют:

1) горизонтальные углы;

2) горизонтальные направления;

3) разности горизонтальных направлений.

Раздел 5. Топографические карты и планы

1. Для топографических карт предусмотрен масштаб:

1) 1 : 30 000;                      2) 1 : 50 000;                      3) 1 : 20 000.

2. У топографической карты Северного полушария северная сторона рамки трапеции:

1) короче южной;                      2) длиннее южной;                      3) равна южной.

3. Западная сторона рамки трапеции N-31 имеет долготу:

1) 0°;                      2) 3°;                      3) 6°.

4. На листе топографической карты масштаба 1 : 500 000 помещается:

- 1) 6 листов карты масштаба 1 : 100 000;
  - 2) 72 листа карты масштаба 1 : 100 000;
  - 3) 36 листов карты масштаба 1 : 100 000.
5. Рамка топографической карты имеет вид:
- 1) прямоугольника;
  - 2) квадрата;
  - 3) трапеции.
6. На карте масштаба 1:100 000 длина восточной рамки составляет:
- 1) 1°;
  - 2) 30';
  - 3) 20'.
7. В зарамочном оформлении карты линией со стрелкой обозначают направление:
- 1) геодезического меридиана;
  - 2) магнитного меридиана;
  - 3) линии координатной сетки.
8. В зарамочном оформлении карты линией со звездой обозначают направление:
- 1) геодезического меридиана;
  - 2) магнитного меридиана;
  - 3) линии координатной сетки.
9. В зарамочном оформлении карты линией с V-образной верхней частью обозначают направление:
- 1) геодезического меридиана;
  - 2) магнитного меридиана;
  - 3) линии координатной сетки.
10. На топографической карте полугоризонтالي изображают:
- 1) в виде тонких линий с соответствующей подписью;
  - 2) в виде штрихпунктирных линий;
  - 3) в виде штриховых линий.

## Раздел 6. Топографические съёмки местности

1. Предельная длина тахеометрического хода в 200 м установлена при съёмке масштаба:
- 1) 1 : 2 000;
  - 2) 1 : 1 000;
  - 3) 1 : 500.
2. Пикетом называют точку, на которую устанавливают:
- 1) теодолит;
  - 2) тахеометр;
  - 3) рейку или вешку.
3. Высоты пикетов определяют:
- 1) для построения рельефа;
  - 2) для вычисления высоты строения;
  - 3) для вычисления угла наклона.
4. Для составления карт используют:
- 1) карты более мелкого масштаба;

- 2) карты более крупного масштаба;
  - 3) материалы глазомерной съёмки.
5. При топографической съёмке в масштабе 1 : 500 превышение на пикет определяют:
- 1) тригонометрическим нивелированием;
  - 2) геометрическим нивелированием;
  - 3) по карте более крупного масштаба.
6. При топографической съёмке в масштабе 1 : 500 в равнинных районах устанавливают сечение рельефа:
- 1) 0.25 м;
  - 2) 0.5 м;
  - 3) 1 м.
7. При создании топографических планов сначала отображают:
- 1) дорожную сеть;
  - 2) здания и сооружения;
  - 3) геодезические пункты.
8. Минимальное число исходных пунктов для построения сплошной сети триангуляции первого-второго разрядов равно:
- 1) двум;
  - 2) трём;
  - 3) четырём.
9. Предельная длина отдельного полигонометрического хода второго разряда равна:
- 1) 2 км;
  - 2) 3 км;
  - 3) 5 км.
10. При съёмке в масштабе 1 : 1000 максимальная длина тахеометрического хода составляет:
- 1) 300 м;
  - 2) 150 м;
  - 3) 100 м.

## Раздел 7. Основы планирования и организации производства топографо-геодезических работ

1. Технический проект выполнения топографо-геодезических работ должен быть обязательно согласован:
  - 1) с контролирующими органами;
  - 2) с бухгалтерией;
  - 3) с заказчиком.
2. При составлении сметы расходов в сумму амортизационных отчислений необходимо включить:
  - 1) часть стоимости геодезических приборов;
  - 2) стоимость топлива для автотранспорта;
  - 3) премиальные работникам.
3. Съёмочное обоснование выполняется:
  - 1) всегда;
  - 2) при недостаточной плотности исходной геодезической основы;
  - 3) только при наличии требований заказчика.

4. Единицей измерения объёма топографо-геодезических работ служит:
- 1) технико-день;
  - 2) календарный день;
  - 3) условная единица.
5. Основным критерием размещения пунктов съёмочного обоснования на местности является:
- 1) требуемая точность их получения;
  - 2) обеспечение видимости на пункты ГГС;
  - 3) удобство их использования.
6. Основной причиной проведения рекогносцировки чаще всего является необходимость:
- 1) уточнения проекта;
  - 2) выбора метода развития сети;
  - 3) определения элементов приведения.
7. При выборе сечения рельефа для топографической съёмки учитывается:
- 1) наличие соответствующих приборов;
  - 2) наличие более ранних топографических работ;
  - 3) крутизна скатов.
8. Основной производственной единицей выполнения полевых геодезических работ является:
- 1) исполнитель из числа специалистов;
  - 2) партия;
  - 3) бригада.
9. Определение категории трудности выполняемых работ необходимо для установления:
- 1) заработной платы;
  - 2) нормы выработки;
  - 3) требований к качеству работы.
10. Состав и объём подготовительно-заключительных работ определяют:
- 1) по нормативным документам;
  - 2) исходя из средних показателей ранее выполненных аналогичных работ;
  - 3) на основании имеющегося у руководителя опыта.

## Словарь терминов

**Абрис** – план местности, выполненный вручную с указанием расположения местных объектов и характерных форм рельефа с обозначением пикетов и их номеров. Используется при тахеометрической и кадастровой съёмке.

**Азимут** - в геодезии угол между направлением на север и направлением на какой-либо предмет. Отсчитывается по часовой стрелке. В зависимости от направления на север, различают: магнитный (отсчитываемый от магнитного меридиана), геодезический (отсчитываемый от геодезического меридиана) и астрономический (отсчитываемый от астрономического меридиана) азимуты.

**Астролябия** - старинный геодезический прибор, предназначенный для измерений или вертикальных углов или горизонтальных направлений.

**Бланковая карта** - топографическая карта, отпечатанная либо сильно осветлённая (бледная), либо в 1-2 цвета. На некоторых бланковых картах местность отображена менее подробно, чем на топографической карте.

**Буссоль** - компас особой конструкции, позволяющий определять магнитный азимут с повышенной точностью.

**Вежа** - вид наружного геодезического знака простейшей конструкции, представляющая собой столб с прикреплённой к нему визирной целью.

**Вешка** - предмет с визирной целью, устанавливаемый вручную на точку, на которую необходимо визировать геодезический прибор.

**Визирная линия** - луч, проходящий через глаз наблюдателя и точку, располагающуюся в створе луча.

**Визирная ось** - в зрительной трубе геодезического прибора линия, соединяющая глаз наблюдателя и перекрестие сетки нитей.

**Визирная цель** - точка или предмет, обычно цилиндрической формы, предназначенный для визирования (наведения) геодезического прибора.

**Высота в Балтийской системе высот** - высота точки относительно поверхности квазигеоида. Ее называют также нормальной высотой.

**Высота геодезическая** - расстояние по нормали от точки до поверхности земного эллипсоида.

**Высота нормальная** - см. Высота в Балтийской системе высот.

**Высотный репер** - см. Репер.

**Генерализация изображения на топографической карте** - отбор, обобщение, выделение главных типических черт изображаемых объектов соответственно назначению, масштабу, содержанию карты, особенностям картографируемой территории и самого объекта, степени их изученности. Применяется при составлении мелкомасштабных карт на основе карт более крупного масштаба, например, составление листа карты масштаба 1 : 100 000 по картам масштаба 1 : 50 000.

**Геодезический пункт** - закреплённая на местности физическая точка, координаты которой определены геодезическими методами. Физическая точка обычно размещается на марке, которая образует центр пункта. Геодезический пункт может быть окружён окопкой, и на нём может быть установлен наружный знак.

**Геодезия** – наука об определении фигуры, размеров и гравитационного поля Земли, измерении объектов на местности о пространственном позиционировании и ориентировании объектов в заданной системе координат с использованием инструментальных методов для создания карт и планов, проведения хозяйственных мероприятий, проектирования и строительства сооружений, дорог, каналов и т. п.

**Геоид** - уровенная поверхность гравитационного поля Земли, на океанах и морях совпадающая с поверхностью невозмущённых водных масс и продолженная под островами и материками так, чтобы вектор силы тяжести в каждой точке был перпендикулярен этой поверхности.

**Горизонталь** - линия равных высот на топографической карте или топографическом плане.

**Горизонтирование** - процедура приведения геодезического прибора или инструмента в положение, когда вертикальная ось прибора совпадает с вектором силы тяжести или плоскость инструмента находится в горизонтальной плоскости.

**Двойная коллимационная ошибка** - см. Коллимационная ошибка.

**Декартова** (система координат) - прямолинейная система координат на плоскости или в пространстве (обычно с взаимно перпендикулярными осями и одинаковыми масштабами по осям).

**Дирекционный угол** - угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от 0 до 360° между северным направлением вертикальной линии координатной сетки и направлением на определяемый объект.

**Дистанционное зондирование** – сбор информации об объекте или явлении с помощью регистрирующих приборов, не находящихся в непосредственном контакте с объектом наблюдения или изучаемым явлением. Дистанционное зондирование используется, например, для сбора информации об атмосфере и литосфере Земли, о дне морей и океанов, об объектах ближнего и дальнего космоса.

**Жезл** - в геодезии длинный прямой предмет, размер которого между концами известен. Используется для измерения расстояний.

**Зарамочное оформление** - на топографических картах и планах вся необходимая и обязательная информация, располагающаяся за рамками трапеции: оцифровка координатной сетки, масштаб, номенклатура и т.п.

**Засечка** - метод в геодезии, позволяющий получить координаты одного пункта. Засечки бывают прямыми и обратными, а по используемым приборам линейными и угловыми.

**Землеустройство** - система мероприятий, обеспечивающих регулирование земельных отношений, изучение, планирование, организацию использования и охраны земель, создание новых и упорядочение существующих землепользований, земельных фондов, административно-территориальных образований и других объектов землеустройства с обозначением границ в натуре (на местности), устройство территории сельскохозяйственных организаций и улучшение природных ландшафтов.

**Зенитное расстояние** – угол между отвесной линией и направлением на визирную цель. Угол отсчитывается «сверху – вниз», поэтому, зенитное расстояние направления, лежащего в плоскости горизонта равно 90°, лежащего выше горизонта – менее 90°, лежащего ниже горизонта – более 90°.

**Зрительная труба геодезического прибора** - небольшая увеличительная труба (телескоп) с увеличением 14 - 45 крат с возможностью фокусировки (наведения на резкость изображения) и сеткой нитей. Служит для точного наведения прибора на визирную цель.

**Инженерные изыскания** - изучение природных условий и факторов техногенного воздействия в целях рационального и безопасного использования территорий и земельных участков в их пределах, подготовки данных по обоснованию материалов, необходимых для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования.

**Кадастр** – систематизированный свод сведений, составляемый периодически или путём непрерывных наблюдений над соответствующим объектом. Например, кадастр природных ресурсов — совокупность научно обоснованных и достоверных данных о количественном и качественном составе каждого природного объекта, ресурса, а также субъектах прав на них (собственников, пользователей, арендаторов). Различают отраслевые, территориальные и государственные кадастры. В частности, отраслевые кадастры ведутся по отдельным элементам природной среды. К ним относятся земельный, водный, лесной кадастры, кадастр животного мира, кадастр охотничьих животных, кадастр полезных ископаемых.

**Кадастр, государственный земельный** - систематизированный свод документированных сведений о местоположении, целевом назначении и правовом положении земель Российской Федерации, получаемых в результате проведения кадастрового учёта земельных участков, сведений о территориальных зонах и расположенных на земельных участках и прочно связанных с этими земельными участками объектах.

**Кадастровый план** - план, на которой нанесены только требуемые объекты недвижимости. По замыслу оформлению кадастровый план существенно отличается от топографического плана.

**Кадастровая съёмка** - вид съёмки, при которой, в отличие от топографической съёмки, определяется положение только объектов недвижимости (границы земельных участков, строения и т.п.).

**Картография** - это наука об исследовании, моделировании и отображении пространственного расположения, сочетания и взаимосвязи объектов и явлений природы и общества.

**Квазигеоид** - по материалам наземных наблюдений строго определяемая поверхность, на морях и океанах совпадающая с поверхностью геоида. Под островами и континентами отступает от поверхности геоида на величины в несколько сантиметров в равнинных районах и до двух метров в горных районах. Используется в Балтийской системе высот как поверхность, от которой отсчитываются нормальные высоты.

**Кипрегель** - угломерный прибор, позволяющий измерять вертикальные углы и определять превышения. В основании кипрегеля имеется линейка для прочерчивания направлений.

**Коллимационная ошибка** - ошибка в отсчёте по горизонтальному кругу теодолита, возникающая из-за несоблюдения геометрического условия - визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы. Разница в отсчётах на визирную цель, полученная при наблюдениях при двух положениях теодолита («круг лево» и «круг право») носит название двойной коллимационной ошибки.

**Кроки** – чертёж участка местности, отображающий её важнейшие элементы, выполненной при глазомерной съёмке.

**Легенда** - в топографии краткое описание характеристик местности (почвогрунты, гидрология, климат, инфраструктура и т.п.). На листах топографической карты масштаба 1 : 200 000 помещается на обратной стороне в обязательном порядке.

**Линейно-угловая сеть** - метод, применяемый в геодезии для передачи координат от точки к точке. Геометрически представляет собой совокупность треугольников с измеренными углами и длинами сторон. Совмещает в себе методы триангуляции и трилатерации.

**Марка** - в геодезии объект, на котором находится физическая точка. Различают марку, как центр геодезического пункта, координаты которого соотнесены с физической точкой. Визирная марка - предмет, на физическую точку которой производится наведение геодезического прибора.

**Масштаб карты** - отношение расстояния на листе карты к соответствующему расстоянию на местности. Топографические карты делят на мелкомасштабные (масштаб от 1 : 1 000 000 до 1 : 200 000) и крупномасштабные (масштаб от 1 : 100 000 до 1 :

10 000). Топографические карты более крупного масштаба (от 1 : 5 000 до 1 : 500) называются топографическими планами.

**Мензула** - специальный столик на штативе, имеющий приспособления для его горизонтирования подъёмными винтами и точного ориентирования наводящим винтом в плоскости горизонта.

**Меридиан** - линия, соединяющая какие либо точки с заданными характеристиками. В геодезии различают магнитный, геодезический и астрономический меридианы. Магнитный меридиан - проекция силовой линии геомагнитного поля на поверхность Земли. Все магнитные меридианы представляют собой сложные кривые, сходятся в северном и южном магнитных полюсах Земли. Геодезический меридиан - линия сечения поверхности земного эллипсоида плоскостью, проходящей через оба полюса Земли. Астрономический меридиан точки представляет собой след сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через направление отвесной линии в этой точке и параллельной оси вращения Земли.

**Мерная лента** - разновидность рулетки. Характеризуется большей прочностью и надёжностью за счёт большей толщины и ширины металла.

**Место зенита** – в приборах, измеряющих зенитное расстояние (например, теодолит) - несоблюдение геометрического условия, требующего, чтобы диаметр  $0^\circ - 180^\circ$  вертикального круга совпадал с отвесной линией.

**Место нуля** – в приборах, измеряющих угол наклона (например, теодолит, кипрегель) - несоблюдение геометрического условия, требующего, чтобы диаметр  $0^\circ - 180^\circ$  вертикального круга находился в плоскости горизонта.

**Метрическая информация** - в топографии числовые сведения, наносимые на топографическую карту или план: ширина дороги, длина и грузоподъёмность моста, высота деревьев в лесу и т. п.

**Наружный знак геодезического пункта** - сооружение над центром геодезического пункта, возводимое с целью поднять на заданную высоту визирную цель и, иногда, геодезический прибор. Наружные знаки различаются по конструкции и высоте: сигналы, пирамиды, туры, столбы и т. п.

**Нивелир** - геодезический прибор, позволяющий установить визирную линию в горизонтальной плоскости. Применяется для производства геометрического нивелирования.

**Нивелирная рейка** - длинная (до трёх-четырёх метров) прочная линейка с сантиметровыми или миллиметровыми делениями. Применяется для производства геометрического нивелирования.

**Нивелирный башмак** - специальная подставка, обычно стальная или чугунная, предназначенная для установки нивелирной рейки при работе на мягком, рыхлом и подвижном грунте.

**Нивелирование** - общее названия вида геодезических работ, при которых определяется превышение между точками с целью вычисления их высот в заданной системе.

**Нивелирование барометрическое** - метод получения превышения между точками, основанный на использовании разности в атмосферном давлении на разных высотах над поверхностью Земли.

**Нивелирование геометрическое** - метод определения превышения между точками, основанный на снятии отсчётов по нивелирным рейкам горизонтальной визирной линией.

**Нивелирование гидростатическое** - метод получения превышения между точками, основанный на использовании физического закона сообщающихся сосудов.

**Нивелирование тригонометрическое** - метод определения превышения между точками, основанный на измерении вертикального угла и расстояния между точками.

**Номенклатура** листа топографической карты или плана - уникальное название (наименование) листа карты в соответствии с принятой разграфкой. Определяется по вычислениям или по сборной таблице.

**Нормаль** - в геодезии линия, перпендикулярная поверхности земного эллипсоида в данной точке.

**Обратная геодезическая задача** - одна из основных геодезических задач, позволяющая по разностям координат двух точек вычислить расстояние и дирекционный угол между ними.

**Общеземной эллипсоид** - земной эллипсоид, центр которого совпадает с центром масс Земли, а малая полуось совпадает с осью вращения Земли в пределах точности измерений, достигнутых на данном этапе развития геодезии.

**Оптический центрир** – устройство в теодолите, малая зрительная труба, для размещения теодолита точно над центром пункта.

**Ориентирный пункт (ОРП)** - вспомогательный геодезический пункт, располагающийся на некотором расстоянии от основного геодезического пункта. С основного геодезического пункта на ОРП определяется дирекционный угол и расстояние до ОРП. Служит для быстрого ориентирования геодезического прибора и для поиска центра геодезического пункта в случае утраты его внешних признаков.

**Окопка** - канава в грунте заданного размера, профиля и конфигурации, окружающая центр геодезического пункта и предназначенная для обозначения пункта на местности.

**Осевой меридиан зоны** - меридиан на поверхности земного эллипсоида, являющийся центральным в проекции Гаусса-Крюгера.

**Отвес** - устройство, позволяющее определить положение отвесной линии. Различают нитяной и оптический отвесы. Первый из них представляет собой груз на нити, второй - оптический прибор, устанавливающий визирную линию по линии действия силы тяжести.

**Отвесная линия** - линия, совпадающая с вектором силы тяжести в данной точке.

**Ошибки измерений** - самопроизвольно проявляющиеся изменения в результатах измерений (в том числе геодезических) из-за влияния различных факторов: инструментальные, личные, внешней среды и т. п. Различают ошибки случайные и систематические.

**Ошибки систематические** - ошибки, которыми отягощены результаты измерения и которые проявляются всегда, с одним знаком и одинаковые по абсолютной величине.

**Ошибки случайные** - ошибки, которые имеют результаты любых измерений, но у которых нельзя предсказать заранее знак и абсолютную величину.

**Ошибка средняя квадратическая** - характеристика качества произведённых измерений или точностная характеристика геодезического прибора. Теоретические положения по средней квадратической ошибке излагаются в курсе дисциплины «Теория математической обработки измерений».

**Параллель** (геодезическая) - линия на поверхности эллипсоида, получаемая сечением плоскости, перпендикулярной малой полуоси. В каждой своей точке параллель перпендикулярна меридиану. Экватор также является параллелью.

**Пилон** - в геодезии бетонный монолит, обычно в виде четырёхгранной усечённой пирамиды, в верхней части которого располагается марка. Служит основой центра геодезического пункта.

**Пирамида** - вид наружного знака геодезического пункта в виде сооружения из трёх-четырёх сходящихся к вершине столбов; в верхней части закреплена визирная цель.

**Поверки геодезических приборов** - работы, проводимые с целью проверки соблюдения заложенных в конструкцию прибора геометрических условий.

**Полигонометрия** - метод, применяемый в геодезии для передачи координат от точки к точке через решение прямых геодезических задач. Реализуется путём проложения полигонометрического хода с измеренными углами поворота и расстояниями между точками хода.

**Полуось** - в геодезии линия, характеризующая размер земного эллипсоида. Различают большую (от центра эллипсоида до экватора) и малую (от центра эллипсоида до полюса) полуоси. Для эллипсоида Красовского размер большой полуоси равен 6378245 м. Малая полуось земного эллипсоида совпадает с осью вращения Земли (для общеземного эллипсоида) или параллельна ей (для референц-эллипсоида).

**Полюс** - крайняя точка чего-либо. В геодезии различают геомагнитный, геодезический и астрономический полюса (разделение условное). Геомагнитный полюс - точка, где сходятся силовые линии магнитного поля Земли. Геодезический полюс - точка, получаемая пересечением малой полуоси поверхности эллипсоида. Астрономический полюс - точка на поверхности Земли, через которую проходит ось вращения планеты.

**Полярное сжатие** - см. Сжатие.

**Поправка** - некая величина, прибавляемая к другой величине, например, к результатам измерений, с целью уменьшения влияния ошибок.

**Построитель плоскости** - геодезический прибор, создающий лучом лазера горизонтальную и/или вертикальную плоскость.

**Превышение** - разность высот двух точек.

**Проекция** - геометрический термин, связанный с операцией проектирования (проецирования) изображения предмета из проецируемого пространства в проективное пространство, согласно правилам, описанным в виде математических зависимостей.

**Проложение** - в геодезии: 1) проекция реальной (наклонной линии) на проективную плоскость; линия, приведённая к горизонту; 2) термин, применяющийся к реализации некоторых методов геодезии, например, проложение полигонометрического хода, проложение нивелирного хода и т.п.

**Прямая геодезическая задача** - одна из основных геодезических задач, позволяющая вычислить приращения координат по измеренным расстоянию и дирекционному углу.

**Разграфка** - принятые правила деления земной поверхности на участки для создания топографических карт и планов. Важным является то, чтобы: границы соседних листов карты соприкасались без разрывов и перекрытий, каждый лист имел уникальное название (номенклатуру).

**Редукция** - поправка в измеренную величину, вводимая в случаях: 1) когда визирная цель находилась не над центром геодезического пункта; 2) проецирования результатов измерений, выполненных на физической поверхности Земли, в проективное пространство (см. Проекция).

**Репер** - вид геодезического пункта с определённой для его марки высотой. Различают грунтовые и стенные реперы.

**Референц-эллипсоид** - земной эллипсоид с заданными параметрами, центр которого находится вблизи центра масс Земли, а его малая полуось параллельна оси вращения Земли.

**Рулетка** - узкая лента, обычно металлическая, по всей длине которой нанесена шкала, разбитая на метры, сантиметры и миллиметры. Длина рулеток колеблется от 1 м до 50 м. Используется для измерения расстояний.

**Сборная таблица** - особый вид мелкомасштабной бланковой карты на участок земной поверхности, на которой нанесена разграфка и указана номенклатура топографических карт на данный регион.

**Семантическая информация** - в топографии текстовые данные, наносимые на топографическую карту: названия населённых пунктов, рек, озёр и т. п.

**Сетка нитей** - в зрительной трубе геодезического прибора стекло с выгравированными на нём линиями и располагающееся в фокальной плоскости окуляра. Служит для точного наведения прибора на визирную цель.

**Сжатие** (полярное сжатие) - в геодезии величина, характеризующая форму земного эллипсоида. Определяется как отношение разности большой и малой полуосей к размеру большой полуоси. Для эллипсоида Красовского сжатие равно 1:298,3.

**Сигнал** - вид наружного знака геодезического пункта, представляющий собой трёх-или четырёхгранную усечённую пирамиду. В её верхней части располагают столик для инструмента, а над ним - визирную цель. Высота сигнала от 10 м и более.

**Систематическая ошибка** - см. Ошибки систематические.

**Случайная ошибка** - см. Ошибки случайные.

**Средняя квадратическая ошибка** - см. Ошибка средняя квадратическая.

**Створ** - в геодезии идущая от глаза наблюдателя прямая линия, на которой находятся две точки.

**Сфероид** - см. Эллипсоид.

**Тахеометр** – геодезический прибор, объединяющий теодолит и дальномер.

**Тахеометрическая съёмка** – вид топографических съёмок, при которых с исходного пункта измеряются направления, расстояния и вертикальные углы на все характерные точки местных объектов и рельефа (пикеты).

**Теодолит** - геодезический прибор, позволяющий измерять горизонтальные направления и вертикальные углы с точностью, характеризующейся конструкцией прибора. По конструктивной точности различают высокоточные, точные и технические теодолиты. Отдельный класс приборов составляют астрономические теодолиты.

**Топографическая карта** - такая карта, полнота содержания и точность которой позволяют решать технические задачи. Топографические карты создаются на основе результатов топографической съёмки или составления по картам более

крупного масштаба на основе генерализации изображения. Топографические карты создаются в соответствии с принятой разграфкой, название листа карты соответствует принятой номенклатуре. Различают мелкомасштабные и крупномасштабные топографические карты. Иногда в отдельную группу выделяют среднемасштабные топографические карты.

**Топографическая съёмка** - совокупность работ по созданию топографических карт или планов местности посредством измерений расстояний, высот, углов и т. п. с помощью различных инструментов (наземная съёмка), а также получение изображений земной поверхности с летательных аппаратов (аэрофотосъёмка, космическая съёмка). Изображение рельефа и местных объектов производится в соответствии с принятыми условными знаками.

**Топографический план** - топографическая карта, снятая в масштабе от 1 : 5 000 до 1 : 500. Иногда встречаются топографические планы масштаба 1 : 200.

**Топография** - раздел геодезии, в котором решаются задачи отображения поверхности Земли и объектов, располагающихся на ней, по результатам топографических съёмок на топографической карте.

**Трапеция** - в топографии лист топографической карты. Восточными и западными рамками листа карты являются меридианы. В проекции Гаусса-Крюгера меридианы сходятся к полюсам, поэтому на листе топографической карты в северном полушарии северная рамка короче южной. Отсюда, рамки листа топографической карты по форме соответствуют трапеции. Топографические планы также создаются в рамках трапеций, кроме листов масштаба 1 : 500.

**Триангуляция** - метод, применяемый в геодезии для передачи координат от точки к точке. Геометрически представляет собой совокупность треугольников с измеренными углами.

**Трилатерация** - метод, применяемый в геодезии для передачи координат от точки к точке. Геометрически представляет собой совокупность треугольников с измеренными длинами сторон.

**Тур** - вид наружного геодезического знака, представляющего собой столб с визирной целью, установленный

на марку. Для устойчивости столб обкладывается камнями в виде кургана. Применяется в горных районах на скальных основаниях.

**Угол наклона** – угол между плоскостью горизонта и направлением на визирную цель. Если направление выше плоскости горизонта – угол положительный, если ниже – отрицательный.

**Уклонение отвесной линии** - угол между нормалью к поверхности земного эллипсоида и отвесной линии.

**Уравнивание** - математическая процедура, предназначенная для нахождения поправок в измерения, соответствующих наибольшей плотности вероятности.

**Урез воды** - линии пересечения водной поверхности водоёма (озера, реки, моря) с поверхностью суши (берегом).

**Условные знаки** - совокупность стандартных изображений, использующихся для отображения рельефа и местных объектов на топографической карте или плане. Включает в себя правила нанесения графической, метрической и семантической информации.

**Фотограмметрия** - технология дистанционного зондирования Земли, позволяющая определять геометрические, количественные и другие свойства объектов на поверхности земли по фотографическим изображениям, получаемым с помощью летательных аппаратов любых видов. Применяется, в частности, при создании топографических карт.

**Фототопография** - раздел топографии, изучающий вопросы создания топографических карт с использованием информации, получаемой фотограмметрическими способами.

**Футшток** - некая рейка (линейка) с делениями, установленная в урезе воды, на котором отмечаются мгновенные её уровни. По многолетним наблюдениям можно вычислить среднее значение уровня. На острове Котлин (город Кронштадт) установлен Кронштадтский футшток. Нулевая отметка Кронштадтского футштока считается имеющей высоту в Балтийской системе высот равной нулю.

**Центрирование** - размещение геодезического инструмента или визирной цели над центром геодезического пункта (по отвесной линии).

**Центрировка** - поправка в измеренную величину, вводимая в случае, когда геодезический инструмент находился не над центром пункта.

**Центрировочный лист** - документ, создаваемый по особой методике в случаях, когда невозможно выполнить центрирование геодезического инструмента и/или визирной цели. Необходим для определения величин центрировки и редукции.

**Штатив** - в геодезии подставка на трёх раздвижных ногах для установки приборов и визирных целей.

**Экватор** - в геодезии линия на поверхности эллипсоида, получаемая сечением плоскостью, перпендикулярной малой полуоси и проходящей через центр эллипсоида.

**Экер** – геодезический инструмент, предназначенный для разбивки углов на местности.

**Эксцентриситет** – величина несовпадения центров осей двух устройств, долженствующих быть соосными.

**Электромагнитный дальномер** – геодезический прибор, предназначенный для измерения расстояния, использующий для свойства электромагнитной волны (радио- или оптического диапазона).

**Эллипсоид (сфероид)** - геометрическая фигура, получаемая вращением эллипса вокруг одной из осей. При вращении вокруг малой оси получают эллипсоид, характеризующийся полярным сжатием.

**Эталонирование** - сравнение с эталоном. Процедура, производимая с некоторыми геодезическими приборами с целью выявления величины и знака систематической ошибки, присущей данному прибору. Выполняется с целью последующего введения поправки в результаты измерения, например, при сравнении длины рабочей мерной ленты с эталонной лентой. Величина несовпадения - систематическая ошибка. Эта ошибка, взятая с обратным знаком, - поправка.

## Указатель персоналий

**Бугер** Пьер (1698 - 1758) - французский физик, астроном, специалист в области геодезической гравиметрии, один из руководителей Перуанской экспедиции по установлению формы и размеров Земли (1736 - 1746).

**Витковский** Василий Васильевич (1856 - 1924) - российский геодезист, преподавал в Военно-топографическом училище (Санкт-Петербург), автор учебников: «Практическая Геодезия», «Топография», «Картография», «Военная топография».

**Волконский** Пётр Михайлович (1776 - 1852) - начальник Главного штаба Его Императорского Величества, организатор производства геодезических и топографических работ в западных областях Российской империи, в том числе в южной части «дуги Струве».

**Гаусс** Карл Фридрих (1777 - 1855) - немецкий математик, астроном, геодезист и физик. Заложил основы высшей геодезии. Разработал основы теории ошибок измерений на основе теории вероятности, обосновал принцип наименьших квадратов для уравнивания геодезических измерений. Занимаясь исследованиями в области геометрии, разработал уникальную проекцию, названную его именем и используемую до сих пор для отображения земной поверхности и обработки геодезических построений.

**Годен** Луи (1704 - 1760) - французский астроном, академик Французской академии наук, один из руководителей Перуанской экспедиции по установлению формы и размеров Земли (1736 - 1746).

**Кассини** Жак (1677 - 1756) - французский астроном. Выполнил многочисленные астрономические и геодезические наблюдения в различных странах Европы. Участвовал в измерении дуги Парижского меридиана. В своих научных воззрениях отрицал закон всемирного тяготения, поэтому представлял Землю не в форме сплюснутого, а в форме вытянутого сфероида.

**Кондамин** Шарль Мари (1701 - 1774) - французский астроном, геодезист, путешественник, один из руководителей

Перуанской экспедиции по установлению формы и размеров Земли (1736 - 1746).

**Коперник** Николай (1473-1543) - польский астроном, создатель учения о гелиоцентрической системе мира, автор сочинения «Об обращениях небесных сфер» (1543), запрещенного католической церковью с 1616 по 1828 год.

**Красовский** Феодосий Николаевич (1878-1948), российский астроном-геодезист, член-корреспондент АН СССР. Разработал программу развития государственной геодезической сети. Обработав результаты массовых высокоточных геодезических измерений, вывел параметры земного эллипсоида, названного его именем.

**Крюгер** Иоганнес Генрих Луис (1857 - 1923), немецкий геодезист. Развил идеи Гаусса в области проецирования земной поверхности (проекция Гаусса-Крюгера) и уравнивания геодезических измерений.

**Лаплас** Пьер-Симон (1749 - 1827) - выдающийся французский математик, физик, астроном, член Французского географического общества, специалист в области небесной механики и дифференциального исчисления, один из создателей теории вероятности.

**Машимов** Мухамбет Машимович (1930 - 2001) - выдающийся учёный-геодезист, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, автор фундаментальных трудов: «Уравнивание геодезических сетей» и «Планетарные теории геодезии».

**Молоденский** Михаил Сергеевич (1909 - 1991) - российский геофизик, геодезист и астроном, член-корреспондент АН СССР. Разработал теорию определения фигуры и гравитационного поля Земли, предложил отсчитывать высоты точек от квазигеоида.

**Мопертюи** Пьер Луи де (1698 - 1759) - французский астроном и геодезист, последователь и распространитель идей И. Ньютона, руководитель Лапландской экспедиции по изучению формы и размеров Земли (1736 - 1737).

**Ньютон** Исаак (1643 - 1727) - английский физик, астроном, математик, член Лондонского королевского общества и его президент. Автор гениальнейшего произведения «Математические начала натуральной философии». В нем изложена теория всемирного тяготения, обоснованы законы движения небесных тел (законы Кеплера), математически

доказано, что Земля, по своей форме, представляет сплюснутый сфероид.

**Смит Уильям** (1769-1839) - английский геодезист и геолог, основоположник исторической геологии и стратиграфии.

**Струве Василий Яковлевич** (Фредерик-Георг-Вильгельм) (1793 - 1864) - выдающийся астроном, директор Пулковской обсерватории, профессор Дерптского университета. С целью уточнения формы и размеров Земли, по его инициативе и под его руководством, выполнены градусные измерения по «дуге Струве».

**Теннер Карл Иванович** (1783 - 1860) - российский геодезист, участник и с 1815 года - руководитель геодезических работ в южной части «дуги Струве», руководил производством топографических съёмок в западных районах Российской империи.

**Тодхантер Исаак** (1820 - 1884) - английский математик и историк науки, автор монографии «История математических теорий притяжения и фигуры Земли от Ньютона до Лапласа».

**Шуберт Фёдор Фёдорович** (1789 - 1865) - российский астроном-геодезист, автор каталога геодезических пунктов (их число в каталоге превышает 14 тысяч), начальник Корпуса военных топографов России, организатор системы подготовки топографов.

# Список рекомендуемой литературы

## Основная литература

1. Гиршберг М. А. Геодезия : учебник / М. А. Гиршберг. – Москва : ИНФРА-М, 2013. – 384 с.
2. Дьяков Б. Н. Основы геодезии и топографии : учебное пособие / Б. Н. Дьяков, В. Ф. Ковязин, А. Н. Соловьев ; ред. Б. Н. Дьяков. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 272 с.

## Дополнительная литература

1. Гаусс К. Ф. Избранные геодезические сочинения. Т. 2. Высшая геодезия / К. Ф. Гаусс. – Москва : Книга по Требованию, 2013. – 252 с.
2. Геодезия : учебник для студентов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, М. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; ред. Д. Ш. Михелев. – 11-е изд., перераб. – Москва : Академия, 2012. – 496 с.
3. Геодезия : учебник для вузов / А. Г. Юнусов, А. Б. Беликов, В. Н. Баранов, Ю. Ю. Каширкин. – Москва : Академический Проект ; Гаудеамус, 2011. – 412 с.
4. Гиршберг М. А. Геодезия: Задачник : учебное пособие / М. А. Гиршберг. – Москва : ИНФРА-М, 2014. – 288 с.
5. Золотова Е. В. Геодезия с основами кадастра : учебник для вузов / Е. В. Золотова, Р. Н. Скогорева. – 2-е изд., испр. – Москва : Академический Проект ; Фонд Мир, 2012. – 416 с.
6. Киселев М. И. Геодезия : учебник для студентов / М. И. Киселев, М. Ш. Михелев. – 11-е изд., стер. – Москва : Академия, 2014. – 384 с.
7. Курошев Г. Д. Геодезия и топография : учебник для студентов вузов / Г. Д. Курошев, Л. Е. Смирнов. – 3-е изд., стер. – Москва : Академия, 2009. – 176 с.
8. Кусов В. С. Основы геодезии, картографии и космоаэро съемки : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / В. С. Кусов. – 2-е изд., испр. – Москва : Академия, 2012. – 256 с.
9. Куштин И. Ф. Геодезия : учебно-практическое пособие / И. Ф. Куштин, В. И. Куштин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. – 909 с.

10. Нестеренок М. С. Геодезия : учебное пособие / М. С. Нестеренок. – Минск : Вышэйшая школа, 2012. – 288 с.
11. Перфилов В. Ф. Геодезия : учебник для вузов / В. Ф. Перфилов, Р. Н. Скогорева, Н. В. Усов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 2008. – 350 с.
12. Поклад Г. Г. Геодезия : учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Академический Проект ; Парадигма, 2011. – 538 с.
13. Ходоров С. Н. Геодезия – это очень просто. Введение в специальность / С. Н. Ходоров. – Москва : Инфра-Инженерия, 2013. – 176 с.
14. Чекалин С. И. Геодезия в маркшейдерском деле : учебное пособие для вузов / С. И. Чекалин. – Москва : Академический Проект, 2012. – 506 с.

### **Руководящие документы и справочная литература**

1. ОСТ 68-15-01. Измерения геодезические. Термины и определения. – М. : ЦНИИГАиК, 2001.
2. ОСТ 68-12.0.01-02. Отраслевая система стандартов по безопасности труда. Основные положения. – М. : ЦНИИГАиК, 2002.
3. ОСТ 68-14-99. Виды и процессы геодезической и картографической производственной деятельности. Термины и определения. – М. : ЦНИИГАиК, 2000.
4. Постановление Правительства РФ от 27.12.2012 N 1435 (ред. от 19.03.2014) "О федеральном государственном надзоре в области геодезии и картографии" (вместе с "Положением о федеральном государственном надзоре в области геодезии и картографии").
5. Постановление Правительства РФ от 04.08.2012 N 802 "Об утверждении Правил предоставления федеральными органами исполнительной власти сведений о содержании ведомственных картографо-геодезических фондов, находящихся в их ведении".
6. Приказ Роскартографии от 06.06.2003 N 97-пр "Об утверждении Положения о порядке передачи гражданами и юридическими лицами в федеральный картографо-геодезический фонд копий геодезических и картографических материалов и данных" (Зарегистрировано в

- Минюсте РФ 11.07.2003 N 4890).
7. Приказ Роскартографии от 29.06.1999 N 86-пр "О введении в действие Инструкции о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ. ГКИНП (ГНТА)-17-004-99".
  8. Инструкция по топографическим съёмкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – ГКИНП-02-033-82. – Москва : Недра. – 1982.
  9. Постановление Правительства РФ от 01.06.2009 N 457 (ред. от 02.11.2013) "О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии" (вместе с "Положением о Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии").
  10. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. – ГКИНП (ГНТА)-17-195-99. – Москва : ЦНИИГАиК, 1999.
  11. Инструкция о порядке предоставления в пользование и использования материалов и данных федерального картографо-геодезического фонда. - ГКИНП (ГНТА)-17-267-02. – Москва : ЦНИИГАиК, 2002.
  12. Инструкция по составлению проектно-сметной документации. - ГКИНП (ГНТА)-16-2000. – Москва : ЦНИИГАиК, 2000.
  13. "Инструкция об охране геодезических пунктов. ГКИНП-07-11-84" (утв. ГУГК СССР 02.08.1984, Минобороны СССР 22.08.1984)
  14. Руководство по планированию топографо-геодезических работ. – ГКИНП (ОНТА)-17-2000. – Москва : ЦНИИГАиК, 2000.
  15. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. – ГКИНП (ГНТА)-01-006-03. – Москва : ЦНИИГАиК, 2004.
  16. РТМ 68-13-99. Условные графические изображения в документации геодезического и топографического производства. – Москва : ЦНИИГАиК, 2000.
  17. РТМ 68-8.25-01. Порядок расчёта межповерочных интервалов для средств измерений топографо-геодезического назначения. – Москва : ЦНИИГАиК, 2001.
  18. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей: Приказ ГУГК СССР от

14 января 1991 г. № 6.

19. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах. – Москва : Недра, 1991.
20. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – Москва : Недра, 1989.
21. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства: Инженерно-геодезические изыскания (цены приведены к базисному уровню на 01.01.2001)
22. Справочник сметных укрупнённых норм на топографо-геодезические работы. - СУСН-2002. Часть I. Полевые работы. – Москва : ЦНИИГАиК, 2002.
23. Справочник сметных укрупнённых норм на топографо-геодезические работы. - СУСН-2002. Часть II. Камеральные работы. – Москва : ЦНИИГАиК, 2002.
24. Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы. Часть I. Полевые работы. – Москва: ЦНИИГАиК, 2003.
25. Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы. Часть II. Камеральные работы. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003.
26. Сметные укрупнённые расценки на топографо-геодезические работы. СУР-2002. – Москва : Федеральная служба геодезии и картографии, 2003.
27. Требования безопасности труда при эксплуатации топографо-геодезической техники и методы их контроля. РД БГЕИ 36-01. – Москва : ЦНИИГАиК, 2001.

## Аннотация сайтов Интернет

1. Российское общество содействия развитию фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Режим доступа: <http://rsprs.euro.ru/>
2. Официальный сайт Международного общества содействия развитию фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Режим доступа: <http://www.isprs.org/>
3. Сайт научного электронного журнала по геодезии, картографии и навигации. – Режим доступа: <http://www.geoprofi.ru/>
4. Сайт Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК). – Режим доступа: <http://www.miiigaik.ru/sitemap/>
5. Сайт Государственного университета по землеустройству. – Режим доступа: <http://www.guz.ru/>
6. Сайт Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК). – Режим доступа: <http://cniigaik.ru/info/>
7. Сайт Сибирской Государственной геодезической академии (СГГА), г. Новосибирск. – Режим доступа: <http://www.ssga.ru/>
8. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. – Режим доступа: [www.mcsx.ru/](http://www.mcsx.ru/)
9. Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. – Режим доступа: [www.economy.gov.ru/](http://www.economy.gov.ru/)
10. Официальный сайт Федерального агентства кадастра объектов недвижимости Российской Федерации. – Режим доступа: <http://www.kadastr.ru/>
11. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области. – Режим доступа: [www.msh.mosreg.ru/](http://www.msh.mosreg.ru/)
12. Официальный сайт некоммерческого партнерства «Кадастровые инженеры». – Режим доступа: <http://www.roscadastre.ru/>
13. Официальный сайт ГИС-ассоциации. – Режим доступа: [www.gisa.ru/](http://www.gisa.ru/)

14. Сайт саморегулируемой организации «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада». – Режим доступа: <https://www.izisk.spb.ru/>
15. Официальный сайт Федеральной службы регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) РФ. – Режим доступа: <https://rosreestr.ru/>
16. Официальный сайт Управления Росреестра по Ленинградской области. – Режим доступа: <http://www.to47.rosreestr.ru/>
17. Сайт Общества с ограниченной ответственностью "НПП Геокосмос-ГИС". – Режим доступа: <http://www.b2b-center.ru/>
18. Сайт Научного геоинформационного центра РАН. – Режим доступа: <http://www.ngic.ru/>
19. Сайт компании Геокосмос. – Режим доступа: <http://www.geokosmos.ru/>
20. Официальный сайт Федерального космического агентства РФ. – Режим доступа: <http://www.federalspace.ru/>
21. Официальный сайт КБ Панорама, Ногинск. – Режим доступа: <http://www.gisinfo.ru/edu/edu.htm>
22. Официальный сайт фирмы «Ракурс» – разработчика ПО по фотограмметрии. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/>
23. Официальный сайт фирмы Erdas Imagine – разработчика ПО по фотограмметрии. – Режим доступа: <http://www.erdas.com/>
24. Официальный сайт Американского общества фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Режим доступа: <http://www.asprs.org/>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное пособие

ISBN 978-5- 906759-14-6

Тарелкин Е. П. Геодезия : учебное пособие / Е. П. Тарелкин, А. Ф. Блинов. – Санкт-Петербург : НОИР г. Санкт-Петербург, 2015. – 181 С.

Ответственный за выпуск Грызлова А.В.  
Редактор Федорова Т.Л.

Подписано в печать 28.12.2014

Заказ № 1228/14

Формат 60x84  $\frac{1}{16}$

Усл. печ.л. 4,9.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Информационно-консалтинговый  
центр» по заказу НЧОУ ВПО  
«Национальный открытый институт г.Санкт-Петербург»

197183 г. Санкт-Петербург, ул. Сестрорецкая дом 6  
Тел. +7-812-430-07-16 доб. 224