

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет среднего профессионального образования**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО ОСВОЕНИЮ  
ДИСЦИПЛИНЫ  
ОП. 05 ГЕОДЕЗИЯ**

**Специальность 35.02.12 Садово-парковое и ландшафтное строительство**

**Форма обучения очная**

Оренбург, 2023 г.

## 1. Конспект лекций

- 1.1 Лекция № 1 Общие сведения по геодезии. Предмет геодезии.
- 1.2 Лекция № 2 Единицы измерений, применяемые в геодезии.
- 1.3 Лекция №3 Земля и ее отображение на плоскости.
- 1.4 Лекция № 4 Карта, план, профиль.
- 1.5 Лекция № 5 Разграфка и номенклатура карт и планов.
- 1.6 Лекция № 6 Ориентирование линий.
- 1.7 Лекция № 7 Осевой меридиан. Дирекционный угол.
- 1.8 Лекция № 8 Склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.
- 1.9 Лекция № 9 Угловые измерения.
- 1.10 Лекция № 10 Теодолиты.
- 1.11 Лекция № 11 Линейные измерения.
- 1.12 Лекция № 12 Вычисление длин линий.
- 1.13 Лекция № 13 Геометрическое нивелирование.
- 1.14 Лекция № 14 Нивелиры.
- 1.15 Лекция № 15 Общие сведения о геодезических сетях.

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1. 1 Лекция № 1 (2 часа).

**Тема:** Общие сведения по геодезии. Предмет геодезии.

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Предмет и задачи геодезии
2. Основные исторические этапы развития геодезии.
3. Связь геодезии с другими науками.
4. Место геодезической службы в землеустройстве и других областях народного хозяйства

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Геодезия –, что в переводе с греческого означает «землеразделение» ("гео" – земля, "де" – разделять), наука об определении фигуры, размеров и гравитационного поля Земли, а так же об измерениях на её поверхности, с целью получения карт, планов и профилей местности для удовлетворения потребностей народного хозяйства.

По назначению геодезия подразделяется на ряд самостоятельных дисциплин:

Высшая геодезия – изучает форму, размеры и гравитационное поле Земли и планет Солнечной системы с помощью высокоточных геодезических, астрономических и спутниковых измерений, занимается созданием высокоточных опорных геодезических сетей.

Космическая геодезия – наука, изучающая использование результатов наблюдений искусственных и естественных спутников Земли для решения научных и научно технических задач геодезии.

Топография – рассматривает измерения, выполняемые для создания карт, планов, профилей и цифровых моделей местности сравнительно небольших участков земной поверхности. Также топография занимается построением сетей сгущения.

Фотограмметрия – дисциплина, рассматривающая законы, методы и приборы, используемые для определения взаимного положения объектов фотографирования по фотоснимкам. Фототопография – часть фотограмметрии, рассматривающая методы получения топографических планов по фотоснимкам.

Инженерная (прикладная) геодезия – изучает геодезические работы при изысканиях (исследованиях с целью использования), проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений, при

разведке и добыче природных ресурсов. Инженерно-геодезические работы, имеющие прикладное значение, являются наиболее обширными.

Картография – занимается разработкой и изучением методов и процессов создания карт, планов, атласов и другой картографической продукции обширных территорий, всей поверхности Земли и других планет.

Морская геодезия занимается геодезическими работами на море и съемками шельфа.

Возможность использования искусственных спутников Земли для решения геодезических задач привела к появлению новых разделов геодезии – космической геодезии и геодезии планет.

По способу производства работ различают наземную геодезию, аэрогеодезию, космическую геодезию, подземную геодезию (маркшейдерию) и подводную геодезию. Четко обозначенных границ между перечисленными дисциплинами нет. Так, топография включает в себя элементы высшей геодезии и картографии, инженерная геодезия использует разделы практических всех остальных геодезических дисциплин и т.д.

Среди многих задач геодезии можно выделить долговременные задачи и задачи на ближайшие годы.

К первым относятся: определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли; распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей Земли в целом; изображение участков поверхности Земли на топографических картах и планах; изучение глобальных смещений блоков Земной коры; и другие.

Ко вторым, в настоящее время, относятся: создание и внедрение геоинформационных систем; создание государственных и локальных кадастров: земельного, водного, лесного, городского и т.д.; топографо-геодезическое обеспечение делимитации (определения) и демаркации (обозначения) государственной границы России; разработка и внедрение стандартов в области цифрового картографирования; создание цифровых и электронных карт и их банков данных; разработка концепции и государственной программы повсеместного перехода на спутниковые методы автономного определения координат; создание комплексного национального атласа России; и другие.

**2.Геодезия** – одна из древнейших наук на Земле. Строительство выдающихся инженерных сооружений глубокой древности (каналы, дворцы,

храмы, пирамиды в Египте, древние города Индии с их удивительно правильной планировкой, оросительные системы в Японии, Великая китайская стена и т.д.) было немыслимо без глубокого знания основ геодезии и без наличия необходимых геодезических приборов.

В России первые геодезические работы, связанные с установлением границ земельных участков, датируются еще XI – XII вв.

Особенно большое развитие геодезические работы в России получили начиная с XVIIв. в связи с изобретением зрительной трубы с сеткой нитей и разработкой метода триангуляции.

Методы инженерной геодезии и картографии широко использовались и совершенствовались в период Петровских реформ, а дальнейшее их развитие связано с именем великого русского ученого М.В.Ломоносова, который с 1757 по 1763 годы возглавлял Географический департамент при Российской Академии наук, созданный в 1739г. В 1743г. в Географическом департаменте был создан «Атлас Российской империи» с пограничными землями.

С XVIIIв. развиваются и совершенствуются такие специальные виды съемок, как межевые, лесные, гидрографические, а с середины XIX столетия и путей сообщения.

В 1919г. создается Государственная картографо-геодезическая служба, реорганизованная впоследствии в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) Министерства геологии и охраны недр СССР.

Огромное внимание в этот период уделялось подготовке научных и производственных кадров геодезистов и картографов. Так, в 1928г. в стране был создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК), а также сеть вузов геодезического профиля, таких как МИГАиК и др.

Сотрудникам ЦНИИГАиК под руководством Ф.Н.Красовского были проведены фундаментальные исследования по определению формы и уточненных размеров Земли, получившие мировое признание, положенные в основу картографо-геодезических работ в СССР и ряде других стран. Принята и реализована программа государственной триангуляции.

Получило развитие отечественное приборостроение. Российскими конструкторами разработаны конструкции новых современных геодезических приборов, а отечественной промышленностью налажено производство оптических, электронных, стереофотограмметрических и лазерных приборов.

В годы первых послевоенных пятилеток в народном хозяйстве стали находить все более широкое применение методы аэросъемок, а после запуска первых искусственных спутников Земли и методы космических съемок.

В настоящее время в связи с появлением систем спутниковой навигации «GPS», позволяющих быстро и с высокой точностью определять трехмерные координаты характерных точек местности, в инженерной геодезии происходит кардинальный пересмотр технологии и методов производства инженерно-геодезических работ.

Достижения отечественной геодезии, картографии, аэросъемки, электронной, лазерной и космической геодезии позволили разработать и перейти к использованию качественно новых технологий системного автоматизированного проектирования; строительства и эксплуатации инженерных объектов.

**3.Геодезия** тесно связана с другими науками. Методы решения научных и практических задач геодезии основываются на законах математики и физики. На основе математики производится обработка результатов измерений, позволяющая получать с наибольшей достоверностью значения искомых величин. Задача изучения фигуры Земли и ее гравитационного поля решается на основе законов механики. Сведения из физики, особенно ее разделов – оптики, электроники и радиотехники, необходимы для разработки геодезических приборов и правильной их эксплуатации. Изобретение лазера привело к появлению лазерных геодезических приборов – лазерных нивелиров и светодальномеров. Кодовые измерительные приборы с автоматической фиксацией отсчетов могли появиться только на определенном уровне развития микроэлектроники и автоматики. Что же касается информатики, то ее достижения вызвали в геодезии подлинную революцию, которая происходит сейчас на наших глазах. Геодезия связана с астрономией, геологией, геофизикой, геоморфологией, географией и другими науками. Геоморфология наука о происхождении и развитии рельефа земной поверхности необходима геодезии для правильного изображения форм рельефа на планах и картах. Без знания размеров и формы Земли невозможно создание топографических карт и решение многих практических задач на земной поверхности. Планы и карты должны быть ориентированы

относительно стран света, поэтому геодезия пользуется астрономическими методами определения углов ориентирования линий местности. География помогает понять некоторые закономерности в природе и правильно отобразить их на плане.

**4.** Для государственного планирования и развития производительных сил страны необходимо изучать ее территорию в топографическом отношении. Топографические карты и планы, создаваемые геодезистами, нужны всем, кто работает или передвигается по Земле: геологам, морякам, летчикам, проектировщикам, строителям, земледельцам, лесоводам, туристам, школьникам и т.д. Особенno нужны карты армии: строительство оборонительных сооружений, стрельба по невидимым целям, использование ракетной техники, планирование военных операций, – все это без карт и других геодезических материалов просто невозможно.

Материалы геодезических работ в виде планов, карт и числовых величин (координат и высот) точек земной поверхности имеют большое применение в различных отраслях народного хозяйства. Они используются при проектировании, строительстве и эксплуатации дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, каналов, подземных коммуникаций, воздушных сетей, зданий, сооружений и т.д.

Организация и землеустройство сельскохозяйственных предприятий, осушение и орошение земель, проведение мероприятий по борьбе с эрозией почв, работы по ведению лесного хозяйства также немыслимы без геодезии.

Землестроительные органы занимаются проблемой рационального использования земель, ведется их систематический учет, все эти вопросы можно решить только с помощью картографо-геодезического материала.

## 1. 2 Лекция №2 (2 часа).

**Тема:** Единицы измерений, применяемые в геодезии

### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Единицы измерений, применяемые в геодезии
2. Правила работы с округленными числами. Тригонометрические функции.
3. Общие правила оформления материалов

### 1.2.1 Краткое содержание вопросов:

1. За единицу линейных и высотных измерений в геодезии принят метр:

$$1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 1000 \text{ мм} = 1 \ 000 \ 000 \text{ мкм.}$$

Единицей для измерений углов служит градус ( $^{\circ}$ ), представляющий  $1/90$  прямого угла, или  $1/360$  окружности:

$$1^{\circ} = 60'; \quad 1' = 60''.$$

Меньше распространена градовая система, в которой 1 град составляет  $1/400$  окружности (сотенная система, прямой угол делят на 100). Градовая минута –  $1/100$  града, градовая секунда –  $1/100$  градовой минуты:

$$1q = 100c; \quad 1c = 100cc.$$

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерений служит гон, равный 1 граду или  $54$  угловым минутам. Тысячная доля гона, равная  $3,24$  угловых секунд, называется миллигон.

В радианной мере (отношение длины соответствующей дуги к ее радиусу) окружность длиной  $2\pi$  содержит  $2\pi$  радиан:

$$\rho^{\circ} = 57,3^{\circ}; \quad \rho' = 3438'; \quad \rho'' = 206265''.$$

Для перевода угла из градусной меры в радианную надо разделить его значение на радиан в соответствующих единицах.

$$\alpha = \alpha^{\circ} / \rho^{\circ} = \alpha' / \rho' = \alpha'' / \rho''.$$

Единица измерения площадей кв. метр:

$$10 \ 000 \text{ м}^2 = 1 \text{ га (гаектар)}; \\ 1 \ 000 \ 000 \text{ м}^2 = 100 \text{ га} = 1 \text{ км}^2.$$

### 2. Правила округления:

1. Если первая из отбрасываемых цифр (считая слева на право) меньше 5, то последняя сохраняемая цифра не меняется:

$$12,23 \approx 12,2; 0,02499 \approx 0,02; 8449 \approx 84 \cdot 10^2; 12456 \approx 12 \cdot 10^3.$$

2. Если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) больше 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу:

$24,6 \approx 25$ ;  $0,2361 \approx 0,24$ ;  $1483 \approx 15 \cdot 10^2$ ;  $0,00375 \approx 0,004 \approx 4 \cdot 10^{-3}$ .

3. Если отбрасываемая часть равна 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу, если она нечетная, или оставляют без изменения, если она четная:

$4,55 \approx 4,6$ ;  $122,5 \approx 122$ ;  $0,0695 \approx 0,07 \approx 70 \cdot 10^{-3}$ .

4. Необходимо знать, с какой точностью надо производить вычисления, до каких знаков производить округления. Нельзя оставлять лишние знаки, но всегда нужно сохранять необходимые.

5. Округление приближенных чисел необходимо выполнять сразу до требуемого разряда.

### Тригонометрические функции.

Синусом (sin) острого угла прямоугольного треугольника называют отношение катета, лежащего против этого угла, к гипотенузе.

Косинусом (cos) называется отношение катета, прилежащего к этому углу, к гипотенузе.

Тангенсом (tg) называется отношение катета, лежащего против этого угла, к катету, прилежащему к этому углу.

Котангенсом (ctg) называется отношение катета, прилежащего к этому углу, к катету, лежащему против этого угла.

3. Четкость ведения записей достигается следующим образом:

1) цифры пишутся разборчиво, легко читаемо, красиво. Нельзя писать скорописью, надо выработать почерк или пользоваться специальным шрифтом;

2) числа в столбцах надо записывать так, чтобы цифры соответствующих разрядов были под цифрами тех же разрядов в записанном выше числе;

3) все результаты измерений, выполненные с одинаковой точностью, пишутся с одинаковым числом знаков, например, если длины линий измеряют с точностью до 0,01 м, то записи их длин должны быть 248,60 м и 164,30 м, а не 248,6 и 164,3 м; если углы измеряют с точностью до 0,1', то записи их величин должны быть  $75^{\circ}16,0'$  и  $243^{\circ}37,5'$ , а не  $75^{\circ}16'$  и  $234^{\circ}37'30''$ ;

4) значение минут и секунд всегда записывают двузначным числом, например,  $138^{\circ}06'05''$  и  $4^{\circ}01'02''$ , а не  $138^{\circ}6'5''$  и  $4^{\circ}1'2''$ ;

5) большие многозначные цифры надо писать с интервалами в целых числах и в десятичных дробях, начиная от правой руки к левой, каждые три цифры, например: 6 163 176,3; 12 198 553,0; 0,76 345; 0,001 345 и т.д.

Все результаты промежуточных вычислений надо контролировать или повторением этих вычислений, или получением их другим путем. Не проконтролировав предыдущее действие нельзя двигаться дальше.

Все материалы оформляются черной пастой. Заголовки в тексте выделяют или шрифтом, или подчеркиванием (одной или двумя линиями). Неверные записи аккуратно зачеркивают одной чертой. Грязь в записях недопустима.

Отступы при работе с листами формата А-4: слева – 3 см; справа – 1 см; снизу и сверху – 2 см. Текст пишется с одной стороны листа.

При заполнении ведомостей рекомендуется пользоваться геодезическим вычислительным шрифтом. Цифры 1 и 0 пишутся посередине; 2, 4, 6 и 8 выступают чуть выше; а 3, 5, 7 и 9 чуть ниже средней линии.

## 1. 3 Лекция № 3 (2 часа).

**Тема:** Земля и ее отображение на плоскости

### 1.3.1 Вопросы лекции:

1. Понятие о физической поверхности Земли, ее форме и размерах
2. Системы координат
3. Система пространственных координат
4. Система прямоугольных координат на плоскости

### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Земля не является правильным геометрическим телом, ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большая часть углублений заполнена водой океанов и морей (71% занимает океан).

Поверхность суши Земли со всеми ее неровностями называют физической, или топографической поверхностью. Она очень сложна и трудно поддается математическому выражению. Поэтому для построения карт приходится проецировать ее на иную, более простую, теоретическую поверхность, которую называют уровенной.

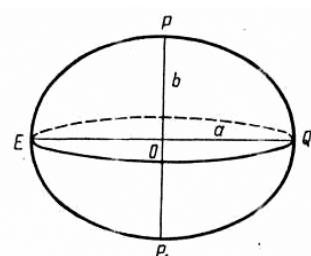
Основная уровенная поверхность – поверхность Мирового океана (средний уровень воды в океанах), мысленно продолженная под материками. По сравнению с физической поверхностью, уровенную отличает большая сглаженность.

Основная уровенная поверхность образует общую фигуру Земли – геоид. Свойство поверхности геоида – в каждой своей точке она нормальна (перпендикулярна) к направлению отвесной линии, проходящей через эту точку (действие силы тяжести).

Поверхность геоида сложная и неправильная, что не дает возможности пользоваться ею при геодезических и картографических расчетах. Поэтому за математическую фигуру для Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду, который ориентируют в теле Земли. Называется он – референц – эллипсоид Ф.К. Красовского.

В разных странах размеры земного эллипсоида несколько различаются. В России с

1946 г. для геодезических и картографических работ приняты следующие размеры: большая полуось  $a=6\ 378\ 245$  м; малая полуось  $b=6\ 356\ 863$  м; полярное сжатие  $\alpha=(a-b)/a=1/298,3$



В ряде случаев Землю принимают за шар с радиусом (□).

$$\square = 6\ 371\ 110 \text{ м} \approx 6\ 371,11 \text{ км.}$$

EQ  
– экваториальная ось; PP1 – полярная ось

Рис.2. Земной эллипсоид.

2. Определение положения точки на Земной поверхности – одна из основных задач в геодезии.

Система координат – опорная система для определения положения точек в пространстве или на плоскостях и поверхностях относительно выбранных осей, плоскостей или поверхностей.

В геодезической практике применяется большое количество систем координат: общеземные системы, референцные системы, системы астрономических, пространственных, прямоугольных и геодезических координат, система прямоугольных координат на плоскости и т.д.

Если положение точки физической поверхности Земли определяется её проекцией на поверхность геоида, то система координат астрономическая; если на поверхность эллипсоида, то – геодезическая; если на поверхность шара, то – географическая.

Различие геодезических и астрономических координат точки зависит от угла между отвесной линией данной точки и нормалью к поверхности эллипсоида в этой же точке. Этот угол называется уклонением отвесной линии ( $\epsilon$ ); он обычно не превышает  $5''$ . В некоторых районах Земли, называемых аномальными, уклонение отвесной линии достигает нескольких десятков секунд.

При геодезических работах невысокой точности астрономические и геодезические координаты не различают; их общее название – географические координаты – используется довольно часто

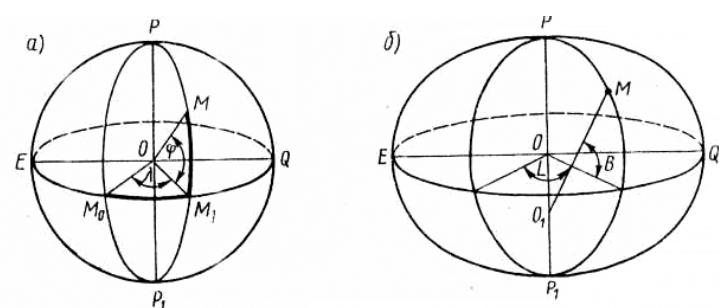
3. В пространственной системе координат положение любой точки определяется тремя координатами – долготой, широтой и высотой точки.

Долгота ( $\lambda$  на рис.4а и  $L$  на рис.4б) двугранный угол, образованный плоскостью начального (Гринвичского) меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку.

Начальным меридианом на поверхности Земли принято считать меридиан, проходящий через центр меридианного зала старейшей в Европе астрономической обсерватории в городе Гринвиче, вблизи Лондона.

Долготы бывают восточные и западные, к западу от Гринвича – западные и к востоку – восточные. Измеряются от  $0^\circ$  (на Гринвичском меридиане) до  $180^\circ$ .

За писывают так:  $62^\circ$



в.д.;  $124^\circ$  з.д. Рис.4. Система пространственных координат:

а)  
географических;

Линия, проходящая через точки с одинаковыми долготами, называется меридианом.

Широта ( $\phi$  на рис.4а и  $B$  на рис.4б) угол, образованный плоскостью экватора и отвесной линией, проходящей через данную точку.

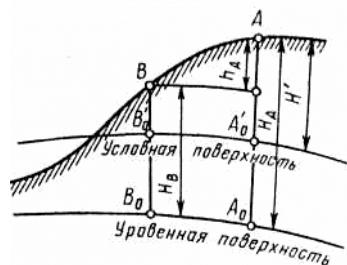
Широты бывают северные и южные. Измеряются от  $0^\circ$  (на экваторе) до  $90^\circ$  (на земных полюсах).

Записывают так:  $56^\circ$  с.ш.;  $48^\circ$  ю.ш.

Линия, проходящая через точки с одинаковыми широтами, называется параллелью.

Высотой, или альтитудой (от лат.), точки земной поверхности называется расстояние по вертикали от этой точки до уровенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется ее отметкой.

Абсолютной высотой ( $HA$ ,  $HB$ ) точки земной поверхности называется отвесное расстояние от этой точки до уровенной поверхности Земли (рис.5). В России началом счета абсолютных высот является нуль Кронштадтского футштока (от англ. фут – единица длины и нем. Stock – палка, стержень). На местности это пластина, прикрепленная к устою



моста через Обводной канал в г. Кронштадте, на Рис.5. Высоты точек, которой отмечен средний уровень воды в Финском заливе.

Условной высотой ( $H'A$   $H'B$ ) точки земной поверхности называется отвесное расстояние от этой точки до уровенной поверхности, условно принятой за исходную (нулевую).

Относительной высотой, или превышением ( $hBA$ ), точки земной поверхности называется высота этой точки над другой точкой земной поверхности.

$$hBA = HB - HA = H'B - H'A. \quad (1)$$

4. Выполнять геометрические вычисления на плоскости проще, чем на криволинейной поверхности эллипсоида. Поэтому осуществляют проецирование референц-эллипсоида на плоскость, результатом чего является плоскость, принятая для обработки геодезических измерений называемая геодезической (картографической) проекцией.

В России топографические карты строят в равноугольной поперечной цилиндрической проекции и соответствующей ей системе плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера (названа по имени немецких ученых, предложивших эту проекцию и разработавших формулы для применения ее в геодезии).

Систему Гаусса–Крюгера иногда называют зональной, потому что поверхность Земли делят меридианами на зоны и в каждой зоне принимается своя система координат.

Последовательность построения равноугольной поперечной цилиндрической проекции Гаусса–Крюгера:

1. Поверхность эллипсоида условно делят меридианами на  $6^{\circ}$ -ые зоны (для планов масштабов 1:5000 и крупнее зоны  $3^{\circ}$ -ые) (рис.6). Всю земную поверхность охватывает

60 6°-ых зон. Счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток. Первая зона ограничена меридианами с долготами

180° и 174° з.д., вторая – 174° и 168° з.д. и т.д. Средний меридиан зоны называется осевым.

Долгота осевого меридиана любой зоны определяется по формуле:

$$L0=60 \cdot N - 30, \quad (2)$$

где  $N$  – номер  $6^\circ$ -ой зоны.

Если номер зоны больше 30, то из него необходимо вычесть 30:

$$L = 6^\circ \cdot (N - 30) - 3^\circ. \quad (3)$$

2. Каждую зону проецируют на

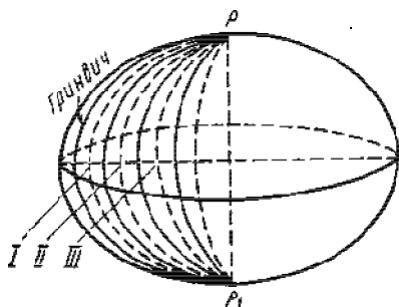
внутреннюю боковую поверхность цилиндра (рис.7), направляющая которого (AB, A1B1, PP1) совпадает со средним, осевым, меридианом зоны. Каждая зона имеет вид двуугольника, ограниченного двумя меридианами.

1. Поверхность цилиндра разрезают по образующим (AA1, BB1) и

развертывают в плоскость. При этом осевой меридиан изобразится без искажений прямой линией, а ось абсцисс  $XX$ ; экватор  $QQ_1$  также изобразится прямой линией, перпендикулярной к осевому меридиану, — его прямой линией  $YY$ . Начало координат в каждой зоне в точке пересечения осевого меридиана — т.  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ , и т. д. (рис. 8.).

На топографических картах и планах прямоугольные координаты X и Y представлены прямоугольной координатой (километровой) сеткой;

2. Положительным направлением абсцисс считается направление от экватора к северу, положительным направлением ординат — направление от осевого меридиана на восток. Для всех точек на территории нашей страны абсциссы имеют положительный знак. Для того чтобы ординаты точек также были только



### Рис.6. Деление эллипсоида на зоны.

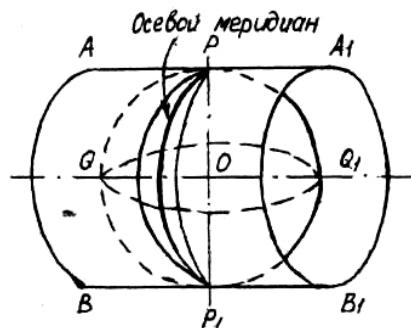
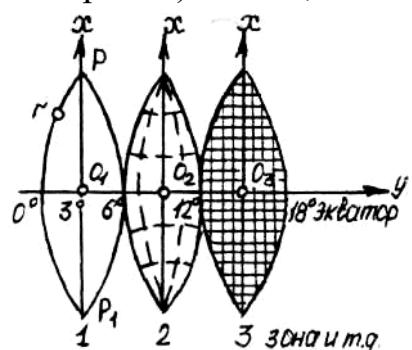


Рис.7. Проектирование зон.



положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км. Ширина зоны на экваторе около 670 км, т.е. крайние точки зоны удалены от осевого меридиана примерно на 335 км. Т.о. точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, а к востоку – больше 500 км (рис.9). Эти ординаты называются преобразованными (приведенными) –  $\bar{Y}$  :  $\bar{Y} A=500 \text{ км} + Y A$ ;  $\bar{Y} B=500 \text{ км} + Y B$ .

Для однозначного определения положения точки перед каждой приведенной ординатой ставится номер зоны.

Рис.8. Зоны, развернутые в плоскости.

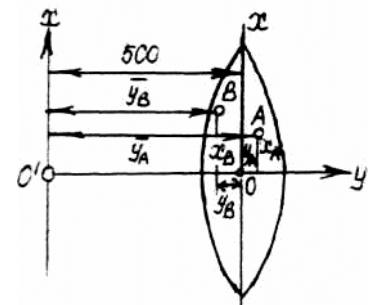


Рис.9. Прямоугольные координаты.

Например, если наши точки А и В (рис.9), расположены в 11-ой зоне, то у них будут примерно такие приведенные ординаты:

$$Y A=11 \ 611,24 \text{ км}; \quad \bar{Y} B=11 \ 319,32 \text{ км}.$$

Можно определить положение точек относительно осевого меридиана:

$$Y A=611,24-500=+111,24 \text{ км};$$

$$Y B=319,32-500=-180,68 \text{ км}.$$

Результаты указывают на то, что т.А расположена к востоку от осевого меридиана (т.к. знак «+») на 111,24 км, а т.В – к западу (т.к. знак «-») на 180,68 км.

Начало отсчёта плановых координат для всех карт находится в центре Круглого зала Пулковской обсерватории г. Санкт-Петербурга.

Можно использовать условную систему координат.

Система пространственных координат удобна для изучения всей физической поверхности Земли или значительных её участков. Проекция Гаусса в географическом отношении не имеет практического значения, т.к. даёт изображение земной поверхности с разрывами. Но её ценность в том, что в силу малых искажений сближает карту с планом и позволяет назначить систему плоских координат в каждой зоне, что удобно при решении инженерных задач.

## 1. 4 Лекция № 4 (2 часа).

**Тема:** Карта, план, профиль

### 1.4.1 Вопросы лекции:

1. Методы проекций в геодезии
2. Понятие о карте, плане, профиле
3. Масштабы и их точность

### 1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Для изображения земной поверхности на плоскости применяют специальные картографические проекции, которые строят по определенным математическим правилам.

Бывают равноугольные, равновеликие, произвольные проекции. Равноугольная проекция (подобная) – используется для крупномасштабных карт. Равновеликая проекция (равноплощадная) – используется для политических карт (обзорных, средне- и мелкомасштабных). В произвольной проекции искажение допускается по наименее интересующей характеристике. Способ проецирования выбирают в зависимости от назначения карты и допускаемых вида и величин искажений.

К простейшим проекциям, используемым в геодезии, относятся ортогональная и центральная проекции.

При ортогональной проекции линии проецирования перпендикулярны плоскости проекции (рис.15а). Линия  $ab$  является проекцией наклонной линии  $AB$ , т.е. ее горизонтальным положением. Многоугольник  $abcde$  является ортогональной проекцией многоугольника  $ABCDE$ .

При центральной проекции проектирование выполняют линиями, исходящими из одной точки (рис.15б), которая называется центром проекции, на рис.2.15б это точка  $O$ .

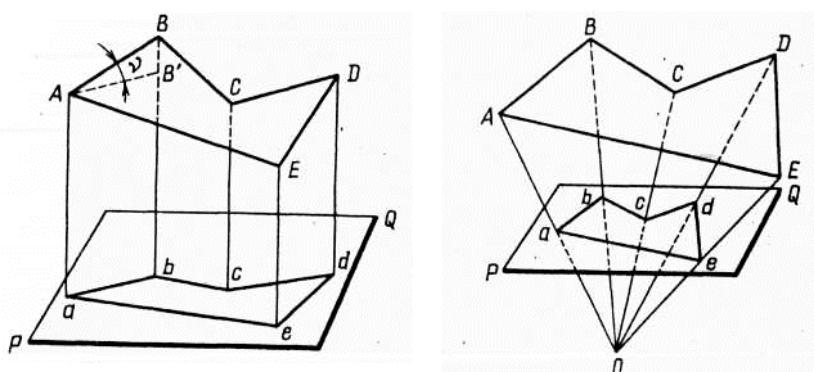


Рис.15. а) ортогональная проекция; б) центральная проекция.

2.Карта – уменьшенное и искаженное за кривизну Земли изображение значительных территорий Земной поверхности на плоскости, построенное в определенной картографической проекции.

Карты принято подразделять по содержанию и масштабу.

По содержанию карты подразделяются на универсальные и специализированные.

К универсальным относятся карты общегосударственного картографирования. Это карты многоцелевого назначения, поэтому на них отображают все элементы местности: населенные пункты, гидрография и т.д.

Специализированные карты создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли, на них выборочно показывают ограниченный круг элементов (карты морские, авиационные, почвенные, геологические и многие другие сравнительно узкого назначения).

По масштабам карты условно делят на три вида:

1) мелкомасштабные (мельче 1:1 000 000) – это карты обзорного характера (географические) и в геодезии практически не применяются;

2) среднемасштабные (1:1 000 000 – 1:200 000) – обзорно-топографические карты;

3) крупномасштабные (1:100 000 и крупнее) – топографические карты

Принятый в РФ масштабный ряд заканчивается масштабами 1:5 000; 1:2 000; 1:1 000; 1:500.

План – уменьшенное картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна Земли не учитывается (примерно 20x20 км).

Если на плане изображены только объекты местности, то такой план называют контурным (ситуационным). Ситуация – совокупность объектов местности. Если дополнительно на плане отображен рельеф, то такой план называют топографическим.

Стандартные масштабы планов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500.

#### Отличия карты и плана:

Карта	План
1. Картографическая сетка, образованная географическими меридианами и параллелями.	1. Километровая сетка, образованная линиями, параллельными осевому меридиану и экватору.
2. Установленный для карты главный масштаб соблюдается лишь по одному направлению (меридиану или параллели), в остальных точках карты масштабы отличаются и называются частными.	2.Масштаб в пределах плана постоянен во всех направлениях.

<p>3.Карты выполняют в масштабах: 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000 и мельче.</p>	<p>3.Планы строят в масштабах: 1:100; 1:500; 1:1 000; 1:2 000; 1:5 000 и реже 1:10 000.</p>
--	---

Профиль местности – уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Как правило

разрез местности представляет собой кривую линию А,В,С...Г, а на профиле она строится в виде ломаной линии abc...q.

**3.Масштаб** – отношение длины линии на плане или карте (s) к горизонтальному расположению этой линии на местности (S).

Масштаб – степень уменьшения горизонтального проложения линии на местности (S), при изображении ее на плане или карте (s).

$1 : M = s : S$ .

Масштабы бывают численные, именованные и графические.

Численный масштаб – выражается дробью, числитель которой равен 1, а знаменатель показывает степень уменьшения линии. Его записывают, например, так: «1:500». Это значит, что в 1 см на плане (карте) содержится 500 см на местности (5 м).

Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее масштаб.

На топографических картах численный масштаб подписывается внизу листа карты.

Именованный масштаб – пояснение, указывающее соотношение длин линий на плане (карте) и на местности. Его записывают так: «в 1 см – 100 м». Эта запись соответствует масштабу 1:10 000 (в 1 см плана (карты) 10 000 см местности).

Графический масштаб бывает линейный и поперечный.

1. Линейный масштаб – графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии, разделенной на равные отрезки, соответствующие «круглым» десятичным числам расстояний местности.

Линейный масштаб подписывают в соответствии с численным масштабом карты. Он всегда вычерчивается за южной стороной рамки

листа топографической карты. Его используют для измерения с небольшой точностью длин отрезков на плане (карте).

Порядок построения линейного масштаба (рис.17):

1. Проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок постоянной длины, называемый основанием масштаба. При длине основания 2 см линейный масштаб называется нормальным;

2. У конца первого отрезка ставится нуль. Вправо от нуля подписывают несколько оснований;

3. Влево от нуля подписывают одно основание масштаба и делят его на 10 или 5 равных частей, называемых наименьшими делениями линейного масштаба;

4. Параллельно основной прямой проводят еще одну прямую и между ними прорезывают короткие штрихи.



Рис.17. Линейный масштаб.

Чтобы измерить длину линии на карте с помощью линейного масштаба, фиксируют ее раствором циркуля-измерителя. Затем правую иглу ставят на какое-либо деление правее нуля так, чтобы левая игла находилась внутри первого основания. Считают число целых делений (оснований масштаба) и число наименьших делений между правой и левой иглами циркуля-измерителя. Суммируют их, и определяют длину линии.

Так как доли наименьшего деления линейного масштаба отсчитываются «на глаз», то это понижает точность.

2. Поперечный масштаб применяют для более точных измерений длин линий на планах и картах.

Порядок построения поперечного масштаба (рис.18):

1. Проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок постоянной длины, называемый основанием масштаба. Если основание масштаба равно 2 см, то масштаб называется нормальным;

2. Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры к этой прямой;

3. На перпендикулярах откладывают 10 или 5 равных частей и через полученные точки проводят линии параллельные основанию;

4. Крайнее левое основание делят на 10 или 5 равных частей. Точки соединяют под наклоном; эти линии называют трансверсалами;

5. Если на левом основании и на параллельных линиях откладывают по 10 равных частей, то масштаб называется сотенным;

6. Оцифровывают масштаб.

Теория поперечного масштаба заключается в выводе формулы цены его наименьшего деления (на рис.18 – а1в1). У сотенного масштаба цена наименьшего деления равна одной сотой доле основания.

Поперечным масштабом пользуются следующим образом:

1. Длину линии на карте фиксируют раствором циркуля-измерителя;  
2. Откладывают на нижней линии поперечного масштаба замер длины таким образом, чтобы правая игла циркуля-измерителя была на целом делении основания масштаба, а левая заходила за 0;



Рис.18. Поперечный масштаб.

3. Если левая игла попадает между десятыми делениями левого основания, то обе иглы циркуля-измерителя поднимают вверх, пока левая игла не попадёт на трансверсаль. При этом следят, чтобы иглы находились на одной горизонтальной линии;

4. Длина измеряемой линии складывается из трех отсчетов: отсчет целых оснований, умноженный на цену основания, плюс отсчет делений левого основания, умноженный на цену деления левого основания, плюс отсчет делений вверх по трансверсали, умноженный на цену наименьшего деления масштаба;

5. Точность измерения длины линий по поперечному масштабу оценивается половиной цены его наименьшего деления.

На рис.18 показаны отложенные расстояния:

– расстояние  $TU$  отложено неверно;

– расстояние  $PQ$  равно двум целым основаниям, умноженным на цену основания, плюс девять делений левого основания, умноженных на цену деления левого основания, плюс пять делений вверх по трансверсали, умноженных на цену наименьшего деления масштаба. Если принять, что данный поперечный масштаб построен для численного масштаба 1:2 000, то получаем: цена основания равна 40 м, цена деления левого основания равна 4 м, цена наименьшего деления масштаба равна 0,4 м. Значит  $PQ=2\cdot40\text{ м}+9\cdot4\text{ м}+5\cdot0,4\text{ м}=118\text{ м}$ .

– расстояние  $\square S$  равно трем целым основаниям, умноженным на цену основания, плюс пять делений левого основания, умноженных на цену деления левого основания, плюс семь делений вверх по трансверсали, умноженных на цену наименьшего деления масштаба. Если принять, что

–данный поперечный масштаб построен для численного масштаба 1:5 000, то получаем: цена основания равна 100 м, цена деления левого основания равна 10 м, цена наименьшего деления масштаба равна 1 м. Значит  $\square S=3\cdot100\text{ м}+5\cdot10\text{ м}+7\cdot1\text{ м}=357\text{ м}$ .

–Точность масштаба.

–Точность измерений по картам и точность графических построений на бумаге связаны как с техническими возможностями измерений, так и с разрешающей способностью человеческого зрения. Точность построений на бумаге (графическую точность) принято считать равной 0,2 мм. Разрешающая способность нормального зрения близка к 0,1 мм.

–Точность масштаба – длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая на карте отрезку 0,1 мм. Практический смысл этого понятия заключается в том, что детали местности, имеющие размеры меньше точности масштаба, на карте в масштабе изобразить невозможно, и приходится применять так называемые внemасштабные условные знаки.

–Так, для плана масштаба 1:5 000 точность масштаба будет равна

$-0,5\text{ м}; 1:10\ 000 - 1\text{ м}; 1:25\ 000 - 2,5\text{ м}; 1:1\ 000 - 0,1\text{ м}$ .

—Кроме понятия "точность масштаба" существует понятие "точность плана". Точность плана показывает, с какой ошибкой нанесены на план или карту точечные объекты или четкие контуры. Точность плана оценивается в большинстве случаев величиной 0,5 мм; в нее входят ошибки всех процессов создания плана или карты, в том числе и ошибки графических построений.

## **1. 5 Лекция № 5 (2 часа).**

**Тема:** Разграфка и номенклатура карт и планов

### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Понятие разграфки и номенклатуры карт и планов
2. Разграфка и номенклатура крупномасштабных планов

#### **1.5.1 Краткое содержание вопросов:**

**1.** Для удобства издания и практического пользования топографическую карту большой территории делят на листы, объединенные единой системой разграфки и номенклатуры.

**Разграфка** — схема расположения отдельных листов многолистной карты.

**Номенклатура** — система обозначения отдельных листов многолистной карты.

В нашей стране принята международная система разграфки и номенклатуры топографических карт. Ее основой является лист карты масштаба 1:1 000 000. Разграфка на листы этой карты производится по

широте через  $4^{\circ}$  и по долготе через  $6^{\circ}$ . Каждый лист занимает только ему принадлежащее место.

Четырехградусные полосы между двумя параллелями называют рядами, их обозначают заглавными буквами латинского алфавита от A до V от экватора к северу и к югу. Полных рядов в каждом полушарии 22.

Шестиградусные полосы (двуугольники) между двумя меридианами называются колоннами, их нумеруют арабскими цифрами с запада на восток. Колонна №1 ограничена меридианами  $180^{\circ}$  и  $174^{\circ}$  з.д., №2 —  $174^{\circ}$  и  $168^{\circ}$  з.д. Таким образом, Гринвичский меридиан ( $0^{\circ}$ ) разграничивает 30 и 31 колонны. Всю земную поверхность охватывают 60 колонн.

Номенклатура листа миллионной карты складывается из буквы ряда и номера колонны. Например, трапеция, заключенная между параллелями  $52^{\circ}$  и  $56^{\circ}$  с.ш. и между меридианами  $36^{\circ}$  и  $42^{\circ}$  в.д. будет иметь номенклатуру N—37.

По мере приближения к полюсам колонны и, следовательно, трапеции заметно сужаются. Для удобства пользования севернее 60-й параллели листы карт издаются сдвоенными по долготе, севернее 76-й параллели — счетверенными.

С укрупнением численного масштаба в 2 раза площадь изображения увеличивается в 4 раза. Вследствие этого невозможно показать на одном стандартном листе ту же территорию в более крупном масштабе.

Разграфка листов карт последующих более крупных масштабов, строится так, что каждому листу карты масштаба 1:1 000 000 соответствует

целое число листов этих карт. Их номенклатуры образованы номенклатурой соответствующего листа миллионной карты с прибавлением русских букв и римских или арабских цифр.

Лист карты одного масштаба полностью покрывается листами карты другого масштаба.

Листы карты масштаба 1:500 000 получают делением листа карты миллионного масштаба на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа – 30 по долготе и 20 по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:500 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа справа прописную букву русского алфавита А, Б, В, Г, например, N-37-А.

Листы карты масштаба 1:200 000 получают делением листа миллиона на 36 частей меридианами и параллелями. Размеры листа – 10 по долготе и 40' по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:200 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа справа римскую цифру от I до XXXVI, например, N-37-XXIV.

Листы карты масштаба 1:100 000 получают делением листа миллиона на 144 части меридианами и параллелями. Размеры листа – 30' по долготе и 20' по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:100 000 получают, добавляя к номенклатуре миллионного листа слева числа от 1 до 144, например, N-37-144.

Листы карты масштаба 1:50 000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа – 15' по долготе и 10' по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:50 000 получают, добавляя к номенклатуре листа 1:100 000 справа прописную букву русского алфавита А, Б, В, Г, например, N-37-144-А.

Листы карты масштаба 1:25 000 получают делением листа масштаба 1:50 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа – 7'30" по долготе и 5' по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:25 000 получают, добавляя к номенклатуре листа 1:50 000 справа строчную букву русского алфавита а, б, в, г, например, N-37-144-А-а.

Листы карты масштаба 1:10 000 получают делением листа масштаба 1:25 000 на 4 части средним меридианом и средней параллелью. Размеры листа – 3'45" по долготе и 2'30" по широте. Номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000 получают, добавляя к номенклатуре листа 1:25 000 справа цифру от 1 до 4, например, N-37-144-А-а-1.

## 2. Разграфка и номенклатура крупномасштабных планов.

Для планов масштабов 1:5 000 и 1:2 000, создаваемых на участке незастроенной территории площадью более 20 км<sup>2</sup>, в основу разграфки положен лист карты масштаба 1:100 000, т.е. применяется государственная система разграфки и номенклатуры. Листы планов создаются в трехградусных зонах, сетка прямоугольных координат строится в виде квадратов 10x10 см.

Листы планов масштаба 1:5 000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 256 частей меридианами и параллелями. Размеры листа – 1'52,5" по долготе и 1'15" по широте. Номенклатуру листа плана масштаба 1:5 000 получают, добавляя к номенклатуре листа карты 1:100 000 справа в скобках число от 1 до 256, например, N-37-144-(256).

Листы планов масштаба 1:2 000 получают делением листа масштаба 1:5 000 на 9 частей меридианами и параллелями. Размеры листа – 37,5" по долготе и 25" по широте. Номенклатуру листа плана масштаба 1:2 000 получают, добавляя к номенклатуре листа плана 1:5 000 справа в скобках строчную букву русского алфавита от а до и, например, N-37-144-(256-и).

Для топографических планов, создаваемых на территории городов и на участки незастроенной территории площадью менее 20 км<sup>2</sup>, применяется прямоугольная разграфка. За ее основу принимается лист плана масштаба 1:5 000.

Лист плана масштаба 1:5 000 делится на 4 части и получаются листы плана масштаба 1:2 000, которые обозначаются русскими заглавными буквами, например, 5-Г. Лист плана масштаба 1:2 000 делится на 4 листа масштаба 1:1 000 или на 16 листов масштаба 1:500. Листы плана масштаба

1:1 000 обозначаются римскими цифрами от I до IV, например, 5-Г-IV; листы плана масштаба 1:500 обозначаются арабскими числами от 1 до 16, например, 5-Г-16.

Размеры листа плана масштаба 1:5 000 – 40x40 см; размеры листа плана масштабов 1:2 000, 1:1 000, 1:500 – 50x50 см.

На одном листе плана масштаба 1:5 000 изображается участок местности площадью 4 км<sup>2</sup> (400 га), на листе плана масштаба 1:2000 – 1 км<sup>2</sup> (100 га), на листе плана масштаба 1:1000 – 25 га, на листе плана масштаба 1:500 – 6,25 га.

## 1.6 Лекция № 6 (2 часа).

**Тема:** Ориентирование линий.

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Ориентирование линий относительно истинного или географического меридиана.
2. Ориентирование по осевому меридиану зоны
3. Ориентирование по магнитному меридиану точки
4. Румбы линий

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Ориентировать линию – это значит определить ее положение относительно меридиана.

Напомним, что меридиан – это есть след от сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через точку на поверхности и ось вращения Земли. При ориентировании относительно истинного или географического меридиана нужно определить угол между исходным направлением и направлением данной линии, который называется истинный азимут.

Истинный (географический) азимут – угол, который отсчитывается по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана точки до данной линии. Он обозначается буквой А. Пределы изменения истинного азимута от 0° до 360°.

Азимут прямой линии в разных ее точках имеет разные значения, так как меридианы на поверхности сферы непараллельны между собой. Проведем линию ВС и меридианы в точках В и С. Азимут этой линии в точке С отличается от азимута линии в точке В на величину  $\gamma$  - сближения меридианов точек В и С.

В геодезии различают прямое и обратное направление линии. Например, в точке С линии ВD прямое направление - направление CD, обратное направление - направление СВ. Прямой и обратный азимут линии в одной точке различаются ровно на 180°, однако, для разных точек линии это равенство не выполняется.

Для небольших линий, менее километра, сближением меридианов можно пренебречь и считать, что азимут обратный равен азимуту прямому плюс-минус 180°.

Различают восточное (положительное) и западное (отрицательное) сближение меридианов. Если конечная точка линии находится к востоку от начальной, то сближение меридианов будет восточным и положительным; если конечная точка линии лежит к западу от начальной, то сближение меридианов будет западным и отрицательным.

**2.** В системе прямоугольных координат углами ориентирования являются дирекционные углы.

Дирекционным углом линии называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны до направления линии; он обозначается буквой а. Пределы изменения дирекционного угла от 0° до 360°.

Поскольку направление осевого меридиана для зоны одно, то дирекционный угол прямой линии одинаков в разных ее точках, а обратный дирекционный угол прямой линии отличается от прямого ровно на  $180^\circ$ .

**3.**При составлении плана на небольшой участок разрешается ориентировать линии по направлению магнитного меридиана. Направлением магнитного меридиана называют линию, получающуюся в пересечении вертикальной плоскости, проходящей через полюс магнитной стрелки, с горизонтальной плоскостью.

Магнитным азимутом называется угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана точки до направления линии; он обозначается буквой АМ. Пределы изменения магнитного азимута от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Проведем через одну и ту же точку В истинный (географический) меридиан N и магнитный меридиан NM; угол между ними называется склонением магнитной стрелки и обозначается буквой δ. Если северный конец магнитной стрелки отклоняется к востоку от географического меридиана, то склонение считается восточным и положительным; если к западу, - то западным и отрицательным.

Магнитное склонение – величина не постоянная, известны его суточные, годовые и вековые изменения. Уточнённую величину магнитного склонения можно узнать на метеостанциях и по специальным картам, среднее значение приводится на топографических картах.

**4.**Кроме географического и магнитного азимутов и дирекционного угла к ориентирным углам относятся также румбы.

Румб - это острый угол отсчитываемый от ближайшего направления меридиана до направления линии; он обозначается буквой г. Пределы изменения румба от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Название румба зависит от названия меридиана: истинный (географический), магнитный и дирекционный (или осевой). Для однозначного определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти:

- 1 четверть - СВ (северо-восток),
- 2 четверть - ЮВ (юго-восток),
- 3 четверть - ЮЗ (юго-запад),
- 4 четверть - СЗ (северо-запад),

например,  $g = 30^\circ$  ЮВ.

## 1. 7 Лекция № 7 (2 часа).

**Тема:** Осевой меридиан. Дирекционный угол.

### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Понятие о дирекционном углу.
2. Передача дирекционных углов

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Дирекционным углом ( $\alpha$ ) называют горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (или линии, параллельной осевому меридиану) по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Дирекционные углы измеряются от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Дирекционный угол в разных точках прямой одинаков.

$$\alpha_{KN} = \alpha_{LN} = \alpha_{ON} = \alpha_{MN} = \alpha_{NK} - 180^\circ.$$

Между направлениями истинного меридиана и линии, параллельной осевому меридиану, в каждой точке образуется угол, который называется сближением меридианов ( $\gamma$ ).

Сближение меридианов отсчитывается от истинного меридиана. По мере удаления от осевого меридиана оно увеличивается. Сближение меридианов положительно для всех точек зоны, расположенных к востоку от осевого меридиана (восточное сближение), и отрицательно для всех точек зоны, расположенных к западу от осевого меридиана (западное сближение).

$$\gamma_K = \alpha_{AKN} - \alpha_{KN}.$$

Алгебраическая разность склонения магнитной стрелки и сближения меридианов называется поправкой:

$$\Pi = \delta - \gamma. \quad (4)$$

На топографических картах и планах линии координатной сетки север–юг совпадают с направлением осевого меридиана. Ориентировка по отношению к другим меридианам для конкретного участка территории приводится в виде схемы за южной рамкой карты.

**2.** Имеются два направления BC и CD и угол поворота между ними в точке C.

Известен дирекционный угол начального направления  $BC - \alpha_{BC}$  и измеренный правый  $\beta_{PR}$  или левый  $\beta_L$  горизонтальный угол в точке С. Необходимо найти дирекционный угол конечного направления  $CD - \alpha_{CD}$ .

Проведем через точки В и С направления, параллельные осевому меридиану зоны и покажем на рисунке дирекционные углы  $\alpha_{BC}$  и  $\alpha_{CD}$ . Продолжим линию  $BC$  и покажем на ее продолжении угол  $\alpha_{BC}$ .

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + x, \text{ где } x = 180^\circ - \beta_{PR} \text{ или } x = \beta_L - 180^\circ,$$

тогда:  $\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + 180^\circ - \beta_{PR}$ ;  $\alpha_{CD} = \alpha_{BC} - 180^\circ + \beta_L$ .

Таким образом, дирекционный угол последующего направления равен дирекционному углу начального направления, измененному на  $180^\circ$ , минус правый или плюс левый горизонтальный угол между этими направлениями.

Формулы передачи дирекционных углов:

$$\begin{aligned}\alpha_{KH} &= \alpha_{HA} + 180^\circ - \beta_{PR}; \\ \alpha_{KH} &= \alpha_{HA} - 180^\circ + \beta_L.\end{aligned}\quad (10)$$

Если при вычислениях дирекционный угол получается отрицательным, к нему прибавляют  $360^\circ$ ; если он получается больше  $360^\circ$ , то из него вычтывают  $360^\circ$ .

## 1.8 Лекция № 8 (2 часа).

**Тема:** Склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.

### 1.8.1 Вопросы лекции:

1. склонением магнитной стрелки
2. сближением меридианов
3. Системы координат, применяемые в геодезии

### 1.8.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Направления географического и магнитного меридианов, как правило, не совпадают.

Горизонтальный угол, образованный направлениями этих меридианов, называют склонением магнитной стрелки  $\delta$ . Склонение может быть восточным, когда северное направление магнитного меридиана отклоняется от географического к востоку, и западным – в случае отклонения северного направления магнитного меридиана к западу. Восточное склонение имеет знак «+», западное «-». Склонение изменяется с изменением места и времени.

На одном и том же месте земной поверхности в течение веков происходит изменение склонения магнитной стрелки в пределах десятков градусов, при этом полный период колебания склонения совершается в течении более четырех веков. Такое изменение называют вековым. Годовое изменение склонения в Европе в среднем близко к  $5'$ . Наблюдают также суточное изменение склонения, при котором амплитуда в средних широтах России доходит до  $15'$ , летом она больше, чем зимой; в северных широтах больше, чем в южных.

Склонение также изменяется под влиянием магнитных возмущений и бурь, связанных с полярным сиянием, солнечными пятнами. Показания магнитной стрелки изменяются в районах залегания магнитных руд. Такие отступления от среднего значения склонения магнитной стрелки называются магнитными аномалиями. Разность между географическим и магнитным азимутами равна склонению магнитной стрелки:  $A_g - A_m = \delta$ .

**2.** Разность между азимутом  $A$  и дирекционным углом  $\alpha$  называют сближением меридианов:  $\Upsilon = A - \alpha$ .

Сближение меридианов можно также определить, как горизонтальный угол между направлением меридиана в данной точке и линией, параллельной осевому меридиану. Сближение меридианов будет положительным для точек местности, находящихся к востоку от осевого меридиана, и отрицательным – к западу. Зная азимут линии и сближение меридианов в точке, можно вычислить дирекционный угол линии.

**3.** Положение точек земной поверхности на карте и плане определяют координатами. Наиболее часто используются географические и прямоугольные координаты.

Географическими координатами являются широта и долгота. Географическая широта  $\phi$  точки М – угол между направлением отвесной линии, проходящей через эту точку, и плоскостью начального меридиана. Географическая долгота  $\lambda$  – двугранный угол, заключенный между плоскостью меридиана, проходящего через эту точку, и плоскостью начального меридиана. Широты бывают северные и южные, изменяются от 0 (на экваторе) до 90(на земных полюсах). Долготы бывают восточные и западные, изменяются от 0 (начальный гринвичский меридиан)до 180(тихоокеанская ветвь гринвичского меридиана). Линию, проходящую через точки с одинаковыми широтами, называют параллелью, а с одинаковыми долготами – меридианом.

Если для составления карты на большую территорию строят географическую сетку меридианов и параллелей, то для составления планов и карт в инженерной геодезии чаще всего используют прямоугольную систему координат. Положение точки определяют относительно осей прямоугольных координат: абсцисс  $хх$  и ординат  $уу$ . Система прямоугольных координат в геодезии повернута(ось  $у$  вниз). При таком расположении осей углы в геодезии для ориентирования линий отсчитывают от вертикальной оси по ходу часовой стрелки. В связи с эти четверти системы координат в геодезии пронумерованы по ходу часовой стрелки.

Для небольших участков местности система прямоугольных координат может иметь начало в любом месте. В государственной системе координат за ось ординат принимают линию экватора, за ось абсцисс – направление осевого меридиана.

## 1.9 Лекция № 9 (2 часа).

**Тема:** Угловые измерения

### 1.9.1 Вопросы лекции:

1. Принципиальная схема угловых измерений.
2. Приборы, применяемые в процессе угловых измерений.
3. Измерение горизонтальных и вертикальных углов

### 1.9.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Угловые измерения необходимы для определения взаимного положения точек в пространстве и широко используются при решении геодезических задач при строительстве различных объектов.

Различают два вида углов на местности: горизонтальные и вертикальные. Горизонтальный угол – это ортогональная проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость.

Вертикальный угол – это угол, заключенный между наклонной и горизонтальной линиями. Единицей для измерений углов (горизонтальных и вертикальных) служит градус, представляющий  $1/90$  прямого угла или  $1/360$  окружности. Градус содержит 60 угл. мин, минута делится на 60 угл. с. В некоторых странах применяют градовую систему, в которой 1 град составляет  $1/400$  окружности, градовая минута –  $1/100$  град, а градовая секунда –  $1/100$  град мин. В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерений служит гон, равный 1 град или 54 угл. мин; тысячная его доля, равная 3,24 угл. с, называется миллигон.

Принцип измерения горизонтальных углов следующий – рис. 50: в вершине А измеряемого угла ВАС устанавливают теодолит, основной частью которого является круг с делениями. Круг располагают горизонтально, т. е. параллельно уровенной поверхности, а его центр совмещают с точкой А. Проекции направлений АВ и АС, угол между которыми измеряют, пересекут шкалу круга по отсчетам (делениям)  $b$  и  $c$ . Разность этих отсчетов дает искомый угол:

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

В геодезии под вертикальным углом понимается угол наклона. Он измеряется по вертикальному кругу одним из направлений служит фиксированная горизонтальная линия. Если точка расположена выше горизонта, то вертикальный угол ( $+v$ ) положителен, если ниже – отрицателен ( $-v$ ).

**2.** Угловые измерения относятся к важнейшему виду геодезических измерений, а угломерные приборы – теодолиты – по праву до сих пор считаются у геодезистов одним из главных средств производства измерений и изысканий .

Общая схема основных частей и осей теодолита:

- 1) горизонтальный круг – лимб (стеклянный диск оцифрованный по ходу часовой стрелки);
- 2) алидада – вращающаяся часть, расположенная соосно с лимбом и несущая элементы отсчетного устройства;
- 3) цилиндрический уровень – предназначен для приведения плоскости лимба горизонтального круга в положение перпендикулярное относительно отвесной линии (горизонтальное положение);
- 4) зрительная труба – состоит из объектива, окуляра, сетки нитей и фокусирующего устройства – кремальеры;
- 5) вертикальный круг – устроен аналогично горизонтальному и предназначен для измерения углов наклона;
- 6) подъемные винты – служат для горизонтирования прибора;
- 7) становой (закрепительный) винт – закрепляет теодолит на штативе и позволяет подвесить нитяной отвес.

Государственный стандарт ГОСТ 10529-96 выделяет три группы теодолитов:

- высокоточные (Т1);
- точные (Т2, Т5);
- технические (Т15, Т30, Т60).

Дополнительная буква в шифре теодолита указывает на его модификацию или конструктивное решение:

А – астрономический,  
М – маркшейдерский,  
К – с компенсатором при вертикальном круге,  
П – труба прямого изображения (земная).

**3. Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности выполняют теодолитами, тахеометрами.**

Измерение горизонтальных углов

Отдельного горизонтального угла - способ приемов

Нескольких горизонтальных углов с точки состояния - способ круговых приемов

Измерение или отложение отдельного горизонтального угла с повышенной точностью - способ повторений

Измерение горизонтальных углов способом приемов.

Способ приемов включает два полуприема (при КП и КЛ)

1-й полуприем (КЛ):

- визирование на точку правого направления, снятие и запись отсчета по ГК;
- визирование на точку левого направления, снятие и запись отсчета по ГК;
- вычисление значения угла в полуприеме:  $\beta_{КЛ} = ОП - ОЛ$  2-й полуприем (КП): Действия аналогичные первому полуприему.  $\beta_{КП} = ОП - ОЛ$
- вычисление) оценка допустимых расхождений 2 (1')  $\beta_{КЛ} - \beta_{КП} \leq t$ , где  $t$  – точность снятия отсчета;  $t = 0,5'$

- вычисление значения угла в приеме:  $0,5' 2 = \pm \beta + \beta \beta = m\beta$  КЛ КП

При измерении углов (горизонтальных и вертикальных) теодолит устанавливают в вершине угла и приводят его в рабочее положение.

Установка теодолита в рабочее положение состоит из трех операций: центрирование, горизонтизование и подготовка зрительной трубы. Центрирование прибора заключается в совмещении вертикальной оси теодолита над вершиной угла (точкой) и осуществляется при помощи отвеса. Теодолит устанавливают над точкой так, чтобы верхняя плоскость столика штатива была горизонтальна, острие отвеса проектировалось на точку. Современные теодолиты оснащены оптическими центрирами, которые облегчают центрирование, особенно при сильном ветре, и повышают точность.

Горизонтизование прибора заключается в приведении вертикальной оси теодолита в отвесное положение. Для этого устанавливают уровень при алидаде горизонтального круга по направлению 2-х подъемных винтов и, вращая их выводят пузырек уровня на середину; открепив алидаду, устанавливают уровень по направлению 3-го винта и вращением последнего снова выводят пузырек на середину.

Подготовка зрительной трубы – это установка трубы по глазу и по предмету; операция выполняется с помощью подвижного окулярного кольца (установка по глазу – фокусирование сетки нитей) и винта фокусировки трубы на предмет.

1. способ круговых приемов – при измерении углов на станции между тремя направлениями и более;

2. способ повторений.

Для измерения угла АВС теодолит устанавливают в вершине угла В и, закрепив лимб, наводят трубу на первую точку А. Закрепив алидаду, производят отсчет а по горизонтальному кругу. Далее открепляют алидаду, визируют на вторую точку С и делают отсчет с. Величина измеряемого угла будет равна  $\beta = с - а$ . Такое измерение угла называется полуприемом.

Для контроля и ослабления влияния инструментальных погрешностей угол измеряют при втором положении вертикального круга, Два таких измерения

составляют прием. Из результатов измерений в полуприемах вычисляют среднее значение измеряемого угла.

### Способ круговых приемов

Если с одного пункта необходимо определить более двух направлений) может применяться способ круговых приемов. Установив теодолит над точкой, визируют последовательно на все направления по ходу часовой стрелки и производят отсчеты. Последнее наведение делают на начальное направление, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Эти действия составляют первый полуприем. Во втором полуприеме переводят трубу через зенит и последовательно визируют на все направления, но в обратном порядке – против хода часовой стрелки. Два таких хода составляют прием.

Для измерения углов наклона (вертикальных углов) используется угломерный круг (вертикальный круг), жестко укрепленный на оси вращения зрительной трубы. На внешней части угломерного круга нанесены деления лимба, оцифровка которых отличается в различных моделях теодолита. Зрительная труба переводится через

зенит. В связи с этим вертикальный круг может оказаться справа от нее, это положение называется круг право (КП), и слева (КЛ). Для вычисления

вертикального угла необходимо определять место нуля М0. Место нуля – это отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункте.

Для определения значения МО визируем зрительную трубу при КП и КЛ на одну и ту же точку, и берут отсчеты по вертикальному кругу при каждом наведении трубы.

Для разных теодолитов расчетная формула для М0 различается. Например для теодолита Т30:  $M0=(КЛ+КП+180^\circ)/2$ ; а для теодолита ЗТ5КП:  $M0=(КЛ+КП)/2$ . Правильность измерений вертикальных углов на станции контролируется постоянством МО, колебания которые в процессе измерений не должны превышать двойной точности отсчетного устройства.

### Последовательность измерения:

- навести на точку, снять отсчет по ВК (КЛ);
- навести на точку, снять отсчет по ВК (КП);

• вычислить МО ВК: Основной критерий точности измерения вертикальных углов – сходимость значения МО (ВК).  $\Delta MO \leq 1,5'$ ;  $m \approx 0,75t$  в Оценка точности при измерении горизонтальных углов. На точность измерения горизонтальных углов влияют следующие погрешности:

- визирования;

- отсчитывания;
- за центрирование;
- за редуцирование.

При помощи магнитной стрелки – буссоли (ориентир-буссоли) измеряют магнитный азимут для составлении абрисов измерений, определения исходных направлений при проложении замкнутого теодолитного хода в местной (условной) системе координат.

Последовательность работы:

1. Закрепить ориентир-буссоль на приборе.
2. Установить на ГК нулевой отсчет и зафиксировать его зажимным винтом алидады.
3. Освободить зажимной винт ГК и магнитной стрелки буссоли. Вращая теодолит вокруг вертикальной оси, добиться положения когда концы магнитной стрелки совпадают с указателями направления магнитного меридиана.

Задача: Зафиксировать положение ГК отсчетом  $0^{\circ}00'$ .

## 1. 10 Лекция № 10 (2 часа).

**Тема:** Теодолиты

### 1.10.1 Вопросы лекции:

1. Разновидности теодолитов
2. Виды теодолитов
3. Критерии выбора устройства

### 1.10.2 Краткое содержание вопросов:

1. В зависимости от точности теодолиты делятся на три категории:

1. Высокоточные.
2. Точные.
3. Технические.

Высокоточное устройство дает погрешность при измерении равно или меньше  $1''$ . Это дорогостоящее оборудование, которое применяется на ответственных объектах. Оно редко используется, поскольку большинство задач, которые выполняют теодолитом, не требуют столь высокой точности.

Точные имеют погрешность не более  $10''$ . Такие устройства являются самыми востребованными. Подавляющее большинство предлагаемых на рынке приборов соответствуют именно такой погрешности.

Технические могут иметь ошибку в измерении угла до  $60''$ . На первый взгляд это довольно много, но существуют цели, где большая точность не столь важна. В первую очередь это общестроительные задачи, когда осуществляется возведение неответственных объектов. Подобные устройства могут применяться только в малоэтажном строительстве.

Теодолит является давним устройством, поэтому неудивительно, что существует несколько его модификаций, которые имеют схожий принцип действия, но конструктивно отличаются между собой.

2. Теодолит бывает следующих видов:

1. Оптические.
2. Электронные.
3. Лазерные.

Оптические были изобретены первыми. Их принцип действия заключается в использовании визирной трубы с нанесенной на линзы шкалой. По шкале осуществляется ориентирование параметров угла между несколькими вертикальными или горизонтальными точками объекта исследования.

Электронные оснащаются жидкокристаллическим дисплеем и системой датчиков. После того как прибор устанавливается и выставляется по точкам, между которыми необходимо измерить угол, он самостоятельно определяет наклон и выводит его в цифровом значении на свой дисплей. Это позволяет минимизировать работу оператора, поскольку в отличие от применения оптических устройств, ему не нужно внимательно присматриваться к шкале.

Лазерные оснащаются лазерным лучом, который высвечивает визуально заметную линию на объекте измерения. Оператор настраивает ее таким образом, чтобы она проходила через две требуемые точки. Прибор сам автоматически определяет угол наклона, по которому осуществляется свечение лазерного луча. Подобные устройства имеют ограниченную дальность, поскольку лазерный луч не может распространяться очень далеко. Такие приборы применяют в общестроительных работах. Особенно они удобны для установки колонн и возведения мостов.

**3.** При выборе теодолита важными критериями, на которые необходимо обратить внимание, являются:

1. Уровень погрешности.
2. Степень влагозащиты.
3. Тип измерения.
4. Вес.
5. Степень ударопрочности.

Что касается уровня погрешности, то он определяется исключительно по предназначению устройства. Для ответственных съемок требуется высокоточное оборудование. Если прибор применяется для общестроительных задач при возведении малоэтажных объектов, то вполне можно обойтись оборудованием низкого ценового сегмента.

Степень влагозащиты также немаловажный аргумент выбора того или иного прибора. Особенно это важно, если подбирается электронный или лазерный теодолит. Уровень влагозащиты IP65 позволит осуществлять съемку в условиях повышенной сырости и даже дождя. Такие приборы не бояться окунуться в воду на небольшую глубину.

Что касается типа измерения, то в основном стоит сложность выбора между оптическим и электронным теодолитом. Оптическое устройство более сложное в применении, поскольку от оператора требуется большая сосредоточенность при просматривании шкалы для определения угла. При этом такой прибор не требует

подзарядки. Он имеет большую температурную устойчивость. С ним можно работать даже если на улице температура ниже -30°C.

Вес устройства имеет большое значение если требуется осуществлять измерение с переходами. Легкие теодолиты будут незаменимы при топографических исследованиях, когда с оборудованием нужно двигаться по пересеченной местности проходя много километров пешком.

Теодолиты являются дорогостоящим оборудованием, поэтому не лишним будет наличие ударопрочного корпуса. При отсутствии устойчивости к механическим повреждениям, малейшее падение и прибор потребует ремонта или замены.

## 1. 11 Лекция № 11 (2 часа).

**Тема:** Линейные измерения

### 1.11.1 Вопросы лекции:

1. Понятие линейных измерений
2. Измерение длин линий непосредственно
3. Приведение наклонных расстояний к горизонту

### 1.11.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Линейные (геодезические) измерения -вид геодезических измерений, в которых измеряемой геодезической величиной являются длины сторон геодезических сетей (расстояния или их разности).

Линейные измерения бывают непосредственные и косвенные:

- **непосредственные** – измерения с помощью приборов для измерения длин линий;
- **косвенные** – расстояния вычисляются по другим, непосредственно измеренным величинам.

Приборы для измерения расстояний

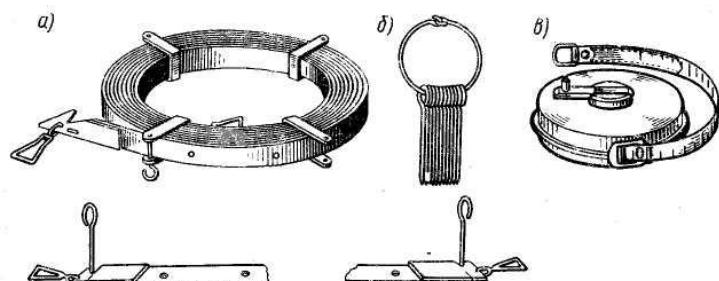
- рулетки 5, 10, 20, 30, 50 м;
- ленты 20,24,50,100 м;
- нитяной дальномер;
- дальномеры двойного изображения
- светодальномеры;
- радиодальномеры;
- инварные проволоки, жезлы;

Приборы, используемые для линейных измерений, условно делят на две большие группы: механические и физико-оптические.

**2.** Для измерений используют механические мерные приборы, изготовленные из стали или инвара (сплав из 64% железа и 36% никеля). Инварные мерные приборы обладают очень малым коэффициентом линейного расширения.

Штриховая лента разделена на метры и дециметры. Отрезки меньше дециметров отсчитываются «на глаз». У концов шкаловых лент нанесены сантиметровые и миллиметровые деления. Лента наматывается на железное кольцо. К ленте прилагается комплект из 10 (иногда 5) шпилек для фиксации её концов при измерениях (рис.34). Рулетки наматываются на катушку, заключенную в футляр.

До начала линейных измерений определяют действительную длину



мерного прибора, путем сравнения с контрольным, длина которого заранее известна. Такое сравнение называют компарированием.

Разность между фактической и номинальной длиной мерного прибора называют поправкой за компарирование, ее вводят

Рис.34. Приборы для линейных измерений: а - штриховая лента; б- шпильки; в - рулетка; г- шкаловая лента.

в результаты измерений каждой линии.

Перед измерением линии на ней надо устраниить все препятствия, мешающие измерению (скосить или примять высокую траву, отогнуть кусты, убрать камни и т.п.). Для обеспечения видимости с точки на точку на них устанавливают вехи (деревянный или металлический шест). Если подлежащая измерению линия слишком длинная, то ее необходимо предварительно провешить. Вешением линии называют установку вех в вертикальной плоскости, проходящей через конечные точки данной линии. Такую

вертикальную плоскость называют створом. Вешение линий может производиться на глаз или с помощью теодолита.

Измерение длины линии выполняют два мерщика в следующем порядке.

Передний мерщик берет в руку десять шпилек, ручку конца ленты и разматывает ее вдоль измеряемого отрезка линии. Задний мерщик совмещает начальный штрих ленты с началом измеряемой линии и, задерживая ее, дает указания переднему мерщику для укладки ленты в створе измеряемой линии. Передний мерщик, проверив и убедившись, что лента не перекручена, встряхивает, натягивает, кладет ее на землю и фиксирует шпилькой. Затем ленту протягивают на один пролет; задний конец ее цепляют крючком за первую шпильку и повторяют все действия, которые производились при измерении первого пролета.

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

Если передний мерщик израсходовал все шпильки, а расстояние еще не измерено до конца, задний передает ему десять шпилек, удерживая конец ленты у точки, где была последняя шпилька. Передача шпилек фиксируется в журнале измерений. После этого процесс измерения продолжается.

При измерении остатка линии от заднего конца ленты производят отсчет с точностью до 1 см. При отсчете остатка нужно быть очень внимательным. Следует проверить, какой стороной лежит лента. Надписи метровых делений должны возрастать по направлению измеряемой линии (от заднего мерщика к переднему).

Длину линии  $D$  определяют так: к произведению длины ленты 1 на число уложений и прибавляют остаток  $r$ :

$$D = ln + r.$$

Для контроля каждую линию измеряют дважды – в прямом и обратном направлениях.

Оценка точности результатов измерений производится по относительной ошибке, которая определяется как частное от деления абсолютной ошибки на среднюю длину измеряемой линии.

Точность измерений линий по земле характеризуется следующими предельными относительными ошибками:

1:3 000 при благоприятных условиях (местность ровная с плотным грунтом);

1:2 000 при средних условиях (местность всхолмленная, грунт более слабый);

1:1 000 при неблагоприятных условиях (местность пересеченная, грунт слабый – песок, болото, пашня, местность, покрытая кочками, кустарником и т.д.).

Если относительная ошибка не превышает допустимый предел, то за окончательный результат принимают среднее значение измеренной линии. Если превышает, то линию необходимо перемерить.

Для записи результатов измерения длин линий лентой можно приспособить любой журнал, в котором нужно сделать следующие разделы:

измерение линий в прямом направлении; измерение линий в обратном направлении; дополнительное измерение линий; обработка линейных измерений.

**3.** Результаты измерений чаще всего необходимо выражать на чертежах, планах и картах, т.е. на горизонтальной плоскости. Измерения же производят на поверхности рельефа, где есть уклоны.

На рис.35:

А и В – точки местности;

D – расстояние между этими точками (длина наклонной линии местности);

C –

ортогональная проекция точки В на плоскость;

d – горизонтальное проложение линии АВ;

v – угол наклона;

h – превышение точки В над точкой

А;

$\Delta D = D - d$  – разница между длиной линии на

местности и ее горизонтальным проложением (поправка за наклон).

Для вычисления горизонтальной проекции (горизонтального проложения) линии местности  $d$  используют формулу:

$$d = D \cdot \cos v;$$

Углы наклона линий или их частей измеряют при угловых измерениях.

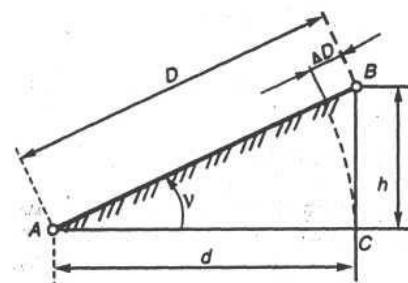


Рис.35.  
Приведение  
наклонного расстояния  
к горизонту.

Поправка за наклон линии к горизонту зависит от измеренного расстояния и угла наклона. Если отрезки линии имеют разные наклоны, то поправка для каждого отрезка вычисляется отдельно.

## 1.12 Лекция № 12 (2 часа).

**Тема:** Вычисление длин линий

### 1.12.1 Вопросы лекции:

1. Вычисление длин линий
2. Определение неприступных расстояний
3. Измерение длин линий косвенно
4. Приведение к горизонту расстояний, измеренных оптическим дальномером

### 1.12.2 Краткое содержание вопросов:

1. Длина линии  $D$  определяется так: к произведению длины ленты  $l$  на число уложений  $n$  прибавляют остаток  $r$ :  $D=ln+r$ .

Если рабочая лента имеет длину  $l$ , отличную от номинальной  $l_0$ , то вводят поправку за компарирование  $\Delta l$ :

$$\Delta l=l-l_0.$$

В этом случае длину линии вычисляют по формуле:

$$D=lon\pm\Delta ln+r\pm(\Delta l/l_0)r;$$

При вычислении длины линии, измеренной лентой, длина которой больше номинальной, поправка за неверную длину рабочей ленты **прибавляется**; если же рабочая лента **короче** номинальной, то поправка вычитается.

Или же поправку за компарирование можно вычислить по формуле:

$$\Delta l=(l-l_0)\cdot(D/l_0),$$

где  $l$  – фактическая длина ленты;  $l_0$  – номинальная длина ленты;  $D$  – длина измеренной линии.

Если линейные измерения проводились при температуре, отличной от температуры компарирования (в РФ  $20^{\circ}\text{C}$ ), на величину, превышающую  $8-10^{\circ}\text{C}$ , то вводят поправку за температуру  $\Delta t$ , вычисляемую по формуле:

$$\Delta t=\alpha(t_{изм}-t_{комп})l_{комп},$$

где  $l_{комп}$  – длина ленты, определенная при компарировании;  $\alpha=12,5\cdot10^{-6}$  – коэффициент линейного расширения стали при изменении температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{изм}$  и  $t_{комп}$  – температура при измерении и при компарировании.

2. В случае, когда невозможно измерить расстояние между точками непосредственно механическими мерными приборами, его можно определить косвенным способом. В этом случае измеряют базисы и углы.

Например, необходимо измерить расстояние между точками А и В, между которыми существует препятствие (река, овраг и т.д.), но есть взаимная видимость (рис.36а). В этом случае от точки А строят два базиса  $b_1$  и  $b_2$  таким образом, чтобы между ними и измеряемой прямой линией образовались два треугольника с углами при основании не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Базисы измеряют мерной лентой в прямом и обратном направлениях и при допустимых расхождениях в промерах определяют среднее значение каждого из них.

Теодолитом способом полных приемов измеряют углы при основаниях полученных треугольников:  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$ . Углы  $\beta_3$  и  $\beta_6$  или вычисляют, или тоже измеряют. По теореме синусов дважды определяют значение искомого неприступного расстояния.

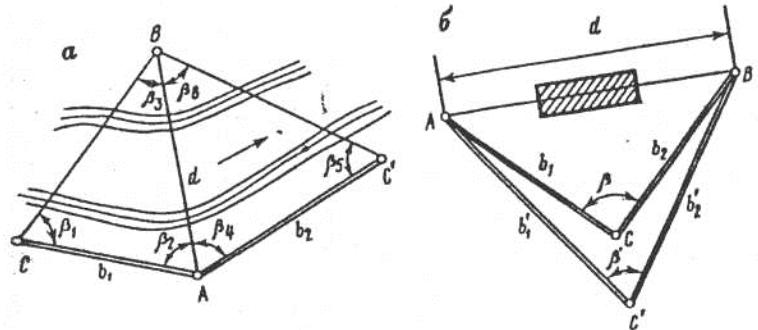


Рис.36 Определение неприступных расстояний.

Разность между двумя значениями не должна превышать  $1/1000$  ее длины. За окончательное значение принимают среднее:

$$d_{CP} = (d_1 + d_2) / 2.$$

При отсутствии взаимной видимости между точками А и В (рис.36б), на местности разбивают два треугольника, измеряют базисы ( $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b'_1$ ,  $b'_2$ ) и углы ( $\beta$  и  $\beta'$ ). Искомое расстояние вычисляют дважды по теореме косинусов:

$$d_1 = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \beta}$$

**3. Расстояния измеряют косвенным путем с помощью специальных геодезических приборов, называемых дальномерами.**

Дальномеры подразделяются на оптические и электронные.

Оптические дальномеры.

В основу определения расстояния положено оптико-механическое решение параллактического треугольника (рис.37а), в котором по малому (параллактическому) углу ( $\beta$ ) и противолежащему ему катету ( $b$ ), называемого базисом определяют расстояние( $d$ ):

$$d = b \cdot \text{ctg} \beta.$$

В зависимости от того, какой элемент треугольника измеряется, различают следующие типы оптических дальномеров: с постоянным

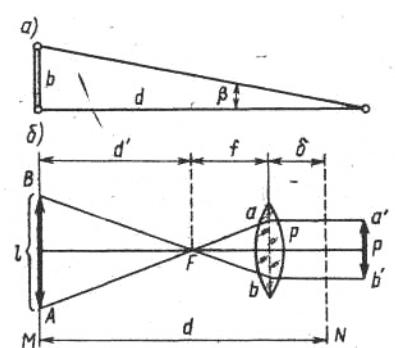


Рис.37. К определению расстояния нитяным дальномером.

углом и переменным базисом, с постоянным базисом и переменным углом.

Наиболее часто используется нитяной оптический дальномер с постоянным параллактическим углом, который образуется оптически, с помощью дальномерных штрихов на сетке нитей зрительной трубы. Роль базиса выполняет дальномерная рейка.

На рис.37б схематически показан ход лучей в зрительной труbe, проходящих через точки пересечения вертикальной нити сетки с тремя горизонтальными. Крайние горизонтальные нити – дальномерные, они служат для измерения расстояний.

Пусть требуется определить расстояние  $d$  от точки  $N$ , над которой центрирован прибор, до точки  $M$ , в которой установлена дальномерная рейка-бруск с нанесенными равными между собой делениями.

Из рис.37б имеем:

$$d=d'+f+\delta, \quad (28)$$

где  $d'$  – расстояние от переднего фокуса объектива до рейки;  $f$  – фокусное расстояние объектива зрительной трубы;  $\delta$  – расстояние от объектива до основной оси теодолита.

Лучи, идущие от дальномерных нитей  $a'$  и  $b'$  пройдут через объектив и пересекут рейку в точках  $A$  и  $B$ . Обозначив расстояние между дальномерными нитями  $a'b'$  через  $p$ , а количество делений на рейке между точками  $A$  и  $B$  через  $l$ , из подобия треугольников  $ABF$  и  $abF$  получим:

$$d'=fl/p,$$

Отношение  $f/p$  называют коэффициентом дальномера и обозначают через  $K$ , а сумму  $(f+\delta)$  – постоянную дальномера обозначают через  $c$ . Тогда наша формула примет вид:

$$d=Kl+c.$$

Дальномерные нити наносят так, чтобы при сантиметровых делениях на рейке  $K=100$ . Для труб с внутренней фокусировкой величина  $c$  оказывает влияние лишь при измерении малых расстояний. Для расстояний более 50 м ее можно не учитывать.

В итоге расстояние вычисляется по формуле:

$$d=100n,$$

где  $n$  – число сантиметровых делений, отсчитанных по рейке.

Точность оптических дальномеров 1:200 – 1:400. Длины линий должны быть не более 200 метров.

Электронные дальномеры делятся на электронно-оптические (светодальномеры) и радиоэлектронные (радиодальномеры).

Измерение расстояний с их помощью является одним из наиболее точных и высокопроизводительных методов производства геодезических работ. Они относятся к группе электромагнитных дальномеров, основанных на принципе

измерения времени прохождения электромагнитными волнами удвоенного измеряемого расстояния (от излучателя до отражателя и обратно).

Если обозначить скорость распространения электромагнитных волн через  $V$ , а время их прохождения двойного измеряемого расстояния через  $t$ , то искомое расстояние  $S$  определится по формуле:

$$S=Vt/2.$$

Светодальномеры используют электромагнитные колебания светового диапазона, их широко применяют в практике инженерно-геодезических измерений. Для измерения расстояния на одной точке устанавливают светодальномер, а на другой отражатель. Световой поток посыпается из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор. Прибор фиксирует время, производит вычисления и на дисплее выдает результат – длину измеряемой линии.

Радиодальномеры применяют главным образом при измерении сравнительно больших расстояний и в навигации. Это обусловлено особенностями излучения, распространения и приема радиоволн.

По сравнению с оптическими дальномерами, точность электронных значительно выше 1:10 000 – 1:500 000. Длины измеряемых линий 5 м – 50 км.

4. При выводе предыдущей формулы предполагалось, что визирная ось горизонтальна, а дальномерная рейка установлена перпендикулярно ей. Однако на практике в большинстве случаев визирная ось имеет некоторый угол наклона и вследствие этого вертикально установленная рейка не будет перпендикулярна визирной оси.

Пусть в точке А установлен теодолит, а в точке В – рейка (рис.38). Если бы рейка, была перпендикулярна визирной оси ОС, то, взяв по ней отсчет  $l=M'N'$  между дальномерными нитями, получили бы:

$$OC=D=kl'+c.$$

В действительности вместо отсчета  $l'$

берут отсчет по рейке  $l=MN$ .

Из прямоугольного треугольника  $MCM'$  получим:

$$l'/2=(l/2)\cos v \text{ или} \\ l'=l\cos v$$

и тогда предыдущая формула примет вид:

$$D=kl\cos v+c.$$

Из прямоугольного треугольника  $OCP$  имеем:

$$d=D\cos v=kl\cos^2 v+c\cos v, \\ \text{или} \\ d=(kl+c/\cos v)\cos^2 v,$$

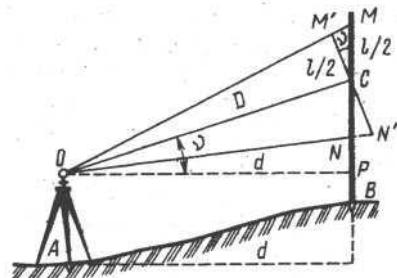


Рис.38. Измерение расстояния нитяным дальномером.

Наибольшее значение с может быть равно 0,3 м, а cosv даже при  $v=25^\circ$  равен 0,9 поэтому можно допустить, что  $c/\cos v \approx c$ , тогда:

$$d = (Kl + c) \cos 2v.$$

Если измеряемые расстояния больше 50 м, то можно положить  $c=0$  и формула примет вид:

$$d = Kl \cos 2v.$$

Поправку  $\Delta D = D - d$  определяют по формуле:

$$\Delta D = Kl \sin 2v.$$

## 1. 13 Лекция № 13 (2 часа).

**Тема:** Геометрическое нивелирование

### 1.13.1 Вопросы лекции:

1. Способы нивелирования
2. Методы нивелирования

### 1.13.2 Краткое содержание вопросов:

**1.** Рельеф местности - это совокупность неровностей поверхности земли; он является одной из важнейших характеристик местности. Знать рельеф - значит знать высоты всех точек местности. Высоту точки на местности определяют по превышению этой точки относительно другой точки, высота которой известна. Процесс измерения превышения одной точки относительно другой называется нивелированием.

Начальной точкой счета высот в нашей стране является нуль Кронштадтского футштока (горизонтальная черта на медной пластине, прикрепленной к устою одного из мостов Кронштадта). От этого нуля идут ходы нивелирования, пункты которых имеют Балтийской системе высот. Затем от этих пунктов с известными высотами прокладывают новые нивелирные ходы и так далее, пока не получится довольно густая сеть, каждая точка которой имеет известную высоту. Эта сеть называется государственной сетью нивелирования; она покрывает всю территорию страны. Иногда высоты точек определяют в условной системе высот, если поблизости нет пунктов государственной нивелирной сети.

Вследствие того, что измерение превышений выполняют различными приборами и разными способами, различают:

- геометрическое нивелирование (нивелирование горизонтальным лучом),
- тригонометрическое нивелирование (нивелирование наклонным лучом),
- барометрическое нивелирование (выполняют с помощью барометров, действие которых основано на известной зависимости между атмосферным давлением и высотой над уровнем моря),
- гидростатическое нивелирование (основано на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находится на одинаковом уровне независимо от высоты точек, на которых установлены эти сосуды),
- и некоторые другие (стереофотограмметрическое, аэrorадионивелирование, механическое).

**2.** Нивелирная сеть государства строится в соответствии от всеобщего к частному. И данная сеть подразделена на четыре класса. Сети 1-го и 2-го классов являются точными по максимуму, их предназначением является передача на территорию государства единой системы высот. Следовательно, к максимально точному нивелированию возможно отнести 1-й и 2-й классы, а к просто точному нивелированию причитают 3-й и 4-й классы.

В геодезической науке выделяются следующие способы нивелирования:

1. Геометрическое нивелирование. Самое точное нивелирование. Отмечается случаем, когда превышение меж точками получается в виде

разности отсчётов по рейке при условии горизонтального расположения визирной оси.

2. Тригонометрическое нивелирование. При данном способе превышение меж точками устанавливается по расстояниям меж точками и замеренным вертикальным углом. Речь идёт о нивелировании при помощи наклонного визирного луча.

3. Барометрическое нивелирование. Данное нивелирование формируется на зависимости высоты точек на местности и атмосферного давления.

4. Гидростатическое нивелирование. Это нивелирование основывается на пребывании жидкостного вещества в сказывающихся сосудах на одинаковом уровне.

## Геометрическое нивелирование

Существуют два метода геометрического нивелирования:

Основной метод – нивелирование со средины. Измеряя превышения одной точки над другой нивелир располагается в средине меж ними, в то же время производится установка визирной оси в горизонтальное расположение. На данных точках производится установка рейки нивелира. Отсчёт первоначальной точки берётся по задней рейке, а последующей точки – по передней рейке.

Нивелирование вперёд предполагает установку нивелира над первой точкой и дальнейшее измерение высоты устройства при помощи рейки. На другой точке, высоту которой требуется определить, производится установка рейки. Установив визирную ось в горизонтальное расположение берётся отсчёт второй точки по черной части рейки.

## Тригонометрическое нивелирование

На рейке производится отметка точки визирования, а далее делаются измерения её высоты. Над первой точкой производятся измерения параметра высоты устройства. При помощи теодолита производятся измерения угловой величины наклона линии. Наклонное расстояние устанавливается при помощи оптического дальномера либо светодальномера. Теодолит является специализированным устройством для измерения вертикальных и горизонтальных угловых величин в течение выполнения топографических съёмок. В том числе, он осуществляет измерения при маркшейдерских мероприятиях во время строительства различных сооружений.

Ключевой функционирующей мерой в теодолите считаются лимбы с наличием делений по градусам и минутам, горизонтального и вертикального типа. Теодолит используется для установления протяжённостей с нитяным дальномером. Конструктивно теодолит слагается из следующих основных частей:

- Корпуса с присутствием горизонтальных и вертикальных отсчётных узлов.
- Подставки с наличием трёх подъёмных винтов и круглого уровня.
- Зрительной трубы.

- Винтов закрепления, для фиксации зрительной трубы на точке исследования.
- Цилиндрического уровня.
- Оптического центрира для максимального и высокоточного центрирования над пунктом исследования.
- Отсчётного микроскопа для получения отсчётов.

Теодолит постоянно проходит поверки, которые направлены на контроль за точностью устройства, а также постоянно производится юстировка инструментария.

### Барометрическое нивелирование

Барометрическое нивелирование используется для расчётов высот пунктов при осуществлении геодезических работ с целью съёмки рельефной местности в высокогорных местах.

Целью данного способа измерения считается расчёт разности высок двух пунктов на основе итогов одновременного измерения давления атмосферы в этих пунктах. Давление атмосферы зависит от высоты над уровнем моря и условий метеорологии, наблюдаемых во время измерения.

Измеряя давление атмосферы, используются барометры то ли пружинного, то ли жидкостного вида. Пружинные барометры получили название анероиды. Так как на давление атмосферы существенно влияют температурные параметры воздушной массы, её измерение осуществляется одновременно с давлением на станции при помощи термометра-праща. Это толстостенный капилляр, с одной стороны которого помещена ртуть, а вторая сторона оканчивается наконечником из металла (иногда стеклянным шаром), и к нему крепится шнур.

## 1. 14 Лекция № 14 (2 часа).

**Тема:** Нивелиры

### 1.14.1 Вопросы лекции:

1. Нивелиры. Устройство и оси
2. Проверки и юстировки нивелиров

### 1.14.2 Краткое содержание вопросов:

1. В зависимости от устройств, применяемых для приведения визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение, нивелиры изготавливают двух видов - с цилиндрическим уровнем на зрительной трубе и с компенсатором углов наклона, т.е. без цилиндрического уровня.

Нивелиры бывают трех классов точности:

1) высокоточные (Н-05) для нивелирования I и II классов с погрешностью измерения превышения не более 0.5 мм на 1 км хода;

2) точные (Н-3) - для нивелирования III и IV классов, инженерно-геодезических изысканий с погрешностью измерения превышения 3 мм на 1 км хода;

3) технические (Н-10) - для топографических съемок и других видов инженерных работ с ошибкой измерения превышений 10 мм на 1 км хода.

Число в названии нивелира означает среднюю квадратическую погрешность в мм нивелирования на 1 км двойного хода. Для обозначения нивелиров с компенсатором к цифре добавляется буква К. У нивелиров Н-3 и Н-10 допускается наличие горизонтального лимба; в этом случае в шифре нивелира добавляется буква Л, например, Н-10Л.

Основные части нивелира:

1 - зрительная труба состоит из объектива, окуляра сетки нитей; для получения резкого изображения предмета врашают кремальеру, перемещая тем самым внутри двояковогнутую линзу; для четкого изображения сетки нитей врашают окуляр; для предварительного визирования на предмет на трубе имеется мушка и целик;

2 - цилиндрический уровень жестко скреплен со зрительной трубой и находится слева от зр. трубы, там же располагается и призменное устройство, с помощью которого изображение концов пузырька уровня передается в поле зрения трубы;

3 - элевационный винт (предназначен для приведения визирной оси в горизонтальное положение);

4 - круглый уровень (для предварительного приведения прибора в рабочее положение);

5,6- закрепительный и наводящий винты зрительной трубы;

7 - подставка с тремя подъемными винтами (для закрепления нивелира на штативе и приведения его в рабочее положение).

## Оси нивелира

– ось цилиндрического уровня НН1

- касательная к внутренней поверхности ампулы в точке нуль-пункт;

– визирная ось зрительной трубы ZZ1

- прямая соединяющая центр объектива и перекрестье сетки нитей;

– ось круглого уровня УУ1

- нормаль к сферической поверхности ампулы , проходящая через нуль-пункт;

– вертикальная ось вращения нивелира ВВ1.

Для установки нивелира в рабочее положение его закрепляют на штативе становым винтом и вращением сначала двух, а затем третьего подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня на середину. Отклонение пузырька от середины допускается в пределах второй окружности. Приближенное наведение на нивелирную рейку выполняют с помощью мушки.

Более точное наведение осуществляют вращением наводящего винта зрительной трубы, которую перед отсчетом по рейке предварительно устанавливают по глазу (вращением окуляра) и по предмету (вращением кремальеры) для четкого изображения сетки нитей и делений на нивелирной рейке. Перед отсчетом по средней нити тщательно совмещают концы пузырька цилиндрического уровня в поле зрения трубы, медленно вращая элевационный винт.

2. Проверками называют действия, имеющие целью выявить, выполнены ли геометрические условия, предъявляемые к инструменту. Каждая проверка теодолита состоит из трех частей.

Первая часть – геометрическое условие, которое выражает требование, предъявляемое к взаимному расположению осей теодолита.

Вторая часть – проверка этого условия.

Третья – исправление выявленных нарушений геометрического условия.

Исправление нарушенных условий называется юстировкой инструмента.

1. Проверка круглого уровня. Ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси нивелира. Приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт с помощью трех подъемных винтов, затем поворачивают нивелир на  $180^\circ$  вокруг вертикальной оси. Если пузырек уровня остался на середине, то условие выполнено.

Если же пузырек отклонился от центра, то исправительными винтами круглого уровня его перемещают на половину дуги отклонения, а подъемными винтами приводят в нуль-пункт. После этого нивелир снова поворачивают на  $180^\circ$  и в случае, если он вновь сойдет с нуль пункта, производят вторичное исправление.

2. Проверка установки сетки нитей. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к вертикальной оси нивелира, то есть быть горизонтальной. Эта проверка выполняется так: – поставить рейку в 30 м от нивелира; - навести трубу на рейку; установить изображение рейки в центре сетки нитей: элевационным винтом привести пузырёк уровня в нуль-пункт; взять отсчёт по рейке  $b_0$ ; – наводящим винтом трубы сместить изображение рейки влево, затем вправо; оба раза взять отсчёты по горизонтальной нити  $b_l$  и  $b_p$  соответственно.

Если отсчёты  $b_l$  и  $b_p$  отличаются от  $b_0$  более, чем на 1 мм, сетку нитей нужно развернуть.

Для исключения влияния наклона горизонтальной нити нужно всегда устанавливать изображение рейки точно в центре сетки нитей. Эту поверку можно выполнить с помощью отвеса. Для этого в 20 м от нивелира подвешивают отвес, наводят на него трубу и проверяют совпадение вертикальной нити сетки с нитью отвеса.

3. Проверка главного геометрического условия. Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня. Проверка может быть выполнена одним из двух перечисленных способов.

Проверка выполняется двойным нивелированием из середины и вперед. Нивелир устанавливают точно посередине между рейками. С помощью круглого уровня прибор приводят в рабочее положение. Затем последовательно визируют на рейку в точке А берут отсчет  $a_1$  и рейку в точке В берут отсчет  $b_1$ . Затем вычисляют превышение по формуле.  $h_1 = a_1 - b_1$

Оно будет правильным, так как оба отсчета искажены на одну и ту же величину  $x$ . Затем нивелир переносят к одной из реек и устанавливают на расстоянии 2,5 м. Приводят в рабочее положение по круглому уровню, а затем берут отсчеты  $a_2$  и  $b_2$ . Вычисляют превышение  $h_2 = a_2 - b_2$ . После этого определяют ошибку  $x$   $x = h_2 - h_1$ . Если величина  $x$  не превышает 5 мм. То главное геометрическое условие выполнено.

В противном случае выполняют юстировку: – вычисляют правильный отсчет по рейке в точке В  $b_2 = a_2 - h_1$  – исправление нивелира аналогично с 1-ым способом. Двойное нивелирование из середины и вперед.

## 1.15 Лекция №15 (2 часа).

Тема: Общие сведения о геодезических сетях

### 1.15.1 Вопросы лекции:

1. Классификация геодезических сетей
2. Назначение геодезических сетей
3. О плотности и точности построения ГГС

### 1.15.2 Краткое содержание вопросов:

1. Геодезические сети представляют собой совокупность пунктов на земной поверхности, имеющих известные плановое положение в избранной системе координат и отметки в принятой системе высот, закрепленных на местности центрами и отмеченных специальными опознавательными знаками.

По территориальному признаку геодезические сети бывают общеземными, т.е. покрывающими весь земной шар, государственными, т.е. создаваемыми в пределах территории каждой отдельной страны в единой системе координат и высот, принятой в данной стране, сетями сгущениями и местными сетями.

По геометрии различают плановые, высотные и пространственные сети.

Построение геодезических сетей, как правило, производится по принципу от общего к частному, согласно которому сети делятся на классы, разряды и строятся поэтапно. При этом сначала создается сеть более редких пунктов высшего класса, служащих основой для дальнейшего поэтапного сгущения сети низшими классами (т.е. вначале создается 1 класс, который затем сгущается 2, 3, 4 классами и т.д.).

Развитие сети высшего класса позволяет в относительно сжатые сроки распространить избранную систему координат на всю территорию государства и создать возможность развития сетей низших классов в отдельных районах, согласуя очередность работ с потребностями народного хозяйства страны.

Общеземные или глобальные геодезические сети в настоящее время создаются методами спутниковой геодезии. Поэтому ее называют космической или спутниковой геодезической сетью.

Положение пунктов в этой сети вычисляют в геоцентрической системе прямоугольных пространственных координат X, Y, Z, начало которой совмещено с центром масс Земли. Глобальные геодезические сети используют для решения научных и научно-технических задач высшей геодезии, геодинамики, астрономии и других наук.

2. Государственная плановая геодезическая сеть предусматривает определение с наивысшей точностью взаимного положения геодезических пунктов в плановом отношении на выбранной поверхности относимости (референц-эллипсоиде или плоскости); высоты пунктов этой сети определяются с гораздо более низкой точностью, особенно в горных районах.

Государственная нивелирная сеть служит для определения с наивысшей точностью высоты нивелирного пункта относительно поверхности квазигеоида;

плановое положение пункта этой сети на поверхности относимости определяется приближенно.

Государственная гравиметрическая сеть предназначена для определения с наивысшей точностью ускорений силы тяжести на пунктах; плановое и высотное положение пунктов этой сети должно быть определено с требуемой точностью.

Государственные геодезические сети создаются на территории каждой отдельной страны со следующими целями:

а) для детального изучения фигуры и гравитационного поля Земли, их изменений во времени (в пределах территории страны);

б) распространения единой системы координат и высот на территории всей страны;

в) картографирования территории страны в разных масштабах в единой системе координат и высот;

г) решения геодезическими методами разного рода научных и инженерно-технических задач народного хозяйства.

Государственные геодезические сети всех трех видов строятся раздельно, но они тесно взаимосвязаны и дополняют друг друга. Отдельные пункты этих сетей могут быть общими для всех трех видов, что позволяет более эффективно решать многие задачи геодезии, геодинамики и т.д.

Пункты государственных геодезических сетей надежно закрепляются на местности долговременными центрами. По точности эти сети должна находиться на уровне современных требований и ближайшего будущего.

Геодезические сети сгущения (ГСС) создаются для обоснования топографических съемок масштаба 1:5000 - 1:500 и инженерно – геодезических работ.

Местные геодезические сети создаются на локальных участках местности, на которых необходимо решить сложные научные или инженерно-технические задачи, требующие определения взаимного положения точек в плане и по высоте с наивысшей точностью на каждый момент времени. В этих случаях создают специальные геодезические сети предельно высокой точности и выполняют в них прецизионные измерения повторно через определенные интервалы времени. Математическую обработку измерений в таких сетях выполняют в местной системе координат, подбираемой таким образом, чтобы редукционные поправки за переход от измеренных величин к их проекциям на местную поверхность относимости были как можно меньше.

Такие сети используют, например, в сейсмоактивных районах для поиска предвестников и последующего прогноза землетрясений, при строительстве и эксплуатации мощных радиотелескопов, ускорителей элементарных частиц, гидроэлектростанций, теплоэлектроцентралей и т.д.

Таким образом, в состав местных геодезических сетей входят также высокоточные инженерно-геодезические сети. Обычные же инженерно-геодезические опорные сети, используемые, например, при трассировании линейных сооружений, обслуживании строящихся объектов и т.д., как правило, развиваются от ближайших пунктов государственных геодезических сетей и сетей сгущения.

**3. При создании ГГС в каждой стране возникают три основных вопроса:**

**а) выбор схемы построения ГГС;**

**б) установление необходимой плотности пунктов сети или площади обслуживания одним пунктом;**

**в) установление необходимой точности, с которой определяется взаимное положение смежных пунктов сети.**

Данные три вопроса решаются, исходя из целей создания опорных геодезических сетей (решение главной научной задачи высшей геодезии; картографирования территорий страны в единой системе).

Для достижения обеих целей необходимо, чтобы ГГС была сплошной, достаточно равномерно покрывающей всю территорию страны. Причем, это требование должно выполняться на этапе создания астрономо-геодезической сети (плановой ГГС 1 и 2 классов, являющейся наиболее точной и используемой при решении главной научной задачи высшей геодезии).

Сплошность сети наиболее удобно обеспечивает система пунктов, образующих треугольники. Она и используется чаще всего при проектировании опорных геодезических сетей.

Так как ГГС создается в соответствии с принципом перехода от общего к частному, то между средними значениями длин сторон треугольников при переходе от одного класса триангуляции к другому должны быть соблюдены определенные соотношения.

Если предположить, что сеть состоит из равносторонних треугольников, то эти соотношения будут следующими:

$S_1, S_2, S_3, S_4$  - длины сторон триангуляции соответственно 1,2,3 и 4 классов.

Кроме того, при определении плотности пунктов решающее значение имеет задача общегосударственного картографирования всей страны, которая ставят в прямую зависимость плотность сети от масштаба съемки, методов ее выполнения и методов создания съемочного обоснования.

Для решения научных проблем астрономо-геодезическую сеть (АГС) страны необходимо создавать с наивысшей при массовых измерениях точностью и непрерывно совершенствовать.

Для решения задачи общегосударственного картографирования вплоть до масштаба 1:2000 требуется, чтобы точность определения стороны между смежными пунктами ГГС удовлетворяла соотношению:

$$m_s \leq 0,25m \cdot M, \quad (3.1)$$

где  $m_s$  СКО определения стороны;  $m$  - графическая точность карты;

$M$  – знаменатель масштаба топографической карты.

В нашей стране наиболее крупным государственным масштабом карты является 1:2000. Следовательно, точность определения стороны ГГС не должна превышать 10 см

### **Основная литература:**

1. Дьяков, Б. Н. Геодезия / Б. Н. Дьяков, А. А. Кузин, В. А. Вальков. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 296 с. — ISBN 978-5-507-45566-9. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
2. Соловьев, А. Н. Основы геодезии и топографии / А. Н. Соловьев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-507-44730-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — U□L: <https://e.lanbook.com/book/238823>

### **Дополнительная литература:**

1. «Стародубцев, В. И. Практическое руководство по инженерной геодезии : учебное пособие для спо / В. И. Стародубцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 136 с. — ISBN 978-5-8114-9099-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — U□L: <https://e.lanbook.com/book/184177>» (Стародубцев, В. И. Практическое руководство по инженерной геодезии : учебное пособие для спо / В. И. Стародубцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-9099-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — U□L: <https://e.lanbook.com/book/184177>
2. «Азаров, Б. Ф. Геодезическая практика : учебное пособие для спо / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 300 с. — ISBN 978-5-8114-9472-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — U□L: <https://e.lanbook.com/book/195477>» (Азаров, Б. Ф. Геодезическая практика: учебное пособие для спо / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-9472-9. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — U□L: <https://e.lanbook.com/book/195477>

### **Официальные, справочно-библиографические и периодические издания**

#### **Перечень рекомендуемых Интернет-ресурсов:**

1. ЭБС IP□books, [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)
2. ЭБС Издательства «Лань», [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)
3. ЭБС Юрайт, [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru)
4. Электронные библиотеки России /pdf учебники студентам[Электронный ресурс].— Режим доступа: [http://www.gaudeamus.omskcity.com/my\\_PDF\\_library.html](http://www.gaudeamus.omskcity.com/my_PDF_library.html) свободный.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет среднего профессионального образования**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**ОП.05 Геодезия**

**Специальность 35.02.12 Садово-парковое и ландшафтностроительство  
Форма обучения                   очная**

**Разработчик: Смирнова П.С.**

**Оренбург 2023 г.**

## **Семинарское занятие (2 часа)**

**Тема: «Форма и размеры Земли. Уровенная поверхность, ее свойство. Основные точки, линии, плоскости и углы земной сферы. Географические координаты точек: широта, долгота. Изображение земной поверхности на сфере и плоскости.»**

### **Вопросы к занятию:**

- 1.1 Понятие о форме и размерах Земли
- 1.2. Математическая поверхность Земли
- 1.3. Физическая поверхность Земли
- 1.4 Задачи инженерной геодезии. Решение задач по масштабу

### **Задания**

- 2.1 Определить основную задачу геодезии и её связь с другими науками.
- 2.2. Дать ответы на следующие вопросы:
  1. Для каких целей используются данные о форме и размерах Земли?
  2. По каким признакам в древности определили, что Земля имеет шарообразную форму?
  3. Какую фигуру называют геоидом?
  4. Какую фигуру называют эллипсоидом?
  5. Какую фигуру называют референц-эллипсоидом?
  6. Каковы элементы и размеры эллипсоида Красовского?
  7. Назовите основные линии и плоскости земного эллипсоида.
  8. Какие методы используются для определения фигуры и размеров Земли? Дайте краткую характеристику каждому методу.

## **Семинарское занятие № 1.2 (2 часа)**

**Составление линейного и графического масштабов по численному (именованному). Пользование различными видами масштабов при измерении горизонтальных проложений линий на карте и плане и нанесение горизонтальных проложений линий на карту и план. Точность масштаба.**

### **Вопросы к занятию:**

- 1.1 Географические координаты
- 1.2 Плоские прямоугольные геодезические координаты (зональные).
- 1.3 Полярные координаты
- 1.4 Системы высот
- 1.5 Понятие об ориентировании
- 1.6 Дирекционные углы и осевые румбы, истинные и магнитные азимуты, зависимость между ними

## 2.Задания

2.1.Разбор конкретной ситуации: перевести значения дирекционных углов в соответствующие им румбы:  $219^{\circ}06'$ ;  $54^{\circ}46'$ ;  $354^{\circ}11'$ ;  $92^{\circ}00'$ ;  $274^{\circ}30'$ .

2.2. Перевести румбы в соответствующие значения дирекционных углов: ЮЗ

:  $88^{\circ}09'$ ; ЮВ :  $4^{\circ}51'$ ; СВ :  $50^{\circ}27'$ ; СЗ :  $0^{\circ}02'$ .

2.3.Изобразить на чертеже линию с географическим азимутом  $213^{\circ}$ , магнитным азимутом  $220^{\circ}$  и дирекционным углом  $215^{\circ}$ .

2.4. Вычислить сближение меридианов в точке 1, если  $a_1 = 216^{\circ}$ , а  $a_2 = 214^{\circ}10'$ . Показать на чертеже условное местоположение осевого меридиана (справа или слева).

2.5.Магнитный румб линии 1—2 равен ЮЗ :  $35^{\circ}$ . Вычислить дирекционный угол, если в точке 1 восточное сближение меридианов равно  $2^{\circ}$  и западное склонение магнитной стрелки равно  $9^{\circ}$ .

2.6. Вычислить  $a_2 - z$ , если  $a_1 = 36^{\circ}31'$  и  $p_2 = 201^{\circ}08'$ .

2.7. Вычислить величину  $L_2$ , если  $a_1 = 173^{\circ}$ , а  $a_2 - z = 310^{\circ}$ .

### Семинарское занятие (4 часа)

**Геодезические планы, карты, чертежи Способы определения площадей участков местности на плане и карте: аналитический, графический (геометрический), механический.**

**Масштабы. Определение «масштабы» применительно к геодезии.**

### Вопросы к занятию:

1.1. Геодезические планы, карты, чертежи

1.2.Способы определения площадей участков местности на плане и карте:аналитический, графический (геометрический), механический.

1.3. Масштабы, Определение “масштабы” применительно к геодезии.

### Задания

#### 2.1 Решение задач по масштабам:

1. Рассчитать длину линии местности, соответствующую одному сантиметру на картах масштабов  $1 : 10000$ ,  $1 : 200000$ ,  $1 : 5000$ ,  $1 : 100000$ ,  $1 : 25000$ ,  $1 : 2000$ ,  $1 : 50000$ .

2. Масштаб одной карты  $1 : 25000$ , а другой  $1 : 50000$ . Какой масштаб крупнее? Какая из двух карт охватывает большую территорию местности и во сколько раз?

3. Масштаб карты  $1 : 10000$ . Какой масштаб вдвое крупнее данного, а какой впятеро мельче?

4.Одному сантиметру карты на местности соответствует расстояние более 1 км. Определить, крупнее или мельче масштаб данной карты, чем масштаб карты  $1 : 100000$ .

5. На картах масштабов  $1:100000$  и  $1:50000$  изображены участки двух рек.

Какая река на местности шире и во сколько раз, если на картах их ширина примерно одинакова?

2.3 Пример. На плане (в 1 см 50 м) расстояние между точками составляет 1,5 см. Определить горизонтальное проложение между этими же точками на местности.

Решение:  $1,5 \times 5000 = 7500$  см = 75 м (или  $1,5 \times 50 = 75$  м).

### **Семинарское занятие (2 часа) Азимуты и румбы, прямые и обратные.**

**Перевод азимутов в румбы и румбов в азимуты в четырех четвертях.**

**Измерение географических азимутов и румбов направлений на топографической карте.**

При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой или чертежом необходимо определить положение линии (ориентировать линию) относительно стран света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное.

Ориентирование заключается в том, что определяют угол между исходным направлением и направлением данной линии. За исходное направление для ориентирования принимают истинный (географический), магнитный меридианы или ось абсцисс прямоугольной системы координат плана. В качестве углов, определяющих направление линии, служат истинный и магнитный азимуты, румбы и дирекционные углы.

Азимутом называется угол между северным направлением меридиана и направлением данной линии MN. Азимут измеряется от севера через восток, юг и запад, т.е. по направлению движения часовой стрелки, и может иметь значения 0...360°. Азимут A, измеряемый относительно истинного меридиана, называется истинным.

#### **Азимуты и румбы**

В геодезии принято различать прямое и обратное направления линии. Если направление линии MN от точки M к точке N считать прямым, то NM — обратное направление той же линии. В соответствии с этим угол A1 — прямой азимут линии MN в точке M, а A2 — обратный азимут этой же линии в точке N.

Меридианы разных точек не параллельны между собой, так как они сходятся в точках полюсов. Отсюда азимут линии в разных ее точках имеет разное значение.

Угол между направлениями двух меридианов называется сближением меридианов и обозначается  $\gamma$ . Зависимость между прямым и обратным азимутами линии MN выражает следующая формула:  $A2 = A1 + 1800 + \gamma$ .

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений или с помощью приборов — гироэодолитов.

Иногда для ориентирования линии местности пользуются не азимутами, а румбами.

Румбом называется острый угол между ближайшим (северным С или южным Ю) направлением меридиана и направлением данной линии.

Румбы обозначают буквой  $r$  с индексами, указывающими четверть, в которой находится румб. Названия четвертей составлены из соответствующих обозначений стран света. Так, I четверть — северо-восточная (СВ), II — юго-восточная (ЮВ), III — юго-западная (ЮЗ), IV — северо-западная (СЗ). Соответственно обозначают румбы в четвертях, например: в первой — гсв, во второй — гюв. Румбы измеряют в градусах (0...90°).

В прямоугольной системе координат ориентирование линии производят относительно оси абсцисс. Углы, отсчитываемые в направлении хода часовой стрелки от положительного (северного) направления оси абсцисс до линии, направление которой определяется, называются дирекционными. Дирекционные углы обозначаются буквой  $\alpha$  и подобно азимуту изменяются от 0 до 3600. Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно на местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут (рис. 2).

В данном случае  $\gamma$  — сближение меридианов — представляет собой угол между истинным меридианом  $M$  и осью абсцисс в этой точке.

Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

Ось абсцисс параллельна осевому меридиану зоны, в которой расположена линия  $MN$ . Как видно из рисунка,  $=A - \gamma$ . Также как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы: — прямой,  $\alpha$  — обратный дирекционные углы линии  $MN$ :  $\alpha = +180^\circ$ .

Румбы дирекционных углов обозначают и вычисляют так же, как румбы истинных азимутов, только отсчитывают от северного и южного направлений оси абсцисс (табл.)

Четверть	$A, ^\circ$	$r$
I (СВ)	0...90	$A$
II (ЮВ)	90...180	$180^\circ - A$
III (ЮЗ)	180...270	$A - 180^\circ$
IV (СЗ)	270...360	$360^\circ - A$

Направление магнитной оси свободно подвешенной магнитной стрелки называется магнитным меридианом. Угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии называют магнитным азимутом. Магнитный азимут, так же как и истинный, считают по направлению движения часовой стрелки; он также изменяется от 0 до  $360^\circ$ . Зависимость между магнитными азимутами и магнитными румбами такая же, как между истинными румбами. Так как магнитный полюс не совпадает с географическим, направление магнитного меридиана в данной точке не совпадает с направлением истинного меридиана. Горизонтальный угол между этими направлениями называют склонением магнитной стрелки.

В зависимости от того, в какую сторону уклоняется северный конец стрелки от направления истинного меридиана, различают восточное и западное склонения.

Перед значением восточного склонения обычно ставят знак «плюс», западного — «минус». Зависимость (рис. 3) между истинным  $A$  и магнитным  $A_m$  азимутами выражается формулой  $A - A_m + \delta$ . При использовании этой формулы учитывают знак склонения. Если известно склонение  $\delta$  магнитной стрелки и сближение меридианов  $\gamma$ , то по измеренному магнитному азимуту  $A_m$  линии  $MN$  можно вычислить дирекционный угол  $\alpha$  этой линии (рис. 3, б):  $\alpha = A_m + (\delta - \gamma)$ , где разность  $(\delta - \gamma)$  — поправка на склонение стрелки и сближение меридианов (учитывают при ориентировании топографической карты).

В различных точках Земли магнитная стрелка имеет разное склонение. Так, на территории Российской Федерации оно колеблется в диапазоне  $(0 \pm 15)^\circ$ .

Склонение магнитной стрелки не остается постоянным и в данной точке Земли (различают вековые, годовые и суточные изменения склонений). Больше всего изменяются суточные склонения, колебания которых достигают  $15'$ . Следовательно, магнитная стрелка указывает положение магнитного меридиана приближенно и ориентировать линии местности по магнитным азимутам можно тогда, когда не требуется высокой точности.

Задание: Решить задачи

- 1) На карте измерены правые по ходу горизонтальные углы  $\beta_1 = 61^\circ 25'$ ;  $\beta_2 = 88^\circ 18'$ ;  $\beta_3 = 92^\circ 14'$ ;  $\beta_4 = 132^\circ 32'$ ;  $\beta_5 = 165^\circ 31'$  и дирекционный угол исходной стороны  $\alpha_{1-2} = 131^\circ 07'$ . Вычислите дирекционные углы сторон 2-3, 3-4, 4-5, 5-1.
- 2) Определить дирекционный угол линии, если известно, что румб линии С3, а его величина  $48^\circ 19'$ .

### **Семинарское занятие (2 часа) Ориентирование линий относительно осевого меридиана зоны.**

**Дирекционные углы и румбы. Сближение меридианов.**

Топографические карты охватывают огромные территории и составляются на многих листах, объединенных единой системой номенклатуры и разграфки. Номенклатурой карты называют систему обозначений отдельных ее листов. Единая система разграфки состоит в том, что для изображения на отдельных листах всю земную поверхность делят на части меридианами и параллелями по определенным правилам. Деление места карты меридианов и параллелей одного масштаба на листы карты более крупного масштаба называется разграфкой карты.

Изображение на каждом листе ограничено внутренней рамкой, которая имеет форму трапеции. Левая (западная) и правая (восточная) стороны трапеции - это отрезки меридианов. Верхняя (северная) и нижняя (южная) стороны рамки - отрезки параллелей. Широты параллелей и долготы меридианов подписаны в углах трапеции. Номенклатура отдельного листа карты подписывается над ее северной рамкой.

Для того чтобы изобразить земную поверхность на плоскости, переходят от ее физической формы к математической, в качестве которой принимают поверхность эллипсоида вращения (сферида). Затем математическую поверхность Земли изображают на плоскости. Так как без искажений поверхность сферида изобразить на плоскости невозможно, то строят условные изображения земной поверхности, основанные на некоторых заранее принятых математических зависимостях между координатами точек на сфериде и их изображениями на плоскости.

Способы условного изображения земной поверхности на плоскости называют картографическими проекциями.

Для составления топографических карт нашей территории принята равноугольная проекция Гаусса-Крюгера. Всю земную поверхность делят меридианами на шести- или трехградусные зоны в зависимости от масштаба составляемой карты (рис. 1а, б). В каждой зоне проекции Гаусса-Крюгера меридиан, проходящий через центр зоны, называется осевым меридианом зоны. Линия осевого меридиана зоны перпендикулярна линии экватора, остальные меридианы зоны - это кривые, сходящиеся в полюсах.

Шестиградусные зоны проекции Гаусса-Крюгера нумеруются арабскими цифрами, начиная от гринвичского меридиана, с запада на восток (рис. 1а). Долготы осевых меридианов зон вычисляются по формулам:

$$\square = (N \cdot 6^\circ) - 3^\circ \text{ - для восточного полушария,}$$

$$\square = 180^\circ - [(N - 30) \cdot 6^\circ - 3^\circ] \text{ - для западного полушария, где } N \text{ - номер зоны.}$$

В основу номенклатуры карт положена международная карта масштаба 1:1000000, которую делят на отдельные листы меридианами через  $6^\circ$  на 60 колонн и параллелями через  $4^\circ$  на ряды. Колонны нумеруются арабскими цифрами с запада на восток, начиная от меридиана с долготой  $180^\circ$ . Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита, начиная от экватора к северному и южному полюсам (рис. 1б). Проведенные таким образом меридианы и параллели служат рамками отдельных листов карты масштаба 1:1000 000, а ее номенклатура состоит из буквы, обозначающей ряд, и числа -номера колонки, например, N-35.

В одном листе карты масштаба 1:1 000 000 содержатся 4 листа карты масштаба 1:500 000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г (рис. 2); 9 листов карты масштаба 1:300 000, обозначаемые римскими цифрами от I до IX (рис. 2); 36 листов карты масштаба 1:200000, обозначаемые римскими цифрами I - XXXVI (рис. 2); 144 листа карты масштаба 1:100000, которые обозначаются арабскими цифрами от 1 до 144 (рис. 2).

В основу номенклатуры листов карт более крупных масштабов положена номенклатура листов карты масштаба 1:100 000. В одном листе карты этого масштаба содержится 4 листа карты масштаба 1:50000, которые обозначаются буквами А, Б, В, Г; каждый лист масштаба 1:50 000 содержит 4 листа карты масштаба 1:25 000, обозначаемые буквами а, б, в, г; каждый из последних содержит 4 листа карты масштаба 1:10 000, которые нумеруются 1, 2, 3, 4 (рис. 2).

При переходе к более крупномасштабным картам (1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500), которые принято называть топографическими планами, возвращаются к номенклатуре листа карты масштаба 1:100000. Для получения номенклатуры листа масштаба 1:5000 лист карты масштаба 1:100 000 делят на 256 частей, которые нумеруются 1, 2, ..., 256 (рис. 2), например, N-35-115-(250). Затем при переходе к масштабу 1:2 000 каждую из них делят еще на 9 частей и обозначают буквами от а до и (рис. 2), например, N-35-115-(50-д).

Для съемки в масштабе 1:1000 лист плана масштаба 1:2000 делят на 4 части и обозначают цифрами I, II, III, IV, например, N-35-115-(50-д-И) и на 16 частей для съемки в масштабе 1:500, обозначаемых цифрами 1, 2, 3, 4, ..., 16, например, N-35-115-(50-Д-12)

Если известна номенклатура листа карты, то можно определить географические координаты углов трапеции и, наоборот, по координатам определить номенклатуру карты.

Листы карты масштаба 1:100 000 расположены по 12 в ряд (рис. 3).

Поэтому 41 лист карты находится в 4-м ряду от северной рамки и в 5-м от западной рамки миллионного листа.

Размеры листа масштаба 1:100 000 по широте  $20'$  ('' - минута) и по долготе  $30'$ , тогда координаты углов трапеции листа масштаба 1:100 000 будут равны:

$$\phi_{\text{с}} = 54^\circ 40' + 20' = 55^\circ 00' \text{ с. ш.}; \phi_{\text{ю}} = 56^\circ - (4 \cdot 20') = 54^\circ 40' \text{ с. ш.};$$

$$\lambda_{\text{в}} = 24^\circ + (5 \cdot 30') = 26^\circ 30' \text{ в. д.}, \lambda_{\text{з}} = 26^\circ 30' - 30' = 26^\circ 00' \text{ в. д.}$$

Лист масштаба 1:50 000 расположен в северо-западном углу карты масштаба 1:100 000. Его северная и западная рамки совпадают с соответствующими рамками

листа карты масштаба 1:100 000 и имеют ту же широту и долготу (рис. 6). По размерам листа карты масштаба 1:50 000 (10' по широте и 15' по долготе) определяем координаты листа карты с номенклатурой N-35-41-А

$$\phi_c = 55^\circ 00' \text{ с. ш.}; \phi_u = 55^\circ 00' - 10' = 54^\circ 50' \text{ с. ш.},$$

$$\lambda_v = 26^\circ 00' + 15' = 26^\circ 15' \text{ в. д.}, \lambda_z = 26^\circ 00' \text{ в. д.}$$

ЗАДАНИЕ: решить задачу

1. Определить долготу осевого меридиана зон:

1) 5-й; 2) 39-й.

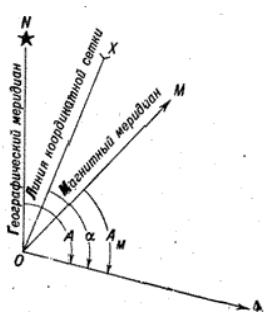
2. По номенклатуре карты N - 35 определить географические координаты углов рамки листа карты.

### Семинарское занятие (2 часа)

#### Измерение дирекционных углов и румбов направлений на карте и плане

Ориентировать линию – значит определить ее направление относительно другого, принятого за начальное. Направление определяется величиной ориентирного угла, т. е. угла между начальным направлением и направлением линии. За начальное направление принимают: географический меридиан точки, осевой меридиан зоны и магнитный меридиан точки.

Ориентирными углами линии являются дирекционный угол, географический (истинный) азимут, магнитный азимут и три румба: дирекционный, географический и магнитный.



Дирекционным углом линии называют горизонтальный угол  $\alpha$ , измеренный по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана до ориентируемой линии. Средний меридиан зоны называется осевым; долгота осевого меридиана подсчитывается по формуле

$$L_0 = 6^\circ n - 3^\circ, \text{ где } n - \text{номер зоны.} \quad (1)$$

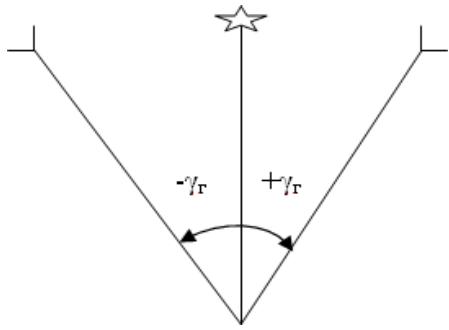
Дирекционный угол изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Географическим (истинным) азимутом линии называется горизонтальный угол  $A_u$ , измеренный по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана точки до ориентируемой линии. Пределы изменения географического азимута – от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Связь географического азимута и дирекционного угла одной и той же линии выражается формулой

$$A_u = \alpha + (\pm \gamma_G),$$

—

гауссово

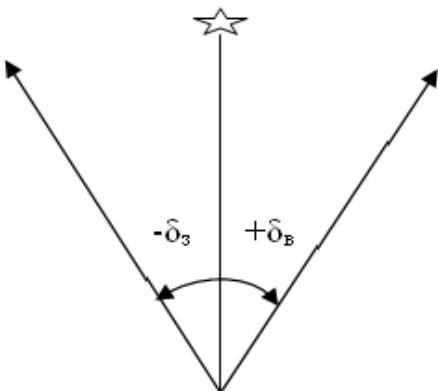


Восточное сближение меридианов считают положительным, западное – отрицательным.

*Магнитным азимутом* линии местности в данной точке называют горизонтальный угол  $A_m$ , измеренный по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана, проходящего через данную точку, до ориентируемой линии.

*Магнитный меридиан* – это проекция оси свободно подвешенной магнитной стрелки на уровенную поверхность. Магнитный азимут изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Магнитный азимут линии вычисляется по формуле

$$A_m = A_u - (\pm \delta),$$
  
где  $\delta$  – склонение магнитной стрелки,  $A_u$  – географический (истинный) азимут линии.



*Склонение магнитной стрелки* – это горизонтальный угол  $\delta$ , на который магнитный меридиан отклоняется от истинного (географического) в данной точке. Восточное склонение магнитной стрелки считают положительным, западное – отрицательным. *Румбом* линии местности в данной точке называют горизонтальный угол  $r$ , измеренный от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до направления данной линии. Пределы изменения румба от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Название румба зависит от названия меридиана: географический (истинный), дирекционный или магнитный.

Дирекционный румб  $r_a$ , географический (истинный)  $r_u$  и магнитный румб  $r_m$  линии вычисляются по формулам:

1-я четверть  $r_a = a$ ,  $r_u = A_u$ ,  $r_m = A_m$ ;

2-я четверть  $r_a = 180^\circ - a$ ,  $r_u = 180^\circ - A_u$ ,  $r_m = 180^\circ - A_m$ ;

3-я четверть  $r_a = a - 180^\circ$ ,  $r_u = A_u - 180^\circ$ ,  $r_m = A_m - 180^\circ$ ;

4-я четверть  $r_a = 360^\circ - a$ ,  $r_u = 360^\circ - A_u$ ,  $r_m = 360^\circ - A_m$ . (4)

Номер четверти определяется по значению азимута: в 1-й четверти азимут изменяется от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , во 2-й четверти от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , в 3-й четверти

- от  $180^\circ$  до  $270^\circ$ , в 4-й четверти – от  $270^\circ$  до  $360^\circ$ . Полное написание румба включает его числовое значение и название четверти (1-я – СВ, 2-я – ЮВ, 3-я – ЮЗ, 4-я – СЗ), например  $r_m = \text{ЮВ: } 45^\circ 10'$ .

В практике геодезических работ часто приходится передавать дирекционный угол на последующую линию через угол поворота. Для этого по известному дирекционному углу предыдущей линии  $\alpha_{\text{пред}}$  и углу поворота ( $\beta_l$  – левый угол или  $\beta_n$  – правый угол) вычисляется дирекционный угол последующей линии по формулам

$$\alpha_{\text{послед.}} = \alpha_{\text{пред.}} + \beta_l - 180^\circ; \quad (5)$$

$$\alpha_{\text{послед.}} = \alpha_{\text{пред.}} - \beta_n + 180^\circ. \quad (6)$$

### Задание:

1. Схематично изобразить в отчете полигон и ориентировать направление 1-2 дирекционным углом.

2. Зарисовать схему ориентирования направлений 1-2; 2-3; 3-4; 4-1 дирекционным углом, измерить по карте дирекционный угол каждого направления. Пользуясь схемой взаимного расположения меридианов (смотри на южной стороне карты) вычислить истинный азимут и магнитный азимут направления. Определить румб каждого направления.

3. Измерить по карте внутренние углы полигона  $\beta_1; \beta_2; \beta_3; \beta_4$ .

4. Для проверки алгебраически вычислить дирекционный угол направления 1-2 в следующей последовательности:

1.  $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2$  ( $\alpha_{1-2}$  взять в задании 2); 2.  $\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3$ ;

3.  $\alpha_{4-1} = \alpha_{3-4} + 180^\circ - \beta_4$ ; 4.  $\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^\circ - \beta_1$ .

### Семинарское занятие (2 часа)

#### Магнитная стрелка, склонение магнитной стрелки. Ориентирование линий относительно магнитного меридиана.

На практике часто пользуются магнитными азимутами. Направление магнитного меридиана определяется направлением магнитной стрелки. Как и геодезический азимут, магнитный азимут отсчитывается от северного направления магнитного меридиана (направления северного конца магнитной стрелки) по ходу часовой стрелки до заданного направления. Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с истинным меридианом, так как магнитные полюса смещены относительно истинных полюсов земли. Угол между истинным меридианом и магнитным называется склонением магнитной стрелки  $\delta$ . Магнитный азимут равен

$\text{Ам} = \text{Аист.} - \delta$ .

Магнитный азимут можно получить путем косвенных измерений по формуле

$\text{Ам} = \alpha + \gamma - \delta$ ,

где  $\alpha$  – дирекционный угол заданного направления;  $\gamma$  – величина сближения

меридианов;  $\delta$  – величина склонения магнитной стрелки.

Склонение магнитной стрелки может быть как восточным, когда северное направление магнитного меридиана отклоняется к востоку от геодезического меридиана, так и западным, когда стрелка отклоняется к западу от геодезического меридиана. Восточное склонение имеет знак

«плюс», а западное «минус». Склонение изменяется с изменением времени и места. В европейской части России восточное склонение колеблется от  $0^\circ$  (в районе Калининграда) до  $20^\circ$  (в районе Нарьян – Мара). На одном и том же месте земной поверхности в течении веков происходит изменение склонения магнитной стрелки в пределах десятков градусов. Годовое склонение в Европе в среднем близко  $5'$ . В средних широтах России отмечаются суточные колебания склонения магнитной стрелки в пределах  $15'$ .

Дирекционный угол – это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, параллельной ему, до заданного направления, по часовой стрелке. В отличие от азимутов, дирекционный угол постоянен на протяжение всего направления. Прямой и обратный дирекционный углы отличаются ровно на  $180^\circ$ , т.е.  $\alpha_{обр.} = \alpha_{пр.} \pm 180^\circ$ .

При определении дирекционного угла на местности необходимо знать значение истинного азимута и величину сближения меридианов  $\gamma$ , тогда  $\alpha = \text{Аист.} + \gamma$ . Значение величины  $\gamma$  подписывается под южной стороной рамок топографических карт.

Измерение дирекционных углов по картам можно проводить как прямым (с помощью транспортира), так и косвенным способом (решая обратные геодезические задачи). Помимо дирекционных углов в геодезии пользуются румбами.

### **Семинарское занятие (2 часа)**

**Магнитные азимуты и румбы. Взаимосвязь между географическими азимутами, магнитными азимутами и дирекционными углами. Приборы с магнитной стрелкой. Буссоли, их устройство и производство поверок буссолей. Измерение магнитных азимутов, магнитных румбов с помощью буссолей. Ориентирование топографических карт и планов.**

Пусть требуется определить направление линии 1–2. Для определения дирекционного угла продолжаем линию 1–2 до пересечения с ближайшей вертикальной линией километровой сетки. Приложив к точке пересечения нуль транспортира (рис.12), отсчитываем угол по часовой стрелке от северного направления линии километровой сетки.

Например: дирекционный угол, показанный на рисунке равен  $82^\circ 30'$ . Используя данные о величине склонения магнитной стрелки и величине сближения меридианов, подписанных в нижнем Юго-Западном углу карты и схемы расположения осевого, истинного и магнитного меридианов (рис.2), определяем величину истинного меридиана и магнитного азимута.

$\text{Ам} = \alpha_{1-2} + \gamma - \delta = 82^\circ 30' + (-0^\circ 58') - (+6^\circ 00') = 82^\circ 30' - 0^\circ 58' - 6^\circ 00' = 75^\circ 32'$ ,  
 $\text{Аист} = \alpha + \gamma = 82^\circ 30' + (-0^\circ 58') = 81^\circ 32'$ .

Обратный дирекционный угол направления 1–2 (т.е. направления 2–1) будет равен:

$$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} \pm 180^\circ = 82^\circ 30' + 180^\circ = 262^\circ 30'.$$

Румб направления 1–2 равен дирекционному углу, так как дирекционный угол отвечает 1 четверти, поэтому:  $r_{1-2} = \text{СВ } 82^\circ 30'$

$$\alpha_{1-2} = 82^\circ 30'$$

$$\alpha_{2-3} = 169^\circ$$

$$\alpha_{3-4} = 293^\circ$$

$$\alpha_{4-1} = 356^\circ 30'$$

Определяем дирекционные углы, магнитные и истинные азимуты, румбы последующих направлений.

Правильность измерения дирекционных углов можно проверить, замерив, внутренние углы четырехугольника, так как сумма внутренних углов этой фигуры можно определить по формуле

$$\Sigma\beta = 180^\circ(n - 2) = 180^\circ(4 - 2) = 360^\circ.$$

Внутренние углы можно вычислить через значения дирекционных углов. Из формулы

$$\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^\circ - \beta;$$

где  $\alpha_{\text{посл}}$  – дирекционный угол последующего направления;  $\alpha_{\text{пред}}$  – дирекционный угол предыдущего направления;  $\beta$  – внутренний угол образованный этими направлениями (рис.11), получаем  $\beta = \alpha_{\text{пред}} + 180^\circ - \alpha_{\text{посл}}$ .

Например:

$$\beta_2 = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \alpha_{2-3} = 82^\circ 30' + 180^\circ - 169^\circ = 93^\circ 30'.$$

$$\beta_3 = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \alpha_{3-4} = 169^\circ + 180^\circ - 293^\circ = 56^\circ.$$

$$\beta_4 = \alpha_{3-4} + 180^\circ - \alpha_{4-1} = 293^\circ + 180^\circ - 356^\circ 30' = 116^\circ 30'.$$

$$\beta_1 = \alpha_{4-1} + 180^\circ - \alpha_{1-2} = 356^\circ 30' + 180^\circ - 82^\circ 30' = 454^\circ - 360^\circ = 94^\circ.$$

Если полученный угол больше  $360^\circ$ , то отнимаем  $360^\circ$ . Определяем сумму внутренних углов:

$$\Sigma\beta = 93^\circ 30' + 56^\circ + 116^\circ 30' + 94^\circ = 360^\circ.$$

Сумма вычисленных внутренних углов равна теоретической сумме, значит измерение дирекционных углов произведено, верно.

Задание

Определение углов ориентирования по топографическим картам.

По фрагменту топографической карты определяются дирекционные углы всех направлений (сторон) четырехугольного полигона 1-2-3-4.

## Семинарское занятие (2 часа)

**Теодолит, назначение теодолитов. Принципиальная схема устройства теодолита. Типы теодолитов: оптические, лазерные, электронные.**

**Классификация теодолитов. ГОСТ на теодолиты. Устройство оптических теодолитов. Ход лучей в оптических теодолитах. Штриховой и шкаловый микроскопы. Основные оси теодолитов и их взаимное расположение. Плоскости теодолита. Установка теодолита в рабочее положение. Установка зрительной трубы теодолита “по глазу” и “по предмету”. Увеличение зрительной трубы. Техника безопасности при работе с теодолитом.**

### Вопросы занятия:

1.1 Принцип измерения горизонтального угла

1.2. Теодолит, его составные части

### 1.3 Классификация теодолитов

### 1.4. Отсчетные приспособления

#### Задания

2.1 Назначение теодолита.

2.2 Основные части теодолита.

2.3. Какие бывают отсчетные приспособления в теодолитах?

2.4 Горизонтальный угол 1-2-3 измерен теодолитом с точностью верньеров  $t = 30''$ . Вычислить средние отсчеты по верньерам и среднее значение угла.

**1 полу прием (круг право КП) Точка № 1 (правая), отсчет по 1 верньеру  $267^\circ 26'$ , " II "  $267^\circ 26'$ . Точка № 3 (левая), отсчет по I верньеру  $193^\circ 10'$ .**

II "  $193^\circ 11'$

Средний отсчет на правую точку № 1  $267^\circ 26' + 26'$

$267^\circ \frac{26'}{2} = 267^\circ 26'$

2

Средний отсчет на левую точку № 3  $193^\circ 10' + 11'$

$193^\circ \frac{11'}{2} = 193^\circ 10'30''$ .

2

Величину угла  $\beta_2$  определяют как разность средних отсчетов на правую точку (№ 1) и левую точку (№ 3) :

$\beta_2 = 267^\circ 26' - 193^\circ 10'30'' = 74^\circ 15'30''$ .

**2 полу прием (круг лево КЛ)**

Точка № 1 (правая), отсчет по I верньеру  $35^\circ 47'$ , II "  $35^\circ 48'$ .

Точка № 3 (левая), отсчет по I верньеру  $321^\circ 31'$ , II "  $321^\circ 32'$ .

Средний отсчет на правую точку № 1  $35^\circ 47' + 48'$

$35^\circ \frac{48'}{2} = 35^\circ 47'30''$ .

2

Средний отсчет на левую точку № 3  $321^\circ 31' + 32'$

$321^\circ \frac{32'}{2} = 321^\circ 31'30''$ .

2

Величина угла  $\beta_2$  из второго полу приема

$\beta_2 = 35^\circ 47'30'' + 360^\circ - 321^\circ 31'30'' = 395^\circ 47'30'' - 321^\circ 31'30'' = 74^\circ 16'$ .

Из двух полу приемов определяют разность измеренных углов  $\Delta\beta = 74^\circ 16' - 74^\circ 15'30'' = 30''$ .

Предельная разность углов не должна превышать двойную точность верньера.

Для данного примера при  $t = 30'' \Delta\beta = 2t = 2 \cdot 30'' = 1'$

$30'' < 1'$ , что допустимо. Среднее значение угла

$\Delta\beta = (74^\circ 15'30'' + 74^\circ 16') : 2 = 74^\circ 15'45''$ .

Результат внести в таблицу.

2.5 Рассмотрение устройства и применения теодолита. Сделать схему основных узлов теодолита

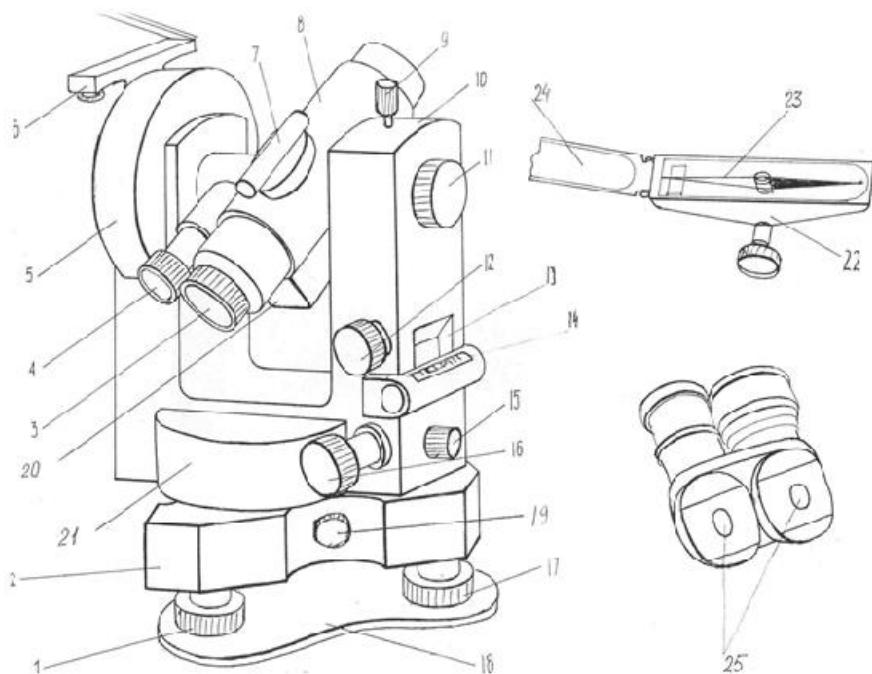


Рис.2 Теодолит 4Т30

## 1. Литература

Основная:

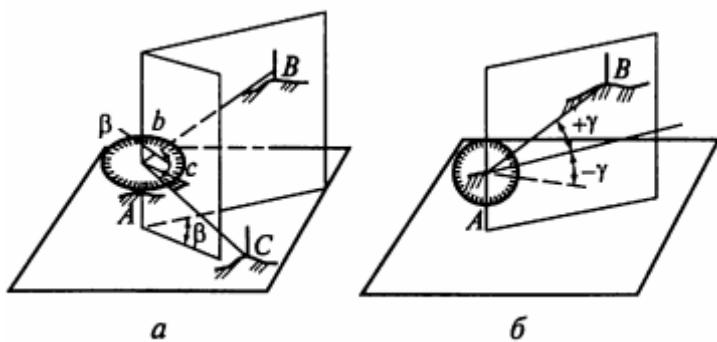
- 2.1. Кузнецов О.Ф. Основы геодезии и топография местности [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.Ф. Кузнецов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Инфра-Инженерия, 2014. — 286 с. — 978-5-97 9-0175-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68998.html>
- 2.2. Поклад Г.Г. Геодезия [Текст]: учебное пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Академический Проект: Парадигма, 2013. - 538
- 2.3. Симонян В.В. Геодезия [Электронный ресурс] : сборник задач и упражнений / В.В. Симонян, О.Ф. Кузнецов. — Электро . текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 160 . — 978-5-7264-1187-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60814.html> Перечень рекомендуемых Интернет-ресурсов:
- 2.4 <http://cities-blogo.ru/uchebnoe-posobie-po-inzhenernoj-geodezii.html>
- 2.5 <http://geo-book.ru/metposobia.htm>
- 2.6 Журнал «Геодезия и картография» <http://geocartography.ru>

## Семинарское занятие (2 часа)

**Принцип измерения горизонтального угла. Погрешности, сопровождающие измерение горизонтального угла. Способы измерения вправо по ходу лежащего горизонтального угла. Точность измерений. Последовательность измерения горизонтального угла двумя полуприемами. Правила ведения и обработки журнала измерения горизонтальных углов. Измерение теодолитом магнитных азимутов**

**Горизонтальный угол** — это ортогональная проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость. **Вертикальный угол, или угол наклона** — это угол, заключенный между наклонной и горизонтальной линиями. Принцип измерения **горизонтального угла** (рис. 8.1, а) заключается в следующем. В вершине А измеряемого угла ВАС устанавливают теодолит, основной частью которого является круг с делениями. Круг располагают горизонтально, т.е. параллельно уровенной поверхности, а его центр совмещают с точкой А. Проекции направлений АВ и АС, угол между которыми измеряют, пересекут шкалу круга по отсчетам (делениям)  $b$  и  $c$ . Разность этих отсчетов дает искомый угол  $\beta = BAC = c - b$ .

**Вертикальный угол** измеряют по вертикальному кругу (рис. 8.1, б) аналогичным образом, но одним из направлений служит фиксированная горизонтальная линия. Наблюдаемая точка расположена выше горизонта, то вертикальный угол ( $+v$ ) положителен, если ниже — отрицателен ( $-v$ ).



Измерение углов теодолитом. а — горизонтального; б — вертикального;

### Семинарское занятие (2 часа)

**Устройство и назначение вертикального круга теодолита. Место нуля вертикального круга, его определение. Свойства места нуля. Способы приведения места нуля к значению, близкому к нулю. Измерение вертикальных углов, вычисление углов наклона. Понятие о компенсаторе вертикального угла. Экер и его применение.**

**Горизонтальный угол ВАС** (рис. 1) на местности измеряют так. В вершине измеряемого угла устанавливают теодолит. Головку штатива располагают примерно над знаком, а ее верхнюю площадку приводят в горизонтальное положение. Наконечники ножек штатива вдавливают в грунт. Теодолит центрируют над точкой А и по уровню на алидаде горизонтального круга с помощью подъемных винтов приводят ось вращения теодолита в вертикальное положение. На точках В и С, фиксирующих направления, между которыми измеряется угол, устанавливают визирные цели: вехи, шпильки и т. п.

Сетку нитей трубы устанавливают в соответствии со зрением наблюдателя. Для этого трубу наводят на светлый фон (небо, белую стену) и, вращая окулярное кольцо, в поле зрения трубы добиваются четкого изображения сетки нитей. Глядя поверх трубы, совмещают крест визира с визирной целью. После попадания в поле зрения трубы визирной цели фиксируют направление, зажимая закрепительные винты алидады и трубы. Вращением фокусирующей кремальеры добиваются резкого изображения визирной цели. Наводящими винтами алидады и трубы совмещают центр сетки с изображением визирной цели.

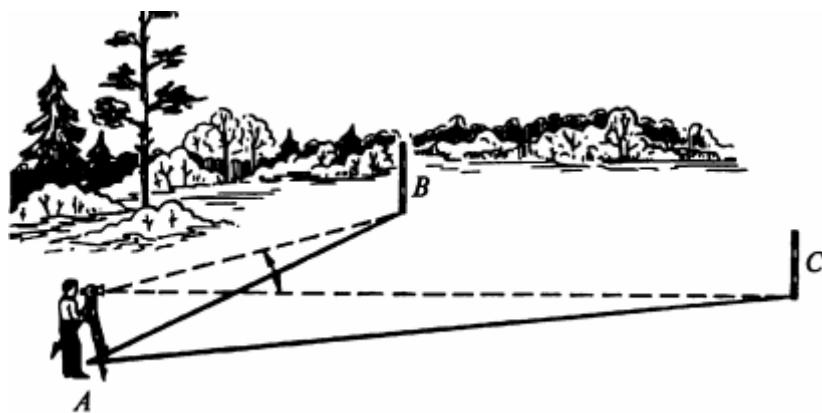


Рис. 1. Измерение горизонтального угла

**В вертикальной плоскости теодолитом измеряют углы наклона или зенитные расстояния** (рис.2). Принято различать положительные и отрицательные углы наклона. Положительный угол образуется разностью между направлением на предмет, располагаемым выше уровня горизонтальной оси вращения трубы, и направлением, соответствующим горизонтальному положению визирной оси. Отрицательный угол образуется между горизонтальным положением визирной оси трубы и направлением на точку, располагаемую ниже горизонтальной оси вращения трубы.

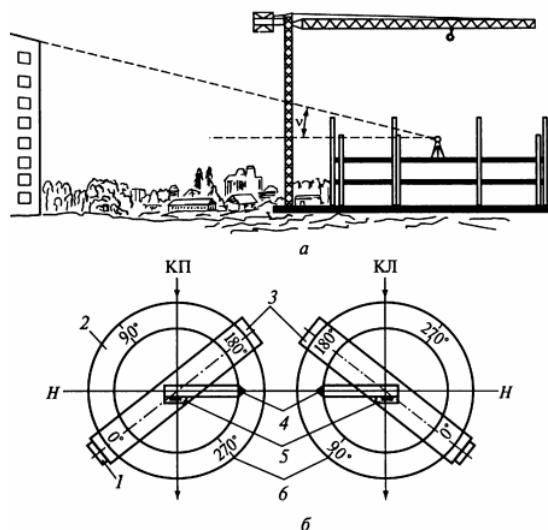


Рис. 8.13. Измерение вертикального угла:

*а* — схема; *б* — положение оси визирования; 1 — окуляр; 2 — вертикальный круг; 3 — объектив; 4 — отсчетный индекс; 5 — уровень; 6 — оцифровка; *НН* — горизонтальная ось

При измерении вертикальных углов (рис.2а) исходным (основным) направлением является горизонтальное. Отсчеты ведут по шкалам, нанесенным на вертикальный круг теодолита. Уровень скреплен с алидадой так, что его ось установлена параллельно коллимационной плоскости зрительной трубы. Для вычисления значений углов наклона определяют место нуля (МО). Место нуля определяют так: устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение, находят хорошо видимую точку и наводят на нее трубу при круге «лево» (КЛ). При наличии уровня при вертикальном круге приводят его пузырек в нуль-пункт и берут отсчет по вертикальному кругу. Трубу переворачивают через зенит, теодолит — на  $180^\circ$  и вновь, теперь уже при круге «право» (КП), наводят крест сетки нитей на ту же точку. Вновь приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут второй отсчет по вертикальному кругу. При работе с теодолитом ЗТЗО место нуля вычисляют по следующей формуле:  $МО = (\Pi + Л + 180^\circ)/2$ . Место нуля может иметь любое значение. Для решения некоторых инженерных задач требуется определить зенитное расстояние, которое является дополнением угла наклона до  $90^\circ$ :  $z = 90^\circ - v$ . Зенитное расстояние образуется визирной линией и отвесной линией, называемой направлением на точку зенита. При измерении зенитных расстояний вместо МО определяют место зенита (МЗ). Для ЗТЗО:  $v = Л - МО$ ,  $v = МО - \Pi - 180^\circ$ ,  $v = (Л - \Pi - 180^\circ)/2$ ;

## Семинарское занятие (2 часа)

### Приборы для непосредственного измерения линий (инварная проволока, мерная стальная двадцатиметровая лента, рулетка). Точность измерения линий мерными приборами

#### 1.1 Физико – оптические мерные приборы

##### 1.2. Нитяный оптический дальномер

##### 1.3 Определение горизонтальных проложений линий измеренных дальномером

##### 1.4 Принцип измерения расстояний электромагнитными дальномерами

## 2. Задания

2.1 Разбор конкретной ситуации: Выполнить расчет разбивочных элементов для перенесения в натуру проектной точки  $A$  (см. рис. 2) при следующих исходных данных:

координаты точки  $M$  разбивочной основы:  $x_M$   5031,25  $y_M$   4814,37 м;

координаты точки  $A$ :  $x_A$   5072,50  $y_A$   4843,70 м;

дирекционный угол линии  $MN$  разбивочной основы  
  $MN$

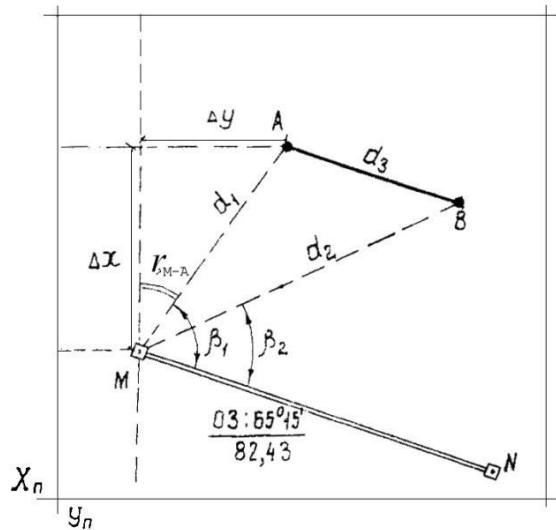
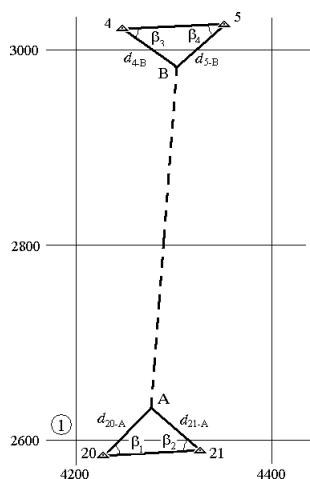


Рис.2

2.2 Чтобы подготовить разбивочные данные для перенесения точек главной оси сооружения в натуре, следует применить смешанный способ при условии, что координаты точки  $A$  задаются, а координаты точки  $B$  берутся графически с плана (рис. 3).



### Семинарское занятие (2 часа)

**Понятие о нивелировании. Методы нивелирования. Отметки (высоты) точек земной поверхности. Абсолютные и условные отметки.**

**Балтийская система высот. Постоянные высотные знаки (реперы).**

**Сущность геометрического нивелирования. Способы и виды геометрического нивелирования. Типы нивелиров, их классификация.**

**ГОСТ на нивелиры. Устройство технических и точных нивелиров.**

**Нивелирные рейки. Производство отсчетов по рейке. Нормальные и предельные плечи. Установка нивелира в рабочее положение. Основные оси нивелира. Производство поверок и юстировок с уровнем и компенсатором.**

- 1.1 Задачи и виды нивелирования
- 1.2. Способы геометрического нивелирования
- 1.3 Классификация нивелиров
- 1.4 Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования

## 2. Задания

2.1 Рассмотрение строения нивелиров

2.2 Разбор конкретной ситуации: Решите задачи:

1. Пусть имеется два ряда измерений при условии, что точность первого ряда заведомо ниже, так как он содержит более значительные по величине погрешности ( $-6$  и  $+7$ ).

I ряд:  $-1; +2; -6; +7; -1$ .

II ряд:  $-4; +2; -4; +3; -4$ .

1.2 Даны результаты измерения линии (табл. 12). Оценить точность измерений, т.е. вычислить  $m$ ,  $M$  и  $M'$ .

$\overline{\overline{l}}$

Таблица 2

**Исходные данные**

Номер измерения	$l$ , м	$V$ , см	$v^2$ , см $^2$
1	68,31	-1	1
2	68,30	-2	4
3	68,34	+2	4
4	68,32	0	0
5	68,33	+1	1
		$[v] \square 0$	$[v^2] \square 10$
	$\overline{l} \square 68,32$		

## Семинарское занятие (2 часа)

### Математическая обработка журнала продольного нивелирования.

**Постраничный контроль. Определение высотной невязки нивелирного хода, сравнение с допустимой и распределение высотной невязки.**

**Вычисление отметок связующих и промежуточных точек. Графическая обработка продольного нивелирования.**

Цель работы: освоить и закрепить методику математической обработки технического нивелирования трассы.

Исходные данные приведены в табл. 3. Порядок выполнения работы

1. Выписать по варианту исходные отметки двух реперов: в начале и в конце трассы (табл. 3) в журнал технического нивелирования (табл. 4, графа 11).

Отметки вписывать красным цветом. Расположение реперов относительно оси трассы приведено в пикетажном журнале (рис. 1).

### Таблица 3

#### Исходные данные по вариантам

М Вариант	Отметки реперов Н, Rp1 Rp2		М Вариант	Отметки реперов Н, Rp1 Rp2	
	1.	201,201		197,211	21.
	2.	202,202		198,203	22.
	3.	203,203		199,214	23.
	4.	204,204		200,216	24.
	5.	205,205		201,214	25.
	6.	206,206		202,232	26.
	7.	207,207		203,205	27.
	8.	208,208,		204,200	28.
	9.	209,209		205,250	29.
	10.	210,210		206,237	30.
	11.	211,211		207,194	31.
	12.	212,212		208,237	32.
	13.	213,213		209,197	33.
	14.	214,214		210,238	34.
	15.	215,215		211,198	35.
	16.	216,216		212,250	36.
	17.	217,217		213,209	37.
	18.	218,218		214,246	38.
	19.	219,219		215,237	39.
	20.	220,220		216,223	40.
					240,240 236,264

2. Выполнить математическую обработку результатов технического нивелирования трассы по данным полевого журнала (табл. 4) в следующей

последовательности:

- вычислить превышения по красным и черным сторонам реек по формуле З – П;
- если превышения отличаются на величину пятой разности плюс – минус 5 мм, можно подсчитать среднее значение превышения, свободное от пятой разности;
- выполнить постраничный контроль:  $S3 - S\Pi = Sh = 2Sh_{cp}$ ;
- при соблюдении контроля считают невязку в превышениях:  $f_h = \Sigma h_{cp} - (H_{Rp2} - H_{Rp1})$ . Внимание: отметки реперов задаются в метрах, средние превышения подсчитаны в миллиметрах, поэтому следует привести значения к единым единицам измерения, рекомендуется считать невязку в миллиметрах;
- сравнивают полученную невязку  $f_h$  с допустимой  $f_h^{dop}$ , которая зависит от длины хода  $L$ , выраженной в км:

$$f_h^{dop} = \pm 50 \text{ мм } \sqrt{L};$$

если невязка допустима, введите поправки в измеренные превышения

$$v_h = \frac{-f_h}{n}$$

пропорционально числу станций  $n$ , где  $n$  – число станций.

**Контроль вычислений:** сумма поправок должна быть равна невязке хода с обратным знаком;

– вычислите исправленные значения превышений. Суммы исправленных превышений по ходам должны давать нулевые невязки;

– вычислите отметки точек хода:  $H_{послед} = H_{пред} + h_{исправл}$

**Контроль вычислений:** вычисленная отметка конечной точки (репера 2) должна совпадать с исходным значением.

3. На плюсовых точках, где отсчеты по рейке записывались как промежуточные значения только по черной стороне рейки, следует высчитать горизонт инструмента ГИ:

$$ГИ = H_{пк}^3 + Зч,$$

где  $H_{пк}$  – отметка заднего пикета на станции,  $Зч$  – отсчет по черной стороне рейки на этой станции на этом же пикете.

Для контроля рекомендуется подсчитать ГИ через отметку переднего пикета  $H_{пк}^п$  и  $Пч$  – отсчет по черной стороне рейки на этой станции на переднем пикете:  $ГИ = H_{пк}^п - Пч$ .

11. Подсчитать отметки плюсовых точек по формуле:

$H_{\text{плюс}} = \text{ГИ} - a$ , где  $a$  – отсчет по рейке на промежуточной точке.

5. По результатам обработки журнала технического нивелирования трассы построить продольный профиль трассы, горизонтальный масштаб трассы 1:2000, вертикальный 1:200. при построении пользоваться данными пикетажного журнала.

6. Построить поперечный профили трассы, горизонтальный и вертикальный масштабы поперечного профиля 1:200.

7. На поперечных профилях показать разбивку границ земляного полотна.

8. По заданным параметрам автомобильной дороги подсчитать объем земляных работ, необходимый для устройства земляного полотна по формуле вертикальных сечений.

### **Семинарское занятие (2 часа)**

**Поперечное нивелирование. Последовательность работы на станции при поперечном нивелировании. Ведение журнала поперечного нивелирования, его математическая обработка. Графическая обработка поперечного нивелирования. Общие сведения о геодезических сетях. Плановые геодезические сети. Государственные плановые геодезические сети, классы сетей. Сети сгущения, съемочные сети. Высотные геодезические сети, знаки для закрепления геодезической сети: постоянные, временные.**

**1.**

#### **Вопросы к занятию:**

- 1.1 Принцип организации съемочных работ
- 1.2. Назначение и виды государственных геодезических сетей
- 1.3 Плановые государственные геодезические сети. Методы их создания
- 1.4 Высотные государственные геодезические сети
- 1.5 Геодезические съемочные сети

#### **2. Задание**

Занятие проходит в форме дискуссии. Групповая дискуссия - это метод активного обучения, одна из организационных форм познавательной деятельности обучающихся, позволяющая закрепить полученные ранее знания, восполнить недостающую информацию, сформировать умения решать проблемы, укрепить позиции, научить культуре ведения дискуссии. Характерной чертой групповой дискуссии является сочетание тематической дискуссии с групповой консультацией. Основной целью проведения дискуссии является выработка у студентов профессиональных умений излагать мысли, аргументировать свои соображения, обосновывать предлагаемые решения и отстаивать свои убеждения. При этом происходит закрепление информации и самостоятельной работы с дополнительным материалом, а также выявление проблем и вопросов для обсуждения

#### **2. Задание**

2.1 По плану вертикальной планировки составить:

- картограмму земляных работ и произвести подсчет объемов земляных работ;
- план участка в горизонталях с вертикальной привязкой здания.

#### **Исходные данные для примера:**

Нивелирование поверхности по квадратам - это вид геодезической съемки, который используется для создания крупномасштабных топографических планов. Топографические планы на основе нивелирования поверхности по квадратам

широко применяются в строительстве для вертикальной планировки строительных площадок.

На схему перенесены отсчеты по черным сторонам рейки, устанавливаемой поочередно на вершинах квадратов со сторонами **20x20м**, разбитых на строительной площадке. Для высотного определения планируемой поверхности использован рабочий (строительный) репер 1, расположенный в непосредственной близости от планируемой площадки. Отметка репера определяется по формуле:

**Расчет исходных данных:**

$$H_{Rp} = 30,3 + A, A,$$

где A- число букв в фамилии студента. Например Ильин:  $H_{Rp} = 30,3 + 5,5 = 35,350\text{м}$ . Отсчет по рейке на репере:

$$a = 1430 + A,$$

где A- число букв в фамилии студента.  $a = 1430 + 5 = 1435\text{мм}$ .

Нивелирование произведено с одной станции.

		1350	1490	1570	1700	
		1	2	3	4	
		1720	1430	1510	1590	
		5	6	7	8	
$\odot Rp$		12				1750
9	10		11			
			1470	1540	1610	

Рис. 3- Схема нивелирования площадки 2.2Принцип работы и строение  
электрического тахеометра

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет среднего профессионального образования**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ОП.05 ГЕОДЕЗИЯ**

**Специальность 35.02.12 Садово-парковое и ландшафтное  
строительство**

**Форма обучения очная**

**Срок получения СПО по ППССЗ 1 год 10 месяцев**

Оренбург 2023 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация самостоятельной работы .....	3
1.1. Организационно-методические данные дисциплины .....	3
1.2. Рекомендуемая литература .....	3
2. Методические указания по подготовке к занятиям .....	4

## 1. Организация самостоятельной работы

### 1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п .	Наименование тем	Количество часов работы по видам самостоятельной				
		подготовка курсовой работы (проекта)	подго- товка рефератов (эссе)	индивиду. домаш- ние задания	изучен ие отдель- ных вопрос ов	подго- товка к заня- тиям
1	2	3	4	5	6	7
1 семестр						
1	История геодезии в России			2		
2	Современные геодезические приборы.			2		

### 1.2. Рекомендуемая литература

#### Основная литература:

1. Дьяков, Б. Н. Геодезия / Б. Н. Дьяков, А. А. Кузин, В. А. Вальков. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 296 с. — ISBN 978-5-507-45566-9. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
2. Соловьев, А. Н. Основы геодезии и топографии / А. Н. Соловьев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-507-44730-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/238823>

#### Дополнительная литература:

1. «Стародубцев, В. И. Практическое руководство по инженерной геодезии : учебное пособие для спо / В. И. Стародубцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 136 с. — ISBN 978-5-8114-9099-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/184177>» (Стародубцев, В. И. Практическое руководство по инженерной геодезии : учебное пособие для спо / В. И. Стародубцев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-9099-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/184177>
2. «Азаров, Б. Ф. Геодезическая практика : учебное пособие для спо / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 300 с. — ISBN 978-5-8114-9472-9. — Текст : электронный // Лань :

электронно-библиотечная система. — URL:  
<https://e.lanbook.com/book/195477>» (Азаров, Б. Ф. Геодезическая практика: учебное пособие для спо / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-9472-9. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:  
<https://e.lanbook.com/book/195477>

## **Официальные, справочно-библиографические и периодические издания**

### **Перечень рекомендуемых Интернет-ресурсов:**

1. ЭБС IPRbooks, [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)
2. ЭБС Издательства «Лань», [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)
3. ЭБС Юрайт, [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru)
4. 4. Электронные библиотеки России /pdf учебники студентам [Электронный ресурс].— Режим доступа: [http://www.gaudeamus.omskcity.com/my\\_PDF\\_library.html](http://www.gaudeamus.omskcity.com/my_PDF_library.html) свободный. — Загл. с экрана.

## **2. Методические указания по подготовке к занятиям**

### **1. Форма и размеры Земли.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: уровенную поверхность, ее свойство, изображение земной поверхности на сфере и плоскости. .

### **2. Зональная система плоских прямоугольных координат.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности: основные точки, линии, плоскости и углы земной сферы. Географические координаты точек: широта, долгота. Изображение земной поверхности на сфере и плоскости

### **3. Геодезические планы, карты, чертежи.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: составление линейного и графического масштабов по численному (именованному), способы определения площадей участков местности на плане и карте: аналитический, графический (геометрический), механический.

### **4. Номенклатура карт. Масштабы**

Пользование различными видами масштабов при измерении горизонтальных проложений линий на карте и плане и нанесение горизонтальных проложений линий на карту и план, точность масштаба, полярный планиметр и его устройство.

#### 4. Ориентирование линий на местности.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: Азимуты и румбы, прямые и обратные, перевод азимутов в румбы и румбов в азимуты в четырех четвертях, измерение географических азимутов и румбов направлений на топографической карте.

#### 5. Азимуты и румбы, прямые и обратные.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: магнитные азимуты и румбы, взаимосвязь между географическими азимутами, магнитными азимутами и дирекционными углами, приборы с магнитной стрелкой

#### 6. Теодолит.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности: назначение теодолитов, принципиальная схема устройства теодолита, типы теодолитов: оптические, лазерные, электронные. Классификация теодолитов. ГОСТ на теодолиты

#### 7. Типы теодолитов.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: устройство оптических теодолитов, ход лучей в оптических теодолитах, штриховой и шкаловый микроскопы, основные оси теодолитов и их взаимное расположение, плоскости теодолита.

#### 8. Устройство и назначение вертикального круга теодолита.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: место нуля вертикального круга, его определение, свойства места нуля, способы приведения места нуля к значению, близкому к нулю, измерение вертикальных углов, вычисление углов наклона.

#### 9. Линейные измерения.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности: Приборы для непосредственного измерения линий (инварная проволока, мерная стальная двадцатиметровая лента, рулетка), точность измерения линий мерными приборами.

#### 10. Геометрическое нивелирование.

Понятие о нивелировании, методы нивелирования, сущность геометрического нивелирования, способы и виды геометрического нивелирования, типы нивелиров, их классификация, ГОСТ на нивелиры. Устройство технических и точных нивелиров, нивелирные рейки, производство отсчетов по рейке

## 11. Понятие о нивелировании.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности: методы нивелирования, отметки (высоты) точек земной поверхности, абсолютные и условные отметки, балтийская система высот, постоянные высотные знаки (реперы).

## 12. Математическая обработка журнала продольного нивелирования. При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: постраничный контроль, определение высотной невязки нивелирного хода, сравнение с допустимой и распределение высотной невязки, вычисление отметок связующих и промежуточных точек, графическая обработка продольного нивелирования

## 13. Поперечное нивелирование.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности: последовательность работы на станции при поперечном нивелировании.

## 14. Общие сведения о геодезических сетях.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие моменты: плановые геодезические сети, государственные плановые геодезические сети, классы сетей, сети сгущения, съемочные сети, высотные геодезические сети, знаки для закрепления геодезической сети: постоянные, временные.

# 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ

## 1 ЛР-1 Форма и размеры Земли.

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Что такое уровенная поверхность?
2. Какое есть свойство уровенной поверхности?
3. Какие есть основные точки земной сферы, линии, плоскости и углы земной сферы?
4. Какие есть основные линии земной сферы?
5. Какие есть основные плоскости земной сферы?

4.2      ЛР-3 Геодезические планы, карты, чертежи

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1.      Какие существуют геодезические планы?
2.      Какие существуют геодезические карты?
3.      Какие существуют геодезические чертежи?
4.      Что такое номенклатура карт?
5.      Определение «масштабы» применительно к геодезии.
6.      Как составлять линейный масштаб по численному?
7.      Как составлять графический масштаб по численному?
8.      Как пользоваться различными видами масштабов при измерении горизонтальных проложений линий на карте и плане?
9.      Как наносить горизонтальные проложения линий на карту и план?
10.     Знать точность масштаба.
11.     Что такое полярный планиметр?
12.     Устройство полярного планиметра

4.3      ЛР-4 Понятие об ориентировании линий.

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1.      Что такое азимуты и румбы, прямые и обратные?
2.      Перевод азимутов в румбы и румбов в азимуты в четырех четвертях.
3.      Измерение географических азимутов и румбов направлений на топографической карте.
4.      Ориентирование линий относительно осевого меридиана зоны.
5.      Дайте определение дирекционным углам и румбам.
6.      Что такое сближение меридианов?
7.      Как измерять дирекционные углы и румбы направлений на карте и плане?
8.      Понятие магнитной стрелке, склонение магнитной стрелки.
9.      Ориентирование линий относительно магнитного меридиана.
10.     Что такое магнитные азимуты и румбы?
11.     Какая взаимосвязь между географическими азимутами, магнитными азимутами и дирекционными углами?
12.     Перечислить приборы с магнитной стрелкой.
13.     Понятие буссоли, их устройство и производство поверок буссолей.
14.     Как измеряют магнитные азимуты, магнитные румбы с помощью буссолей?
15.     Ориентирование топографических карт и планов.

4.4 ЛР-5 Угловые измерения. Теодолит.

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Понятие теодолита.
2. Назначение теодолитов
3. Принципиальная схема устройства теодолита.
4. Типы теодолитов: оптические, лазерные, электронные.
5. Какие есть ГОСТы на теодолиты?
6. Классификация теодолитов.
7. Как устроены оптические теодолиты? Ход лучей в оптических теодолитах.
8. Штриховой и шкаловый микроскопы.
9. Основные оси теодолитов и их взаимное расположение.
10. Какие есть плоскости теодолита?
11. Установка теодолита в рабочее положение.
12. Установка зрительной трубы теодолита “по глазу” и “по предмету”.
13. Увеличение зрительной трубы.
14. Техника безопасности при работе с теодолитом
15. Принцип измерения горизонтального угла. Погрешности, сопровождающие измерение горизонтального угла.
16. Способы измерения вправо по ходу лежащего горизонтального угла.
- Точность измерений
17. Последовательность измерения горизонтального угла двумя полуприемами.
18. Правила ведения и обработки журнала измерения горизонтальных углов.
19. Измерение теодолитом магнитных азимутов

4.5 ПЗ-1 Линейные измерения.

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Понятие линейных измерений
2. Приборы для непосредственного измерения линий (инварная проволока, мерная стальная двадцатиметровая лента, рулетка)
3. Точность измерения линий мерными приборами

4.6 ЛР-6 Геометрическое нивелирование Понятие о нивелировании

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Понятие о нивелировании.
- Типы нивелиров, их классификация.
2. Методы нивелирования

3. Отметки (высоты) точек земной поверхности.
4. Абсолютные и условные отметки. Балтийская система высот.
5. Сущность геометрического нивелирования.
6. Способы и виды геометрического нивелирования.
7. Устройство технических и точных нивелиров.
8. Нивелирные рейки. Производство отсчетов по рейке.
9. Установка нивелира в рабочее положение.
10. Какие существуют основные оси нивелира?
11. Производство поверок и юстировок с уровнем и компенсатором.
12. Математическая обработка журнала продольного нивелирования.
13. Как вычислять отметки связующих и промежуточных точек?
14. Понятие о поперечном нивелировании
15. Общие сведения о геодезических сетях
16. Плановые геодезические сети. Государственные плановые геодезические сети
17. Какие бывают классы сетей?

При подготовке указанных вопросов необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах. Для лучшего запоминания определений (терминов) необходимо понять их смысл.

## Содержание разделов дисциплины

Геодезия относится к наукам о Земле. Это наука об измерениях на земной поверхности, о методах изображения поверхности земли на планах и картах и методах определения фигуры и размеров Земли.

Геодезия - слово греческое, в переводе на русский язык означает "землеразделение". Появление первых геодезических измерений относится к далекой древности и связано с работами по размежеванию земельных участков в долинах рек после их ежегодного разлива,

Современная геодезия решает целый ряд научных и практических задач не только на Земле, но и в космосе и делится на несколько самостоятельных дисциплин.

Задачу определения фигуры и размеров Земли и создания государственных опорных сетей решает высшая геодезия.

Построением местных сетей, сетей сгущения и изображением местности на планах и картах занимается топография, или геодезия.

Прикладная геодезия решает геодезические задачи при изысканиях, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Разработкой и изучением методов и процессов создания карт обширных территорий, всей поверхности Земли и других планет занимается картография.

Развитие фотографии и авиации позволило широко применять аэрофотосъемку земной поверхности для создания планов и карт, так возникли аэросъемка и фотограмметрия.

С запуском искусственных спутников Земли и других космических летательных аппаратов появились новые ветви науки: космическая геодезия и исследование природных ресурсов аэрокосмическими методами. Геодезическими работами на море и съемками шельфа занимается морская геодезия.

Геодезия тесно связана с другими науками. Большое влияние на её развитие оказывают математика, физика и астрономия: математика вооружает геодезию средствами анализа и методами обработки результатов измерений, на основе законов физики создаются оптико-механические и оптико-электронные геодезические приборы, астрономия обеспечивает геодезию необходимыми исходными данными. Знания географии, геоморфологии обеспечивают правильное отображение на картах рельефа (неровностей местности), естественного покрова земной поверхности (растительности, рек, озер и т.п.) и результатов деятельности людей (населенных пунктов, дорог, промышленных предприятий и других сооружений). Для графического оформления планов и карт необходимы знания, навыки и приемы топографического черчения. Топографические карты широко используются в геологии и экологии. Трудно назвать отрасль народного хозяйства страны, где бы не находила применение геодезия. Геодезические измерения необходимы в промышленности и на транспорте, в сельском хозяйстве и землеустройстве, лесоустройстве, при геологической разведке и разработке полезных ископаемых, при планировке и застройке городов, для составления и ведения земельного кадастра и т.д.

Для составления любого инженерного проекта необходима топографическая карта местности. Такая карта, дополненная геологической, гидрологической и другими характеристиками района, позволяет выявить технико-экономическую целесообразность осуществления проекта в данных условиях местности.

Строительству любого объекта предшествует проектирование, которое выполняется на топографической основе. После составления генерального плана, на котором показывается взаимное размещение всех зданий и сооружений, на местности посредством геодезических измерений осуществляют так называемое перенесение проекта в натуру.

Производство строительных работ нуждается в постоянном геодезическом обслуживании: в разбивках зданий и сооружений и их элементов, производстве обмеров, частичных съемках, наблюдениях за деформациями возводимых объектов и т.д. Сдаче в эксплуатацию законченных объектов предшествуют исполнительные съемки, в результате которых устанавливается соответствие проекту фактических параметров сооружения. Без составления исполнительного плана объект не может быть принят в эксплуатацию.

В процессе эксплуатации сооружений ведутся наблюдения за их деформациями, преследующие как научные (обоснование правильности теоретических расчетов устойчивости сооружений), так и производственно-технические цели (выявление недопустимых величин деформаций и принятие профилактических мер).

Развитие лесной промышленности (особенно в связи с освоением лесных районов Севера, Урала и Сибири) требует проведения различных геодезических работ для проектирования и строительства предприятий лесной промышленности, лесовозных дорог, жилых поселков и других объектов.

Большое значение имеет геодезия в военном деле. Известный русский ученый-геодезист проф. В.В.Витковский (1856-1924) писал: "Гениальнейшие мысли на войне могут остаться бесплодными или привести к гибельным последствиям, если они не будут основаны на изучении местности. Местность же изучается преимущественно по топографическим картам." Карта необходима для сбора разведывательных данных, разработки боевых операций, руководства боем, обеспечения успешных действий артиллерии, ракетных войск, авиации, военно-морского флота.

## **Раздел 1. Основы геодезии**

### **1.1. Общие сведения. Форма и размеры Земли.**

#### **Зональная система плоских прямоугольных координат**

Геодезия(греч. «землеразделение») – наука об измерениях на земной поверхности, проводимых для определения формы и размеров Земли, изображении земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также для создания различных инженерных сооружений.

В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд самостоятельных научных дисциплин – высшую геодезию, геодезию, инженерную геодезию, картографию, фототопографию и космическую геодезию.

Высшая геодезия занимается изучением вида и размеров Земли, а также определением геодезических координат отдельных точек земной поверхности.

Геодезия, часто называемая топографией, изучает методы съемки для изображения сравнительно небольших участков земной поверхности на планах или картах.

Инженерная геодезия призвана решать геодезические задачи, связанные с построением опорной геодезической основы для проведения съемочных и разбивочных работ, составлением крупномасштабных планов и профилей для проектирования инженерных сооружений; производством разбивочных работ в плане и по высоте при строительстве зданий и сооружений; текущим обслуживанием строительно-монтажных операций; составлением исполнительных чертежей возведенных объектов и исследованием их деформаций в процессе строительства и эксплуатации. Космическая геодезия изучает геометрические соотношения между точками земной поверхности с помощью искусственных спутников Земли. Геодезия имеет огромное значение в

различных отраслях народного хозяйства. Особенно велика ее роль при картографировании.

Геодезические работы ведут при планировке, озеленении и благоустройстве населенных мест, при лесоустройстве и т.д. Комплексная механизация и автоматизация строительно-монтажных операций невозможна без высокой точности геодезических измерений.

При проектировании вертикальной планировки строительной площадки и подготовке выноса проектов зданий и сооружений в натуру составляют специальные разбивочные чертежи, на которых указывают линейные и угловые величины, определяющие положение на местности зданий и сооружений. Геодезические разбивочные работы обеспечивают соблюдение всех геометрических требований проекта и должны предусматриваться в технологических схемах возведения зданий и сооружений. В процессе возведения объектов выполняют контрольные геодезические измерения. После окончания строительства производят исполнительную съемку законченных объектов и составляют исполнительный генеральный план, используемый при эксплуатации зданий и сооружений. При эксплуатации сооружений ведут систематические геодезические наблюдения за их устойчивостью и прочностью.

### Понятие о форме и размерах Земли

Физическая поверхность Земли, состоящая из суши и водной поверхности имеет сложную форму. Суша представляет сочетание низменностей и возвышений, высоты которых над уровнем моря достигают 8-9 км.

За математическую поверхность Земли принимают уровненную поверхность, которая представляет поверхность воды океанов в ее спокойном состоянии, мысленно продолженную под материки. В общем уровненная поверхность Земли не совпадает с поверхностью ни одной математической фигуры и представляет собой неправильную форму, которая называется геоидом.

Угол  $\phi$ , называемый географической широтой, отсчитывается от плоскости экватора к северу и к югу от  $0$  до  $90^\circ$ . Широты точек, расположенных в северном полушарии, называют северными, а в южном – южными. Угол  $\lambda$ , называемый географической долготой, отсчитывается от плоскости начального меридиана к востоку и западу от  $0$  до  $180^\circ$ . Точки, расположенные восточнее начального меридиана, имеют восточные долготы, а западнее – западные. Зональная система прямоугольных координат Гаусса. Чтобы установить связь между географическими координатами любой точки на плоскости, применяют способ проектирования поверхности земного шара на плоскость по частям, которые называются зонами. В такой системе начало координат для всех зон принимается в точке пересечения осевого меридиана данной зоны с экватором. Координатными осями являются соответственно ось абсцисс и ось ординат

Система прямоугольных координат. В геодезической практике часто положение точек определяют плоскими прямоугольными координатами. В этой системе плоскость координат совпадает с плоскостью горизонта в данной точке О, являющейся началом этих координат; ось х всегда направлена на север, а ось у – на восток. Северное направление оси абсцисс считается положительным (+), южное – отрицательным (-); направление оси ординат считается положительным на восток и отрицательным на запад.

Оси координат делят плоскость чертежа на четыре части, которые называются четвертями: I – СВ, II – ЮВ, III – ЮЗ, IV – СЗ

В РФ высоты точек физической поверхности Земли отсчитываются от нуля Кронштадского футштока (черта на медной доске, установленной в гранитном устое моста через Обводной канал в Кронштадте).

Числовые значения высот точек называют отметками.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что такое физическая и уровенная поверхность Земли?
2. Что называется географической широтой и долготой?
3. Какие системы координат применяются в геодезии?
4. Что называется абсолютной и условной высотой точки на земной поверхности?
5. Что называется относительной высотой точки на земной поверхности?
6. Что называется отметкой точки на земной поверхности?

## **1.2. Геодезические планы, карты, чертежи**

Планом местности называется чертеж, представляющий собой уменьшенное и подобное изображение ее проекции на горизонтальную плоскость.

На плане длины линий, углы и площади контуров участков местности не искажаются, а степень уменьшения ее линейных элементов (масштаб изображения) постоянна для всех частей плана. Планы, на которых изображена только

ситуация местности, называются ситуационными или контурными. Планы, на которых кроме предметов местности изображен еще и рельеф, называют топографическими.

Картой называется построенное по определенным математическим законам уменьшенное обобщенное изображение на плоскости всей Земли или значительных ее частей с учетом кривизны уровенной поверхности.

Карты в зависимости от масштабов условно делят на крупномасштабные – 1: 100000 и крупнее, среднемасштабные – от 1: 200000 до 1: 1000000, мелкомасштабные – мельче 1: 1000000.

При выполнении геодезических работ, входящих в комплекс строительно-монтажного производства, для составления планов применяют масштабы 1 : 200, 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000.

Профилем местности называется изображенное в уменьшенном виде сечение вертикальной плоскостью поверхности Земли по заданному направлению. Профили местности используют для строительства и монтажа надземных и подземных инженерных сооружений и сетей.

Топографические планы применяют в основном для строительного проектирования. На таком плане изображают весь комплекс подземных и надземных сооружений. В зависимости от размеров и назначения строительства его рабочий проект составляют в масштабе 1 : 500 – 1 : 1000, на отдельные объекты в зависимости от их сложности – в масштабе 1 : 200 и крупнее.

Масштабом называется отношение длин линии на плане (профиле) к соответствующей проекции этой линии на местности. Следовательно, масштаб есть число отвлеченное – правильная дробь. Для удобства пользования и сравнения все масштабы имеют однообразный вид: числителем дроби всегда является единица; при этом знаменатель непосредственно выражает степень уменьшения.

Численный масштаб – масштаб, где числитель выражен единицей.

$$S_0 / S = 1 / S : S_0 = 1 / M(1)$$

В формуле (1)  $M$  – знаменатель численного масштаба, который показывает, во сколько раз были уменьшены проложения линий местности при изображении их на плане. Из численного масштаба следует, что определенной единице длины на плане соответствует 1000 или 2000 или 5000 и т.д. таких же единиц на местности. Например, 1 см на разных планах или картах соответствует 1000, 2000, 50000, 10 000 см на местности или в переводе на метры 10, 20, 50 и 100 м.

При сравнении двух масштабов более крупным называют тот, у которого знаменатель меньше. Естественно, чем крупнее масштаб, тем больше подробностей может быть изображено на плане или карте. Планы, на которых должно быть показано больше подробностей, следует составлять в более крупном масштабе.

Линейным масштабом пользуются следующим образом. Если при помощи линейного масштаба, изображенного на рисунке 2.1а, нужно отложить на плане отрезок, соответствующий расстоянию 420м на местности, то правую ножку циркуля-измерителя совмещают с делением 400, расположенным правее нулевого деления, а левую совмещают со вторым делением основания масштаба, расположенным левее 0. Общий раствор циркуля-измерителя будет соответствовать заданному расстоянию на местности.

Для обозначения на планах и картах различных предметов местности применяют специально разработанные условные знаки. Для облегчения пользования планом или картой очертания условных знаков напоминают вид изображаемых элементов местности. Условные знаки для топографических планов и карт являются едиными для всей России. В основу создания условных знаков положено единство их начертания, поэтому для чтения планов и карт достаточно изучить условные знаки одного какого-нибудь масштаба.

Некоторую особенность представляют собой условные знаки разбивочных и исполнительных чертежей, которые применяются при проектировании генеральных планов сооружаемых объектов. Условные знаки принято делить на контурные, или масштабные, и внемасштабные.

Масштабными называют условные знаки, которыми предметы местности изображают с соблюдением масштаба карты или плана. Они дают возможность определить по плану или карте не только местоположение предмета, но и его размеры.

### **Вопросы для самопроверки**

- 1.Что называется планом, картой, профилем местности?
- 2.Что называется масштабом?
- 3.Что представляют собой численный, линейный и поперечный масштабы?
- 4.Построить линейный масштаб, если численный равен: 1:500; 1:2000; 1:50 000.
- 5.Определить цену деления поперечного масштаба, если число делений

на основании 10, а численный масштаб 1:500; 1:10000; 1:2500.

## Раздел 2. Геодезические измерения

### 2.1. Понятие об ориентировании линий.

При выполнении геодезических работ на местности, а также при решении инженерно-геодезических задач на топографических картах и планах возникает необходимость в определении положения линий местности относительно какого-либо направления, принимаемого за основное (исходное). Такое определение называется ориентированием.

Чаще всего за основное принимается направление меридиана, и положение линий местности определяется относительно сторон горизонта – севера, востока, юга и запада. Такое ориентирование называется ориентированием относительно стран света.

В геодезии при ориентировании за основное направление принимают направление осевого, истинного или магнитного меридианов. При этом положение линии определяют с помощью соответствующих углов ориентирования: дирекционного угла, истинного или магнитного азимута. Поняв роль припосевного удобрения, уясните, какие удобрения целесообразнее использовать для этой цели. Подкормки проводят в разные сроки во время вегетации растений.

Дирекционный угол измеряется от северного направления осевого меридиана в направлении движения часовой стрелки через восток, юг и запад. Следовательно, градусная величина дирекционного угла может иметь любое значение от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Физиологически щёлочные удобрения – это питательные соли, из которых растения поглощают анионы в обмен на ионы, образующихся при диссоциации выделяемой при дыхании угольной кислоты, и воды.

Осевым румбом называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления осевого меридиана (северного или южного) до данной линии. Румбы обозначают буквой  $r$  с индексом, указывающим четверть, в которой находится румб.

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

$$\text{I четверть (СВ)} r = \alpha$$

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

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

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

Румб в точке  $M$  направления  $BC$  называется прямым, а противоположного направления  $CB$  – обратным. Прямой и обратный румб в одной и той же точке данной линии равны по численному значению, но имеют индексы противоположных четвертей.

Кроме осевого меридиана зоны при ориентировании линий местности за основное направление может приниматься направление истинного (географического) меридиана.

Истинный меридиан – линия пересечения земной поверхности с плоскостью, проходящей через отвесную линию и ось вращения Земли.

Положение линии местности относительно истинного меридиана определяется истинным азимутом или истинным румбом.

Истинный азимут линии – угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана по ходу часовой стрелки до данной линии.

При изучении раздела о гипсовании необходимо понять задачи этого приёма, являющегося коренным средством улучшения солонцовых почв. Уяснить способы гипсования и условия, повышающие эффективность этого метода.

Истинный румб линии – острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления истинного меридиана (северного или южного) до данной линии.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется ориентированием на местности?
2. Что называется дирекционным углом линии, и в каких пределах он измеряется?
3. Что такое румб линии, и в каких пределах он измеряется?
4. Что называется истинным и магнитным азимутами?
5. Какова зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом и между истинным азимутом и магнитным азимутом?
6. Что называется сближением меридианов?
7. Что называется склонением магнитной стрелки?

### **Угловые измерения. Теодолит**

Углы обычно измеряют в градусной мере (градусы, минуты, секунды), реже - в радианной. За рубежом широко применяется градовая мера измерения углов.

При геодезических работах измеряют не углы между сторонами на местности, а их ортогональные (горизонтальные) проекции, называемые горизонтальными углами. Так, для измерения угла АВС, стороны которого не лежат в одной плоскости, нужно предварительно спроектировать на горизонтальную плоскость точки А, В, и С и измерить горизонтальный угол  $abc = \beta$

Измерения горизонтальных проекций углов между линиями местности производят геодезическим угломерным прибором теодолитом. Для этого теодолит имеет горизонтальный угломерный круг с градусными делениями, называемый лимбом. Стороны угла проектируют на лимб с использованием подвижной визирной плоскости из зрительной трубы. Она образуется визирной осью трубы при её вращении вокруг горизонтальной оси. Данную плоскость поочередно совмещают со сторонами угла ВАиС, последовательно направляя визирную ось зрительной трубы на точки АиС. При помощи

специального отсчетного приспособления алидады, которая находится над лимбом и перемещается вместе с визирной плоскостью, на лимбе фиксируют начало и конец дуги  $1c1$ , беря отсчеты по градусным делениям. Разность взятых отсчетов является значением измеряемого угла  $\beta$ . Калийные удобрения. Изучение нужно начать с выяснения значения калия для жизни растений. В отличие от азота и фосфора калий не входит в состав органических соединений в растениях, но значение его для них многообразно.

Лимб и алидада, используемые для измерения горизонтальных углов, составляют в теодолите горизонтальный круг. Ось вращения алидады горизонтального круга называют основной осью теодолита.

В теодолите также имеется вертикальный круг с лимбом и алидадой, служащий для измерения вертикальных проекций углов – углов наклона. Принято считать углы наклона выше горизонта положительными, а ниже горизонта – отрицательными. Лимб вертикального круга обычно наглухо скреплён со зрительной трубой и вращается вместе с ней вокруг горизонтальной оси теодолита.

Для установки, настройки и наведения теодолита на цели в нем имеется система винтов: становой и подъемные винты, закрепительные (зажимные) и наводящие (микрометренные) винты, исправительные (юстировочные) винты.

Становым винтом теодолит крепят к головке штатива, подъемными винтами – горизонтируют.

Закрепительными винтами скрепляют подвижные части теодолита (лимб, алидаду, зрительную трубу) с неподвижными. Наводящими винтами сообщают малое и плавное вращение закрепленным частям.

Чтобы теодолит обеспечивал получение неискаженных результатов измерений, он должен удовлетворять соответствующим геометрическим и оптико-механическим условиям. Действия, связанные с проверкой этих условий, называют поверками. Если какое-либо условие не соблюдается, с помощью исправительных винтов производят юстировку прибора

В настоящее время отечественными заводами в соответствии с действующим ГОСТ 10529 – 96 изготавливаются теодолиты четырех типов: Т05, Т1, Т2, Т5 и Т30.

Для обозначения модели теодолита используется буква "Т" и цифры, указывающие угловые секунды средней квадратической ошибки однократного измерения горизонтального угла.

По точности теодолиты подразделяются на три группы:

технические Т30, предназначенные для измерения углов со средними квадратическими ошибками до  $\pm 30''$ ;

точные Т2 и Т5 – до  $\pm 2''$  и  $\pm 5''$ ;

высокоточные Т05 и Т1 – до  $\pm 1''$ .

ГОСТом 10529 – 86 предусмотрена модификация точных и технических

теодолитов. Так, например, теодолит Т5 должен изготавляться в двух вариантах: с цилиндрическим уровнем при алидаде вертикального круга и с компенсатором, заменяющим этот уровень. Теодолит с компенсатором при вертикальном круге должен обозначаться дополнительно буквой "К", например обозначается Т5К.

Технические и эксплуатационные характеристики теодолитов постоянно улучшаются. Шифр обновленных моделей начинается с цифры, указывающей на соответствующее поколение теодолитов: 2Т2,2Т5К,3Т5КП, 3Т30, 3Т2,4Т30Пи т.д.

ции предусмотренной ГОСТ 10529 – 96 типы теодолитов делятся на повторительные и не повторительные.

У повторительных теодолитов лимб имеет закрепительный и наводящий винты и может вращаться независимо от вращения алидады.

Неповторительная система осей предусмотрена у высокоточных теодолитов.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назначение теодолита.
2. Основные части теодолита.
3. Какие бывают отсчетные приспособления в теодолитах?
4. Назначение цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.
5. Назначение зрительной трубы теодолита.
6. Характеристики зрительной трубы.
7. Какие установки зрительной трубы при наблюдениях?

## **2.1. Линейные измерения**

Измерения линий на местности могут выполняться непосредственно, путем откладывания мерного прибора в створе измеряемой линии, с помощью специальных приборов дальномеров и косвенно. Косвенным методом измеряют вспомогательные параметры (углы, базисы), а длину вычисляют по формулам.

Для измерения длин линий посредством откладывания мерного прибора используют стальные мерные ленты, которые обычно изготавливают из ленточной углеродистой стали. В геодезической практике чаще всего применяются штриховые и шкаловые ленты.

На ленте нанесены метровые деления, обозначенные прикрепленными бляшками, и дециметровые деления, обозначенные отверстиями. Метровые деления на обеих сторонах оцифрованы. Счет оцифровки делений ведется на одной стороне от одного конца ленты, а на другом – от другого конца. За длину ленты принимают расстояние между штрихами, нанесенными на крюках у концов ленты. К крюкам приделаны ручки. К ленте прилагается 6 или 11 шпилек на кольце. Шпильки сделаны из стальной проволоки диаметром 5 – 6 мм и длиной 30 – 40 см в нерабочем положении ленту наматывают на кольцо.

Для измерения небольших расстояний применяют стальные и тесьмяные рулетки длиной 5, 10, 20, 50 м. Деления на рулетках нанесены на одной стороне через 1 см и редко через 1 мм. Свернутая рулетка помещается в металлический или пластмассовый корпус.

Мерные ленты и рулетки перед измерением ими линии должны быть проверены. Данная проверка называется компарированием и состоит в установлении действительной длины мерного прибора путем его сравнения с образцовым прибором, длина которого точно известна.

Для компарирования штриховых лент за образцовый мерный прибор принимают одну из лент, имеющихся на производстве, длину которой выверяют в лаборатории Государственного надзора за стандартами и измерительной техникой Государственного комитета стандартов РФ и пользуются ею при сравнении с рабочими лентами. Компарирование шкаловых лент производят на специальных приборах, называемых стационарными компараторами.

Простейший способ компарирования штриховых лент состоит в следующем. На горизонтальной поверхности, например, на полу, укладывают образцовую ленту. Рядом с ней кладут проверяемую ленту так, чтобы их края касались друг друга, а нулевые штрихи совмещались. Жестко закрепив концы с нулевыми штрихами, ленты натягивают с одинаковой силой и измеряют миллиметровой линейкой величину несовпадения конечных штрихов на других концах лент. Данная величина показывает на сколько миллиметров рабочая лента короче или длиннее образцовой и называется поправкой за компарирование  $\Delta\ell$ .

## 2.2. Геометрическое нивелирование

Нивелированием называется совокупность геодезических измерений для определения превышений между точками, а также их высот.

Нивелирование производят для изучения рельефа, определения высот точек при проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений. Результаты нивелирования имеют большое значение для решения научных задач как самой геодезии, так и для других наук о Земле.

В зависимости от применяемых приборов и измеряемых величин нивелирование делится на несколько видов.

1. Геометрическое нивелирование – определение превышения одной точки над другой посредством горизонтального визирного луча. Осуществляют его обычно с помощью нивелиров, но можно использовать и другие приборы, позволяющие получать горизонтальный луч.

2. Тригонометрическое нивелирование – определение превышений с помощью наклонного визирного луча. Превышение при этом определяют как функцию измеренного расстояния и угла наклона, для измерения которых используют соответствующие геодезические приборы (тахеометр, кипрегель).

3. Барометрическое нивелирование – в его основу положена зависимость

между атмосферным давлением и высотой точек на местности.

4. Гидростатическое нивелирование – определение превышений основывается на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах всегда находиться на одном уровне, независимо от высоты точек, на которых установлены сосуды.

5. Аэрорадионивелирование - превышения определяются путем измерения высот полета летательного аппарата радиовысотомером.

6. Механическое нивелирование - выполняется с помощью приборов, устанавливаемых в путеизмерительных вагонах, тележках, автомобилях, которые при движении вычерчивают профиль пройденного пути. Такие приборы называются профилографы.

7. Стереофотограмметрическое нивелирование основано на определении превышения по паре фотоснимков одной и той же местности, полученных из двух точек базиса фотографирования.

8. Определение превышений по результатам спутниковых измерений. Использование спутниковой системы ГЛОНАСС – Глобальная Навигационная Спутниковая Система позволяет определять пространственные координаты точек.

Геометрическое нивелирование – это наиболее распространенный способ определения превышений. Его выполняют с помощью нивелира, задающего горизонтальную линию визирования.

Согласно действующим ГОСТам нивелиры изготавливают трех типов: высокоточные – Н-05; точные – Н-3; технические – Н-10.

Нивелирные рейки для нивелирования III – IV класса и технического изготавливают из деревянных брусьев двутаврового сечения шириной 8 – 10 и толщиной 2 – 3 см.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется нивелированием?
2. Назовите виды нивелирования?
3. Назовите способы геометрического нивелирования?
4. В чем заключается способ нивелирования из середины и вперед?
5. В чем сущность последовательного нивелирования?
6. В чем сущность тригонометрического, барометрического и гидростатического нивелирования?
7. Как нивелиры классифицируются по точности?
8. Чем отличается уровненный нивелир от нивелира с компенсатором?

9. Когда можно не учитывать поправки за кривизну Земли и рефракцию при геометрическом нивелировании









