

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

**«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Разработка, эксплуатация нефтяных
месторождений и транспорт нефти»**

О. К. Абрамович

ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ НЕДР

ПОСОБИЕ

**по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-51 02 02
«Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2018

УДК 622.1+550.8(075.8)
ББК 33.12я73
А16

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 12.12.2016 г.)*

Рецензент: декан геолого-географ. ф-та канд. геолого-минерал. наук, доц. *А. П. Гусев*

- Абрамович, О. К.**
А16 Геодезия, маркшейдерское дело и геометризация недр : пособие по одним дисциплинам для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» днев. и заоч. форм обучения / О. К. Абрамович. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 141 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены теоретические основы геодезии, маркшейдерского дела и геометризации недр, вероятностно-статистические методы обработки и оценки исходных данных. Описаны методики основных маркшейдерских работ для нефтяной промышленности, наземных съемок, геометризации формы залежей с одинаковыми физико-механическими свойствами и процессами, протекающими в недрах, геометризации пространственного положения скважин. Приведены методы прогнозирования изучаемых показателей, способы подсчета запасов и маркшейдерского контроля оперативного учета добычи нефти и газа и процесса разработки. Уделено внимание современным методам ведения съемочных и инженерных работ, в частности, использованию спутниковых навигационных систем.

Для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

УДК 622.1+550.8(075.8)
ББК 33.12я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

Лекция 1 Предмет и задачи геодезии

Геодезия – одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образовано из двух слов – «земля» и «разделяю», а сама наука возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков, строительству оросительных каналов, осушению земель. Современная геодезия – многогранная наука, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами. В геодезии используют положения математики, физики, астрономии, картографии, географии и других научных дисциплин.

Геодезия подразделяется на высшую, космическую, топографию, фотограмметрию и инженерную (прикладную) геодезию. Каждый из этих разделов имеет свой предмет изучения, свои задачи и методы их решения, т. е. является самостоятельной научно-технической дисциплиной.

Высшая геодезия изучает фигуру и размеры Земли, методы определения координат точек на поверхности для территории всей страны.

Космическая геодезия решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли.

Топография рассматривает способы изучения земной поверхности и изображения ее на картах и планах.

Фотограмметрия решает задачи измерений по аэрофото- и космическим снимкам для различных целей, в том числе для получения карт и планов, обмеров зданий и сооружений и т. п.

Инженерная геодезия изучает методы геодезического обеспечения при разработке проектов, строительстве и эксплуатации разнообразных сооружений, а также при изучении, освоении и охране природных ресурсов.

Несмотря на многообразие инженерных сооружений при их проектировании и возведении решаются следующие общие задачи: получение геодезических данных при разработке проектов строительства сооружений (инженерно-геодезические изыскания); определение на местности основных осей и границ сооружений в соответствии с проектом строительства (разбивочные работы);

обеспечение в процессе строительства геометрических форм и размеров элементов сооружения в соответствии с его проектом, геометрических условий установки и наладки технологического оборудования; определение отклонений геометрической формы и размеров возведенного сооружения от проектных (исполнительные съемки); изучение деформаций (смещений) земной поверхности под сооружением, самого сооружения или его частей под воздействием природных факторов и в результате деятельности человека.

Для решения каждой из указанных задач применительно к разным видам сооружений существуют свои методы, средства и требования к точности их выполнения. Например, при инженерно-геодезических изысканиях в основном производят измерения для составления карт и планов, на которых изображают то, что есть на местности, а при строительстве здания, наоборот, определяют на местности то место, где здание должно располагаться по проекту. Конструкции здания устанавливают на предусмотренные проектом места с погрешностью 5...10 мм, детали заводского конвейера – 1...2 мм, а оборудование физических лабораторий (ускорителей ядерных частиц) – 0,2...0,5 мм.

Инженерная геодезия тесно связана с другими геодезическими дисциплинами и использует методы измерений и приборы, предназначенные для общегеодезических целей. В то же время для геодезического обеспечения строительно-монтажных работ, наблюдений за деформациями сооружений и других подобных работ применяют свои приемы и методы измерений, используют специальную измерительную технику, лазерные приборы и автоматизированные системы.

Инженерно-геодезические измерения выполняют непосредственно на местности в различных физико-географических условиях, поэтому необходимо заботиться об охране окружающей природы: не допускать повреждений лесов, сельскохозяйственных угодий, не загрязнять водоемы.

Решение современных задач геодезии связано с обеспечением и улучшением качества строительных зданий и сооружений, промышленных и жилых комплексов, дорог, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов, энергетических объектов, объектов агропромышленного комплекса и др. Для этого требуется большое число квалифицированных работников, способных обеспечить строительство важных народно-хозяйственных объектов.

Лекция 2 Планетарные модели Земли

Форма Земли. Мысль о том, что Земля имеет форму шара, впервые высказал в VI в. до н. э. древнегреческий ученый Пифагор, а доказал это и определил радиус Земли египетский математик и географ Эратосфен, живший в III в. до н.э. Впоследствии ученые уточнили, что Земля сплюснута у полюсов. Такая фигура в математике называется эллипсоидом вращения, она получается от вращения эллипса вокруг малой оси. В земном эллипсоиде (рисунок 2.1, а) полярная ось меньше экваториальной.

Земля не является правильным геометрическим телом – ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большая часть углублений заполнена водой океанов и морей – из 510 млн. км² общей площади поверхности Земли 71 % занимает океан. Поверхность воды в нем под действием силы тяжести образует уровенную поверхность, перпендикулярную в каждой точке направлению силы тяжести. Линию, совпадающую с направлением силы тяжести, называют отвесной линией. Если уровенную поверхность мысленно продолжить под материками, то образуется фигура, называемая геоидом (рисунок 1.1, б). Казалось бы, геоид наилучшим образом определяет математическую фигуру Земли, так как в каждой точке его поверхности существует одно вполне определенное направление – отвесная линия, составляющая с касательной плоскостью прямой угол. Однако из-за неравномерного распределения масс внутри Земли поверхность геоида имеет сложную, неправильную форму. Поэтому за математическую фигуру для Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду. Земной эллипсоид соответствующим образом мысленно располагают (ориентируют) в теле Земли.

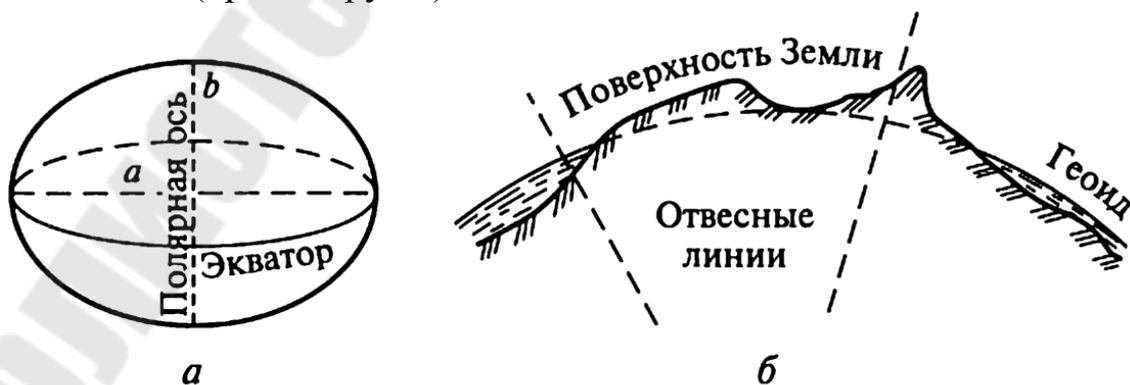


Рис. 1.1 Формы земной поверхности: а – земной эллипсоид; б – геоид

Земной эллипсоид с установленными размерами, ориентированный определенным образом, называют референц-эллипсоидом.

В нашей стране размеры референц-эллипсоида были получены под руководством выдающегося геодезиста Ф. Н. Красовского. Эти размеры утверждены для использования в работах по высшей геодезии и картографии. Референц-эллипсоиду присвоено имя Красовского. Размеры референц-эллипсоида Красовского составляют: большая полуось $a = 6378245$ м, малая полуось $b = 6356863$ м, полярное сжатие $\alpha = (a - b) / a = 1 / 298,3$.

В инженерной геодезии и работах по топографии условно считают, что Земля имеет форму шара, объем которого равен объему земного эллипсоида, а радиус шара $R = 6371,11$ км.

Лекция 3 Система геодезических координат

Картографическая проекция и система плоских прямоугольных координат. Чтобы изобразить на плоскости сферическую поверхность Земли в виде карты, на плоскость переносят сеть меридианов и параллелей – картографическую сетку – и затем по географическим координатам точек земной поверхности строят карту. Способ перенесения сетки со сферической поверхности на плоскость называется картографическим проецированием. Существует много способов картографического проецирования и видов проекций. Их выбирают в зависимости от назначения карты и допускаемых вида и величины искажений при проецировании сферической поверхности на плоскость. В геодезии целесообразно применять такую проекцию, которая не искажала бы углов, т.е. сохраняла бы подобие изображаемых фигур. Такие проекции называют равноугольными. В Беларуси топографические карты строят в равноугольной поперечной цилиндрической проекции и соответствующей ей системе плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера (названа в честь немецких ученых, предложивших эту проекцию и разработавших формулы для применения ее в геодезии).

Проекцию Гаусса–Крюгера (рисунок 3.1, а) получают, проецируя земной шар на поверхность цилиндра, касающегося Земли по какому-либо меридиану. Чтобы искажения длины линий не превышали пределов точности масштаба карты, проецируемую часть

земной поверхности ограничивают меридианами с разностью долгот 6° , а при составлении планов в масштабах 1:5000 и крупнее – 3° . Такой участок называется зоной 1. Средний меридиан 3 каждой зоны называется осевым. Счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток.

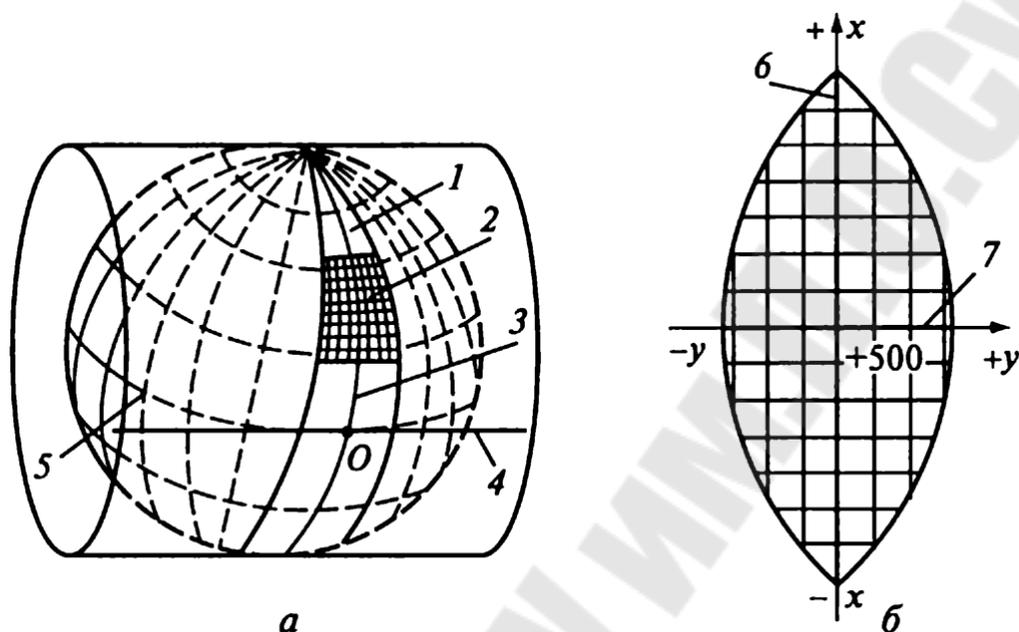


Рис.3.1 Равноугольное проецирование: а - поперечная цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера; б - зональная система координат; 1 - зона; 2 - координатная сетка; 3 - осевой меридиан; 4 - ось y ; 5 - экватор; 6 - проекция осевого меридиана; 7 - проекция экватора

После разворачивания цилиндра в плоскость осевой меридиан зоны и экватор 5 изобразятся взаимно-перпендикулярными прямыми линиями 6 (проекция осевого меридиана) и 7 (проекция экватора).

Изображения осевого меридиана и экватора принимают за оси зональной системы прямоугольных координат (рисунок 3.1, б) с началом в точке их пересечения O . С изображением осевого меридиана совмещают ось абсцисс x , а экватора 5 – ось ординат y .

Для всех точек на территории нашей страны абсциссы имеют положительное значение. Для того чтобы ординаты точек также были только положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км. Таким образом, точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, а к востоку – больше 500 км. Эти ординаты называют преобразованными.

Для удобства пользования плоскими прямоугольными координатами на каждый лист топографической карты, начиная с масштаба 1:200 000, наносят сетку квадратов, которая называется

километровой сеткой. Стороны квадратов параллельны осям x и y данной зональной системы координат. Размеры сторон зависят от масштаба карты. Например, на картах масштабов 1:10000... 1:50000 стороны квадратов соответствуют 1 км на местности.

Так как осевые меридианы зон не параллельны друг другу, километровые сетки двух смежных зон не совпадают, поэтому на картах, расположенных в пределах 2° по долготе вдоль западной и восточной границ зоны, показывают выходы координатной сетки 2 соседних зон.

Определение координат, расстояний и углов на планах и картах. Географические координаты точки A (рисунок 3.2) широту φ и долготу λ определяют на плане или карте, пользуясь минутными шкалами рамок трапеции.

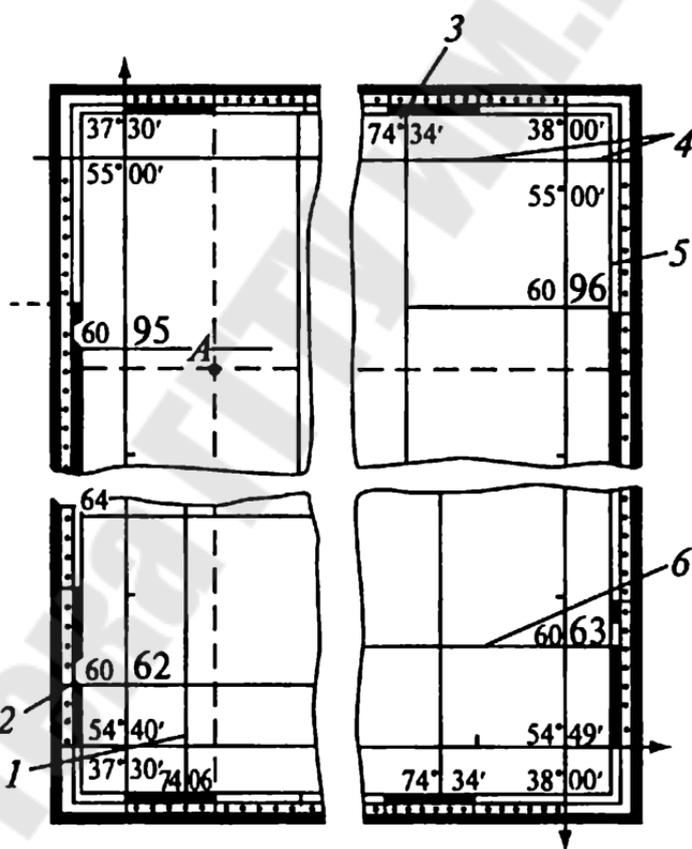


Рис.3.2 Определение координат точки на топографическом плане: 1 - вертикальная километровая линия; 2 - цифровые обозначения горизонтальных линий координатной сетки; 3 - цифровые обозначения вертикальных линий координатной сетки; 4 - внутренняя рамка; 5 - рамка с минутами; 6 - горизонтальная километровая линия

Для определения широты через точку A проводят линию параллельно рамкам трапеций и берут отсчеты в местах пересечения

со шкалой западной или восточной рамки. Аналогично для определения долготы через точку A проводят меридиан и берут отсчеты по шкалам северной или южной рамки.

В приведенном примере широта $\varphi = 54^{\circ}58,6'$ с. ш., долгота $\lambda = 37^{\circ}31,0'$ в. д.

Прямоугольные координаты x_A и y_A точки A определяют относительно километровых линий сетки.

Для этого измеряют расстояние Δx и Δy по перпендикулярам до ближайших километровых линий с координатами x_0 и y_0 и находят

$$x_A = x_0 + \Delta x$$

и

$$y_A = y_0 + \Delta y$$

Расстояния между точками на планах и картах определяют с помощью линейного или поперечного масштаба, криволинейные отрезки – прибором курвиметром.

Для измерения дирекционного угла линии через начальную ее точку проводят линию, параллельную оси абсцисс, и непосредственно при этой точке измеряют дирекционный угол.

Можно также продолжить линию до пересечения ею ближайшей линии ординат координатной сетки и измерить дирекционный угол в точке пересечения.

Для непосредственного измерения истинного азимута линии через ее начальную точку проводят меридиан (параллельно восточной или западной рамке трапеции) и относительно него измеряют азимут.

Так как меридиан проводить трудно, можно определить сначала дирекционный угол линии, а затем по приведенным формулам вычислить истинный и магнитный азимуты.

Лекция 4 Содержание планов и карт

Классификация и номенклатура. Карты и планы классифицируют в основном по масштабам и назначению.

По масштабам карты подразделяются на мелко-, средне- и крупномасштабные. Мелкомасштабные карты мельче 1:1000000 – это карты обзорного характера и в геодезии практически не применяются; среднемасштабные (обзорно-топографические) карты масштабов 1:1000000, 1:500000, 1:300000 и 1:200000; крупномасштабные (топографические) – масштабов 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000. Принятый в Российской Федерации масштабный ряд заканчивается

топографическими планами масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. В строительстве иногда составляют планы в масштабах 1:200, 1:100 и 1:50.

По назначению топографические карты и планы делятся на основные и специализированные. К основным относятся карты и планы общегосударственного картографирования. Это карты многоцелевого назначения, поэтому на них отображают все элементы местности.

Специализированные карты и планы создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли. На них выборочно показывают ограниченный круг элементов (например, геологии, почвенных структур). К специализированным относятся и изыскательские планы, используемые только в период проектирования и строительства данного вида сооружений.

Условные знаки на планах и картах. На топографических картах и планах изображают разные объекты местности: контуры населенных пунктов, сады, огороды, озера, реки, линии дорог, электропередачи. Совокупность этих объектов называется ситуацией. Ситуацию изображают условными знаками.

Условные знаки, обязательные для всех учреждений и организаций, составляющих топографические карты и планы, устанавливаются Федеральной службой геодезии и картографии России (Роскартография) и издаются либо отдельно для каждого масштаба, либо для группы масштабов. Хотя число условных знаков велико (около 400), они легко запоминаются, так как внешне напоминают вид и характер изображаемых объектов.

Условные знаки подразделяют на пять групп: площадные, линейные, внемасштабные, пояснительные, специальные.

Площадные условные знаки (рисунок 4.1, а) применяют для заполнения площадей объектов (например: пашни, леса, озера, луга); они состоят из знака границы объекта (точечный пунктир или тонкая сплошная линия) и заполняющих его изображений или условной окраски; например, на условном знаке 1 показан березовый лес; цифры (20/0,18)-4 характеризуют древостой, м: числитель – высоту, знаменатель – толщину ствола, 4 – расстояние между деревьями.

Линейными условными знаками (рисунок 4.1, б) показывают объекты линейного характера (дороги, реки, линии связи, электропередачи), длина которых выражена в данном масштабе. На условных изображениях приводятся различные характеристики

объектов; например, на шоссе 7 показаны, м: ширина проезжей части – 8, всей дороги – 12; на железной дороге 8, м: +1,8 – высота насыпи, -2,9 – глубина выемки.

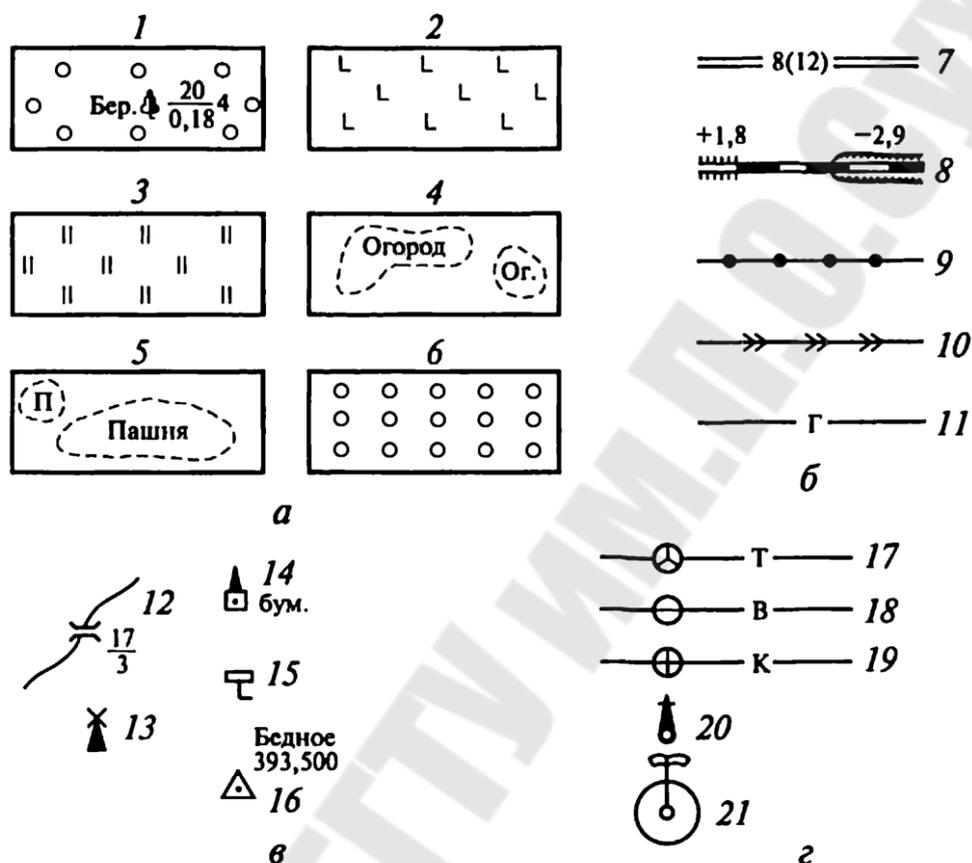


Рис.4.1 Условные знаки: а – площадные; б – линейные; в – внемасштабные; г – специальные; 1 – березовый лес; 2 – вырубка; 3 – луг; 4 – огород; 5 – пашня; 6 – фруктовый сад; 7 – шоссе; 8 – железная дорога; 9 – линия связи; 10 – линия электропередачи; 11 – магистральный трубопровод (газ); 12 – деревянный мост; 13 – ветряная мельница; 14 – завод, фабрика; 15 – километровый столб; 16 – пункт геодезической сети; 17 – трасса; 18 – водопровод; 19 – канализация; 20 – водозаборная колонка; 21 – фонтан

Внемасштабные условные знаки (рисунок 4.1, в) служат для изображения объектов, размеры которых не отображаются в данном масштабе карты или плана (мосты, километровые столбы, колодцы, геодезические пункты).

Как правило, внемасштабные знаки определяют местоположение объектов, но по ним нельзя судить об их размерах. На знаках приводятся различные характеристики, например: длина 17 и ширина 3 м деревянного моста 12, отметка 393,500 пункта геодезической сети 16.

Пояснительные условные знаки представляют собой цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты, например: глубину и скорость течения рек, грузоподъемность и ширину мостов, породу леса, среднюю высоту и толщину деревьев, ширину шоссе дорог. Их проставляют на основных площадных, линейных, внемасштабных знаках.

Специальные условные знаки (рисунок 4.1, г) устанавливают соответствующие ведомства отраслей народного хозяйства; их применяют для составления специализированных карт и планов этой отрасли, например знаки для маркшейдерских планов нефтегазовых месторождений – нефтепромысловые сооружения и установки, скважины, промышленные трубопроводы.

Чтобы придать карте или плану большую наглядность, для изображения различных элементов используют цвета: для рек, озер, каналов, заболоченных участков – синий; лесов и садов – зеленый; шоссе дорог – красный; улучшенных грунтовых дорог – оранжевый.

Все остальное дают черным цветом. На изыскательских планах цветными делают подземные коммуникации (трубопроводы, кабели).

Лекция 5 Номенклатура топографических карт

Для удобства издания и практического пользования топографическую карту большой территории делят на листы (рисунок 5.1). Каждый лист ограничен меридианами и параллелями, длина дуг которых зависит от масштаба карты. Разделение многолистной карты на листы по определенной системе называется разграфкой, система обозначения листов многолистной карты – номенклатурой.

В основу номенклатуры положена международная разграфка листов карты масштаба 1:1000000. Листы карты этого масштаба ограничены меридианами и параллелями по широте 4°, по долготе 6°. Каждый лист занимает только ему принадлежащее место, будучи обозначен заглавной латинской буквой, определяющей горизонтальный пояс, и арабской цифрой, определяющей номер вертикальной колонки.

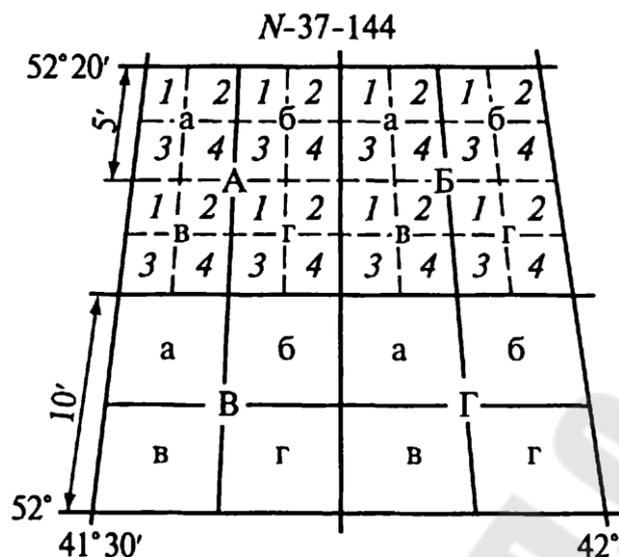


Рис. 5.1 Деление карты масштаба 1:100000 на листы карт масштабами 1:50000, 1:25000 и 1:10000

Например, лист карты масштаба 1:1000000, на котором находится Москва, имеет номенклатуру *N-37*. Разграфка карт более крупных масштабов получается последовательным делением листа карты масштаба 1:1000000. Одному листу карты масштаба 1:1000000 соответствуют: четыре листа масштаба 1:500000, обозначаемые буквами А, Б, В, Г (номенклатура этих листов имеет вид, например, *N-37-A*); девять листов масштаба 1:300000, обозначаемых римскими цифрами I, II, ..., IX (например, *N-37-IX*); 36 листов масштаба 1:200000, обозначаемых также римскими цифрами (например, *N-37-1*); 144 листа масштаба 1:100000, обозначаемые арабскими цифрами от 1 до 144 (например, *N-37-144*).

Одному листу карты 1:100 000 соответствуют четыре листа карты масштаба 1:50 000, обозначаемые буквами А, Б, В, Г; номенклатура листов этой карты имеет вид, например, *N-37-144-A*. Одному листу карты 1:50000 соответствуют четыре листа карты масштаба 1:25000, обозначаемые буквами а, б, в, г, например *N-37-144-A-a*. Одному листу карты 1:25 000 соответствуют четыре листа карты 1:10000, обозначаемые цифрами 1, 2, 3, 4, например *N-37-144-A-a-1*.

На рисунке 5.1 показана нумерация листов карт масштабов 1:50000...1:10000, составляющих лист карты масштаба 1:100000.

Разграфка листов крупномасштабных планов производится двумя способами. Для съемки и составления планов на площади свыше 20 км² за основу разграфки принимают лист карты масштаба

1:100000, который делят на 256 частей для масштаба 1:5000, а каждый лист масштаба 1:5000 – на девять частей для планов масштаба 1:2000. В этом случае номенклатура листа масштаба 1:5000 имеет вид, например, N-37-144(256), а масштаба 1:2000 – N-37-144(256-Н).

Для планов участка площадью менее 20 км используют прямоугольную разграфку (рисунок 5.2) для масштаба 1:5000 с рамками листа 40x40 см, а для масштабов 1:2000... 1:500 – 50x50 см. За основу прямоугольной разграфки принимают лист масштаба 1:5000, обозначаемый арабскими цифрами (например, 1). Листу плана в масштабе 1:5000 соответствуют четыре листа в масштабе 1:2000, обозначаемые буквами А, Б, В, Г. Листу плана в масштабе 1:2000 соответствуют четыре листа в масштабе 1:1000, обозначаемые римскими цифрами, и 16 листов в масштабе 1:500, обозначаемые арабскими цифрами.

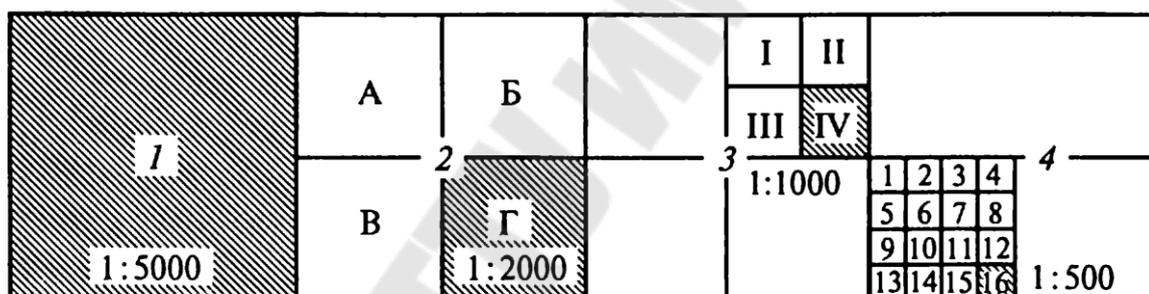


Рис. 5.2 Прямоугольная разграфка листа плана

Показанные на рисунке планы масштабов 1:2000, 1:1000, 1:500 имеют соответственно номенклатуру 2-Г, 3-Б-IV, 4-В-16.

Масштабы изображения на плоскости. Масштаб – это отношение длины s линии на чертеже, плане, карте к длине S горизонтального проложения соответствующей линии в натуре, т.е. $s:S$. Масштаб обозначают либо дробью (числовой), либо в виде графических изображений.

Числовой масштаб, обозначаемый $1/M$, представляет собой правильную дробь, у которой числитель равен 1, а знаменатель M показывает, во сколько раз уменьшены линии местности при изображении их на плане. Например, для масштаба $1/100$ единице длины на плане соответствует 100 таких же единиц на местности или 1 см на плане – 100 см (1 м) на местности. Чем больше знаменатель числового масштаба, тем больше степень уменьшения, т. е. тем

мельче масштаб. Из двух числовых масштабов более крупный тот, знаменатель которого меньше.

Используя значение $1/M$ числового масштаба и зная длину S проложения линии на местности, можно по формуле

$$s = S / M \quad (5.1)$$

определить ее длину на плане или по формуле

$$S = s \times M \quad (5.2)$$

линии на местности, зная длину s этого отрезка на плане.

Пример 1. Длина отрезка $S = 142$ м. Найти величину изображения этого отрезка на плане масштаба 1:2000.

По формуле (5.1) получим $s = 142 / 2000 = 0,071 = 7,1$ см.

Пример 2. На плане масштаба 1:500 величина отрезка между двумя точками $s = 14,6$ см. Определить длину S этой линии на местности.

По формуле (5.2) находим $S = 14,6 \times 500 = 7300 = 73$ м.

При решении задач по карте или плану с помощью числового масштаба приходится выполнять много вычислений. Чтобы избежать этого, используют графические масштабы.

Графические масштабы бывают линейные и поперечные.

Линейный масштаб (рисунок 5.3, а) представляет собой шкалу с делениями, соответствующими данному числовому масштабу.

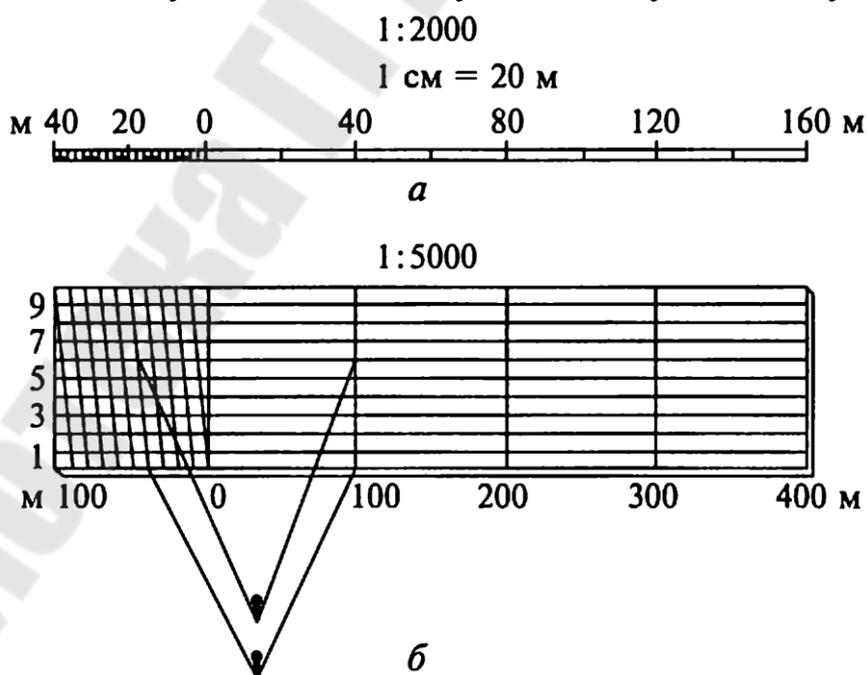


Рис. 5.3 Графические масштабы:
а – линейный; б – поперечный

Для построения линейного масштаба на прямой линии откладывают несколько раз расстояние, называемое основанием масштаба. Длину основания принимают равной 1; 2; 2,5 см. Первое основание делят на 10 равных частей и на правом конце его пишут нуль, а на левом – то число метров или километров, которому на местности соответствует в данном масштабе основание. Вправо от нуля над каждым делением надписывают значения соответствующих расстояний на местности (на рисунке 5.3, а изображен линейный масштаб для числового масштаба 1:2000).

Поперечный масштаб применяют для измерений и построений повышенной точности. Как правило, поперечный масштаб гравировать на металлических пластинах, линейках или транспортирах. Для заданного числового масштаба он может быть построен на чертеже.

Поперечный масштаб (рисунок 5.3, б) строят следующим образом. На прямой линии, как и при построении линейного масштаба, откладывают несколько раз основание масштаба и первый отрезок делят на 10 частей. Деления надписывают так же, как и при построении линейного масштаба. Из каждой точки подписанного деления восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают 10 отрезков, равных $1/10$ основания. Через точки, полученные на перпендикулярах, проводят прямые линии, параллельные основанию. Верхнюю линию первого основания делят также на 10 равных частей. Полученные точки верхних и нижних делений на первом отрезке соединяют. Полученные линии называются трансверсалиями. Расстояния между смежными трансверсалиями составляют $1/10$ основания, а между нулевой вертикальной линией и смежной с ней трансверсалью – $1/100 \dots 1/10$.

Поперечный масштаб с основанием 2 см (см. рисунок 5.3, б) имеет подписи, соответствующие числовому масштабу 1:5000. Основание масштаба соответствует 100 м на местности, $1/10$ его часть – 10 м, $1/100$ – 1 м. Если, например, в этом масштабе надо на плане отложить длину, равную на местности 146 м, правую ножку циркуля-измерителя совмещают с точкой 100 м справа от нуля, а левую – с точкой 40 м слева от нуля. Затем измеритель поднимают на шесть делений вверх и раздвигают до точки, соответствующей 146 м.

Применение любого масштаба, даже поперечного, не может обеспечить точности выше определенного предела, зависящего от свойств человеческого глаза. Невооруженным глазом с расстояния нормального зрения (25 см) можно оценить на плане размер, не

превосходящий 0,1 мм (детали объектов местности меньше 0,1 мм изобразить на плане нельзя). Точность масштаба характеризуется горизонтальным расстоянием на местности, соответствующим на плане 0,1 мм. Например, для планов, вычерченных в масштабе 1:500; 1:1000; 1:2000, точность масштаба соответственно равна 0,05; 0,1; 0,2 м. Точностью масштаба определяется степень обобщения (генерализации) подробностей, которые могут быть изображены на плане (карте) того или иного масштаба.

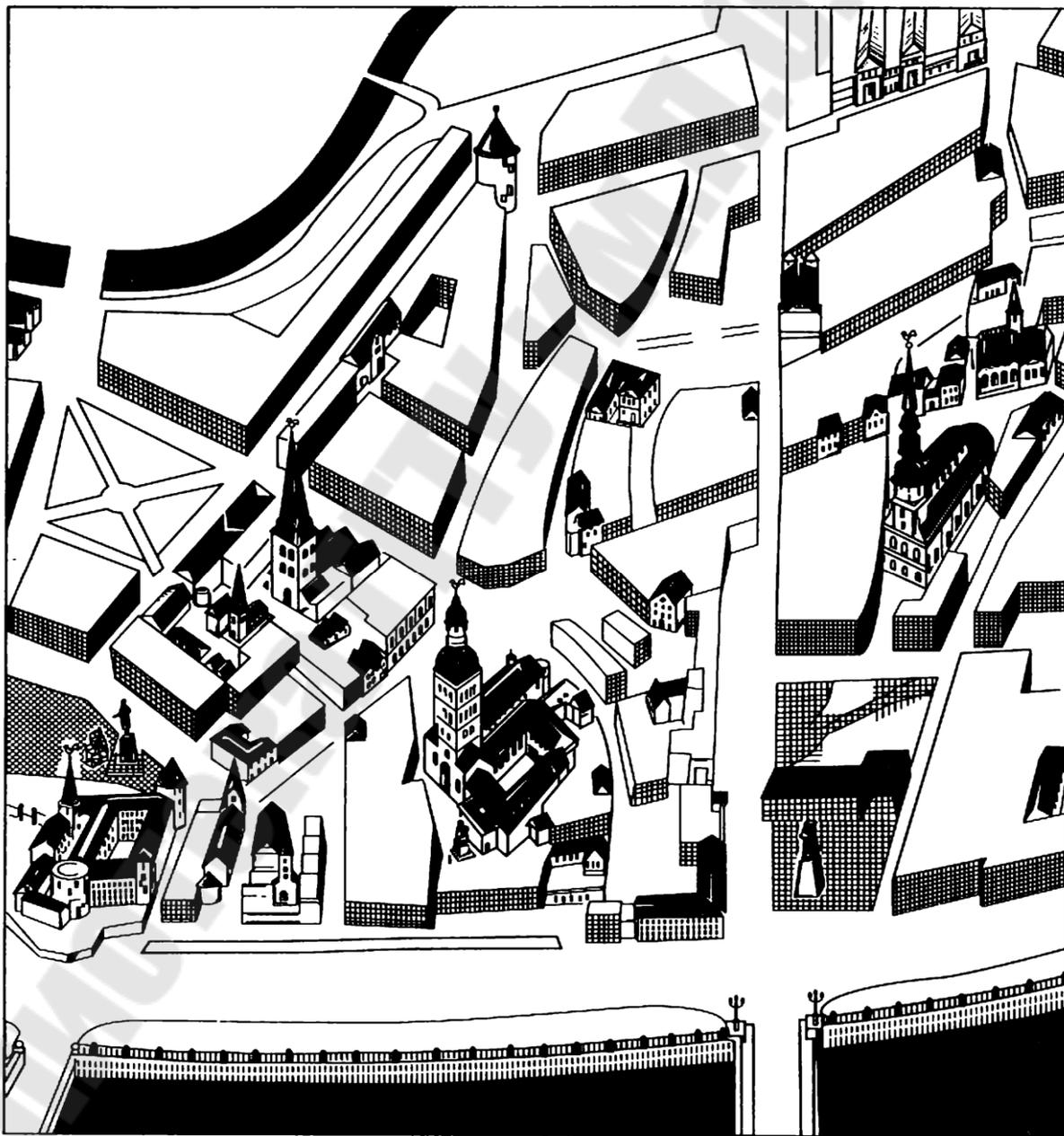


Рис. 5.4 Пример внемасштабного изображения – план города

Для того чтобы акцентировать внимание на каких-то элементах чертежа, карты, плана, эти элементы изображают внемасштабно, т.е. с другой степенью уменьшения или увеличения. На схематических планах городов увеличенными в произвольном масштабе изображают исторические, культурные памятники, театры, вокзалы (рисунок 5.4); на мелкомасштабных картах – кружки городов, толщины рек; на чертежах – условные обозначения, стыковые швы, маркировку изделия. По такому внемасштабному изображению нельзя производить никаких измерений.

Разномасштабно, т.е. в определенном масштабе, но отличном от масштаба данного чертежа, показывают узлы, детали на строительных и машиностроительных чертежах; при изображении плана дороги, проходящей по однообразной местности, выделяют в крупном масштабе только места пересечения дорогой рек, населенных пунктов, дорог иного назначения и т.п. Таким образом, на одном и том же плане, чертеже, схеме изображения могут быть даны в разных масштабах, а в некоторых случаях – и в натуральную величину.

Лекция 6 Ориентирование направлений

Азимуты, румбы, дирекционные углы и зависимости между ними. 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 (рисунок 6.1). Азимут измеряется от севера через восток, юг и запад, т.е. по направлению движения часовой стрелки, и может иметь значения $0...3600$. Азимут A , измеряемый относительно истинного меридиана, называется истинным.

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 A_1 – прямой азимут линии MN в точке M , а A_2 – 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 γ . Зависимость между прямым и обратным азимутами линии MN выражает следующая формула:

$$A_2 = A_1 + 180^0 + \gamma$$

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений или с помощью приборов – гиротеодолитов.

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

Румбом (рисунок 6.2) называется острый угол между ближайшим (северным C 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 – $r_{СВ}$, во второй – $r_{ЮВ}$. Румбы измеряют в градусах (0...900).

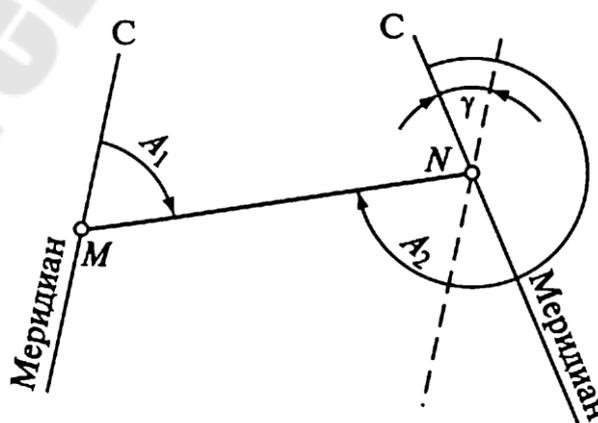


Рис. 6.1 Азимуты

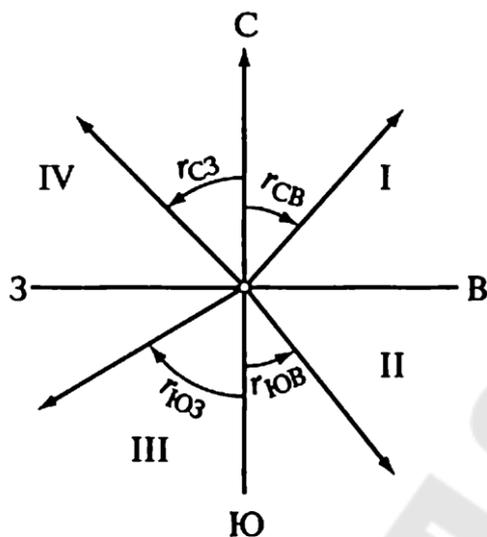


Рис. 6.2 Румбы

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 α и подобно азимуту изменяются от 0 до 360° .

Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно на местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут (рисунок 6.3).

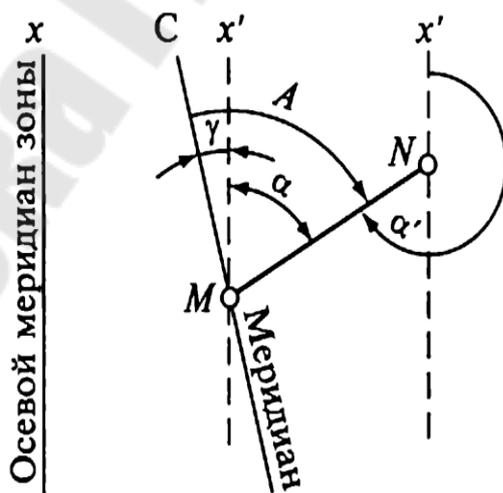


Рис. 6.3 Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

В данном случае γ – сближение меридианов – представляет собой угол между истинным меридианом M и осью абсцисс в этой точке. Ось абсцисс параллельна осевому меридиану зоны, в которой расположена линия MN . Как видно из рисунка, $\alpha = A - \gamma$. Так же как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы: α – прямой, α' – обратный дирекционные углы линии MN : $\alpha' = \alpha + 180^0$.

Румбы дирекционных углов обозначают и вычисляют так же, как румбы истинных азимутов, только отсчитывают от северного и южного направлений оси абсцисс (таблица 6.1).

Таблица 6.1

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° . 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 δ . 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 (рисунок 6.4, а) между истинным A и магнитным A_m азимутами выражается формулой

$$A = A_m + \delta$$

При использовании этой формулы учитывают знак склонения. Если известно склонение δ магнитной стрелки и сближение меридианов γ , то по измеренному магнитному азимуту A_m линии MN можно вычислить дирекционный угол α этой линии (рисунок 6.4, б):

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

где разность $(\delta - \gamma)$ – поправка на склонение стрелки и сближение меридианов (учитывают при ориентировании топографической карты).

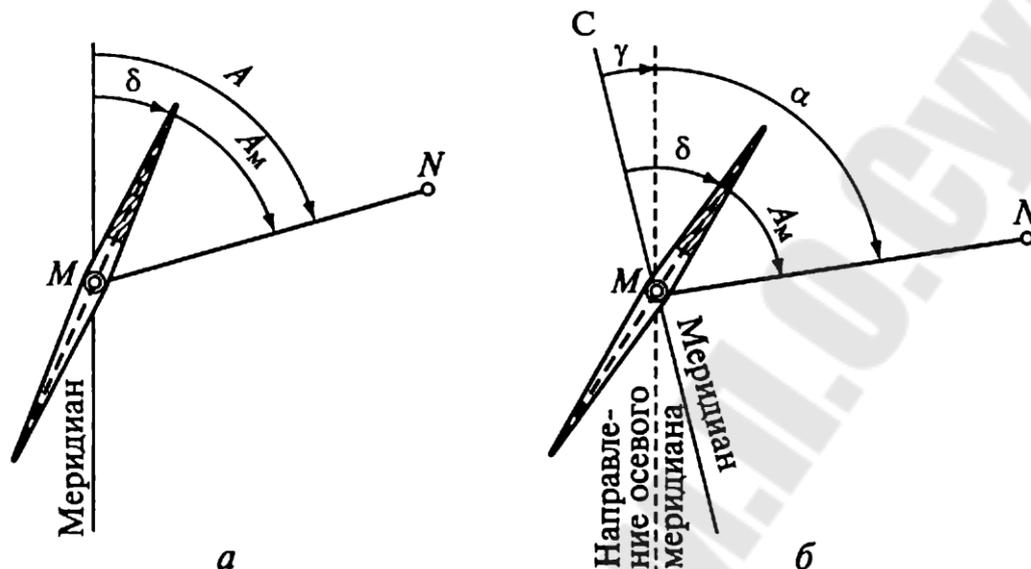


Рис. 6.4 Зависимости: а – между истинным и магнитным азимутами; б – магнитным азимутом и дирекционным углом

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 приблизительно и ориентировать линии местности по магнитным азимутам можно тогда, когда не требуется высокой точности.

Приборы для ориентирования на местности. При ориентировании на местности для измерения магнитных азимутов и магнитных румбов пользуются буссолями (рисунок 6.5, а) и компасами (рисунок 6.5, б).

Главные части буссоли или компаса – магнитная стрелка 7, вращающаяся на острие шпильки, и кольцо 2 с угловыми делениями. Северный конец стрелки делают темно-синим или черным. В зависимости от того, как подписаны деления, различают азимутальное и румбическое кольца. В азимутальном кольце деления подписывают против направления движения часовой стрелки от 0 до

360°, в румбическом на концах нулевого диаметра ставят нули, перпендикулярного ему диаметра – 90°.

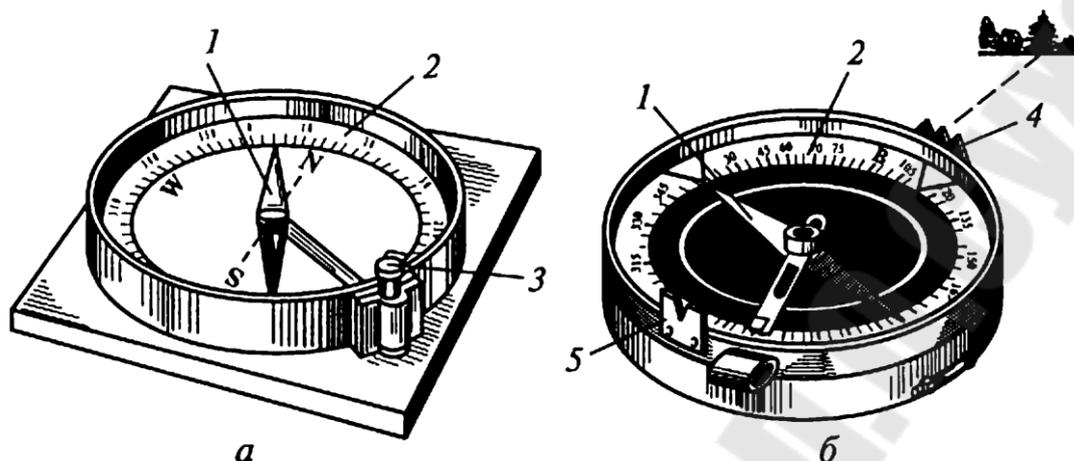


Рис. 6.5 Приборы для ориентирования по магнитным меридианам: *а* – буссоль; *б* – компас; 1 – магнитная стрелка; 2 – кольцо; 3 – арретир; 4, 5 – диоптры

В нерабочем состоянии стрелка приподнята на шпиле и прижата к защитному стеклу арретиром 3. Буссоли бывают штативные, устанавливаемые при измерениях на штатив; ручные; теодолитные, устанавливаемые на угломерные приборы – теодолиты; настольные, укладываемые на карту или план при их ориентировании. Настольная буссоль (см. рисунок 6.5, а) называется ориентир-буссолью.

Штативные, ручные буссоли и компасы имеют приспособление для визирования – наведения на точку линии, азимут которой измеряется. Простейшие виды таких приспособлений – диоптры: предметный 4 и глазной 5. В буссолях линия, соединяющая середину диоптров, постоянно совпадает с нулевым диаметром кольца; в компасах диоптры крепятся на вращающейся крышке.

Принцип измерения азимута линии буссолью заключается в том, что нулевой диаметр буссоли совмещают с направлением этой линии, а по северному концу магнитной стрелки отсчитывают значение азимута или румба.

В компасе с подвижными диоптрами совмещают северный конец стрелки с нулем кольца, а линию диоптров – с направлением определяемой линии и по указателю предметного диоптра отсчитывают значение азимута данной линии.

Для определения истинного азимута применяют гиротеодолит, сочетающий в себе гироскоп как датчик направления географического меридиана и измеритель углов – теодолит. Гироскоп

представляет собой вращающееся устройство, подобное волчку, главная ось которого под действием суточного вращения Земли и силы тяжести всегда занимает положение, параллельное оси вращения Земли, т.е. в плоскости географического меридиана.

Лекция 7 Рельеф

Формы рельефа и его изображение. Рельефом местности называется совокупность неровностей земной поверхности. В зависимости от характера рельефа местность подразделяют на равнинную, всхолмленную и горную. Равнинная местность имеет слабовыраженные формы или почти совсем не имеет неровностей; всхолмленная характеризуется чередованием сравнительно небольших по высоте повышений и понижений; горная представляет собой чередование возвышений высотой более 500 м над уровнем моря, разделенных долинами.

Из всего многообразия форм рельефа местности можно выделить наиболее характерные (рисунок 7.1).

Гора (холм, высота, сопка) – это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа, наивысшая точка которой называется вершиной (3, 7, 12). Вершина в виде площадки называется плато, вершина остроконечной формы – пиком. Боковая поверхность горы состоит из скатов, линия слияния их с окружающей местностью – подошва, или основание, горы.

Котловина, или впадина, – это углубление в виде чаши. Самая низкая точка котловины – дно. Боковая поверхность ее состоит из скатов, линия слияния их с окружающей местностью называется бровкой.

Хребет 2 – это возвышенность, постепенно понижающаяся в одном направлении и имеющая два крутых ската, называемых склонами. Ось хребта между двумя склонами называется водораздельной линией или водоразделом 4.

Лощина 1 – это вытянутое углубление местности, постепенно понижающееся в одном направлении. Ось лощины между двумя скатами называется водосливной линией или тальвегом 6. Разновидностями лощины являются: долина – широкая лощина с пологими склонами, а также овраг – узкая лощина с почти отвесными склонами (обрывами 10). Начальной стадией оврага является промоина. Овраг, заросший травой и кустарником, называется

балкой. Расположенные иногда по склонам лощин площадки, имеющие вид уступа или ступени с почти горизонтальной поверхностью, называются террасами 11.

Седловины 5, 9 – это пониженные части местности между двумя вершинами. Через седловины в горах часто проходят дороги; в этом случае седловина называется перевалом.

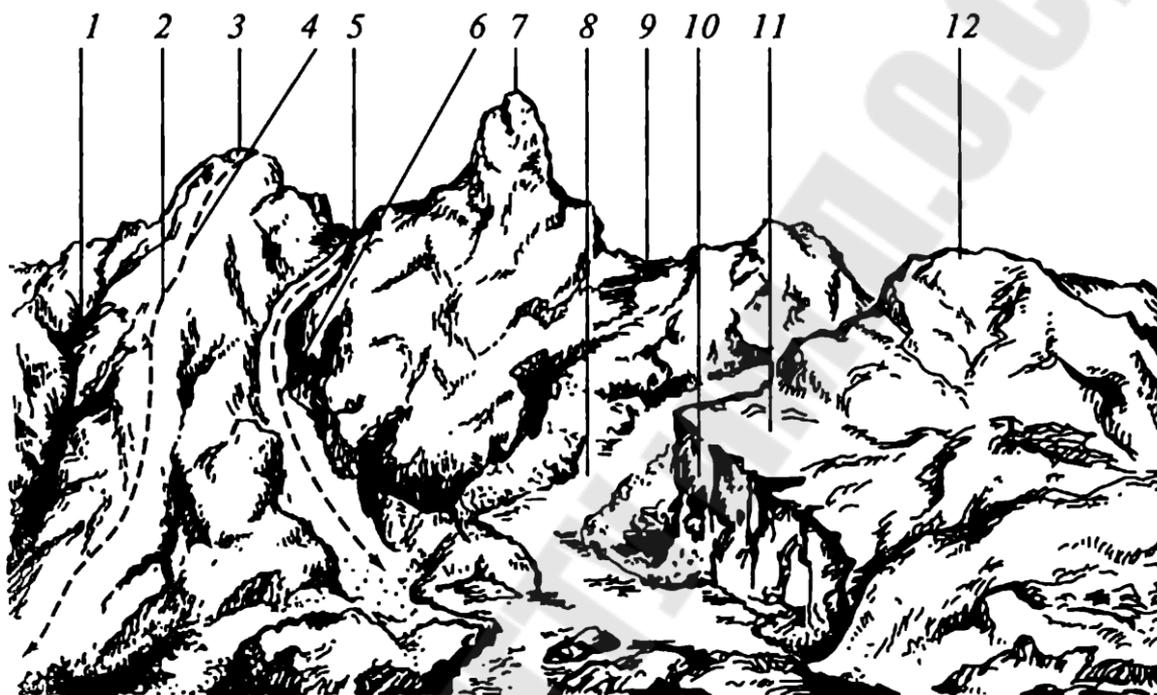


Рис. 7.1 Характерные формы рельефа:

1 – лощина; 2 – хребет; 3, 7, 12 – вершины; 4 – водораздел; 5, 9 – седловины; 6 – тальвег; 8 – река; 10 – обрыв; 11 – терраса

Вершина горы, дно котловины и самая низкая точка седловины являются характерными точками рельефа. Водораздел и тальвег представляют собой характерные линии рельефа. Характерные точки и линии рельефа облегчают распознавание отдельных форм его на местности и изображение их на карте и плане.

Способ изображения рельефа на картах и планах должен давать возможность судить о направлении и крутизне скатов, а также определять отметки точек местности. Вместе с тем он должен быть наглядным. Известны различные способы изображения рельефа: перспективное, штриховка линиями разной толщины, цветной отмыв (горы – коричневые, лощины – зеленые), подписи отметок точек, горизонтали. Наиболее совершенные с инженерной точки зрения

способы изображения рельефа – горизонталями в сочетании с подписью отметок характерных точек (рисунок 7.2) и цифровой.

Горизонталь – это линия на карте, соединяющая точки с равными высотами. Если представить себе сечение поверхности Земли горизонтальной (уровенной) поверхностью P_0 , то линия пересечения этих поверхностей, ортогонально спроецированная на плоскость и уменьшенная до размера в масштабе карты или плана, и будет горизонталью. Если поверхность P_0 расположена на высоте H от уровенной поверхности, принятой за начало отсчета абсолютных высот, то любая точка на этой горизонтали будет иметь абсолютную отметку, равную H . Изображение в горизонталях рельефа всего участка местности можно получить в результате сечения поверхности этого участка рядом горизонтальных плоскостей P_1, P_2, \dots, P_n , расположенных на одинаковом расстоянии h друг от друга. В результате на карте получают горизонтали с отметками $H + h$, $H + 2h$ и т.д.

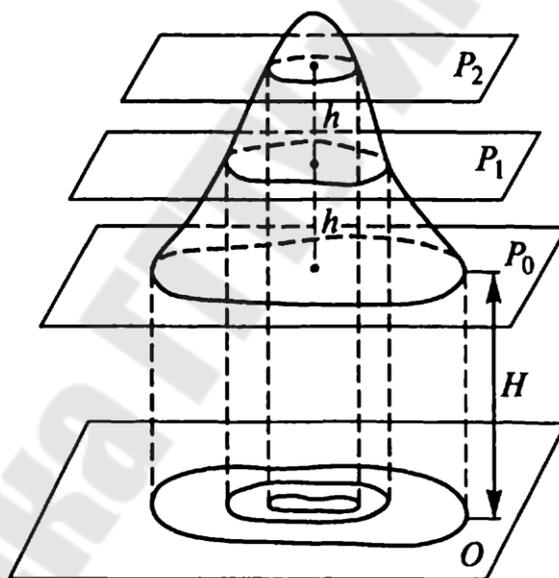


Рис. 7.2 Изображение рельефа горизонталями

Расстояние h между секущими горизонтальными плоскостями называется высотой сечения рельефа. Ее значение указывается на карте или плане под линейным масштабом. В зависимости от масштаба карты и характера изображаемого рельефа высота сечения различна.

Расстояние между горизонталями на карте или плане называется заложением. Чем больше заложение, тем меньше крутизна ската на местности, и наоборот.

Горизонтالي никогда не пересекаются, за исключением нависшего утеса, естественных и искусственных воронок, узких оврагов, крутых обрывов, которые не отображаются горизонталями, а обозначаются условными знаками.

Основные формы рельефа изображаются горизонталями следующим образом (рисунок 7.3).

Изображения горы и котловины (см. рисунок 7.3, б), так же как хребта и лощины (см. рисунок 7.3, в, г), сходны между собой. Чтобы отличить их друг от друга, у горизонтали указывают направление ската. На некоторых горизонталях подписывают отметки характерных точек, причем так, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения ската.

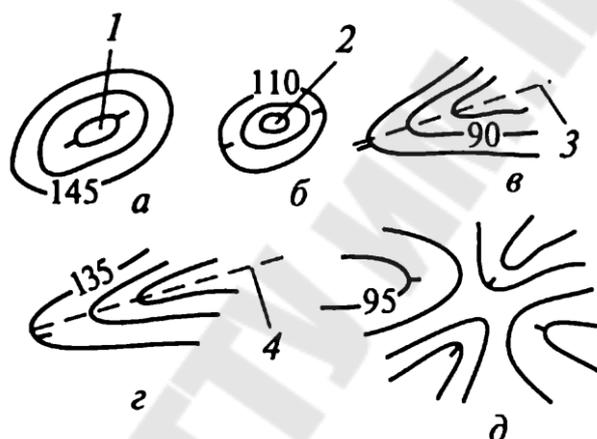


Рис 7.3 Изображение горизонталями характерных форм рельефа: а – гора; б – котловина; в – хребет, г – лощина; д – седловина; 1 – вершина; 2 – дно; 3 – водораздел; 4 – тальвег

Если при данной высоте сечения рельефа некоторые характерные особенности его не могут быть выражены, то проводят дополнительные полу- и четвертьгоризонтالي соответственно через половину или четвертую часть принятой высоты сечения рельефа (рисунок 7.4). Дополнительные горизонтали вычерчивают пунктирными линиями, иногда в виде отрезков.

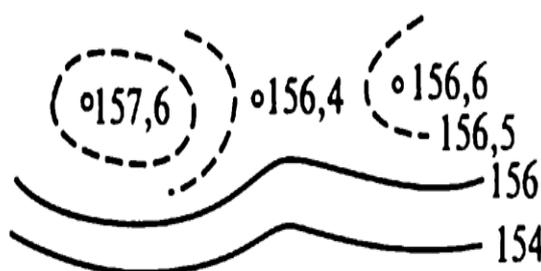


Рис. 7.4 Полу- и четвертьгоризонтали

Чтобы облегчить чтение горизонталей на карте, некоторые из них утолщают. При высоте сечения 1, 5, 10 и 20 м утолщают каждую пятую горизонталь с отметками, кратными соответственно 5, 10, 25 и 50 м. При высоте сечения 2,5 м утолщают каждую четвертую горизонталь с отметками, кратными 10 м.

Решение задач по картам и планам с горизонталями.

Определение крутизны ската. Крутизна ската характеризуется углом наклона ν , который образует линия местности, например AB , с горизонтальной плоскостью P (рисунок 7.5).

Из прямоугольного треугольника ABB' следует:

$$\operatorname{tg} \nu = h / a \quad (7.1)$$

где h – высота сечения рельефа; a – заложение.

Зная тангенс, по таблицам значений тригонометрических функций находят значение угла наклона.

Крутизну ската характеризуют также уклоном линии

$$i = \operatorname{tg} \nu \quad (7.2)$$

Уклон линии измеряют в процентах или промилле (‰), т.е. тысячных долях единицы.

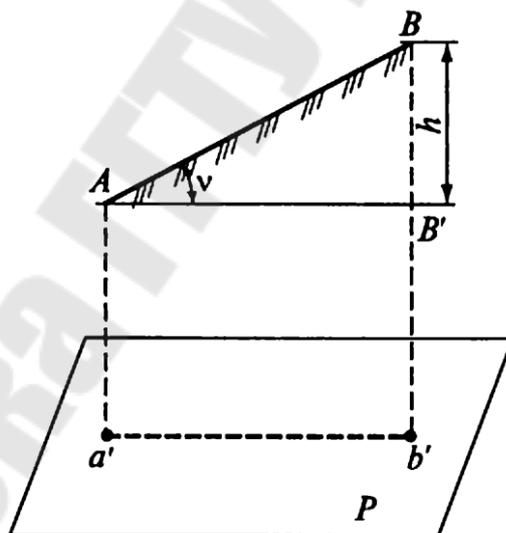


Рис. 7.5 Схема к определению крутизны ската

Как правило, при работе с картой или планом угол наклона либо уклон ската определяют, пользуясь графиками (рисунок 7.6), называемыми масштабами (или шкалами) заложений.

Масштаб 1:1000
Высота сечения $h = 1,0$ м

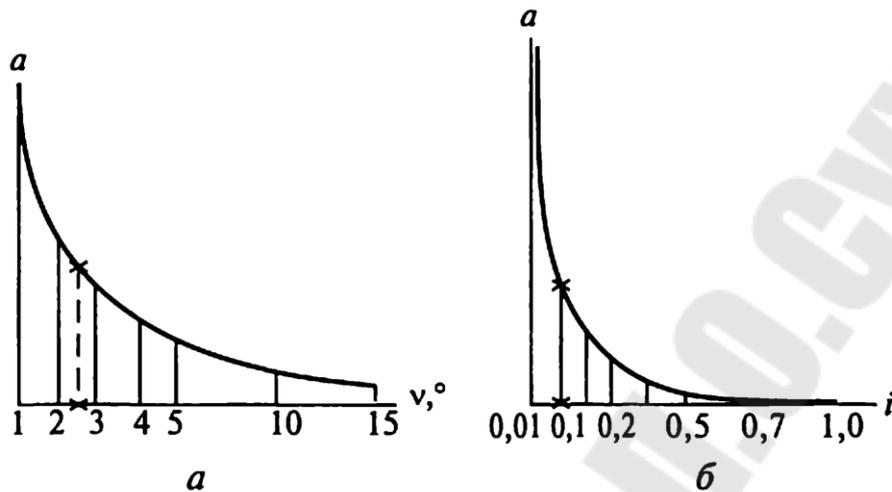


Рис. 7.6 Графики заложений к плану масштаба 1:1000 при высоте сечения рельефа $h = 1,0$ м: а – для углов наклона; б – уклонов

Для этого с плана раствором циркуля берут заложение между двумя горизонталями по данному скату, затем по графику находят то место, где расстояние между кривой и горизонтальной прямой равно этому заложению. Для найденной таким образом ординаты читают значение v или i по горизонтальной прямой (на приведенных графиках отмечено звездочками: $v = 2,5^\circ$; $i = 0,05 = 5\%$).

Определение отметок точек местности. Если точка расположена на горизонтали, ее отметка равна отметке горизонтали. Когда точка K находится между горизонталями с разными высотами, ее отметка H_K определяется интерполированием (нахождением промежуточных значений величин) «на глаз» между отметками этих горизонталей.

Интерполирование заключается в определении коэффициента пропорциональности расстояния d от определяемой точки до меньшей по значению горизонтали $H_{М.Г}$ к величине заложения a , т.е. отношения d/a , и умножения его на значение высоты сечения рельефа h .

Проведение на карте линии заданного предельного уклона (рисунок 7.7). Между заданными на карте точками A и B требуется провести кратчайшую линию так, чтобы ни один отрезок не имел уклона больше заданного предельного $i_{пр}$.

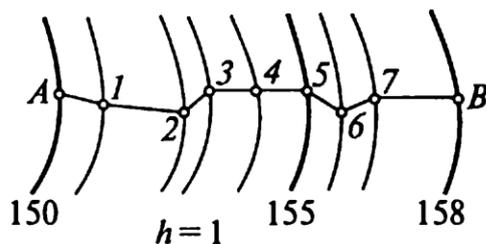


Рис.7.7 Схема проведения на карте линии заданного предельного уклона

Проще всего задача решается с помощью масштаба заложения для уклонов. Взяв по нему раствором циркуля заложение $a_{\text{пр}}$, соответствующее уклону, засекают последовательно точки 1...7 – все горизонталю от точки A до точки B . Если раствор циркуля меньше расстояния между горизонталями, то линию проводят по кратчайшему направлению. Соединив все точки, получают линию с заданным предельным уклоном.

Если нет масштаба заложений, то заложение $a_{\text{пр}}$ можно подсчитать по формуле

$$a_{\text{пр}} = \frac{h}{i_{\text{пр}}} \times M$$

где M – знаменатель числового масштаба карты.

Построение профиля местности по заданному на карте направлению. Рассмотрим построение профиля на конкретном примере (рисунок 7.8). Пусть требуется построить профиль местности по линии AB . Для этого линию AB переносят в масштабе карты на бумагу и отмечают на ней точки 1, 2, 4, 5, 7, 9, в которых она пересекает горизонталю, а также характерные точки рельефа (3, 6, 8). Линия AB служит основанием профиля. Взятые с карты отметки точек откладывают на перпендикулярах (ординатах) к основанию профиля в масштабе, в 10 раз превышающем горизонтальный масштаб. Полученные точки соединяют плавной линией. Обычно ординаты профиля уменьшают на одну и ту же величину, т.е. строят профиль не от нуля высот, а от условного горизонта УГ (на рисунке 7.8 за условный горизонт принята высота, равная 100 м).

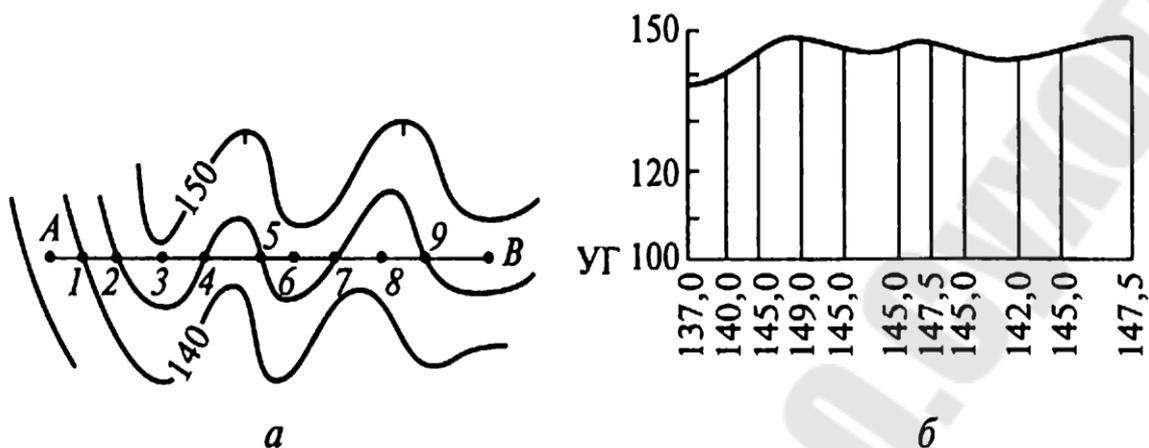


Рис. 7.8 Схемы построения профиля по заданному направлению: а – направление по карте; б – профиль по направлению

С помощью профиля можно установить взаимную видимость между двумя точками, для чего их нужно соединить прямой линией. Если построить профили из одной точки по нескольким направлениям, то можно нанести на карту или план участка местности, не видимые с этой точки. Такие участки называют полями видимости.

Вычисление объемов (рисунок 7.9). По карте с горизонталями можно вычислить объемы горы и котловины, изображаемых системой горизонталей, замыкающихся в пределах небольшой площади. Для этого формы рельефа делят на части, ограниченные двумя соседними горизонталями.

Каждую такую часть можно приближенно принять за усеченный конус, объем которого

$$V_i = \frac{1}{2} \times (S_i + S_{i+1}) \times h_c$$

где S_i и S_{i+1} – площади, ограниченные на карте нижней и верхней горизонталями, являющимися основаниями усеченного конуса; h_c – высота сечения рельефа; $i = 1, 2, \dots, k$ – текущий номер усеченного конуса.

Площади S измеряют планиметром (механическим или электронным).

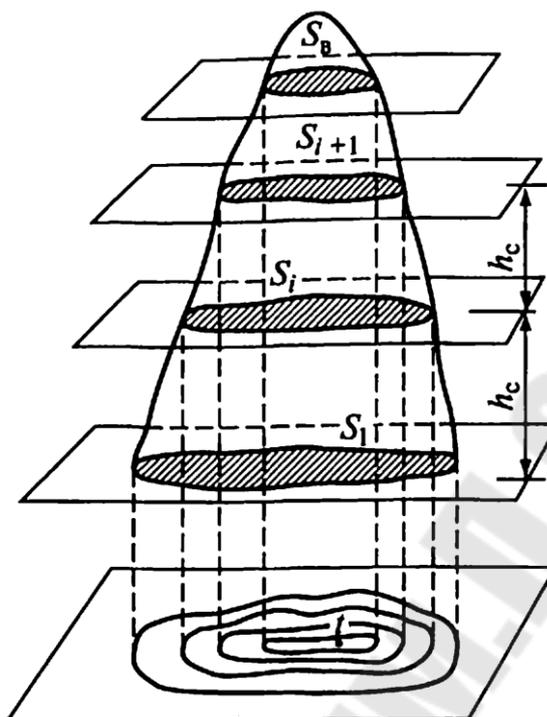


Рис.7.9 Схема определения объема по карте с горизонталями

Приближенно площадь участка можно определить, деля его на множество правильных математических фигур (трапеций, треугольников и т.п.) и суммируя по площади. Объем V_B самой верхней части вычисляют как объем конуса, площадь основания которого равна S_B , а высота h – разности отметок верхней точки t и горизонтали, ограничивающей основание конуса:

$$V_B = \left(\frac{S_B}{3} \right) \times h$$

Если отметка точки t на карте не подписана, то принимают $h = \frac{h_c}{2}$.

Полный объем вычисляют как сумму объемов отдельных частей:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_k + V_B$$

где k – число частей.

Лекция 8 Задачи, решаемые на топокарте

В аналитическом способе вычисление площадей производят с использованием формул геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии по измеренным в натуре углам и линиям.

В графическом способе измеряемая площадь разбивается на простейшие геометрические фигуры, преимущественно треугольники (рисунок 8.1, а). Криволинейные фигуры, при этом, заменяются прямыми отрезками. В треугольниках измеряют высоту и основание, в прямоугольниках – две стороны, в трапециях – среднюю линию или основания и высоту. В таблице 8.1 показано определение площади фигуры, предварительно разбитой на шесть треугольников (рисунок 8.1, а), в которых для контроля и повышения точности вычисления выполнены два раза по двум различным основаниям и высотам. Расхождение площади треугольника в двух вариантах его вычисления не должно превышать величины

$$p = 0,05 \frac{M}{10000} \sqrt{P},$$

где M – знаменатель масштаба плана, P – площадь треугольника, выраженная в гектарах.

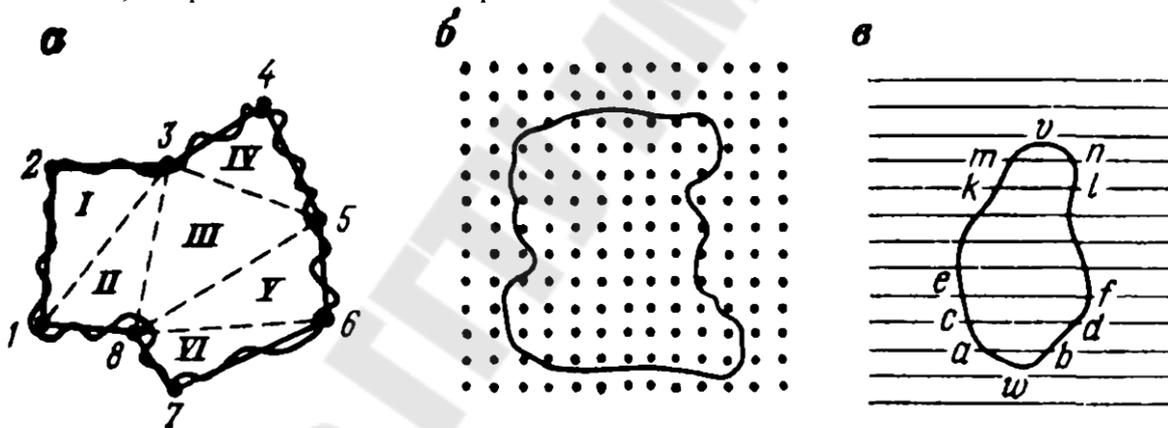


Рис. 8.1 Схема определения площади графическими способами

Погрешности графического способа определения площадей в значительной степени определяются неточностью измерения линий на плане, которая принимается равной 0,2 мм. Отсюда следует, что точность измерения площади зависит от масштаба плана: чем мельче масштаб, тем больше погрешность измерения длин и, следовательно, тем больше погрешность определения площади. Кроме того, в связи с тем, что относительная погрешность определения на плане короткой стороны больше, чем длинной, целесообразно короткие линии, принимаемые для подсчетов, определять полевыми измерениями. По этой же причине площади вытянутых участков имеют большие погрешности, чем площади участков равновеликих, невытянутых.

Таблица 8.1

Определение площади фигуры

Номер фигуры	Номер вершин фигуры	Основание, м	Высота, м	Удвоенная площадь, га	Среднее значение удвоенной площади, га
I	1-2-3	447,2	789	35,28	35,20
		792,7	443	35,12	
II	1-3-8	483,9	863	41,76	41,81
		960	436	41,86	
III	3-5-8	778	815	63,41	63,32
		858	737	63,23	
IV	3-4-5	593,3	503,0	29,84	29,84
		503,0	593,0	29,84	
V	5-6-8	439,8	796	35,01	35,03
		804	436	35,05	
VI	6-7-8	785,4	286	22,46	22,44
		287,1	781	22,42	
Итого $p = 113,82$ га				455,28	227,64

Для повышения точности определения площади графическим способом необходимо в измеренные на плане величины ввести поправки за деформацию бумаги, вычисляемые по формуле

$$\delta = \frac{(l_0 - l)}{l}$$

где l_0 – длина линии, измеренная в натуре или вычисленная по координатам ее конечных точек, l – длина линии, измеренная на плане.

Палетки обычно используются для определения небольших по размерам и имеющих сложный контур площадей. Наибольшее распространение получили точечные, квадратные и параллельные палетки.

Для измерения площади точечная палетка (рисунок 8.1, б), представляющая собой систему точек, расположенных в вершинах квадратов, произвольно накладывается на контур и подсчитывается количество точек, оказавшихся внутри контура. Определение повторяют при втором положении палетки, подсчитывается новое число точек палетки, заключенных внутри измеряемой площади. Находится среднее значение из результатов двух определений. Полученное число точек умножают на основание палетки, которое

равно площади квадрата палетки, выраженной в масштабе плана. В результате получают площадь измеряемой фигуры.

При определении небольших площадей целесообразно использовать квадратные палетки. Они накладываются на измеряемую площадь, и вначале считают целое количество квадратов палетки, затем определяются площади, находящиеся по квадратам, неполностью лежащим на измеряемой площади. Их значения выражают в долях единицы. После этого суммируют количество всех квадратов, и эту цифру умножают на площадь одного квадрата, выраженную в масштабе плана.

При использовании параллельных палеток, они накладываются на контур измеряемой площади (рисунок 8.1, в) так, чтобы крайние точки v и ω оказались посередине между параллельными линиями палетки. В этом случае контур будет расчлененным на фигуры, близкие к трапециям, в которых все высоты h одинаковые, а отрезки $ab, cd, ef \dots kl, mn$ представляют средние линии трапеций.

Сумма площадей всех трапеций, т. е. площадь, находящаяся внутри контура, определится по формуле:

$$p = ab \times h + cd \times h + ef \times h + \dots + kl \times h + mn \times h \\ = h(ab + cd + ef + \dots + kl + mn).$$

Сумму отрезков определяют измерителем, для чего берут в его раствор первый отрезок ab затем совмещают правую ножку измерителя с левым концом следующего отрезка и при неподвижной левой ножке разводят правую до конца отрезка cd . В результате раствор измерителя равен сумме двух первых отрезков. Измерения продолжают до тех пор, пока в раствор измерителя не будут набраны все отрезки вплоть до последнего mn .

Механический способ определения площади. Планиметр. Механический способ измерения площадей, несмотря на свою невысокую точность, получил довольно широкое распространение как в горном деле, так и геологоразведке. Преимущество механического способа заключается в быстроте и простоте измерения площадей, обеспечиваемыми применением специального прибора – планиметра.

Среди планиметров наибольшее распространение получили полярные планиметры (рисунок 8.2), состоящие из двух рычагов – полюсного 3 и обводного 7. В нижней части груза 4 полюсного рычага имеется игла для крепления полюса к листу бумаги. Полюсный рычаг соединяется с обводным при помощи шарнира 10.

На обводном рычаге расположены один или два счетных механизма. Обводной рычаг на своем конце имеет стекло бс обводным индексом (центр кружочка на стекле) и ручку для обводки 5. Каретка со счетным механизмом может перемещаться по обводному рычагу, за счет этого меняется его длина. Для точной установки необходимой длины обводного рычага используются шкала делений 8 на обводном рычаге, верньер 9, расположенный на каретке.

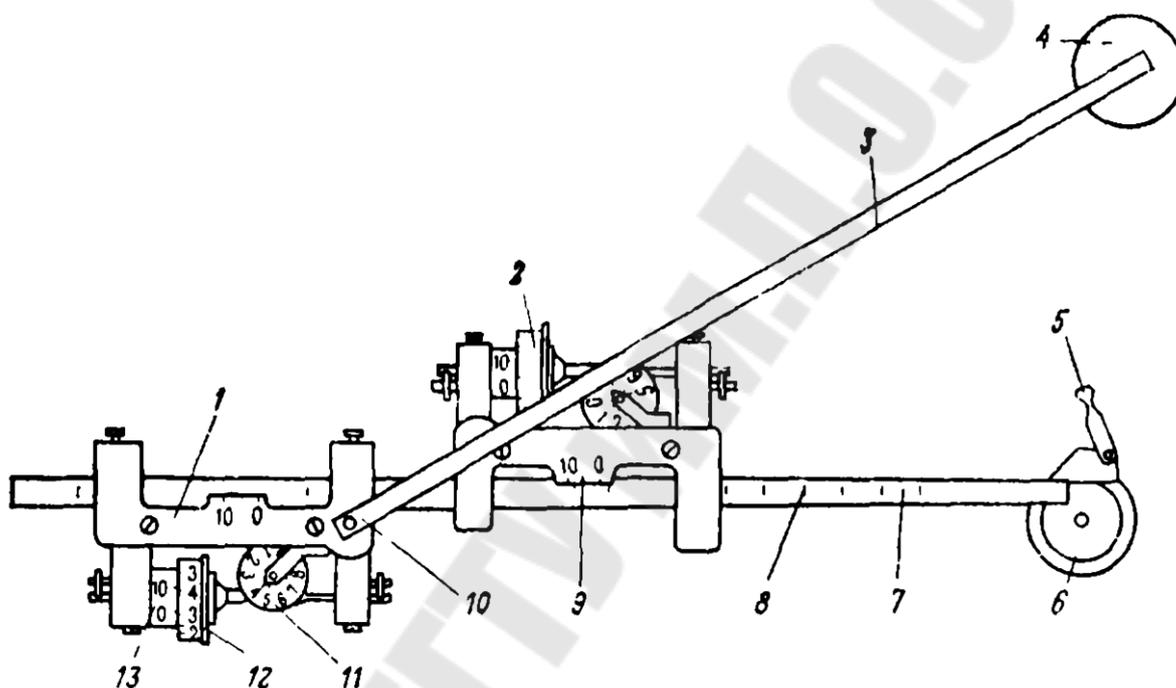


Рис.8.2 Планиметр полярный

На рисунке 8.2 показаны основной 1 и дополнительный 2 счетные механизмы, состоящие из счетного колесика 12, имеющего 100 делений, верньера 13 с десятью делениями, что позволяет делать отсчет до 1:1000 доли окружности счетного колесика. Ось счетного колесика соединена с циферблатом 11, регистрирующим полные обороты колесика. Отсчет по счетному механизму, состоящий из четырех цифр, выполняется в следующей последовательности: отсчет по циферблату, затем две цифры по счетному колесику и номер совпадающего штриха верньера.

Лекция 9 Геодезические сети, построенные наземными методами

Общие сведения о геодезических сетях. Для составления карт и планов, решения геодезических задач, в том числе геодезического

обеспечения строительства, на поверхности Земли располагают ряд точек, связанных между собой единой системой координат. Эти точки маркируют на поверхности Земли или в зданиях и сооружениях центрами (знаками). Совокупность закрепляемых на местности или в зданиях точек (пунктов), положение которых определено в единой системе координат, называют геодезическими сетями.

Геодезические сети подразделяют на плановые и высотные: первые служат для определения координат X и Y геодезических центров, вторые – для определения их высот H . Принцип построения плановых геодезических сетей заключается в следующем. На местности выбирают точки, взаимное положение которых представляется в виде геометрических фигур: треугольников, четырехугольников, ломаных линий и т.д. Причем точки выбирают с таким расчетом, чтобы некоторые элементы фигур (стороны, углы) можно было бы непосредственно измерить, а все другие элементы вычислить по данным измерений. Например, в треугольнике достаточно измерить одну сторону и три угла (один для контроля правильности измерений) или две стороны и два угла (один для контроля правильности измерений), а остальные стороны и углы вычислить. Для вычисления плановых координат вершин выбранных точек необходимо кроме элементов геометрических фигур знать еще дирекционный угол стороны одной из фигур и координаты одной из вершин.

Сети строят по принципу перехода от общего к частному, т. е. от сетей с большими расстояниями между пунктами и высокоточными измерениями к сетям с меньшими расстояниями и менее точным. Геодезические сети подразделяют на четыре вида: государственные, сгущения, съемочные и специальные. Государственные геодезические сети служат исходными для построения всех других видов сетей.

Плановые геодезические сети. Началом единого отсчета плановых координат в Российской Федерации служит центр круглого зала Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге. Государственные плановые геодезические сети подразделяют на четыре класса. В современной схеме построения государственных плановых геодезических сетей используют метод триангуляции (рисунок 9.1).

В настоящее время для построения государственных сетей применяют также спутниковые методы измерений. С этой целью принята концепция построения трех уровней государственной

геодезической спутниковой сети. Эта концепция предусматривает построение:

- фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);
- высокоточной астрономогеодезической сети (ВАГС);
- спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1).

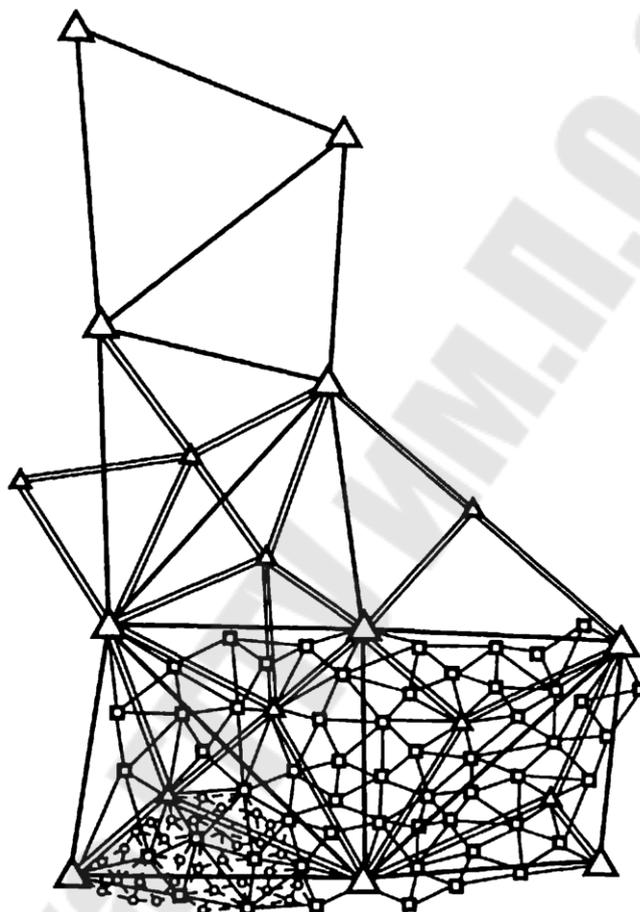


Рис.9.1 Схема построения методом триангуляции государственных плановых геодезических сетей: Δ – 1-го класса; \triangle – 2-го класса; \square – 3-го класса; \circ – 4-го класса

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть реализуется в виде системы закрепленных на всей территории России 50...70 пунктов со средними расстояниями между ними 700...800 км. Часть этих пунктов (10...15) должна стать постоянно действующими астрономическими обсерваториями, оснащенными радиотелескопами для наблюдений удаленных источников радиоизлучения (квazarов) и спутниковыми приемниками GPS-ГЛОНАСС. Взаимное положение этих пунктов будет определяться с погрешностью 1...2 см.

Высокоточная астрономогеодезическая сеть должна заменить звенья триангуляции 1-го класса и представлять собой однородные по

точности пространственные построения с расстоянием между смежными пунктами 150...300 км. Общее число пунктов ВАГС должно составлять 500...700, при этом часть пунктов будет совмещена с пунктами ФАГС. Взаимное положение таких пунктов будет определяться спутниковыми методами с относительной погрешностью $5 \cdot 10^{-8}$ или 2...3 см.

Спутниковая геодезическая сеть 1-го класса должна заменить триангуляции 1, 2-го классов со средними расстояниями между пунктами 30...35 км, общим числом 10...15 тыс. и средней квадратической погрешностью взаимного положения 1...2 см. Построение такой сети предполагается осуществить в течение десяти ближайших лет.

Сети сгущения строят для дальнейшего увеличения плотности (числа пунктов, приходящихся на единицу площади) государственных сетей. Плановые сети сгущения подразделяют на 1-й и 2-й разряды.

Съемочные сети – это тоже сети сгущения, но с еще большей плотностью. С точек съемочных сетей производят непосредственно съемку предметов местности и рельефа для составления карт и планов различных масштабов. Специальные геодезические сети создают для геодезического обеспечения строительства сооружений. Плотность пунктов, схема построения и точность этих сетей зависят от специфических особенностей строительства.

Высотные геодезические сети. Государственные высотные геодезические сети создают для распространения по всей территории страны единой системы высот. За начало высот в Российской Федерации и некоторых других странах принят средний уровень Балтийского моря, определение которого проводилось в период с 1825 до 1840 г. Этот уровень отмечен горизонтальной чертой на медной металлической пластине, укрепленной в устье моста через обводной канал в Кронштадте.

Между пунктами государственных высотных геодезических сетей высокой точности (1-го класса) размещают пункты высотных сетей низших классов (2-го, 3-го и т.д.). Если на рисунке, где размещены пункты высотной сети, соединить эти пункты линиями, то получатся фигуры, которые называют ходами. Несколько пересекающихся ходов называют сетями. Как правило, сети создают из ходов, прокладываемых между тремя или более точками (рисунок 9.2). В целом точки (реперы) высотных сетей, называемых

нивелирными, достаточно равномерно распределены на территории страны. На незастроенной территории расстояния между реперами составляют 5...7 км, в городах сеть реперов в 10 раз плотнее.

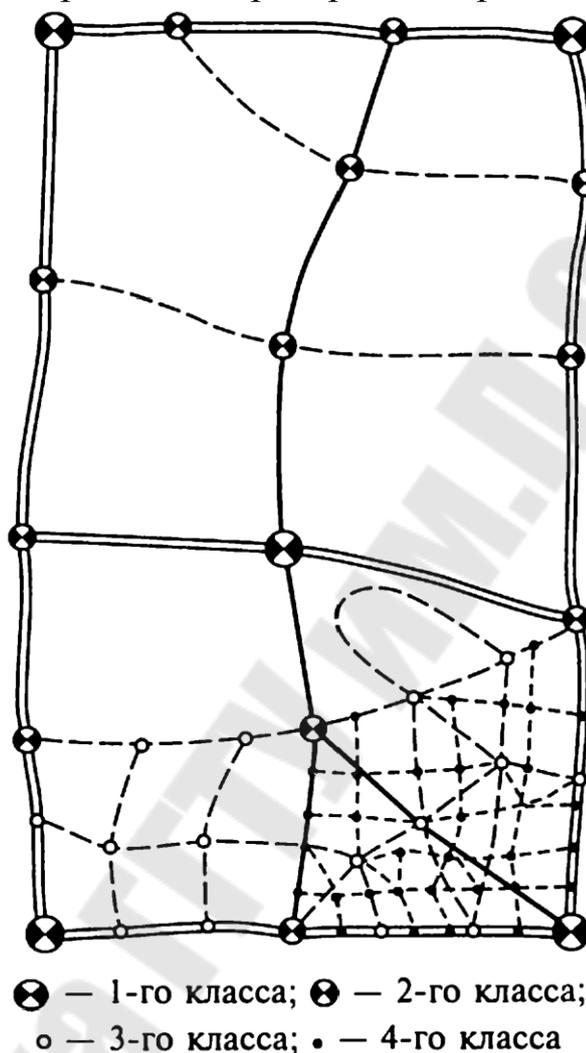


Рис.9.2 Схема государственной высотной сети

Для решения ограниченного круга вопросов при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений создают высотную сеть технического класса.

Нивелирные сети на строительных площадках и при создании внешних разбивочных сетей создают на базе плановых сетей, т.е. для части плановых сетей определяют высотные отметки.

Как правило, сети образуют полигоны с узловыми точками (общими точками пересечения двух или более ходов одного и того же класса). Каждый нивелирный ход опирается обоими концами на реперы ходов более высокого класса или узловые точки.

Знаки для закрепления геодезических сетей. Точки геодезических сетей закрепляют на местности знаками. По местоположению знаки бывают: грунтовые и стенные, заложенные в стены зданий и сооружений; металлические, железобетонные, деревянные, в виде откраски и т.д.; по назначению – постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей, и временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции, наблюдений и т.д.

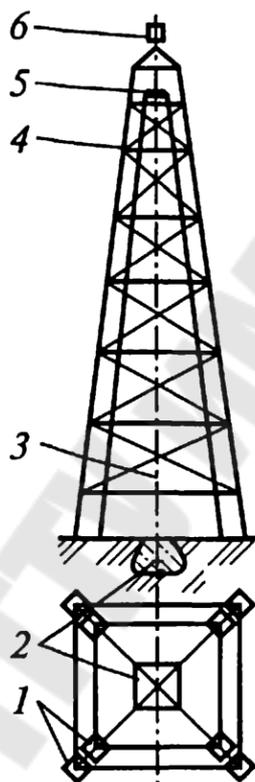


Рис.9.3 Наружный металлический сигнал над подземным центром плановой сети: 1 – фундаменты; 2 – подземный центр; 3 – сигнал; 4 – настил; 5 – столик; 6 – визирная цель

Постоянные знаки. Их закрепляют подземными знаками – центрами. Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течение длительного периода времени. Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит (рисунок 9.3), закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которой наносят центр в виде креста или точки. Положению этого центра соответствуют координаты X и Y и во многих случаях отметки H .

Для того чтобы с одного знака был виден другой (смежный), над подземными центрами устанавливают наружные знаки в виде металлических или деревянных трех- или четырехгранных пирамид или сигналов.

Пирамиды или сигналы имеют высоту 3...30 м и более. Геодезический сигнал 3 с подземным центром 2 и столиком 5 предназначен для установки измерительных приборов и настила 4 при работе на нем наблюдателя. Верх сигнала или пирамиды заканчивается визирной целью 6, на которую при измерении углов направляют зрительную трубу теодолита. На столик устанавливают также отражатель, если измеряют расстояния между пунктами светодальномером. Для спутниковых измерений сигналы и пирамиды строить не надо.

Как правило, пункты плановых разбивочных сетей и сетей сгущения закрепляют подземными центрами, такими же как и пункты государственных сетей. Так как расстояния между этими пунктами сравнительно небольшие, оформления их наружными знаками не требуется. Иногда над ними устанавливают Г-образные металлические или деревянные вехи. В городах знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий. Знаки могут закладывать в зданиях и сооружениях, в этом случае их называют стенными.

Государственные высотные сети всех классов закрепляют на местности грунтовыми реперами. Стенные реперы закрепляют в фундаментах устойчивых сооружений – водонапорных башен, капитальных зданий, каменных устоев мостов и т. д. В стенных реперах высоту определяют для центра отверстия в сферической головке.

Лекция 10 Плановые спутниковые сети

Глобальные системы определения местоположения ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS. Бурное развитие науки и техники в последние десятилетия позволило создать принципиально новый метод определения координат и приращений координат – спутниковый. В этом методе вместо привычных геодезистам неподвижных пунктов геодезической сети с известными координатами используются подвижные спутники, координаты

которых можно вычислить на любой интересующий геодезиста момент времени.

В настоящее время используются две спутниковые системы определения координат: российская система ГЛОНАСС (это является аббревиатурой более длинного и точного названия: ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) и американская система NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System – навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования). В данном случае под словом «позиционирование» подразумевается определение координат. Обе системы создавались для решения военных задач, но в последние годы нашли широкое применение в геодезии, обеспечивая исключительно высокие точности определения приращений координат со средней квадратической погрешностью 5 мм + $\text{JH}0''6$, координаты одиночного приемника могут быть определены со средней квадратической погрешностью от 10 до 100 м.

В связи с тем что в геодезических измерениях GPS применяется существенно шире, особое внимание будет уделено именно этой системе.

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

Современные системы NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС в полной комплектации должны состоять из 21 действующего спутника и трех запасных. Орбиты спутников практически круговые, расположены в трех орбитальных плоскостях (рисунок 10.1) и в шести орбитальных плоскостях (рисунок 10.2). Спутники оснащены солнечными батареями, которые обеспечивают энергией все системы, в том числе и во время прохождения спутника в тени Земли.

Орбиты спутников расположены на геодезической высоте, равной 20180 км, и на расстоянии 26600 км от центра Земли. Такое число спутников и их расположение обеспечивают одновременный прием сигналов, как минимум, от четырех спутников в любой части Земли.

Все спутники равномерно расположены в шести орбитальных плоскостях. Период обращения спутников составляет 12 ч звездного времени, в связи с чем каждый спутник появляется в том же месте ежедневно на 4 мин раньше вчерашнего положения.

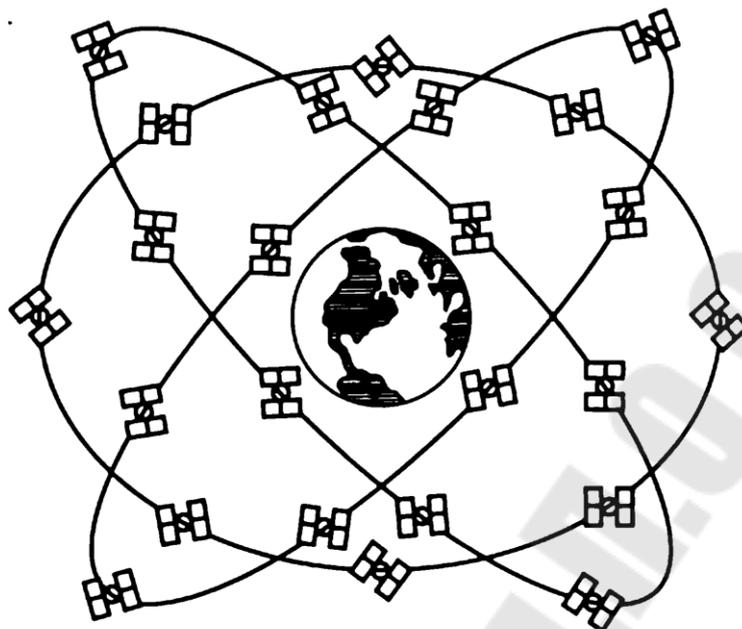


Рис.10.1 Спутниковая навигационная система ГЛОНАСС

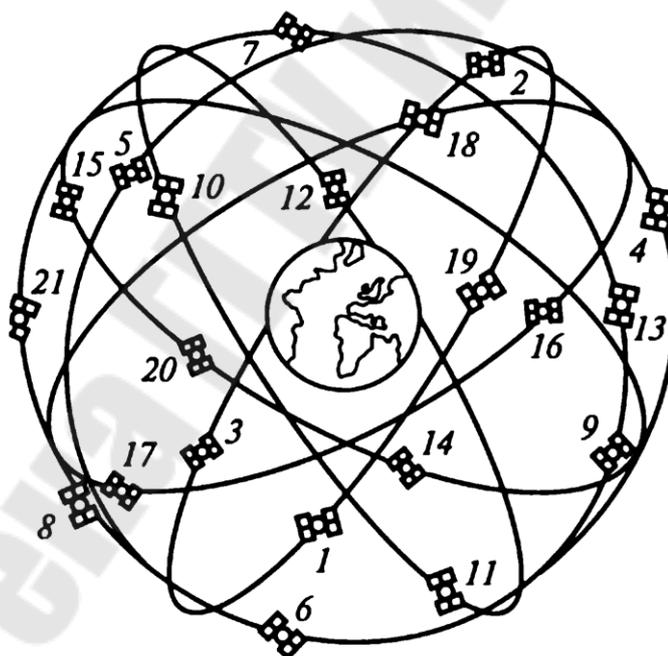


Рис.10.2 Спутниковая навигационная система NAVSTAR GPS:
1...21 – номера спутников

Электроэнергией спутники обеспечивают две солнечные батареи площадью $7,2 \text{ м}^2$ каждая, заряжая также аккумуляторы для обеспечения работоспособности спутника во время его полета в тени Земли. Каждый спутник снабжен кварцевым стандартом частоты, двумя цезиевыми и двумя рубидиевыми стандартами частоты, которые поддерживают стабильность часов спутника в пределах

$1 \cdot 10^{-12} \dots 1 \cdot 10^{-13}$. Цезиевые и рубидиевые стандарты частоты координируют и управляют основной частотой – кварцевым стандартом частоты, генерирующим 10,23 МГц. Из основной частоты формируют две частоты L -диапазона, МГц:

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

$$L_2 = 10,23 \times 120 = 1227,6 \text{ (длина волны 24,45 см).}$$

Эти две частоты (называемые несущими) через модуляторы поступают на антенну и передают на Землю информацию. Информация накладывается на несущую частоту методом импульсно-фазовой модуляции. Модуляция сигнала – это изменение какого-либо параметра электрического сигнала (при амплитудной модуляции изменяется амплитуда сигнала, а при частотной – частота сигнала). При импульсно-фазовой модуляции фаза сигнала скачком изменяется на 180° (рисунок 10.3). На частотах L_1 и L_2 передаются навигационные сигналы (коды), а также другая навигационная и системная информация.

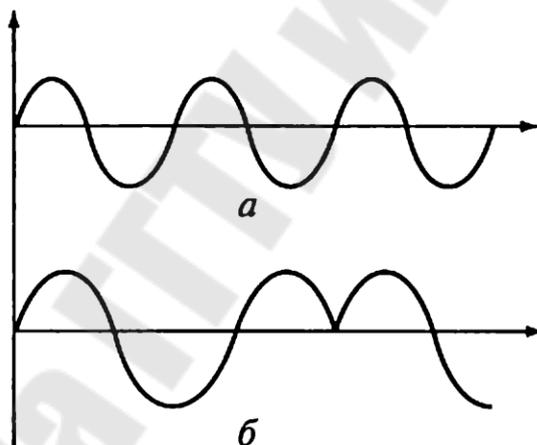


Рис.10.3 Импульсно-фазовая модуляция:
а – сигнал до модуляции; б – сигнал после модуляции

В системе NAVSTAR GPS все спутники излучают на двух одинаковых частотах L -диапазона (L_1 , и L_2), но каждый спутник излучает свой личный код (индивидуальная последовательность переключения фазы на 180°), по которому ведется распознавание спутников. В российской системе ГЛОНАСС спутник излучает на своей частоте, а код общий для всех спутников. Российские спутники передают информацию на двух частотах:

$$L_1 = f_{01} + k \times \Delta f_1$$

$$L_2 = f_{02} + k \times \Delta f_2$$

где $f_{01} = 1602$ МГц; $f_{02} = 1246$ МГц; k – номер спутника ($k = 0, 1, 2 \dots$);

$\Delta f_1 = 0,4375$ МГц; $\Delta f_2 = 0,5625$ МГц.

Отношение частот L_1 , и L_2 равно $9/7$.

Наземный сегмент системы ГЛОНАСС состоит из следующих взаимосвязанных стационарных элементов: центр управления системой (ЦУС), контрольные станции (КС), командная станция слежения (КСС), квантово-оптические станции и другие станции слежения за работой бортовых устройств спутников.

На рисунке 10.4 показана схема расположения станций наземного сегмента системы ГЛОНАСС. Станции слежения принимают все сигналы с проходящих над ними спутников, вычисляют расстояния до спутников, измеряют местные метеорологические параметры и передают информацию на главную станцию контроля.

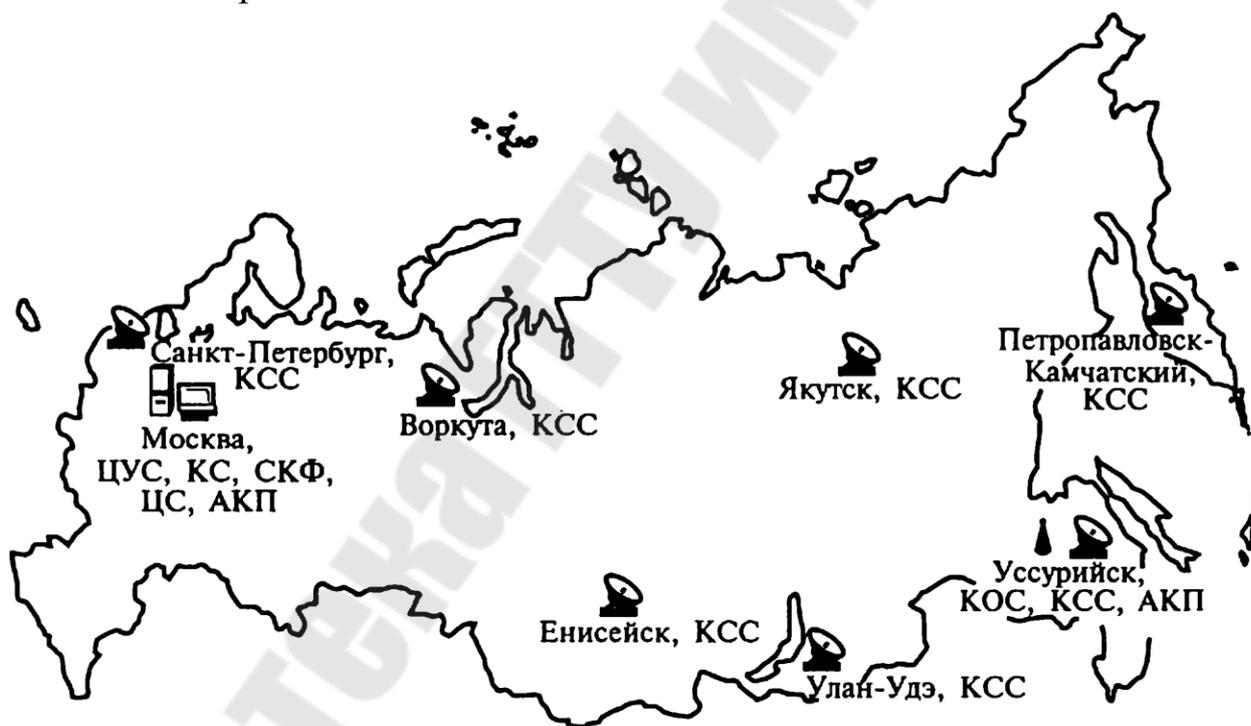


Рис.10.4 Размещение станций контроля и управления системы ГЛОНАСС:

ЦУС – центр управления системой ГЛОНАСС; ЦС – центральный синхронизатор; КС – контрольная станция; СКФ – система контроля фаз; КОС – квантово-оптическая станция; АКП – аппаратура контроля параметров; КСС – контрольная станция слежения

На главной станции контроля обрабатывают всю поступающую информацию, вычисляют и прогнозируют эфемериды и поправки в часы спутников, формируют навигационные сообщения. Наземные

антенны передают на спутник навигационное сообщение, сформированное на главной станции слежения. Наземные передающие антенны расположены так, что каждый спутник ежедневно имеет по крайней мере три сеанса связи с системой слежения.

Лекция 11 Элементы теории погрешностей

Под измерениями понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. При всем многообразии геодезических измерений все они сводятся в основном к трем видам:

линейные – определяются расстояния между заданными точками;

угловые – определяются значения горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на заданные точки;

высотные (нивелирование) – определяются разности высот отдельных точек.

За единицу линейных и высотных измерений (расстояний, высот и превышений) в геодезии принят метр, представляющий собой длину жезла – эталона, изготовленного из платино-иридиевого сплава в 1889 г. и хранящегося в Международном бюро мер и весов в Париже. Копия №28 этого жезла находится в НИИ метрологии им. Д. И. Менделеева в Санкт-Петербурге. В качестве эталона более высокой точности в настоящее время служит метр, определенный как длина пути, пройденного светом за $1/299792548$ доли секунды.

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.

Измерения называют прямыми, если их выполняют с помощью приборов, позволяющих непосредственно сравнить измеряемую величину с величиной, принятой за единицу, и косвенными, когда искомую величину получают путем вычислений на основе

результатов прямых измерений. Так, угол в треугольнике можно непосредственно измерить угломерным прибором (прямое измерение) или вычислить по результатам измерения трех сторон треугольника (косвенное измерение).

Необходимыми условиями любого измерения являются: объект измерения; субъект измерения – лицо, производящее измерение; мерный прибор, которым выполняют измерения; метод измерения – совокупность правил и действий, определяющих процесс измерения; внешняя среда, в которой выполняют измерения.

Обозначенные на местности точки, от которых выполняют геодезические измерения, называются исходными. Точки, положение которых на местности необходимо определить, называют определяемыми.

Исходные и определяемые точки могут располагаться в горизонтальной плоскости в плане (плановые точки) и вертикальной – по высоте (высотные точки).

Измерения в геодезии рассматриваются с двух точек зрения: количественной, выражающей числовое значение измеренной величины, и качественной, характеризующей ее точность. Из практики известно, что даже при самой тщательной и аккуратной работе многократные (повторные) измерения не дают одинаковых результатов. Это указывает на то, что получаемые результаты не являются точным значением измеряемой величины, а несколько отклоняются от него. Значение отклонения характеризует точность измерений. Если обозначить истинное значение измеряемой величины X , а результат измерения l , то истинная погрешность измерения

$$\Delta = l - X$$

Любая погрешность результата измерения есть следствие действия многих факторов, каждый из которых порождает свою погрешность. Погрешности, происходящие от отдельных факторов, называют элементарными. Погрешности результата измерения являются алгебраической суммой элементарных погрешностей. Изучением основных свойств и закономерностей действия погрешностей измерений, разработкой методов получения наиболее точного значения измеряемой величины и характеристик ее точности занимается теория погрешностей измерений. Излагаемые в ней методы решения задач позволяют рассчитать необходимую точность предстоящих измерений и на основании этого расчета выбрать

соответствующие приборы и технологию измерений, а после производства измерений получить наилучшие их результаты и оценить их точность. Математической основой теории погрешностей измерений являются теория вероятностей и математическая статистика.

Погрешности измерений разделяют по двум признакам: характеру их действия и источнику происхождения.

По характеру действия погрешности бывают грубые, систематические и случайные.

Грубыми называют погрешности, превосходящие по абсолютной величине некоторый установленный для данных условий измерений предел. Они происходят в большинстве случаев в результате промахов и просчетов исполнителя. Такие погрешности обнаруживают повторными измерениями, а результаты, содержащие их, бракуют и заменяют новыми.

Погрешности, которые по знаку или величине однообразно повторяются в многократных измерениях (например, в длине линии из-за неточного знания длины мерного прибора, из-за неточности уложения мерного прибора в створе этой линии и т.п.), называют систематическими. Влияние систематических погрешностей стремятся исключить из результатов измерений или ослабить тщательной проверкой измерительных приборов, применением соответствующей методики измерений, а также введением поправок в результаты измерений.

Случайными являются погрешности, размер и влияние которых на каждый отдельный результат измерения остаются неизвестными. Величину и знак случайной погрешности заранее установить нельзя. Однако теоретические исследования и многолетний опыт измерений показывают, что случайные погрешности подчинены определенным вероятностным закономерностям, изучение которых дает возможность получить наиболее надежный результат и оценить его точность.

По источнику происхождения различают погрешности приборов, внешние и личные. Погрешности приборов обусловлены их несовершенством, например погрешность угла, измеренного теодолитом, неточным приведением в вертикальное положение оси его вращения.

Внешние погрешности происходят из-за влияния внешней среды, в которой протекают измерения, например погрешность в

отсчете по нивелирной рейке из-за изменения температуры воздуха на пути светового луча (рефракция) или нагрева нивелира солнечными лучами.

Личные погрешности связаны с особенностями наблюдателя, например, разные наблюдатели по-разному наводят зрительную трубу на визирную цель.

Так как грубые погрешности должны быть исключены из результатов измерений, а систематические исключены или ослаблены до минимально допустимого предела, то проектирование измерений с необходимой точностью и оценку результатов выполненных измерений производят, основываясь на свойствах случайных погрешностей.

Свойства случайных погрешностей. Случайные погрешности характеризуются следующими свойствами.

1. При определенных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать известного предела, называемого предельной погрешностью. Это свойство позволяет обнаруживать и исключать из результатов измерений грубые погрешности.

2. Положительные и отрицательные случайные погрешности примерно одинаково часто встречаются в ряду измерений, что помогает выявлению систематических погрешностей.

3. Чем больше абсолютная величина погрешности, тем реже она встречается в ряду измерений.

4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же величины, выполненных при одинаковых условиях, при неограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю.

Последнее свойство случайных погрешностей позволяет установить принцип получения из ряда измерений одной и той же величины результата, наиболее близкого к ее истинному значению, т. е. наиболее точного. Таким результатом является среднее арифметическое из n измеренных значений данной величины. При бесконечно большом числе измерений $\lim_{n \rightarrow \infty} (\bar{l})/n = X$.

Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности. Для правильного использования результатов измерений необходимо знать, с какой точностью, т.е. с какой степенью близости к истинному значению измеряемой величины, они получены. Характеристикой точности отдельного измерения в теории

погрешностей служит предложенная Гауссом средняя квадратическая погрешность m , вычисляемая по следующей формуле:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + U + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (11.1)$$

где n – число измерений данной величины.

Эта формула применима для случаев, когда известно истинное значение измеряемой величины. Такие случаи в практике встречаются редко. В то же время из измерений можно получить результат, наиболее близкий к истинному значению, – арифметическую средину. Для этого случая средняя квадратическая погрешность одного измерения подсчитывается по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}, \quad (11.2)$$

где δ – отклонения отдельных значений измеренной величины от арифметической середины, называемые вероятнейшими погрешностями, причем $[\delta] = 0$.

Точность арифметической середины, естественно, будет выше точности отдельного измерения. Ее средняя квадратическая погрешность определяется по формуле

$$M = m / \sqrt{n}, \quad (11.3)$$

где m – средняя квадратическая погрешность одного измерения, вычисляемая по формуле (11.2).

Часто в практике для контроля и повышения точности определяемую величину измеряют дважды – в прямом и обратном направлениях, например, длину линий, превышения между точками. Из двух полученных значений за окончательное принимается среднее из них. В этом случае средняя квадратическая погрешность одного измерения

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}, \quad (11.4)$$

а среднего результата из двух измерений

$$M = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}, \quad (11.5)$$

где d – разность двукратно измеренных величин; n – число разностей (двойных измерений).

В соответствии с первым свойством случайных погрешностей для абсолютной величины случайной погрешности при данных

условиях измерений существует допустимый предел, называемый предельной погрешностью. В строительных нормах предельная погрешность называется допускаемым отклонением.

Лекция 12 Понятие о математической обработке результатов геодезических измерений

При геодезических вычислениях приходится иметь дело с так называемыми приближенными числами. Приближенные числа появляются в результате ошибок измерений; из-за неточности формул, методов и моделей; из-за ошибок округлений и т. п.

Существуют правила вычислений с приближенными числами, которые позволяют облегчить вычисления и применить наиболее подходящие средства вычислений.

При проведении вычислений необходимо руководствоваться следующими правилами:

в числах, с которыми оперируют при вычислениях, необходимо различать десятичные знаки, значащие и верные цифры. Десятичными знаками являются все знаки после запятой. Значащими цифрами называются все цифры, кроме нулей слева и тех нулей справа, которые являются результатом округления. Например, у числа 1200, отражающего округленное значение 1211, только две цифры (1 и 2) являются значащими. Верными цифрами называются цифры, заслуживающие доверия в данном числе. Например, в сумме углов треугольника 180° все три цифры верные. В числе же 20,372 м, обозначающем длину некоторого отрезка, измеренного с точностью до 1 см, верными цифрами являются 20,37 м;

точность результата определяется его погрешностью;

точность вычислений должна соответствовать точности исходных данных, которая определяется практической потребностью;

при вычислениях числа надо ограничивать всегда таким образом, чтобы все цифры, кроме последней, были верны и лишь последняя была бы сомнительной;

при сложении или вычитании приближенных чисел, содержащих неодинаковое количество десятичных знаков, целесообразно оставить у них десятичных знаков больше, чем у числа с их наименьшим количеством;

при умножении двух чисел с одинаковым количеством значащих цифр результат должен иметь столько значащих цифр, сколько их было в сомножителе;

при умножении или делении приближенных чисел с неодинаковым количеством значащих цифр фактически умножается (делится) столько значащих цифр в каждом числе, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством плюс одна цифра.

Таким образом, при умножении 21378,28 на 3,25 первое число следует округлить до 21380, а затем произвести действие, при этом в результате следует сохранить столько значащих цифр, сколько их имеет меньший сомножитель.

Таким образом, произведение (частное) имеет столько верных значащих цифр, сколько их имеет число с наименьшим количеством значащих цифр;

при извлечении квадратного или кубического корня из приближенного числа количество значащих цифр в результате должно соответствовать количеству цифр подкоренного выражения. При возведении числа в степень в полученном результате оставляют столько значащих цифр, сколько их в возводимом в степень числе;

при вычислении среднего какой-либо величины, отдельные значения которой близки, необходимо записать общую часть значения, для остатков вычислить поправки, для каждого вычисления следует предварительно составить формуляр.

Для исключения погрешностей вычислений при заполнении вычислительной документации должны соблюдаться некоторые положения, исключающие появление погрешностей вычислений и повышающие эффективность вычислительных работ. Для этого записи в журналах и ведомостях вычислений должны вестись четким почерком хорошо отточенным карандашом, чернилами или тушью. Подскабливание и подтирание вычислений не разрешаются. Места, где найдены погрешности, должны быть перечеркнуты и сделаны записи, указывающие место, где сделаны новые записи. Если вычисления ведутся по схемам, не предусматривающим внутреннего контроля, то они должны быть сделаны независимо двумя исполнителями. Вычисления должны заканчиваться определением погрешностей и обязательным их сравнением с допустимыми величинами, предусматриваемыми соответствующими инструкциями.

Одним из приемов вычислений являются правила округления, заключающиеся в следующем:

1 Последнюю цифру необходимо увеличить на единицу, если следующая за ней цифра больше 5, например, 10,276~10,28.

2. Последняя цифра не изменяется, если следующая за ней меньше 5, например, 121,2873~121,287.

3. Последнюю четную цифру необходимо оставить без изменения, если следующая за ней цифра равна 5, например, 27,3745~27,374.

4 . Последнюю нечетную цифру необходимо увеличить на единицу, если следующая на ней цифра равна 5, например, 17,2575~17,258.

Лекция 13 Методы и приборы измерения углов

Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности выполняют специальными приборами – теодолитами.

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 (рисунок 13.1, а) заключается в следующем. В вершине A измеряемого угла BAC устанавливают теодолит, основной частью которого является круг с делениями. Круг располагают горизонтально, т.е. параллельно уровенной поверхности, а его центр совмещают с точкой A . Проекции направлений AB и AC , угол между которыми измеряют, пересекут шкалу круга по отсчетам (делениям) b и c . Разность этих отсчетов дает искомый угол $\beta = \angle BAC = c - b$.

Вертикальный угол измеряют по вертикальному кругу (рисунок 13.1, б) аналогичным образом, но одним из направлений служит фиксированная горизонтальная линия. Из рисунка видно, что если наблюдаемая точка расположена выше горизонта, то вертикальный угол (+ v) положителен, если ниже – отрицателен (- v).

На этом принципе основано устройство теодолитов (рисунок 13.1, в). Прибор состоит из подставки, которую устанавливают на три подъемных винта 7. В отверстие подставки 2 входит ось 11 вращения лимба 3, в которую, в свою очередь, входит ось 10 алидады 4.

Лимб – рабочая мера теодолита – представляет собой круг с делениями. Алидада – часть прибора, расположенная соосно с лимбом, на которой имеются элементы отсчетного устройства и две

подставки 5, несущие ось вращения НН зрительной трубы 8 вертикального круга с алидадой 6 и лимбом 7. На защитном корпусе алидады укреплен цилиндрический уровень 9. Зрительная труба теодолита представляет собой визирное устройство, содержащее объектив, окуляр и сетку нитей. Уровень служит для приведения в определенное положение прибора в целом и отдельных узлов относительно отвесной линии. К основным частям теодолитов относятся наводящее и закрепительное устройства, служащие для наведения зрительной трубы на визирную цель и закрепления подвижной части прибора в заданном направлении.

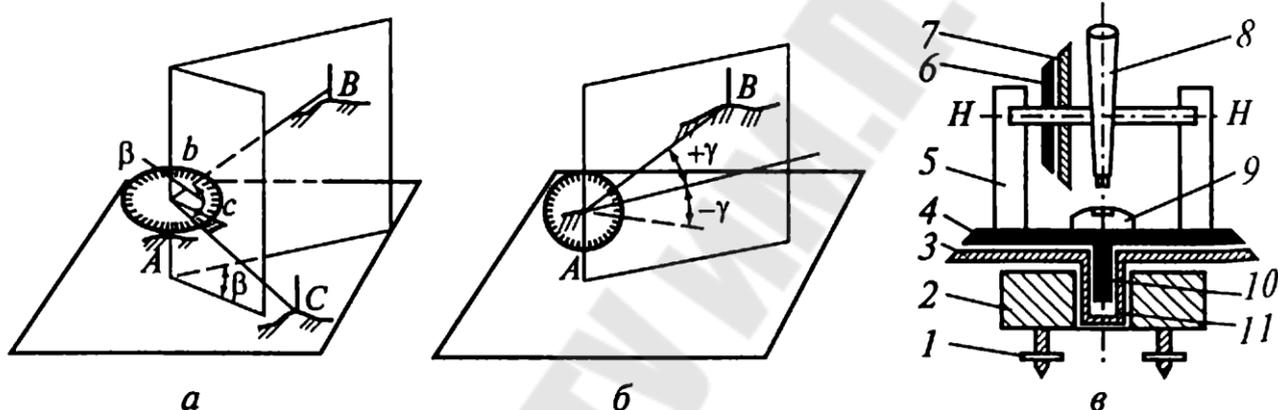


Рис.13.1 Измерение углов теодолитом: а – горизонтального; б – вертикального; в – принципиальная схема устройства теодолита; 1 – винт; 2, 5 – подставки; 3, 7 – лимбы; 4, 6 – алидады; 8 – зрительная труба; 9 – уровень; 10, 11 – оси

Для получения с помощью теодолита неискаженного значения результатов его геометрические элементы должны быть соответственным образом ориентированы относительно друг друга. Геометрические условия (рисунок 13.2) теодолита записывают так:

$$VV \perp FF; HH \perp VV; PP \perp HH; HH \perp BB; UU \perp LL; L'L' \perp VV; LL \perp HH$$

где VV и FF – вертикальная ось прибора и плоскость горизонтального круга; HH – горизонтальная ось трубы; PP – визирная ось трубы; BB – плоскость вертикального круга; LL , UU и $L'L'$ – оси накладного уровня и уровней на горизонтальном и вертикальном кругах; RR – оси подъемных винтов; $KK' K''$ – визирная ось оптического отвеса.

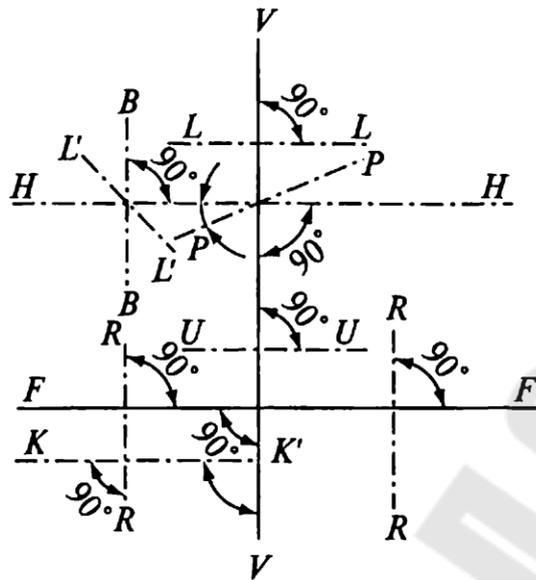


Рис.13.2 Геометрическое условие теодолита: оси PP перпендикулярны плоскости рисунка, остальные оси взаимно-перпендикулярны, углы равны 90°

Выяснение в полевых условиях сохранности взаимного расположения частей теодолитов называют поверками.

Рассмотрим устройство наиболее часто применяемых теодолитов. Особый интерес представляют теодолиты серии ЗТ – высокопроизводительные, удобные в работе, многофункциональные угломерные приборы, эксплуатация которых возможна в пределах температур $-40...+50^\circ\text{C}$.

В строительстве, изыскательских работах, при монтаже машин, оборудования, конструкций чаще всего применяют теодолиты типа ЗТ5КП (рисунок 13.3). Как правило, теодолиты укомплектовывают принадлежностями, существенно расширяющими область их применения. К стандартной комплектации относятся: буссоль, линзовая насадка на объектив, окулярная насадка на зрительную трубу и отсчетный микроскоп, электроосвещение отсчетных шкал, требующееся при работе в шахтах, ночью, визирная вешка, устанавливаемая в ручку для переноски теодолита, штатив.

Теодолит ЗТ5КП имеет полу цилиндрическую систему осей вращения горизонтального круга. На прижимной к штативу пластине 1 на трех подъемных винтах 2 в трегере 19 винтом 3 фиксируют верхнюю часть прибора. Отсчетные шкалы горизонтального круга закрыты кожухом, на котором укреплены стойки 6. На одной из стоек укреплена шкала для снятия отсчетов по вертикальному кругу 21. Центрирование теодолита осуществляют встроенным в алидадную часть оптическим центриром 5. Отсчеты по шкалам вертикального и

горизонтального кругов, проходя через систему преломляющих призм, сводятся в микроскоп 15. Цена деления лимба 1° .

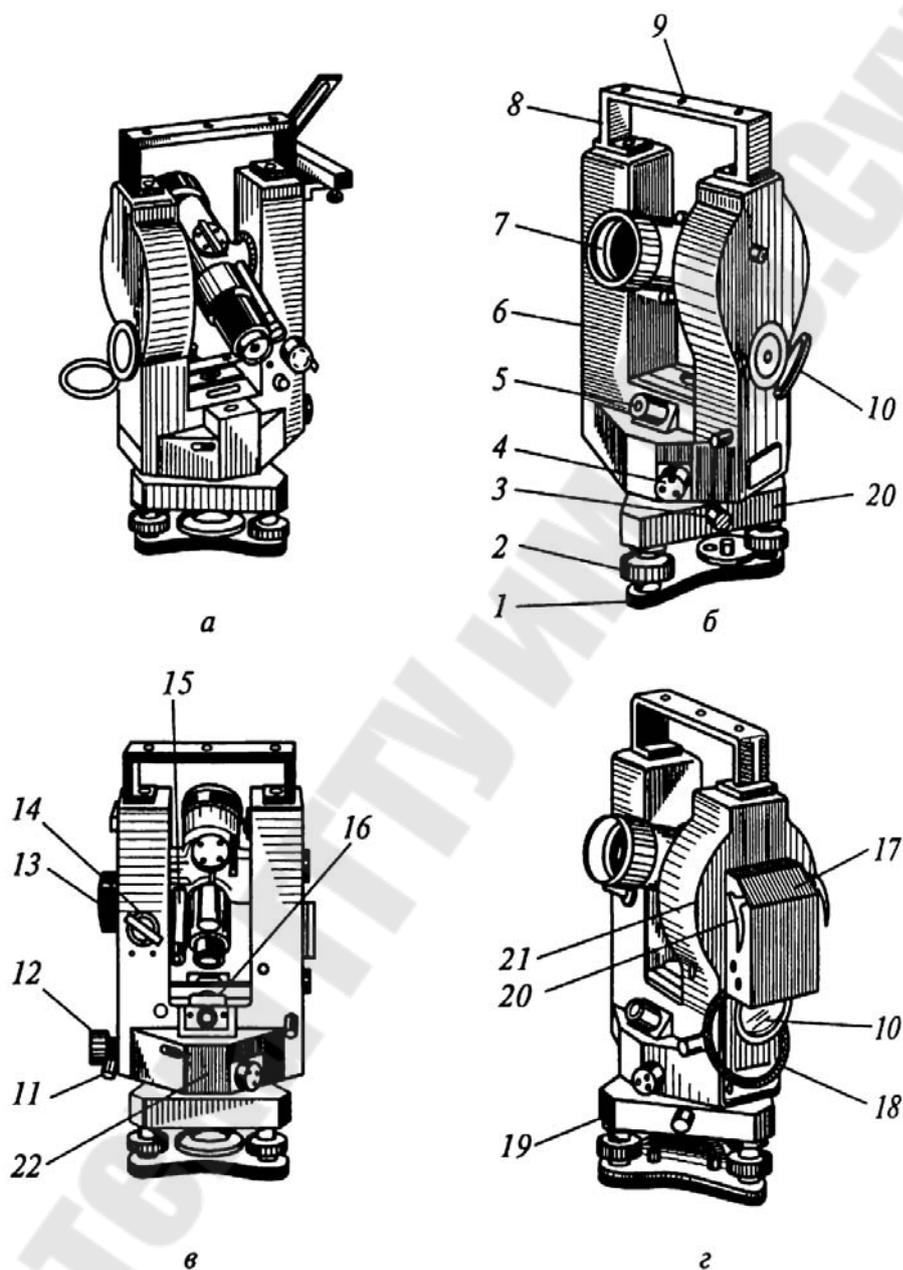


Рис.13.3 Теодолит 3Т5КП в рабочем состоянии:

а – с буссолью; б...г – в различных ракурсах; 1 – прижимная пластина; 2 – подъемные винты; 3, 7, 72, 14 – зажимные винты; 4 – винт установки отсчета, 5 – окуляр центрира; 6 – стойка; 7 – объектив трубы; 8 – ручка для переноски, 9 – отверстие для установки вехи; 10 – зеркало подсветки; 13 – винт совмещения шкалы вертикального круга; 15 – микроскоп; 16 – уровень; 17 – электроосветительное устройство; 18 – электрокабель; 19 – трегер; 20 – защелка; 21, 22 – вертикальный и горизонтальный круги

В поле зрения микроскопа (рисунок 13.4) видны более мелкие деления шкалы – минуты. Отсчет определяют по штриху лимба на отсчетной шкале, например, отсчет по горизонтальному кругу Г равен $174^{\circ}55,2'$, по вертикальному В – $2^{\circ}04,3'$. Если штрих совпадает с целым делением, то десятые доли самого мелкого деления определяют «на глаз». В данном случае это будут десятые доли минуты.

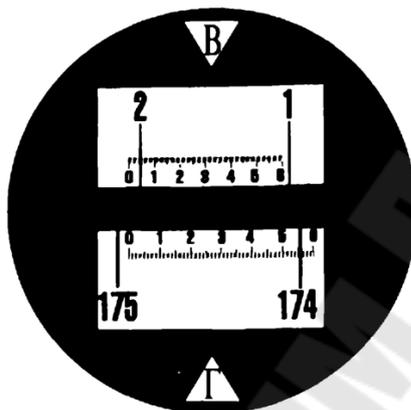


Рис.13.4 Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита ЗТ5

Вертикальный круг теодолита жестко скреплен со зрительной трубой, а с алидадой вертикального круга – цилиндрический уровень. Наличие уровня на алидаде вертикального круга позволяет устанавливать ее начальные штрихи горизонтально. В теодолите ЗТ5К уровня при вертикальном круге нет, его роль выполняет оптический компенсатор. Индекс компенсатора занимает горизонтальное положение, и при измерении вертикальных углов показания отсчитывают по шкале без дополнительных действий.

Для установки теодолитов на местности используют штативы. Так как непосредственное визирование на точку, закрепленную в грунте знаком, бывает затруднено из-за неровностей местности и растительности, над знаком устанавливают визирные цели, марки, вехи, шпильки.

Так как непосредственное визирование на точку, закрепленную в грунте знаком, бывает затруднено из-за неровностей местности и растительности, над знаком устанавливают визирные цели, марки, вехи, шпильки.

Если требуется измерить угол с большой точностью, используют комплект визирных целей (КВЦ), который состоит из визирных марок 7, подставок 2 и штативов 3 (рис.13.5, а). Стандартный набор КВЦ включает в себя также аккумуляторы,

шнуры с вилками и лампы электрической подсветки для работы в ночное время или в шахтах.

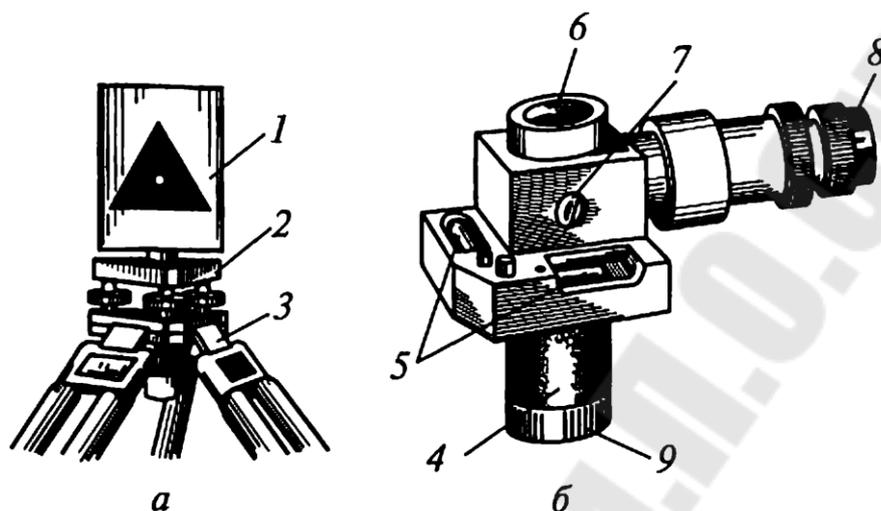


Рис.13.5 Элементы установки визирных целей: а – комплект визирных целей; б – оптический отвес; 1 – марка; 2 – подставка; 3– штатив; 4 – вертикальная ось; 5 – уровень; 6,9– объективы; 7– переключатель направлений; 8 – окуляр

Для центрирования визирной марки над точкой применяют оптический двусторонний отвес (ОДО). Марку центрируют следующим образом (рис. 13.5, б). Штатив устанавливают над точкой, следя за тем, чтобы его головка была примерно горизонтальна, а центр находился над точкой. Подставку с ОДО помещают на головке штатива. Глядя в окуляр 8, смещают по головке штатива подставку с ОДО до совпадения креста сетки нитей с точкой и в этом положении закрепляют ее. Выдвигая–вдвигая ножки штатива, приводят пузырьки двух взаимно-перпендикулярных уровней 5 в нуль-пункт. При этом наведение креста сетки нитей на точку может немного нарушиться. Чтобы исправить положение, слегка открепляют винт и перемещением подставки вновь наводят ОДО на точку. В этом случае может незначительно нарушиться вертикальность оси ОДО. Восстанавливают ее подъемными винтами подставки. Центрирование и приведение оси ОДО в отвесное положение повторяют несколько раз, добиваясь совпадения креста сетки нитей визирной трубы отвеса с точкой при положении уровней в нуль-пункте. По окончании центрирования подставки над точкой ОДО вынимают и на его место в подставку устанавливают визирную марку.

Вехи устанавливают, непосредственно совмещая заостренную часть с центром точки. Отвесность вех проверяют по вертикальной нити сетки трубы теодолита (рисунок 13.6).

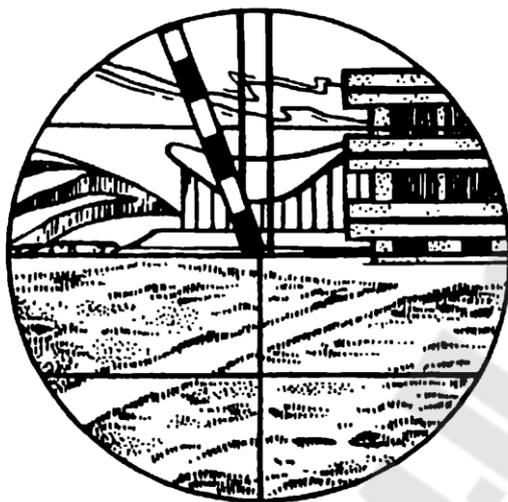


Рис.13.6 Поле зрения трубы при наведении на веху (изображение перевернуто)

Центр сетки трубы совмещают с ее основанием. Шпильки устанавливают при измерении углов с короткими сторонами. Острие шпильки совмещают с центром знака, а их отвесность проверяют по вертикальной нити сетки трубы. С помощью оптического отвеса теодолит центрируют так же, как ОДО. Погрешность центрирования 0,5... 1,0 мм.

Для построения на местности прямых углов с небольшой точностью служит двухзеркальный геодезический эккер (ЭГ).

Эккер (рисунок 13.7, а) состоит из трехгранного металлического корпуса 3, к граням которого с внутренней стороны под углом 45° прикреплены колодочки с зеркалами 1 и 5. Угол между зеркалами регулируют винтами 6 и 7. Над зеркалами вырезаны окна 2 и 4. К коробке эккера привинчена ручка 8. При построении прямого угла наблюдателю необходимо центрировать ручку эккера над точкой. Для этого на ручке есть кольцо 9, к которому крепится нитяной отвес.

Для построения прямого угла (рисунок 13.7, б) в точке O к створу AB необходимо, чтобы в зеркале ab была видна исходная визирная цель, установленная в точке A . Одновременно по створу в окне над зеркалом ab «на глаз» выставляют вторую визирную цель, перемещаемую по створу до совпадения ее изображения с изображением исходной визирной цели.

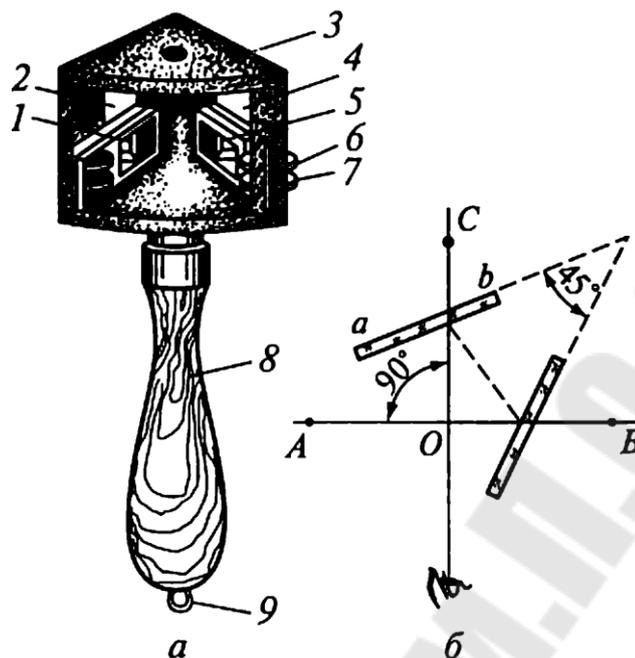


Рис.13.7 Двухзеркальный ЭГ: а – внешний вид; б – построение прямого угла эккером над точкой O ; 1, 5 – зеркала; 2, 4 – окна; 3 – корпус; 6, 7 – винты; 8 – ручка; 9 – кольцо

Визирная цель устанавливается в точке, от которой должен быть опущен перпендикуляр к створу AB . Наблюдатель с эккером перемещается вдоль створа линии AB до совмещения визирных целей, видимых в окне.

Правильность работы эккера проверяют так. В створе линии AB в точке C дважды восстанавливают перпендикуляр: сначала ориентируясь по точке A , затем – по точке B . Если угол между зеркалами равен 45° , то визирные цели, устанавливаемые в точке C , совпадут. Исправления при необходимости выполняют регулировочными винтами 6 и 7.

Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности. Горизонтальный угол BAC (рис.13.8) 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 A и по уровню на алидаде горизонтального круга с помощью подъемных винтов приводят ось вращения теодолита в вертикальное положение. На точках B и C , фиксирующих направления, между которыми измеряется угол, устанавливают визирные цели: марки, 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.

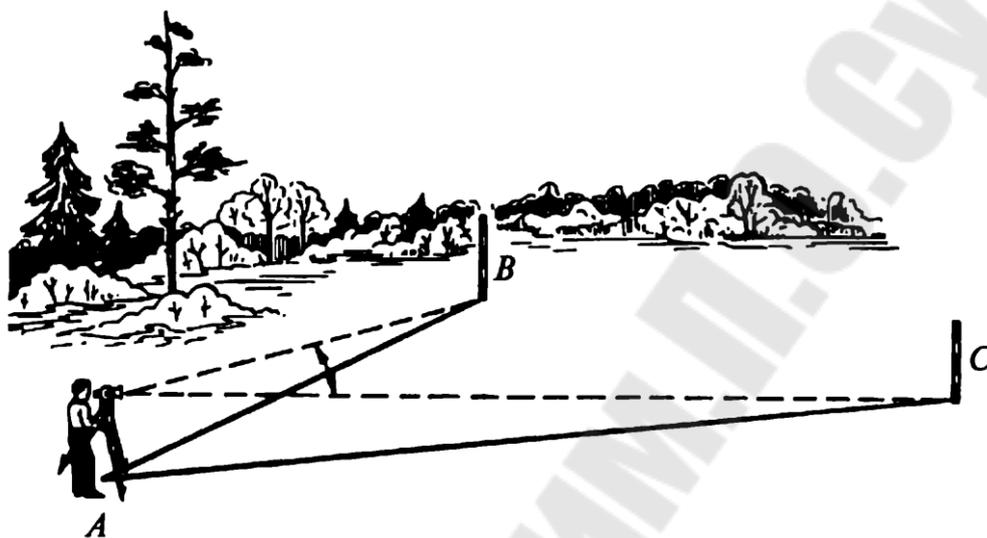


Рис.13.8 Измерение горизонтального угла

Глядя вверх трубы, совмещают крест визира с визирной целью (визирная цель должна появиться в поле зрения трубы). 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.

Существует несколько способов измерения углов. Наиболее простой способ – совмещение нулей лимба и алидады или «от нуля». В этом случае нуль алидады совмещают с нулем лимба. Алидаду закрепляют, оставляя незакрепленным лимб. Трубу наводят на визирную цель и закрепляют лимб. После этого алидаду открепляют, наводят трубу на другую визирную цель и закрепляют алидаду. Отсчет на лимбе даст значение измеряемого угла. Как правило, отсчеты по лимбу производят дважды.

Описанный способ прост, но недостаточно точен, поэтому чаще применяют способ приемов. В этом случае совмещение трубы с первой визирной целью производят при произвольном отсчете по лимбу.

Измерение угла при одном положении круга называют полуприемом. Как правило, работу по измерению угла на точке

заканчивают полным приемом – измерением при правом и левом положениях вертикального круга. Более точных результатов можно достичь, если измерения выполнять несколькими приемами. Результаты измерений записывают в полевой журнал.

Из полученных отсчетов (например, на левую точку 14) $263^{\circ}18,6'$ и $18,8'$ берут среднее значение – $263^{\circ}18,7'$. На правую точку 16 получают средний отсчет $318^{\circ}42,2'$. Разность средних отсчетов (П - Л) является измеренным значением угла $55^{\circ}23,5'$. Расхождение значений измеренного угла в полуприемах не должно превышать полуторной точности отсчета. Если измерения производят несколькими приемами, то лимб между ними переставляют на угол

Для построения прямого угла (рисунок 15.8, б) в точке O к створу AB необходимо, чтобы в зеркале ab была видна исходная визирная цель, установленная в точке A . Одновременно по створу в окне над зеркалом ab «на глаз» выставляют вторую визирную цель, перемещаемую по створу до совпадения ее изображения с изображением исходной визирной цели.

Для построения прямого угла (рисунок 15.8, б) в точке O к створу AB необходимо, чтобы в зеркале ab была видна исходная визирная цель, установленная в точке A . Одновременно по створу в окне над зеркалом ab «на глаз» выставляют вторую визирную цель, перемещаемую по створу до совпадения ее изображения с изображением исходной визирной цели.

$$\gamma = 180/n$$

где n – число приемов.

В вертикальной плоскости теодолитом измеряют углы наклона или зенитные расстояния (рисунок 13.9). 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.

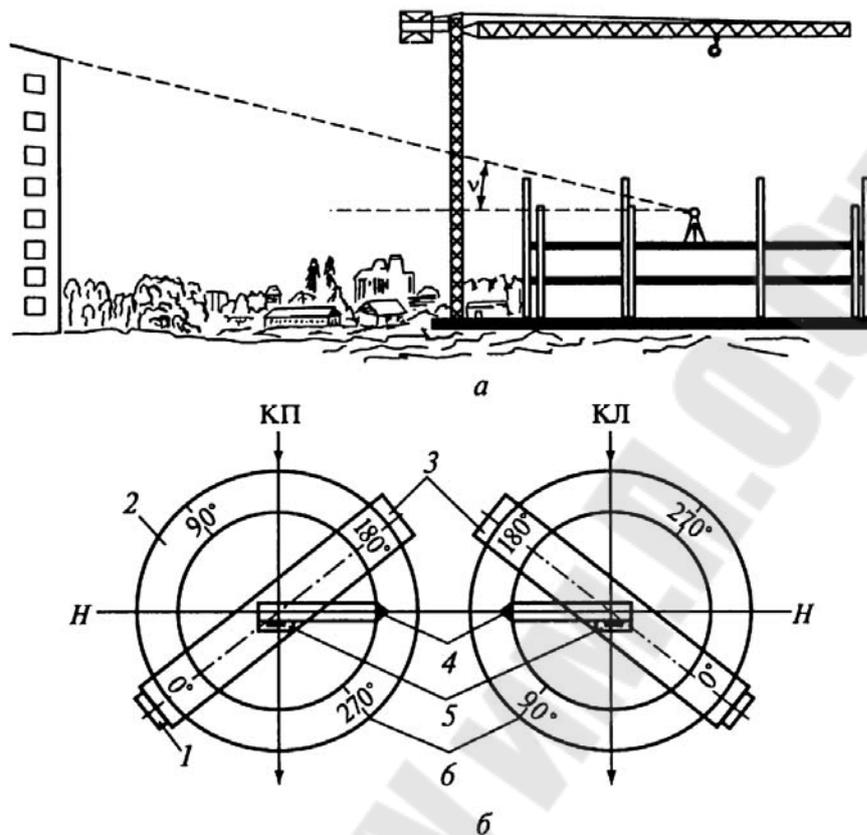


Рис.13.9 Измерение вертикального угла: а – схема; б – положение оси визирования; 1 – окуляр; 2 – вертикальный круг; 3 – объектив; 4 – отсчетный индекс; 5 – уровень; 6 – оцифровка; НН – горизонтальная ось

При измерении вертикальных углов (см. рисунок 13.9, а) исходным (основным) направлением является горизонтальное.

Для вычисления значений углов наклона определяют место нуля (МО). Место нуля – это отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункте, или горизонтальности отсчетного индекса у теодолитов с компенсатором при вертикальном круге.

При измерении зенитных расстояний вместо МО определяют место зенита (МЗ). Отсчеты по вертикальному кругу производят при положении пузырька уровня при вертикальном круге в нульпункте, что означает приведение отсчетного индекса в горизонтальное положение. Если теодолиты снабжены компенсатором, то отсчетный индекс автоматически приводится в горизонтальное положение. Если у теодолита нет уровня при вертикальном круге и компенсатора

(например, теодолиты 3Т30), то перед отсчетом по вертикальному кругу приводится в нуль-пункт уровень при горизонтальном круге.

В лазерных теодолитах (рисунок 13.10, а), предназначенных для задания створов и измерения углов, вместо визирной оси в пространстве создается узконаправленный пучок света. Наличие горизонтального 1 и вертикального 2 кругов позволяет придавать пучку излучения нужную ориентировку. Как правило, визирная марка (рисунок 15.12, б) лазерных теодолитов на строительной площадке совмещена с шаблоном для разметки ориентирных рисок. Марка 5 со стержнем 6 крепится на опоре 3, а ее высота регулируется стойкой 7 и фиксируется закрепительным винтом 4. Ориентирные риски проводят по щечкам опоры 3.

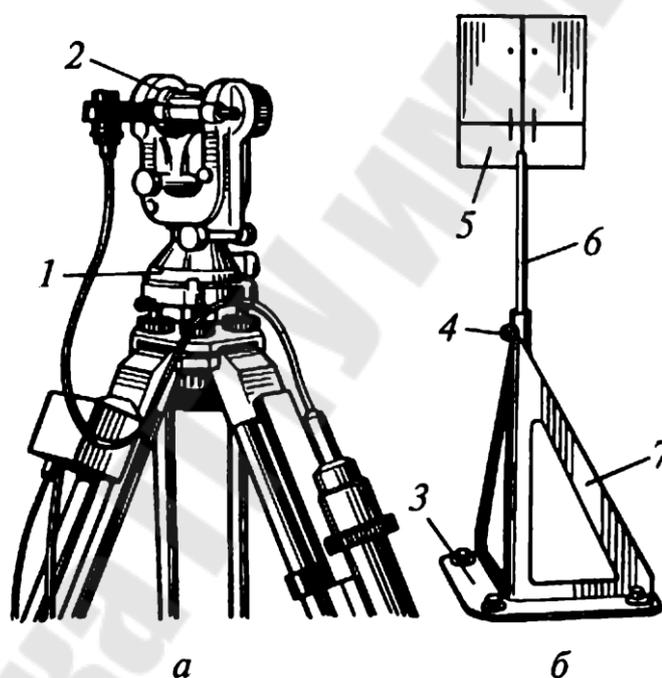


Рис.13.10 Лазерный теодолит (а) и визирная марка (б): 1, 2 – горизонтальный и вертикальный круги; 3 – опора; 4 – закрепительный винт; 5 – марка; 6 – стержень; 7 – стойка

Многоцелевые приборы, предназначенные для контрольно-измерительных операций при установке конструкций, опалубки, выемке грунта, устройстве земляного полотна, укладке бетона, совмещают в себе визирную оптическую трубу и установленный на нее квантовый генератор.

К высокоточным современным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в

автоматизированном режиме. Такие измерительные приборы снабжены встроенными вычислительными средствами и запоминающими устройствами, создающими возможность регистрации и хранения результатов измерений, дальнейшего их использования на ЭВМ для обработки. Применение ЭВМ пятого поколения предполагает интеллектуализацию компьютеров, т.е. возможность работы с ними непрофессионального пользователя на естественном языке, в том числе в речевой форме.

Речевой ввод топографо-геодезической информации в полевых условиях обеспечивает улучшение условий труда и уменьшение числа ошибок наблюдателя. Скорость ввода информации измерений значительно увеличивается по сравнению с вводом при помощи клавишей.

Для автоматизации полевых измерений при производстве топографической съемки и других видов инженерно-геодезических работ созданы высокоточные электронные тахеометры. Электронный тахеометр содержит угломерную часть, сконструированную на базе кодового теодолита, светодальномер и встроенную ЭВМ. С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные

Углы, светодальномера – расстояния, а ЭВМ решает различные геодезические задачи, обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение.

Лекция 14 Методы и приборы измерения расстояний

Измерение длины линий мерными приборами. Виды измерителей. Измерение линий на местности – один из самых распространенных видов геодезических измерений. Без измерения линий не обходится ни одна геодезическая работа. Линии измеряют на горизонтальной, наклонной и вертикальной плоскостях. Их производят непосредственно – металлическими и деревянными метрами, рулетками, землемерными лентами и специальными проволоками, а также косвенно – электронными, нитяными и другими дальномерами.

Метры из-за простоты их конструкции рассматривать нет необходимости, однако следует подчеркнуть, что при использовании складных метров необходимо прежде всего проверить наличие всех звеньев.

Рулетки выпускают стальные (рисунок 14.1) и тесемочные длиной 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10... 12 мм, толщиной 0,15...0,30 мм. На полотне рулетки наносят штрихи – деления через 1 мм по всей длине или только на первом дециметре.

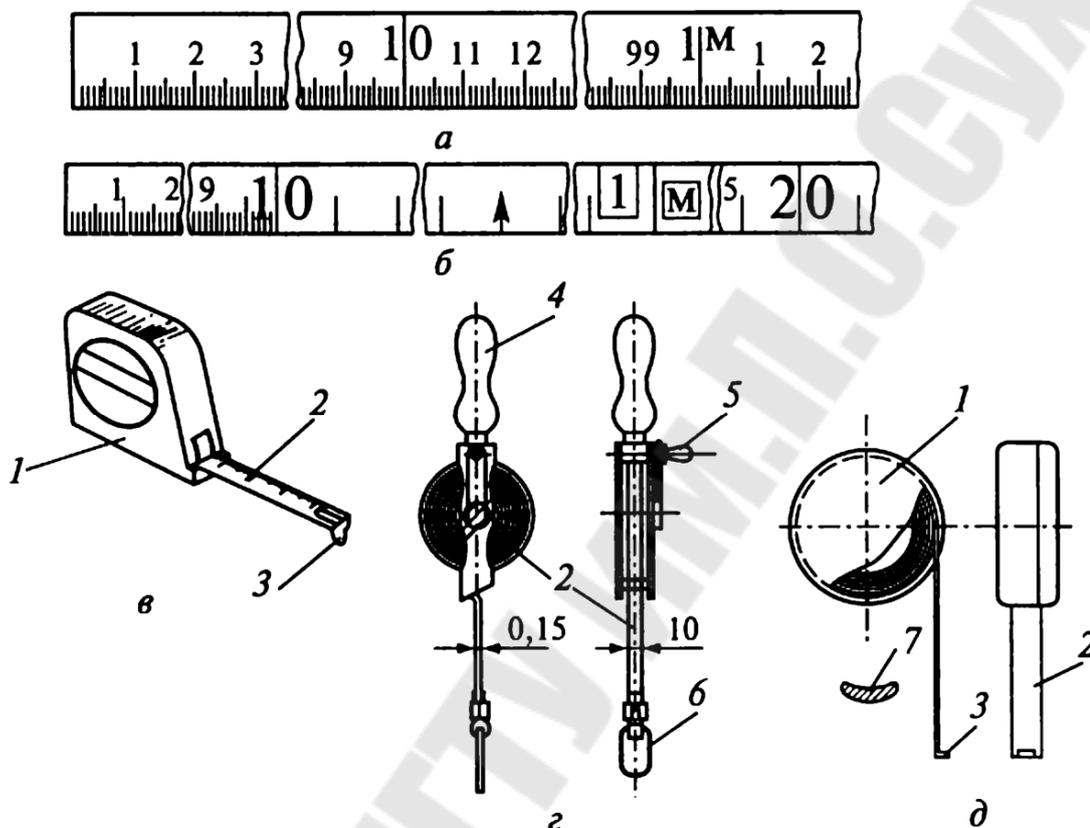


Рис.14.1 Стальные рулетки: а, б – виды делений; в – карманная, автоматически сматывающаяся; г – на вилке; д – в футляре; 1 – футляр; 2 – полотно; 3 – Г-образные окончания для фиксации; 4, 5 – ручки; 6 – кольцо; 7 – желобковый вид сечения

В последнем случае все остальное полотно размечают сантиметровыми штрихами. Цифры подписывают у каждого дециметрового деления. Чтобы измерить расстояние между двумя точками штрих с подписью 0 (ноль) прикладывают к одной точке и смотрят, какой штрих совпадает со второй точкой. Если вторая точка не совмещается со штрихом на рулетке, а попадает между ними, то расстояние между штрихами визуально делят на 10 частей и «на глаз» оценивают отстояние ее от ближайшего штриха. У рулеток с миллиметровыми делениями (см. рисунок 14.1, а) отсчет берут до 0,1 мм, у рулеток с сантиметровыми делениями (см. рисунок 14.1, б) – до 0,1 деления или до 1 мм. Цифры у метровых делений даны с размерностью метров – буквой м. Стальные рулетки выпускают либо в футляре (см. рисунок 14.1, в), либо с полотном, намотанным на

крестовину (вилку) (см. рисунок 14.1, г). Для измерений коротких отрезков металлические рулетки делают изогнутыми по ширине – желобковыми (см. рисунок 14.1, д).

Длинномерные рулетки типа РК (на крестовине) и РВ (на вилке) применяют в комплекте с приборами для натяжения – динамометрами. Как правило, пружинными динамометрами обеспечивают натяжение рулеткам до 100 Н (стандартное натяжение, равное усилию 10 кг). Тесемочные рулетки состоят из плотного полотна с металлическими, обычно медными, прожилками. Полотно тесемочной рулетки покрыто краской и имеет деления через 1 см. Тесемочными рулетками пользуются, когда не требуется высокая точность измерений. Тесемочные рулетки свертывают в пластмассовый корпус.

Лента землемерная (ЛЗ) представляет собой стальную полосу длиной 20, 24, 30 и 50 м, шириной 10... 15 мм и толщиной 0,5 мм (рисунок 14.2).

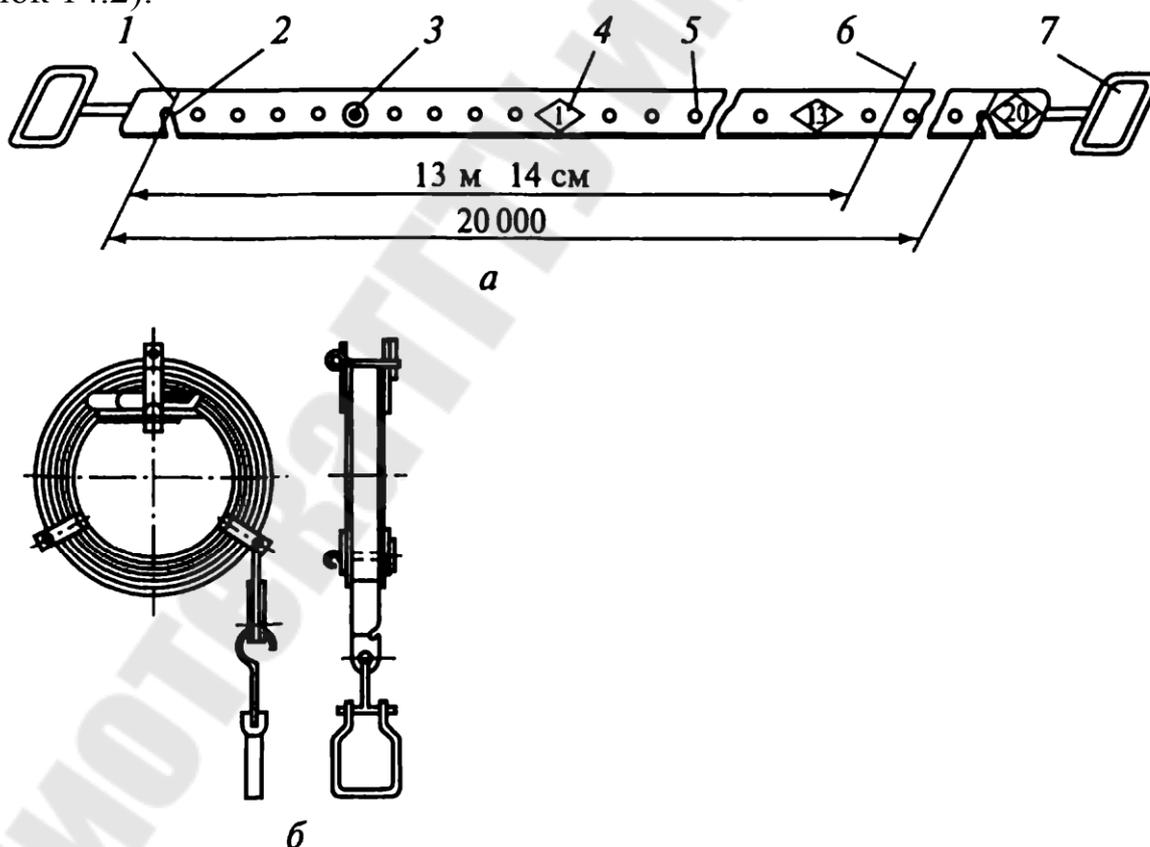


Рис. 14.2 Землемерная лента: а – при измерении; б – на станке; 1 – штрих; 2 – вырез; 3 – заклепка; 4 – пластина; 5 – отверстие; 6 – линия, до которой выполнено измерение; 7 – ручка

На концах ленты нанесено по одному штриху 1, между которыми и считается длина ленты. У штрихов сделаны вырезы 2, в которые вставляют шпильки, фиксируя длины измеряемых отрезков. Оканчивается лента ручками 7. На каждой плоскости ленты отмечены деления через 1; 0,5 и 0,1 м. Для исключения просчетов при измерении линий короче номинальной длины ленты подписи метровых делений на одной плоскости возрастают от одного конца ленты, а на другой плоскости – от противоположного конца. Метры на ленте отмечены медными пластинами 4, полуметровые деления – заклепками 3, дециметровые – отверстиями 5. Более мелких делений не делают. Длину отсчитывают с точностью до сотых долей метра делением дециметровых частей (между отверстиями) «на глаз». На приведенном рисунке отсчет от начального штриха до вертикальной полосы равен 13 м 14 см.

Для некоторых видов точных измерений применяют специальные инварные проволоки. (Инвар – это сплав, содержащий железо, никель, углерод, марганец и другие примеси.) Инвар обладает малым коэффициентом линейного расширения в зависимости от температуры, повышенной твердостью и упругостью. На концах проволоки закреплены специальные шкалы-линейки с наименьшими делениями 1 мм. На остальной части проволоки маркировки длины нет, поэтому проволоками измеряют расстояния, равные длине между штрихами (24 м). Расстояния, не кратные 24 м, измеряют инварными рулетками.

На практике применяют также другие приборы и инструменты для непосредственного измерения линий, например: длиномеры (измерения аналогичны измерениям проволоками); нутромеры – концевые меры со сферическими окончаниями для измерения и контроля расстояний контактным способом; катетометры – специальные приборы для измерения небольших (до 1 м) вертикальных отрезков с очень большой точностью (0,006...0,050 мм); измерительные микроскопы, а также шаблоны и другие приспособления, часть из которых будет рассмотрена при изучении геодезического обеспечения строительного-монтажных работ.

Измерение линий состоит в том, что мерный прибор (ленту, рулетку) последовательно откладывают между начальной и конечной точками измеряемой линии. Для этого сначала подготавливают к измерению створ линии и измерительные приборы.

При подготовке створа линии к измерению ее концы фиксируют кольями, штырями, обрезками труб и т.п.; расчищают полосы шириной 1,5... 2,0 м от растительности и остатков снесенных строений; забивают колья или штыри в местах перегибов местности. До измерения линию обозначают на местности (примерно через 100 м) вешками – деревянными или металлическими кругляками с равномерной яркой красно-белой окраской и заостренными концами. Вехи устанавливают либо «на глаз», либо с помощью оптической зрительной трубы с такой частотой, чтобы при нахождении мерщика у одной из них обеспечивалась видимость двух смежных. Вешение «на глаз» менее точно, чем с помощью оптической трубы с увеличением, однако его точность вполне достаточна, если измерение делать мерной лентой со шпильками.

Измерение длины линий дальномерами. Дальномерами называются геодезические приборы, с помощью которых расстояние между двумя точками измеряют косвенным способом. Дальномеры подразделяют на оптические и электронные. Оптические дальномеры делятся на дальномеры с постоянным параллактическим углом и дальномеры с постоянным базисом, электронные дальномеры – на электронно-оптические (светодальномеры) и радиоэлектронные (радиодальномеры).

Простейший оптический дальномер с постоянным углом – нитяной (рис. 14.3, а) имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов. В поле зрения трубы (рис. 14.3, б) прибора видны три горизонтальные нити. Две из них, расположенные симметрично относительно средней нити, называются дальномерными. Нитяной дальномер применяют в комплекте с нивелирной рейкой, разделенной на сантиметровые деления. В приведенном примере между крайними нитями располагаются 21,5 сантиметровых делений рейки. Расстояние D между измеряемыми точками на местности $21,5 - 100 = 21,5$ м (100 – коэффициент дальномера).

На расстоянии до 200 м по нитяному дальномеру «на глаз» можно отсчитать до 0,5 сантиметрового деления, что соответствует погрешности при определении расстояния 50 см; на расстоянии до 100 м – до 0,2 сантиметрового деления или погрешности 20 см. Нитяным дальномером можно измерить линии длиной до 300 м с погрешностью до 1:300 от длины.

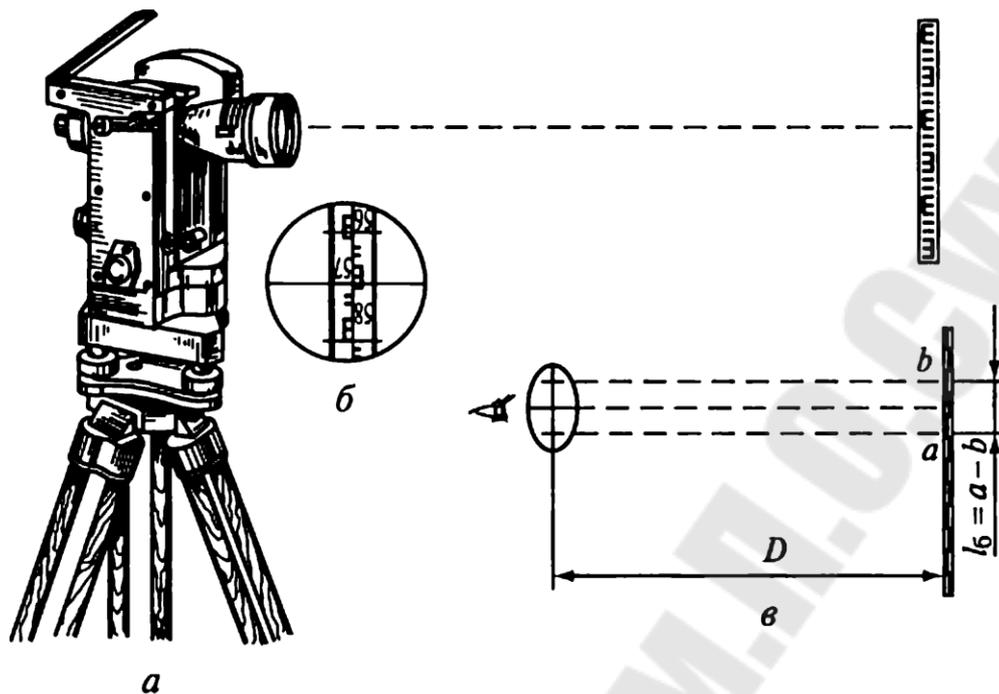


Рис.14.3 Оптический дальномер: а – внешний вид; б – поле зрения трубы; в – схема измерения

Принцип действия дальномера с постоянным базисом рассмотрим на конкретном примере определения расстояния от точки *A* до точки *B* (рис.14.5).

В точке *A* устанавливают теодолит. В точке *B* располагают отрезок (базис), длина которого l_6 точно известна. Тогда, измерив угол α , можно по известной из тригонометрии

формуле $D = l_6 \times \operatorname{tg} \alpha$ вычислить расстояние между точками *A* и *B*.

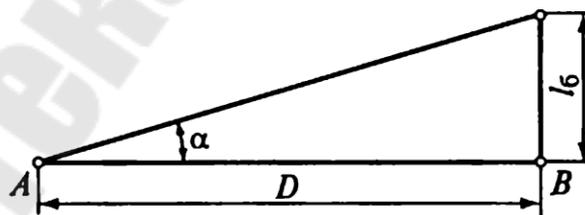


Рис.14.5 Схема выполнения дальномерных измерений при постоянном базисе

В основе электронных средств измерений лежит известное из физики соотношение $S = v \times t / 2$ между измеряемым расстоянием *S*, скоростью распространения электромагнитных колебаний *v* и

временем t распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии и обратно.

Из-за особенностей излучения, приема и распространения радиоволн радиодальномеры применяют главным образом при измерении сравнительно больших расстояний и в навигации. Светодальномеры, использующие электромагнитные колебания светового Диапазона, широко применяют в практике инженерно-геодезических измерений.

Для измерения расстояния AB (рис.14.6) в точке A устанавливают светодальномер, а в точке B – отражатель. Световой поток посылается из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор. Если измерить время прохождения световых волн от светодальномера до отражателя и обратно, то при известной скорости распространения световых волн можно вычислить искомую длину линии. Время распространения световых волн может быть определено как прямым, так и косвенным методом измерений.

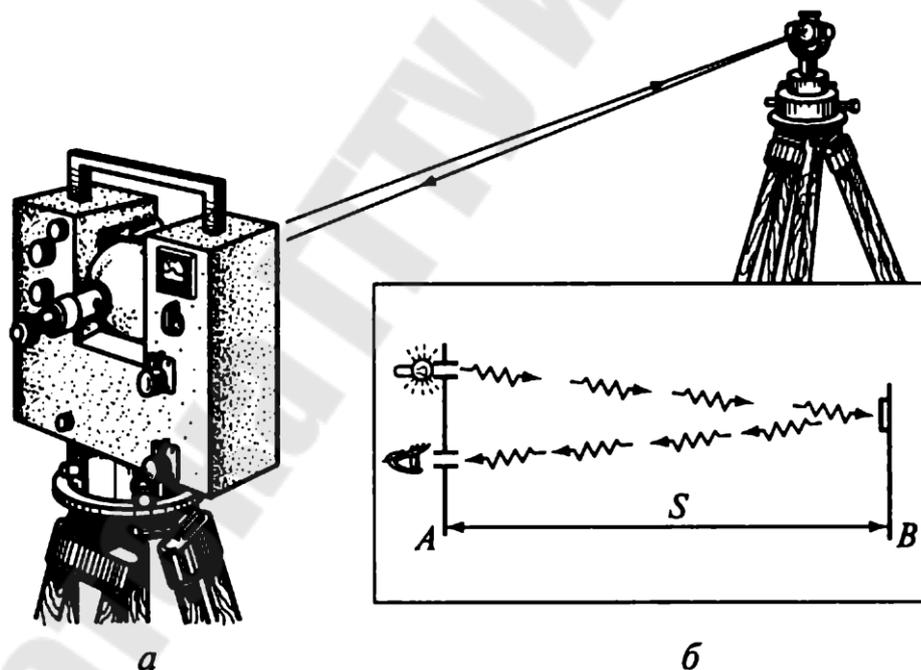


Рис.14.6 Светодальномер: а – установка светодальномера и отражателя; б – ход лучей при измерении линий

Прямое определение промежутка времени осуществляется в дальномерах, называемых импульсными. В них измерение времени производится по запаздыванию принимаемого после отражения светового импульса по отношению к моменту его излучения.

Косвенное определение времени прохождения световых волн основано на измерении разности фаз двух электромагнитных колебаний. Такие светодальномеры называют фазовыми. С внедрением полупроводниковых лазерных источников излучения и цифровых методов измерения разности фаз появились импульсно-фазовые светодальномеры, в основе которых лежит фазовый метод измерения временного интервала при импульсном методе излучения.

Для измерений на строительных площадках и в помещениях используют лазерные рулетки (рис.14.7), которые не требуют отражателей.

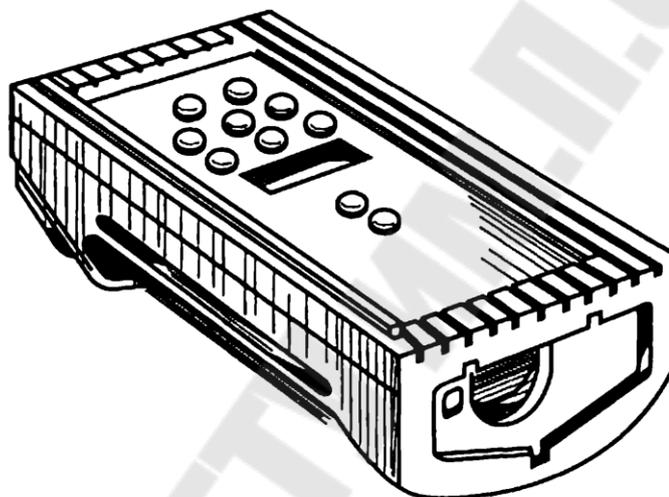


Рис.14.7 Лазерная рулетка

Лекция15 Методы и приборы измерения превышений

Нивелиры, нивелирные рейки, костыли и башмаки. Понятие нивелирования. Нивелирование – это вид геодезических измерений, в результате которых определяют превышения точек, а также их высоты над принятой уровенной поверхностью.

Нивелирование производят для изучения форм 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 других наук о Земле.

Основными геодезическими приборами, которыми производятся измерения, являются нивелиры. Прежде чем приступить к изучению конструкций нивелиров, рассмотрим устройство их основных частей,

которые являются также основными частями и других геодезических приборов.

Зрительная труба (рис.15.1, а) представляет собой оптическую систему (рис.15.1, б), помещенную в металлический корпус (трубу). С одного края трубы размещен объектив 7, с другого – окуляр 5. Между ними находится двояковогнутая линза 2. В окулярной части трубы есть стеклянная пластина 4 с нанесенной на ней сеткой нитей (рис. 15.1, в).

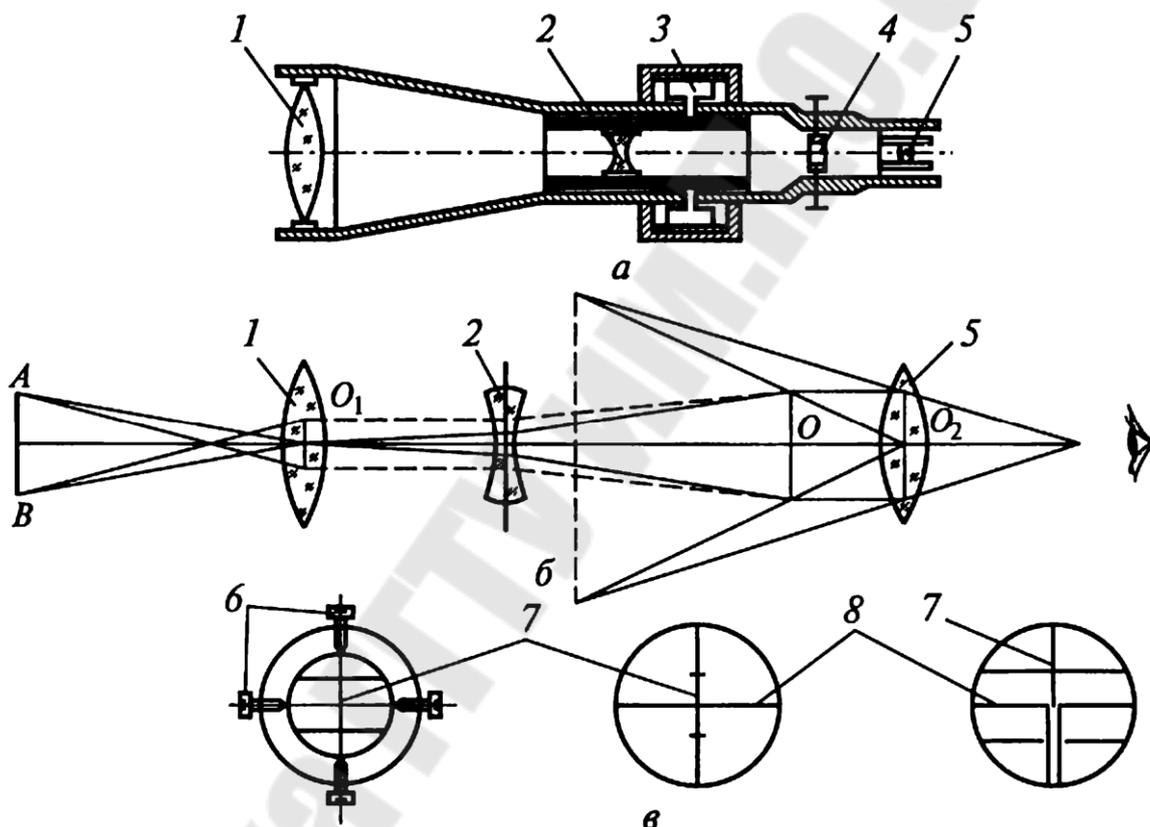


Рис.15.1. Зрительная труба нивелира: а – разрез; б – оптическая схема; в – поле зрения и сетки нитей в различных приборах;

1 – объектив; 2 – линза; 3 – кремальера; 4 – стеклянная пластина; 5 – окуляр; 6 – регулировочные винты; 7, 8 – вертикальные и горизонтальные нити

Специалиста, применяющего для измерений приборы со зрительными трубами, принято называть наблюдателем. При работе со зрительной трубой наблюдатель совмещает перекрестие сетки нитей с наблюдаемым предметом. Линия, соединяющая оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей, называется визирной осью трубы. Процесс наведения зрительной трубы на точку наблюдения называют визированием. В момент совмещения перекрестия сетки нитей с какой-либо точкой визирная ось трубы проходит через эту точку. Вращением фокусирующего кольца, или

кремальеры, 3 перемещают фокусирующую линзу 2, добиваясь четкого изображения наблюдаемого предмета. Такое действие называют фокусированием. Перемещением окуляра 5 относительно сетки нитей фокусируют изображение сетки. Окуляр перемещают вращением окулярного кольца. Геодезические приборы оборудуют уровнями.

Уровни геодезических приборов бывают цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис.15.2) представляет собой стеклянную ампулу 1, заполненную жидкостью 2 (спирт, эфир).

Часть пространства, заполненную парами этой жидкости, называют пузырьком уровня. Внутренняя (верхняя) поверхность ампулы отшлифована по дуге определенного радиуса. На верхней наружной ее поверхности нанесены двухмиллиметровые деления.

Среднюю точку шкалы O называют нуль-пунктом. Касательную линию uu в нуль-пункте к дуге внутренней поверхности уровня называют осью цилиндрического уровня.

Использование уровня основано на свойстве пузырька занимать наивысшее положение. Если пузырек 3 уровня переместить на одно деление относительно начального положения, то ось уровня склонится на величину t , называемую ценой деления уровня. Как правило, цена деления цилиндрических уровней геодезических приборов бывает $2...60''$..

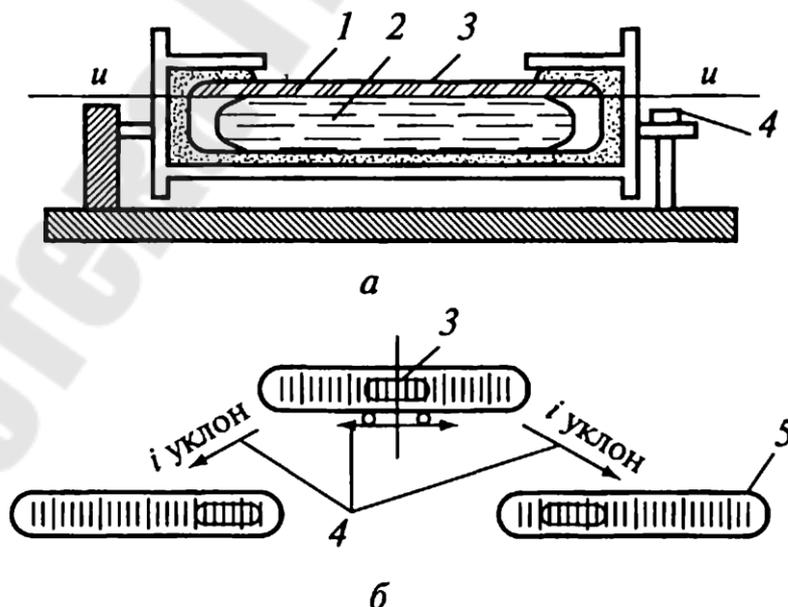


Рис.15.2 Цилиндрический уровень и уклоны при положении пузырька: а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – ампула; 2 – жидкость; 3 – пузырек; 4 – исправительный винт; 5 – уклон ампулы

Типы нивелиров. В зависимости от устройств, применяемых для приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение, нивелиры выпускают двух типов: с компенсатором углов наклона зрительной трубы и с уровнем при ней. У нивелиров, выпускаемых промышленностью Содружества Независимых Государств (СНГ), наличие в марке буквы К означает, что труба нивелира снабжена компенсатором, а буквы П – прямое изображение, например, нивелиры Н-05К, Н-3К, Н-10КП.

Нивелиры с компенсатором угла наклона зрительной трубы называются самоустанавливающимися (рис.15.3, а).

Компенсация угла наклона визирной оси, или автоматическое приведение ее в горизонтальное положение, у этих нивелиров происходит за счет автоматического поворота компенсирующего элемента (компенсатора) оптической системы (рис.15.3, б).

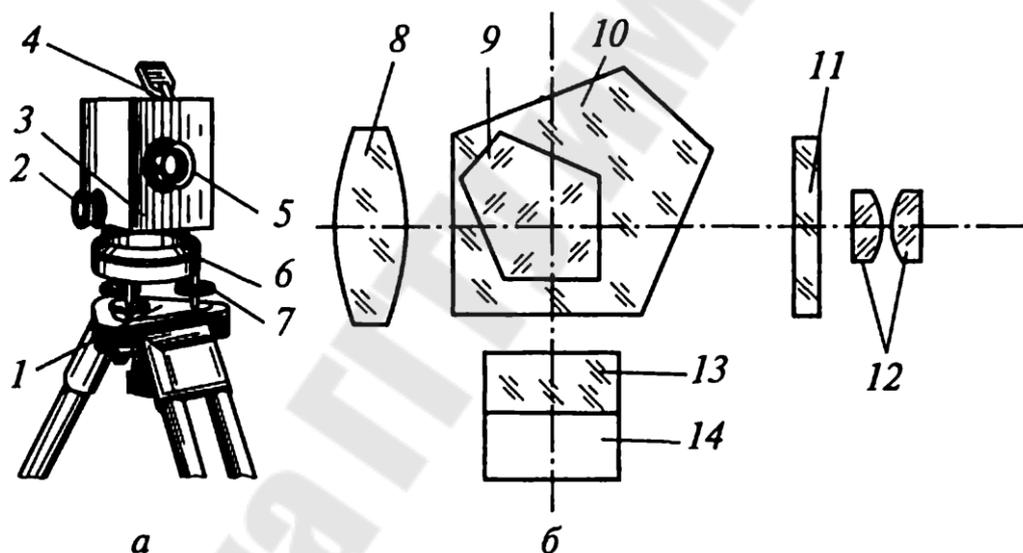


Рис.15.3 Нивелир Н-10КП: а – внешний вид; б – оптическая схема; 1 – установочная прижимная пластина; 2 – маховичок; 3 – корпус; 4 – круглый уровень с зеркальцем; 5 – объектив; 6 – подставка; 7 – закрепительный винт; 8, 12 – линзы объектива и окуляра; 9, 10 – пентапризмы; 11 – сетка нитей; 13, 14 – призма и рамка

Так, компенсатор нивелира Н-10КП состоит из двух пентапризм 9 и 10 (пятиугольных призм), склеенных между собой и скрепленных с корпусом прибора коробчатой формы, а также подвижной прямоугольной призмы. Прямоугольная призма заключена в рамку, перемещаемую в вертикальной плоскости маховичком 2, укрепленным в корпусе 3. Ее перемещение обеспечивает фокусировку зрительной трубы по объекту наведения. Диапазон работы

компенсатора определяют по максимальному углу наклона оси нивелира. У нивелиров для низкоточных и технических работ этот диапазон колеблется в пределах 5... 20'.

До начала работ нивелир вынимают из укладочного ящика и укрепляют на штативе станковым винтом. Выдвигая и убирая ножки штатива, устанавливают его головку «на глаз» в горизонтальное положение. Затем с помощью подъемных винтов подставки приводят пузырек круглого уровня к середине концентрических окружностей или в нуль-пункт.

Лазерные нивелиры (рис.15.4) представляют собой комбинацию нивелиров 6 с компенсаторами и лазерных трубок 1. Из лазерной трубки с помощью световода 2 луч направляют в переходную деталь 4, из которой луч попадает в оптическую систему и выходит в виде видимого горизонтального лазерного луча из объектива 5 нивелира. Блок электропитания 7 крепится к штативу 3. При небольших расстояниях (до 100 м) используют деревянные рейки с сантиметровыми делениями. Рейки устанавливают в нивелируемых точках и после визирования на них и фокусировки лазерного пучка реечник берет отсчет визуально на рейке по пятну лазерного пучка.

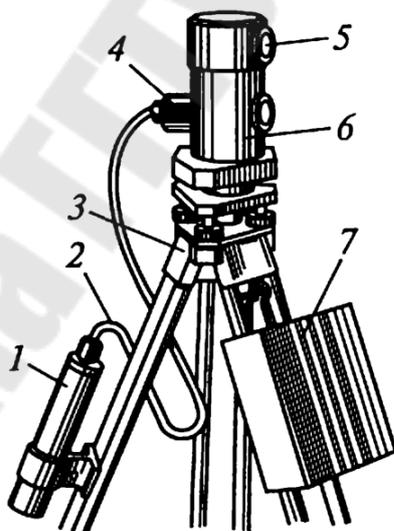


Рис.15.4 Лазерный нивелир: 1 – лазерная трубка; 2 – световод; 3 – штатив; 4 – переходная деталь; 5 – объектив; 6 – нивелир; 7 – блок электропитания

При необходимости выполнения точных нивелирных работ используют рейки со специальными подвижными каретками с фотодетекторами, по которым с высокой точностью определяют центр лазерного луча, попавшего на рейку. Иностранные фирмы выпускают высокоточные нивелиры с регистрирующим электронным

устройством, которое позволяет автоматически регистрировать отсчеты по рейкам и вычислять превышения между точками. Автоматизирован и весь процесс обработки результатов нивелирования с их запоминанием и хранением.

Технические возможности нивелиров позволяют работать ими людям со зрением ± 5 диоптрий. Как правило, нивелиры работоспособны при температуре $-30...+50$ °С. Каждому нивелиру придается не менее двух однотипных нивелирных реек.

Нивелирная рейка (рис.15.5 а) состоит из двух брусков двутаврового сечения, соединенных между собой металлической фурнитурой. Это позволяет складывать рейку для транспортирования. Рейка имеет градуировку на обеих сторонах. Сантиметровые шашки наносят по всей длине рейки с погрешностью 0,5 мм и оцифровывают через 1 дм. Высота подписанных цифр не менее 40 мм. На основной стороне рейки шашки черные на белом фоне, на другой (контрольной) – красные на белом фоне.

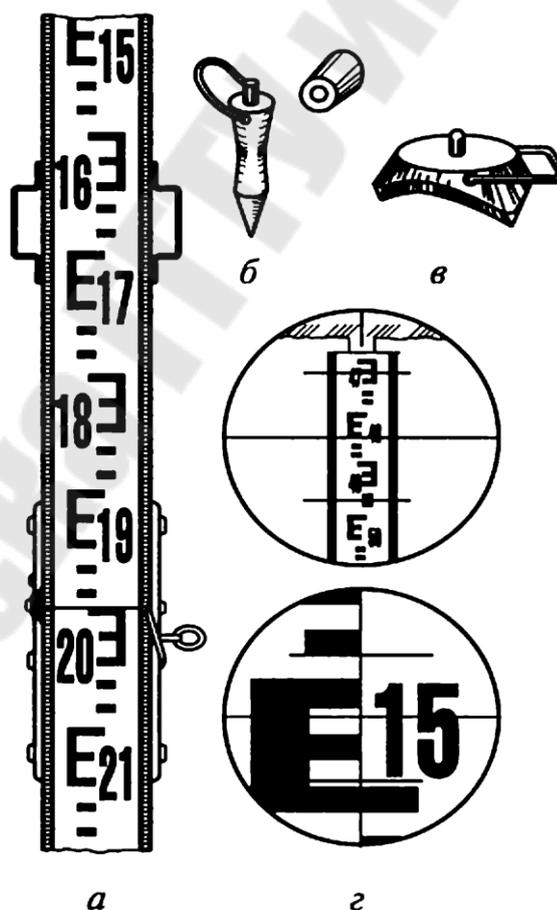


Рис.15.5 Нивелирная рейка: а – внешний вид; б – костыль; в – башмак; г – отсчеты по рейке

На каждой стороне рейки три цветные шашки каждого дециметрового интервала, соответствующие участку в 5 см, соединяются вертикальной полосой. Для контроля при отсчетах по двум сторонам рейки начало первого оцифрованного дециметрового интервала контрольной стороны смещено по отношению к началу первого оцифрованного дециметрового интервала основной стороны.

Для удобства и быстроты установки нивелирные рейки иногда снабжают круглыми уровнями и ручками. На торцах нивелирной рейки укрепляют пятки в виде металлических полос толщиной 2 мм.

Рейки маркируют так: например, тип РН-10П-3000С означает, что это рейка нивелирная, со шкалой деления 10 мм, подписью цифр «прямо», длиной 3000 мм, складная. Для точных и технических работ выпускают рейки длиной 3 и 4 м.

Нивелирные рейки можно применять в разное время года при различных метеорологических условиях. Температурный диапазон работы реек $-40...+50$ °С.

Во время работы рейки устанавливают на деревянные колья, костыли или башмаки.

Отсчеты по рейкам (рис.15.5, г) производят по средней нити нивелира – по месту, где проекция средней нити пересекает рейку. Сделать отсчет по рейке – это значит определить высоту визирной оси нивелира над нулем (основанием) рейки. Цифры считывают в такой последовательности: сначала меньшую подпись, видимую вблизи средней нити (сотни миллиметров), потом прибавляют к ней целое число делений, на которое нить сетки отстоит от меньшей подписи в сторону большей (десятки миллиметров), затем наименьший десятимиллиметровый отрезок делят «на глаз» (число миллиметров). Отсчет записывают в миллиметрах.

Лазерные нивелиры предназначены для измерения превышений и передачи высотных отметок. Нивелир излучает видимый пучок света, относительно которого производят измерения превышений. В одних приборах пучок лазерного излучения направляют по оптической оси зрительной трубы, в других зрительная труба соединена параллельно с излучателем ОКГ.

В нивелирах с уровнем ось пучка приводят в горизонтальное положение цилиндрическим уровнем, а в нивелирах-автоматах – компенсатором. По условиям геометрического нивелирования оси лазерного пучка и цилиндрического уровня должны быть параллельны.

нивелира над землей. Если поставить нивелир выше (на рис. 15.6, а показано пунктиром), оба отсчета a и b будут больше на одну и ту же величину, но разности между ними будут одинаковы.

Для вычисления отметки искомой точки можно применять способ вычисления через горизонт прибора (ГП). Этот способ удобен, когда с одной станции производят нивелирование нескольких точек. Очевидно, что если к отметке точки A прибавить отсчет по рейке на точке A , то получится отметка визирной оси нивелира. Эта отметка и называется горизонтом прибора. Если теперь из горизонта прибора вычесть отсчеты на всех точках, взятые на этой станции, получатся отметки этих точек.

Если для определения превышения между точками A и B достаточно один раз установить нивелир, то такой случай называется простым нивелированием (см. рис. 15.6, а).

Если же превышение между точками можно определить только после нескольких установок нивелира, то такое нивелирование условно называют сложным (рис. 15.6, б). В этом случае точки D и C называют связующими. Превышения между ними определяют по схеме простого нивелирования.

При сложном нивелировании превышение между точками A и B

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i.$$

Если известна отметка точки A , можно определить отметку точки B :

$$H_B = H_A + \sum_{i=1}^n h_i.$$

Такую схему нивелирования называют нивелирным ходом. Несколько ходов с общими начальными или конечными точками образуют нивелирную сеть.

Лекция 16 Автоматизированные средства регистрации математической и графической обработки результатов геодезических измерений и наземных съёмок

Изображение земной поверхности в цифровом виде. Развитие вычислительной техники и появление автоматических чертежных приборов (графопостроителей) привело к созданию автоматизированных систем для решения различных инженерных

задач, связанных с проектированием и строительством сооружений. Часть этих задач решается с использованием топографических планов и карт. В связи с этим появилась необходимость представления и хранения информации о топографии местности в цифровом виде, удобном для применения компьютеров.

В памяти компьютера цифровые данные о местности наилучшим образом могут быть представлены в виде координат x , y , H некоторого множества точек земной поверхности. Такое множество точек с их координатами образует цифровую модель местности (ЦММ).

По своему содержанию ЦММ разделяется на цифровую модель ситуации (контуров местности) и цифровую модель рельефа (ЦМР).

Все элементы ситуации задаются координатами x и y точек, определяющих положение предметов и контуров местности. Цифровая модель рельефа характеризует топографическую поверхность местности. Она определяется некоторым множеством точек с координатами x , y , H , выбранных на земной поверхности так, чтобы в достаточной мере отобразить характер рельефа.

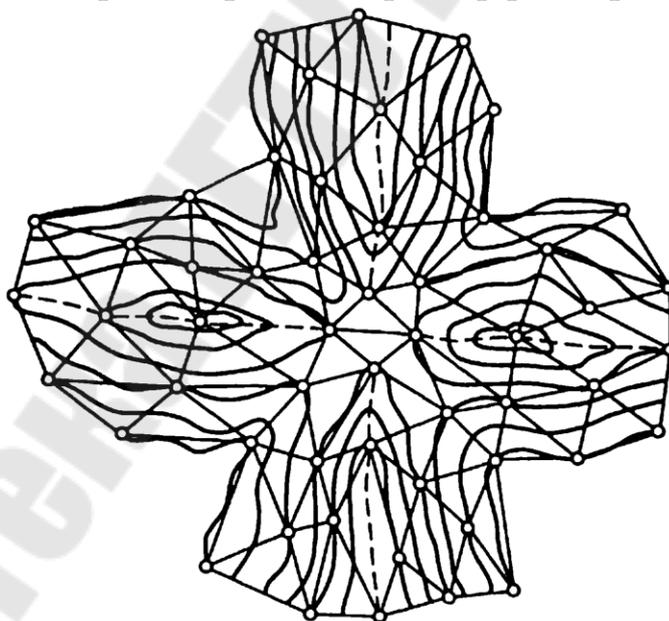


Рис.16.1 Схема расположения точек цифровой модели в характерных местах рельефа и на горизонталях

Ввиду многообразия форм рельефа подробно описать его в цифровом виде довольно сложно, поэтому в зависимости от решаемой задачи и характера рельефа применяют различные способы составления цифровых моделей. Например, ЦМР может иметь вид таблицы значений координат x , y , H в вершинах некоторой сетки

квадратов или правильных треугольников, равномерно расположенных на всей площади участка местности. Расстояние между вершинами выбирается в зависимости от формы рельефа и решаемой задачи. Модель может быть задана также в виде таблицы координат точек, расположенных в характерных местах (перегибах) рельефа (водоразделах, тальвегах и др.) или на горизонталях (рис.16.1). Пользуясь значениями координат точек цифровой модели рельефа для более подробного его описания на компьютере по специальной программе, определяют высоту любой точки участка местности.

Современные методы инженерных изысканий. Прогресс в области измерительной техники, совершенствование методик измерений и результатов их обработки, повсеместное использование ЭВМ для вычислительных и графических операций не могли не сказаться на технологии всех видов инженерных изысканий. Так, например, в инженерной геологии наряду с традиционными способами исследования грунтов (шурфованием или разведочным бурением) используются динамическое и статическое зондирование, геофизические способы электро- и сейсморазведки.

В гидрометеорологических изысканиях широко используются аэрокосмические методы съемки с различного рода носителей, включая искусственные спутники и космические станции. При русловых съемках и съемках морских акваторий используются радиотехнические средства измерений и различные типы эхолотов.

В практику инженерно-геодезических изысканий успешно внедряются светодальномеры, электронные теодолиты, электронные тахеометры, спутниковые приемники. Обработка результатов измерений в основном ведется на ЭВМ. Графическое изображение местности на основе топографических съемок меняется на математическое представление ее в виде цифровой модели местности и рельефа.

Разработаны программы для системы автоматизированного проектирования (САПР) трасс линейных сооружений, генеральных планов на основе ЦММ и т. п. На основе ЦММ также вычисляются объемы водохранилищ и земляных масс. Возможность создания цифровой модели местности не исключает использования графического изображения, полученного с помощью разного рода графопостроителей.

Наряду с широким использованием наземных и аэрометодов при изучении поверхности и природных ресурсов Земли для целей изысканий применяется информация, полученная из космоса. С помощью материалов космических съемок могут решаться многие практические задачи.

Спектрональные снимки высокого разрешения могут использоваться для проведения мероприятий по защите природного ландшафта и вод от загрязнения. Космические съемки используются при проектировании объектов, занимающих большие площади, а также для нужд картографии, расширяя и углубляя информацию о таких протяженных объектах, как магистральные дороги, трубопроводы, каналы.

Лекция 17 Геодезические работы на трассе нефтепровода

Изыскания для линейных сооружений. В ходе изысканий для линейных сооружений в первую очередь решают вопрос о плановом и высотном положении трассы.

Трасса – это линия, определяющая ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, топографическом плане или нанесенная на карте, или обозначенная системой точек в цифровой модели местности. Основные элементы трассы:

- план – ее проекция на горизонтальную плоскость и продольный
- профиль – вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения.

В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению стоимости строительства, затрат на эксплуатацию. В продольном профиле трассы должен обеспечиваться определенный допустимый уклон.

В условиях реальной местности одновременно трудно соблюсти требования к плану и профилю, так как приходится искривлять трассу для обхода препятствий, участков с большими уклонами рельефа и неблагоприятных в геологическом и гидрогеологическом отношении. Таким образом, план трассы (рис. 17.1) состоит из прямых участков разного направления, которые сопрягаются между собой кривыми с различными радиусами. Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединяющихся между собой вертикальными кривыми. На некоторых трассах (электротрансдачи,

канализации) горизонтальные и вертикальные кривые не проектируют, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию. В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Так, для дорожных трасс основные требования – плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливают минимально допустимые уклоны и максимально возможные радиусы кривых. На самотечных каналах и трубопроводах необходимо выдержать проектные уклоны при допустимых скоростях течения воды.

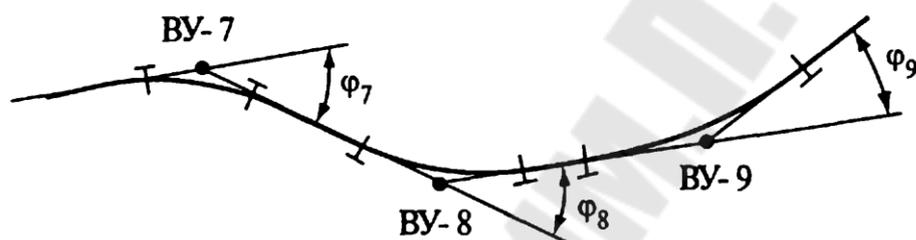


Рис.17.1 Элементы плана трассы

Степень искривления трассы определяется значениями углов поворота. Углом поворота трассы называют угол с вершиной ϕ (ВУ- ϕ), образованный продолжением направления предыдущей стороны и направлением последующей стороны. На трассах магистральных железных дорог, трубопроводов и линий электропередачи углы поворота не должны превышать 15... 20°. Это приводит к незначительному удлинению линии будущей дороги или трубопровода.

Прямолинейные участки трасс железных и автомобильных дорог, трубопроводов сопрягаются в основном круговыми кривыми, представляющими собой дугу окружности определенного радиуса. На железных дорогах минимально допустимые радиусы составляют 400...200 м, на автомобильных в зависимости от категории дороги – 600...60 м, на каналах – не меньше пятикратной ширины канала (ирригационные каналы) или шестикратной длины судна (судоходные каналы), на трассах трубопроводов – $1000d$, где d – диаметр трубопровода.

На железных и автомобильных дорогах при радиусах кривых, соответственно меньших 3000 и 1500 м, для более плавного и безопасного движения прокладывают сложные кривые – круговые с переходными.

Важнейший элемент профиля трассы – ее продольный уклон. Чтобы соблюсти определенный допустимый уклон, особенно в сложной пересеченной местности, приходится не только отступать от прямолинейного следования трассы, но и увеличивать длину трассы (развивать трассу). Необходимость развития трассы чаще всего возникает в горной и предгорной местности.

На трассах магистральных железных дорог I и II категорий уклон не должен превышать 0,012, на дорогах местного значения – 0,020; на горных дорогах, где применяется транспорт с усиленной тягой, уклоны могут достигать 0,030; на автомобильных дорогах уклоны колеблются от 0,040 до 0,090. На трассах ирригационных и водопроводных каналов уклоны, которые назначают из расчета получения так называемых неразмываемых и незаиляемых скоростей течения воды по каналу, составляют 0,001... 0,002. На трассах напорных трубопроводов уклоны могут быть весьма значительными, а для ЛЭП они практически не имеют значения.

Радиусы вертикальных кривых в зависимости от вида сооружения и направления кривой (выпуклая, вогнутая) колеблются в широком диапазоне – от 10000 до 200 м.

Комплекс инженерно-изыскательских работ по проложению трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется трассированием.

Оптимальную трассу находят путем технико-экономического сравнения различных вариантов. Если трассу определяют по топографическим планам или аэрофотоматериалам, то трассирование называют камеральным, если ее выбирают непосредственно на местности, то полевым.

При трассировании различают плановые и высотные (профильные) параметры. К плановым параметрам относятся углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки, к высотным – продольные уклоны, длины элементов в профиле («шаг проектирования»), радиусы вертикальных кривых. Для одних сооружений (самотечные трубопроводы, каналы) наиболее важно выдержать продольные уклоны, для других (напорные трубопроводы, линии электропередачи и связи) уклоны местности мало влияют на проект трассы и ее стремятся выбрать наиболее краткой, расположенной в благоприятных условиях. При трассировании дорожных трасс необходимо соблюдать как плановые,

так и профильные параметры. Независимо от характера линейных сооружений и параметров трассирования все трассы должны вписываться в ландшафт местности, не нарушая природной эстетики. По возможности трассу располагают на землях, которые имеют наименьшую ценность для народного хозяйства.

Технология изысканий линейных объектов определяется стадиями изысканий.

На стадии ТЭО проводят рекогносцировочные работы. Их выполняют главным образом камеральным путем, изучая имеющиеся на район изысканий топографические карты, материалы инженерно-геологических съемок и данные изысканий прошлых лет.

По этим данным намечают на карте несколько вариантов трасс и по каждому из них составляют продольный профиль. Путем технико-экономического сравнения выбирают наиболее выгодные варианты для дальнейшего обследования и разрабатывают техническое задание на проектирование.

На стадии изысканий под проект по заданному в техническом задании направлению трассы выполняют детальное камеральное и полевое трассирование, в процессе которого выбирают наилучшую трассу и собирают материалы для разработки технического проекта этого варианта трассы и сооружений на ней.

Для составления рабочего проекта трассы производят предпостроечные полевые изыскания. В процессе полевых изысканий на основании проекта трассы и рекогносцировки местности определяют в натуре положение углов поворота и производят трассировочные работы: вешение линий, измерение углов и сторон хода по трассе, разбивку пикетажа и поперечных профилей, нивелирование, закрепление трассы, а также, при необходимости, дополнительную крупномасштабную съемку переходов, пересечений мест со сложным рельефом.

Общие сведения о подземных коммуникациях. На застроенных территориях и промышленных площадках проходит много подземных коммуникаций и специальных сооружений для них.

К подземным коммуникациям относятся такие прокладки в грунте как трубопроводы, кабельные сети, коллекторы.

Трубопроводы – это сети водопровода, канализации, газоснабжения, теплофикации, водостока, дренажа, нефте- и газопроводы и другие прокладки, предназначенные для транспортирования различного содержимого по трубам.

Кабельные сети передают электроэнергию. Они различаются по напряжению и назначению: сети высокого напряжения, электрифицированного транспорта, уличного освещения; сети слабого тока (телефонные, радио и телевизионные). Сети состоят из кабелей, прокладываемых на глубине до 1 м, распределительных шкафов, трансформаторов.

Коллекторы представляют собой подземные сооружения круглого или прямоугольного сечения сравнительно большого размера (от 1,8 до 3,0 м²). В них прокладывают одновременно трубопроводы и кабели различного назначения.

Водопровод обеспечивает питьевые, хозяйственные, производственные и пожарные нужды и состоит из водопроводных станций и водоразводящих сетей. Водоразводящая сеть делится на магистральную и распределительную. Магистральная сеть (диаметры труб 400...900 мм) обеспечивает водой целые районы, а отходящая от нее распределительная сеть подает воду к домам и промышленным предприятиям. Трубы этой сети имеют диаметр 200...400 мм, вводы в дома – 50 мм. Для регулирования работы водопроводных сетей на них устанавливают арматуру – задвижки, выпуски, краны и др. Для доступа к арматуре устраивают колодцы.

Канализация обеспечивает удаление сточных и загрязненных вод на очистные сооружения и далее в ближайшие водоемы. Канализационная сеть состоит из чугунных и железобетонных труб, смотровых и перепадных колодцев, станций перекачки для пониженных частей застройки и других сооружений. Диаметры труб колеблются от 150 до 400 мм.

Водостоками отводят дождевые и талые воды, а также условно чистые воды (от мытья и поливки улиц). Водосточная сеть состоит из труб, дождеприемных и перепадных колодцев, выпусков в водоемы и овраги. К водосточным колодцам присоединяют водосточные трубы зданий. Для водосточной сети применяют асбоцементные и железобетонные трубы диаметром до 3,5 м.

Дренажи применяют для сбора грунтовых вод. Состоят они из перфорированных бетонных, керамических, асбоцементных труб диаметром до 200 мм.

Газопроводы служат для транспортирования газа. Они подразделяются на магистральные (диаметр стальных труб до 1600 мм) и распределительные. Газопроводы идут от станций и хранилищ в районы застройки по проездам. От них отходят вводы в здания и

сооружения. Глубина заложения от поверхности этих сетей 0,8... 1,2 м. На газопроводах устанавливают запорные краны, конденсатосборники, нюхательные трубки, регуляторы давления и др.

Сети теплоснабжения обеспечивают теплом и горячей водой жилые, общественные и промышленные здания. Теплоснабжение бывает местным (от отдельных котельных) и централизованным (от теплоэлектроцентралей), водяным и паровым. Тепло подают по трубам прямой подачи (температура 120... 150°C), возвращают к источнику по трубам обратного отвода (температура 40...70°C).

Сети теплоснабжения состоят из металлических изолированных труб; задвижек, размещаемых в камерах; воздушных и спускных кранов, конденсационных устройств, компенсаторов. Диаметр труб достигает 400 мм. Под землей их прокладывают в железобетонных коробах, а при массовой плотной застройке трубы ведут прямо через подвалы зданий.

Разбивка подземных коммуникаций и геодезические работы при их укладке. Наиболее распространенным способом прокладки подземных сетей является открытый способ, при котором коммуникации укладываются в траншеях.

Разбивочные работы по устройству траншей начинают с выноса на местность оси трассы и характерных ее точек – центров колодцев, углов поворота, промежуточных створных точек и др.

Исходной документацией служат проектный план и профиль трассы, на основании которых составляется разбивочный чертеж. На этом чертеже указывают: положение разбиваемого участка коммуникации; пункты геодезического обоснования и точки ситуации, которые могут быть использованы для разбивки; расстояния между характерными точками трассы, а также все данные по их линейным и угловым привязкам.

Используя данные разбивочного чертежа, с помощью простейших геодезических построений (полярных координат, перпендикуляров, линейных засечек и др.) положение характерных точек трассы выносят на местность. Если вдоль трассы отсутствуют пункты геодезического обоснования и опорные точки ситуации или их очень мало, то трассу разбивают от точек теодолитного хода. Такой ход специально прокладывают вблизи трассы с расчетом удобства выполнения разбивочных работ. От пунктов геодезического обоснования в основном разбивают только углы поворота трассы; все другие точки находят путем отложения в створе соответствующих

проектных расстояний. Створ между углами поворота задается теодолитом, расстояния откладываются мерным прибором или дальномером.

При разбивке коммуникаций, идущих рядом в несколько параллельных ниток (например кабелей), выносят на местность оси двух крайних.

Для производства земляных работ трассу коммуникации закрепляют кольями через 5... 20 м. Одновременно с этим обозначают грани траншеи.

В ходе земляных работ при рытье траншей все знаки закрепления оси трассы будут уничтожены. Поэтому для последующего восстановления их закрепляют вне зоны земляных работ путем линейной привязки к местным предметам или створными линиями. При строительстве самотечных подземных прокладок для восстановления знаков служит обноска, которую устраивают на концах и поворотах трассы. Обноска (рис. 17.2) состоит из двух деревянных столбов 1, закрепленных на бровке траншеи, и прибитой к ним на высоте около 0,5 м от земли горизонтальной доски 2. На доску выносят ось траншеи, а при необходимости – от нее оси бровок и котлована колодца. На доске обноски краской подписывают номер колодца, пикетаж, диаметр прокладываемых труб. Если на данном колодце меняется диаметр труб, то пишут два диаметра в виде дроби: в числителе – меньший, а в знаменателе – больший.

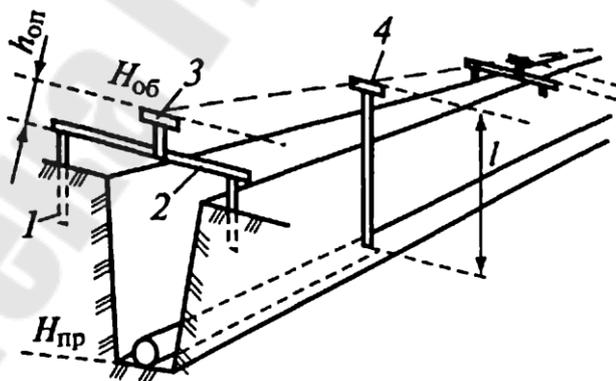


Рис. 17.2 Обноска для применения способа визирок при рытье траншей: 1 – деревянный столб; 2 – горизонтальная доска; 3 – опорная визирка; 4 – ходовая визирка

При рытье траншей возникает необходимость зачистки ее дна до проектной отметки. Эту работу во многих случаях выполняют способом визирок, сущность которого заключается в следующем. На обносках закрепляют опорные визирки 3 таким образом, чтобы

плоскость, проведенная через их верхние грани, была параллельна дну запроектированной траншеи с соблюдением проектного уклона.

Глубину траншеи определяют с помощью ходовой визирки 4, верхняя грань которой должна располагаться в одной плоскости с верхними гранями двух смежных опорных визирок «на глаз», а пятка – на проектной отметке дна траншеи. Выбрав удобную для работы длину l ходовой визирки (обычно 2,5; 3,0; 4,0 м), рассчитывают высоты установки опорных визирок $h_{\text{оп}}$ относительно верхней грани доски обносок. Отметку доски обносок $H_{\text{об}}$ определяют путем проложения вдоль трассы нивелирного хода. Если из выбранной длины ходовой визирки вычесть разность $H_{\text{об}}$ и проектной отметки дна траншеи $H_{\text{пр}}$, то получится высота опорной визирки на каждой обноске, т. е.

$$h_{\text{оп}} = l - (H_{\text{об}} - H_{\text{пр}}).$$

Перемещая ходовую визирку вдоль дна траншеи через 3...5 м, определяют проектные отметки, по которым окончательно зачищают дно траншеи. Аналогичным образом используют способ визирок и при укладке труб, с той лишь разницей, что при установке на верх трубы длину ходовой визирки уменьшают на величину внешнего диаметра трубы.

Способом визирок проектные отметки могут быть определены с погрешностью 2...3 см. Однако этот способ не может обеспечить требуемую точность установки проектных отметок на уклонах, меньших 0,003. В этом случае все работы по укладке труб и колодцев производят с помощью нивелира. Нивелиром проверяют укладку каждой трубы, а у колодцев – отметку лотка и верха с учетом расположения крышки колодца на планировочной отметке.

Плановое положение труб определяют по нитяному отвесу, который перемещается по проволоке, соединяющей центры двух соседних обносок.

При строительстве трубопроводов используют также лазерные приборы (визеры, теодолиты, нивелиры). Эти приборы позволяют устанавливать лазерным пучком линию заданного уклона, по которой определяют ось траншеи и ее глубину, а также производят укладку труб. При рытье траншей используют специальные лазерные системы, управляющие рабочими органами землеройных машин. При укладке труб применяют лазерные комплекты, в которые входят лазерные визеры, штативы, позволяющие изменять высоту пучка лазера от 30 до 200 см, а также контрольные марки,

самоцентрирующиеся по оси трубопровода. Применение лазерных приборов особенно эффективно при строительстве самотечных трубопроводов большого диаметра (800... 1500 мм).

Вводы подземных коммуникаций в здание разбивают от его осей. Место ввода обозначают с внешней стороны здания и от ближайшего колодца разбивают трассу ввода. В самотечных коммуникациях увязывают отметку лотка колодца с отметкой низа отверстия, чтобы получить проектный уклон.

На промышленных площадках внутрицеховые коммуникации строятся, как правило, после окончания строительства фундаментов. Это позволяет производить разбивку этих коммуникаций не только от осей сооружений, но и от граней и закладных частей фундамента, что значительно облегчает процесс работ.

Магистральные трубопроводы. Магистральными трубопроводами называют сооружения, предназначенные для транспортировки на дальние расстояния нефти, нефтяных продуктов, газа, воды. Магистральные трубопроводы состоят из подводящих трубопроводов, головных и линейных сооружений и промежуточных станций.

Магистральные трубопроводы укладывают в грунт на глубину не менее 0,8 м до верха трубы, а при переходе через водные преграды – не менее 0,5 м от уровня возможного размыва дна. Уклоны трубопровода проектируют преимущественно параллельно рельефу местности. Поэтому для правильного определения длины трубопровода пикетаж разбивают по наклонной местности. По наклонным расстояниям составляют и продольный профиль. План трассы строят по горизонтальному проложению линий.

В районах вечной мерзлоты, в болотистых и горных местах, на оползнях проектируют надземные магистральные трубопроводы на опорах.

На стадии изысканий под проект определяют наилучший кратчайший вариант трассы, который удовлетворял бы всем техническим условиям и требовал бы минимальных затрат на строительство. Варианты трассы намечают по топографической карте, придерживаясь наиболее короткого направления между начальным и конечным пунктами. По возможности стремятся приблизить трассу к существующим железным и автомобильным дорогам, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации трубопровода. В

настоящее время для выбора наилучшего варианта трассы широко применяют аэрофотосъемку.

На полевом этапе изысканий уточняют положение трассы в натуре и закрепляют ее основные точки, выбирают места переходов и площадки станций.

Для составления рабочих чертежей производят полевое трассирование трубопровода с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Вершины поворотов отмечают вехами и закрепляют столбами, при этом расстояния между угловыми знаками, а на длинных прямых участках – между створными точками должны быть 300...500 м.

Реперы размещают по трассе через 2...3 км вблизи больших углов поворота; целесообразнее их устанавливать на продолжении стороны трассы на расстоянии 10... 15 м от вершины угла. На длинных трассах в местах, не обеспеченных высотной основой, через каждые 10 км устанавливают железобетонные реперы. Все реперы в плановом положении привязывают к трассе. Саму трассу привязывают к геодезическим пунктам не реже чем через 50 км. При отсутствии вблизи трассы опорных пунктов через каждые 30...40 сторон определяют истинный азимут.

Для проектирования мест пересечения трубопроводом рек, оврагов, каналов, дорог дополнительно проводят подробную съемку этих мест в масштабе 1:500 или 1:1000.

На переходах через реки и овраги сооружают дюкер, т.е. трубопровод заглубляют в землю ниже дна препятствия; при пересечении горных дорог и глубоких ущелий возводят эстакаду.

Съемку участка перехода реки производят в масштабах 1:500... 1:1000 с сечением рельефа через 0,5 м. Снимают оба берега и дно реки. Съемку дна выполняют путем промеров глубин по трем створам: главному и двум боковым, расположенным выше и ниже по течению на 50...60 м от оси.

Одновременно с трассированием трубопровода производят изыскания и съемку площадок головных сооружений и промежуточных станций. Выбранные площадки снимают в масштабе 1:500.

На основании материалов полевого трассирования составляют план трассы трубопровода в масштабах 1:5000... 1:10000, планы

отдельных пересечений и площадок в масштабах 1:500... 1:1000, а также продольный профиль трассы.

Перед строительством трубопровода восстанавливают и закрепляют углы поворота, пикетаж трассы, детально разбивают кривые, сгущают сеть рабочих реперов (не реже чем через 1 км), проводят контрольные измерения линий и повторное нивелирование. Одновременно с восстановлением трассы в соответствии с проектом разбивают и закрепляют колодцы и переходы. Точки крепления выносят за пределы зоны земляных работ, т.е. примерно на 5 м в обе стороны от оси.

Для производства земляных работ необходима детальная разбивка траншеи, технология которой зависит от того, каким экскаватором будут выполняться эти работы. При использовании одноковшового экскаватора примерно через 10 м намечают на местности от закрепленной оси обе бровки траншеи и указывают глубину последней. Для правильной работы многоковшового экскаватора (канавокопателя) разбивают линию, которая параллельна оси трубопровода и отстоит от нее на величину, равную половине расстояния между внутренними гранями гусениц канавокопателя.

Эту линию закрепляют через 5... 10 м кольями, которые должны быть хорошо видны экскаваторщику.

При направлении грани соответствующей гусеницы вдоль линии колеб канавокопатель будет двигаться строго по намеченной трассе. Чтобы избежать переборов грунта, траншеи не добирают до проектных отметок на величину 10... 15 см. Затем на пикетах и колодцах строят обноски и с помощью визирок зачищают окончательно дно траншеи. Обноска ставится перпендикулярно оси трубопровода. На колодцах, расположенных на поворотах трассы, обноску ставят на биссектрисе угла. От точек крепления на обноску выносят ось траншеи и закрепляют ее гвоздем. Натянув между осевыми точками соседних обносок проволоку и подвесив на нее отвес, проверяют плановое положение траншеи.

Производят высотную выверку дна траншеи с применением визирок.

На переломах продольного профиля трассы разбивают вертикальные кривые больших радиусов. Прямая вставка между началом и концом соседних кривых должна быть не менее 10... 20 м. На участках вертикальных кривых проектные отметки по дну

траншеи устанавливаются с помощью нивелира, так как способ визирок на этих участках не может быть применен.

По окончании укладки трубопровода производят исполнительную съемку. В исполнительном продольном профиле показывают фактические отметки верха насыпи и верха трубопровода, отметки дна траншеи, диаметры уложенных труб и т. д. На плане отмечают отклонения от проекта, допущенные в процессе строительства.

Лекция 18 Производственное значение и подразделение методики геометризации месторождений

Связь геометрии недр с другими научными дисциплинами.

Разведка месторождений полезных ископаемых в настоящее время часто проводится вблизи действующих рудников или непосредственно на территории разрабатываемых месторождений. Но нередко в комплексных технических проектах на геологоразведочные работы обязательно предусматривается раздел «топографические и маркшейдерские работы». В связи с этим возникает необходимость изучения студентами геологами-разведчиками основных методов маркшейдерии и особенно геометризации недр.

Геометрия недр, как и всякая научная дисциплина, — многогранна. Она входит в общий комплекс геологоразведочных работ. Геометрический анализ формы залежи, условий ее залегания и характер пространственного распределения физико-химических (качественных) свойств залежей. Геометрия недр стоит на непосредственных геологических наблюдениях и измерениях, которые проводят в обнажениях горных пород на поверхности земли, в различных горных выработках, по данным разведочных буровых скважин и на основе лабораторных исследований. Поэтому предполагается органическая связь геометрии недр с общетеоретическими науками, такими, как физика, химия, математика и со специальными дисциплинами, к которым относятся общая и историческая геология, структурная геология и геотектоника, петрография изверженных и осадочных пород, минералогия, методика поисков и разведки месторождений, гидрогеология, геофизика и др. Так как эксплуатационная геометризация проводится в период разработки месторождения, то геометрия недр связана и с такими горными дисциплинами, как системы разработки

месторождений. Только в тесной связи с перечисленными научными дисциплинами геометрии недр удастся получать достаточно точные и обоснованные планы и другие графики по месторождению, т. е. осуществлять графическое моделирование недр с целью всестороннего геологического изучения и рационального освоения месторождений. Научно-производственное значение геометрии недр состоит в том, что она может изобразить и графически моделировать с достаточной точностью на чертеже все то, что было предметом разведки. Чтобы это сделать, нужны хорошие теоретические основы.

Таковыми основами геометрии недр и методики геометризации месторождений являются: 1) теория геохимического поля Соболевского применительно к анализу недр; 2) топографическая поверхность, с помощью которой графически отображаются и геометрически интерпретируются закономерности размещения тех или иных свойств вещества геохимического поля; 3) математические действия с топографическими поверхностями как своеобразный аппарат для решения научных и практических задач; 4) математическая статистика, помогающая на основе выборочных данных разведки и опробования залежей вскрыть общие пространственные закономерности размещения параметров месторождения, а также дать количественную оценку изменчивости этих параметров; 5) различные виды проекций, позволяющие графически моделировать месторождения. Таким образом, геометрический анализ недр, осуществляемый при геометризации в увязке с геологическими наблюдениями, обеспечивает всестороннее изучение месторождений и содействует рациональному использованию полезных ископаемых в народном хозяйстве страны.

Поступающий в данное время огромный объем геологической и геометрической информации при разведке и особенно при разработке месторождений (на стадии эксплуатационной геометризации) требует новых методов сбора, хранения и обработки этой информации с применением ЭВМ, что существенно расширяет теоретические основы и практические приемы геометризации недр.

Высокие темпы роста горнодобывающей промышленности требуют ускоренного развития минерально-сырьевой базы. Для опережающего роста разведанных запасов полезных ископаемых необходимо не только ускорение темпов разведочных работ, но также повышение достоверности данных, получаемых геологами. Существенную в этом смысле роль играет геометрия недр,

позволяющая оперативно, с большой наглядностью и достоверностью представлять исходную геолого-маркшейдерскую информацию.

Геометрия недр или горная геометрия является разделом маркшейдерской науки, в которой рассматриваются пространственное положение в недрах залежей полезного ископаемого и условия их залегания; методы изображения на маркшейдерской графике форм залежей и условий их залегания; состояние в недрах запасов полезного ископаемого; способы подсчетов запасов полезного ископаемого; методы геометрического решения различных задач горного и геологоразведочного дела.

Главной задачей геометрии недр является геометризация месторождений полезных ископаемых, для выполнения которой используются метод изолиний, метод разрезов и профилей, метод объемных графиков и метод математического моделирования.

Теоретической основой методики и методов геометризации служит учение о геохимическом поле, согласно которому месторождения полезных ископаемых обладают рядом физических, геохимических и других свойств, каждое из которых может быть определено в той или иной точке. Число, выражающее какое-то свойство залежи в данной точке, называется показателем или признаком месторождения. Для горной практики большой интерес представляет изучение закономерностей размещения показателей залежей, выражаемое в аналитическом виде, в виде массива цифр или в виде геометрических графиков.

В зависимости от конкретных задач геометризации и необходимой степени детализации описания исследуемого объекта различают следующие виды геометризации.

Региональная, выполняемая с целью составления структурно-геометрических карт отдельных регионов в масштабах 1:500000-1:10000. В результате этого вида работ выясняются общие вопросы геологического строения региона, позволяющие решать вопросы, связанные с изучением крупных массивов горных пород, глобальных закономерностей в строении Земли.

Детально-разведочная геометризация, проводимая на основе разведки, горно-подготовительных и очистных работ и геологической съемки. Данные детально-разведочной геометризации используют при проектировании горных предприятий, при их строительстве, а также при проектировании выработок уточняющей разведки.

Детально-разведочная геометризация выполняется при проведении разведочных работ на геометрических графиках масштабов 1:10000- 1:1000. В результате строятся структурно-геометрические карты планов и разрезов месторождения полезного ископаемого, используемые для проектирования геологоразведочных выработок и скважин.

Эксплуатационная геометризация позволяет получить изображение структуры месторождения и форм залежей, условий их залегания и распределения минерализации и служит для проектирования и проведения подготовительных, очистных и разведочных работ.

Модели месторождений, создаваемые в результате эксплуатационной разведки, отличаются многообразием изображаемых элементов исследуемого месторождения и используются для вскрытия месторождений, выбора систем разработки, определения порядка отработки залежей и блоков, очередности выпуска руды из блоков и т. п.

Эксплуатационная геометризация выполняется, главным образом, в масштабах 1:1000–1:500, возможны также случаи геометризации отдельных добычных блоков и участков в масштабе 1:200, 1:100.

Лекция 19 Геометрический анализ геохимического поля и топографическая поверхность

Числовое значение некоторого свойства в пространстве недр можно рассматривать как функцию от пространственного положения точки или центра элементарного объема и времени t :

$$P = f(x, y, z, t) \quad (19.1)$$

В явном виде эта функция в большинстве случаев не может быть выражена. Однако если в пределах рассматриваемого пространства недр она удовлетворяет условиям конечности, однозначности, непрерывности и плавности, то по отдельным измерениям и числовым значениям при соответствующей их математической обработке закономерность изменения этого свойства может быть выявлена и выражена геометрически системой изолиний.

Первые два условия – конечность и однозначность – очевидны и не вызывают сомнений. Иного порядка свойство непрерывности и плавности изменения функции, особенно 3-го рода. Конкретные

данные реальных наблюдений (прерывистый характер оруденения) на первый взгляд противоречит этому.

Однако это кажущееся противоречие устраняется правильной обработкой результатов измерений показателей методами математической статистики и теории случайных функций.

Пусть имеется план месторождения, на котором у большинства точек сплошного опробования выписаны числовые значения содержания какого-нибудь компонента и по ним построена поверхность (рис.19.1, а). На первый взгляд по мелкосопочной, прерывистой поверхности какой-либо плавности и непрерывности в изменении содержания компонента не замечается. Но если на план наложить лист с вырезанным небольшим отверстием – окном, вычислить среднее содержание компонента из значений, попавших в пределы окна, и отнести это среднее к центру окна, то обнаруживается, что при плавном перемещении окна по плану (скользящее окно) также плавно изменяется среднее содержание компонента (рис.19.1, б). Метод обработки данных опробования, заключающийся в применении скользящего статического окна, позволяет с определенной средней погрешностью перейти от хаотической многогранной пирамидальной поверхности сначала к призматической, а затем к некоторой плавной топографической поверхности, выражающей в изолиниях наиболее вероятную закономерность размещения средних значений показателя (рис. 19.1, в).

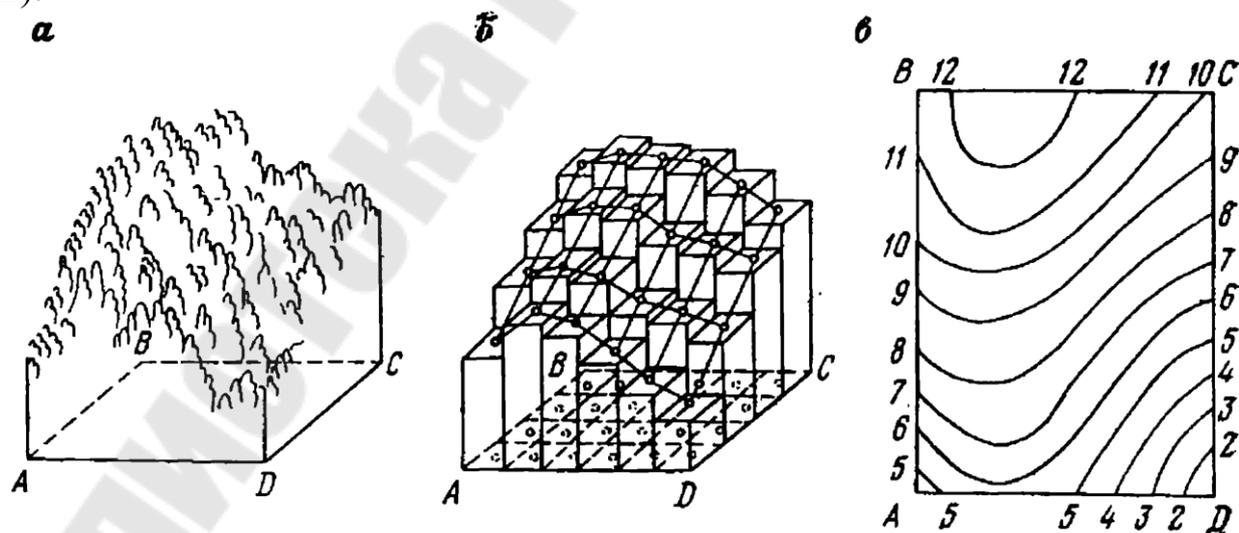


Рис.19.1 Геометрическая интерпретация размещения оруденения

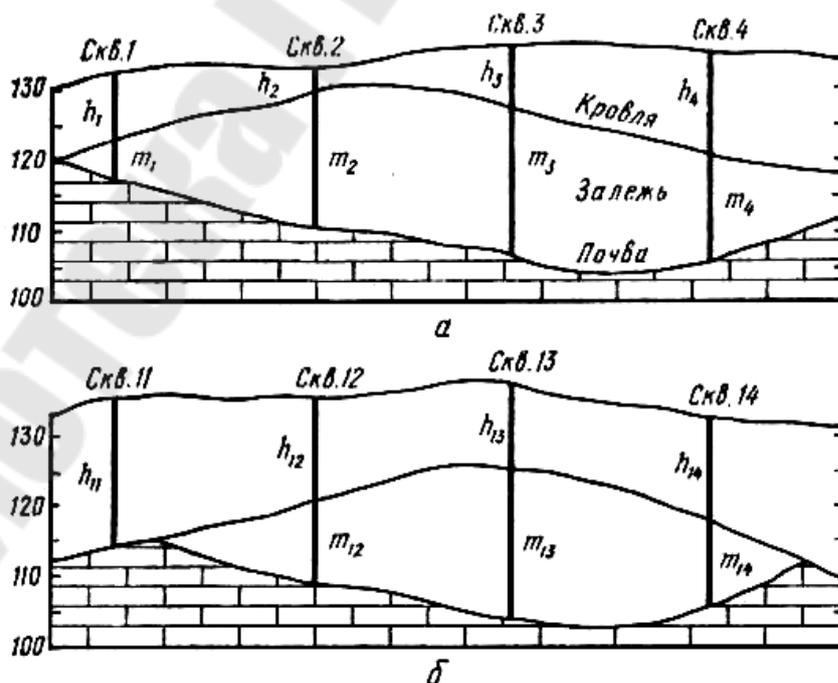
Если из уравнения (19.1) исключить время t , считая, что за период изучения свойство объекта практически не изменится, то для некоторого плоского сечения, имеющего постоянную отметку z , численные значения функции будут зависеть от изменения аргументов x и y и выражаться функцией топографического порядка:

$$P_z = f(x, y) \quad (19.2)$$

Отсюда любое свойство геохимического поля в любом плоском сечении (слое) геометрически выражается системой непересекающихся изолиний, так же как системой изолиний на плане изображается поверхность рельефа местности, кровли и почвы залежи, поверхность разрыва и т. п.

Вот такое поле, как это доказывается в общей теории силового поля, имеет слоисто-струйчатую структуру (рисунок 19.1, а). На рисунке видно, что такая структура поля представляет систему непересекающихся изоповерхностей, которые объединяют одинаковые числовые характеристики геохимического поля, причем изо-V-поверхности в пространстве между собой не пересекаются. Геометрическое место нормалей к названным изоповерхностям составляет своего рода геохимический поток (рисунок 19.2, б), что является аналогом соответствующего физического силового потока.

Рассмотрим формы залежи (рисунок 19.2), где даны два вертикальных геологических разреза по линиям I – I и III – III.



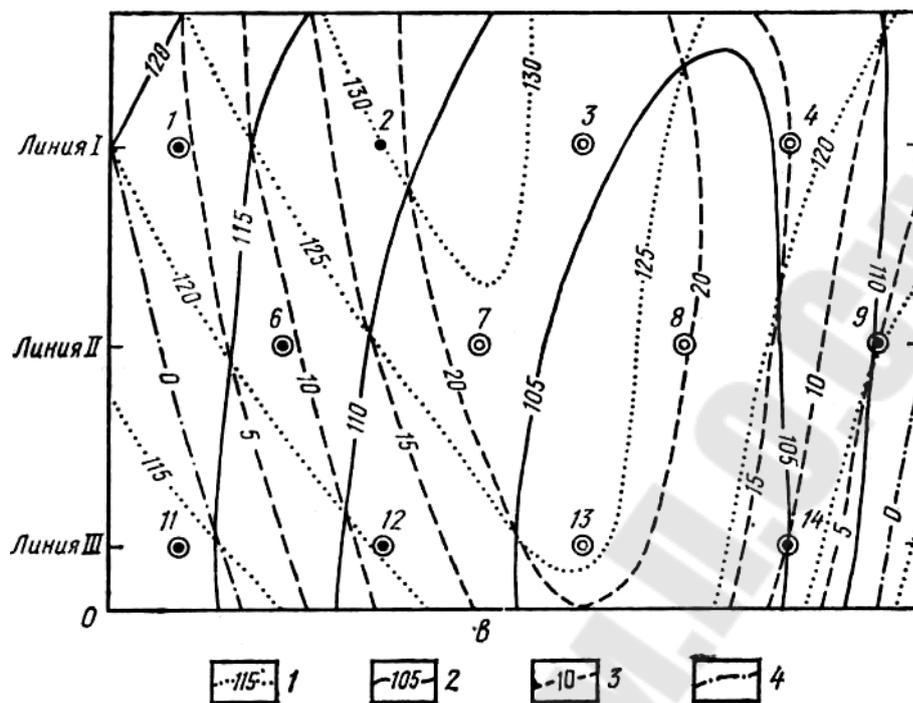


Рис.19.2 Вертикальные разрезы а и б и план месторождения в; 1 – изогипсы кровли залежи; 2 – изогипсы почвы залежи; 3 – изолинии вертикальной мощности залежи; 4 – контур выклинивания залежи

На рисунке 19.2 приведены три топографические поверхности, характеризующие поверхность земли (рельеф), поверхность кровли и почвы залежи и соответствующих изолиниях.

Поверхность рельефа (земли) $z_g = f_1(x, y)$ достаточно полно характеризуется топографическим планом, который получается в итоге топографической съемки местности. Поверхность кровли залежи $z_k = f_2(x, y)$ анализируется скважинами (эта поверхность скрытая) и характеризуется высотными отметками точек подсечения, по которым она может быть выражена в изогипсах кровли. Поверхность почвы залежи $z_n = f_3(x, y)$, так же является скрытой поверхностью; она анализируется точками подсечения скважин и на основе высотных отметок этих точек изображается в изогипсах. По гипсометрическому плану кровли z_h и почвы z_n можно судить о простираии этих поверхностей в разных точках месторождения, об углах падения, о глубине залегания залежи и других геометрических элементах, необходимых для проектирования горных разработок, подсчета запасов залежи и др. Согласно теории геохимического поля мощность залежи m_1, m_2, m_3 и т. д. по скважинам можно рассматривать как важный параметр, который замеряется по

скважинам, выражается числом и как видно из рисунка является изменчивым параметром месторождения. Такое свойство залежи, которое выражается числом, можно изобразить в виде топографической поверхности $z_m = f_4(x, y)$. Поверхность z_m выражает пространственные закономерности изменения мощности в пределах участка разведки. График изолиний мощности z_m можно получить наиболее просто вычитанием топографических поверхностей

$$z_m = z_g - z_k = f_2(x, y) - f_3(x, y) = f_4(x, y)$$

Глубина залегания кровли залежи h_1, h_2, h_3 и т. д. также является параметром этой залежи и представляет изменяющийся параметр месторождения. Этот параметр замеряется по скважине, выражается числом и поэтому его можно так же выразить в виде топографической поверхности $z_h = f_5(x, y)$. Эта поверхность в изолиниях называется графиком изоглубин кровли. Он может быть получен вычитанием изогипс кровли из изогипс дневной поверхности

$$z_h = z_g - z_k = f_1(x, y) - f_2(x, y) = f_3(x, y)$$

График изоглубин кровли в изолиниях геометрически интерпретирует распределение мощности перекрывающих залежь горных пород в пределах месторождения. Такой график важен для решения ряда вопросов разведки (подсчет объема пород) и горного дела. Из приведенного примера следует, что топографическая поверхность является важным геометрическим образом или моделью, на чем и построена теоретическая и практическая часть геометрии недр. Теория топографической поверхности получила существенную разработку в трудах по геометрии недр и широко применяется при графическом моделировании месторождений. Топографическая поверхность – это такая кривая поверхность пространства, которая для данных x и y допускает только, одно значение отметки z , или отвесная линия с топографической поверхностью сечется только в одной точке. Отсюда отметка z является функцией двух независимых переменных (x, y) или

$$z = f(x, y)$$

Топографическая поверхность z удовлетворяет четырем условиям: 1) условию конечности, 2) однозначности, 3) непрерывности и 4) условию плавности. Если эти четыре условия отнести к системе изолиний, отображающих топографическую поверхность, то это надо понимать следующим образом.

1. Условие конечности. Интерпретирующий свойства геохимического поля рельеф соответствующий топографической поверхности не может иметь ни бесконечно «высоких гор», ни бесконечно «глубоких впадин».

2. Условие однозначности. Для данных, произвольных в пределах плана x, y координата z может иметь только одно значение. Как следствие – непересекаемость изогипс.

3. Условие непрерывности. Бесконечно малому перемещению точки (x, y) по плану отвечает и бесконечно малая перемена координаты z .

4. Условие плавности, имеющее в прикладной части особо важное значение, на планах в изолиниях выражается двояко: а) плавностью течения каждой отдельно взятой кривой (изогипсы) и б) плавностью изменения промежутков между целой системой изолиний (плавность скатов).

Топографическая поверхность z , удовлетворяющая указанным выше четырем условиям, изображается системой непересекающихся изолиний. Изолинии (как частный случай изогипсы) являются кривыми, замкнутыми и непересекающимися между собой линиями.

Важнейшими геометрическими элементами топографической поверхности являются: водораздельные линии или линии хребтов, которые принято относить к положительным инвариантным линиям; водосоединительные линии или линии тальвегов, относимые к отрицательным формам рельефа; седловинные площадки (как места пересечения положительных и отрицательных инвариантных линий) и различные линии скатов. Линия наибольшего ската всегда перпендикулярна соответствующим изолиниям (изогипсам) в пространстве и на плоскости горизонта, т. е. в плане. За положительное направление изолинии (изогипсы) принимают такое, при котором линия ската лежит справа. Замкнутые изолинии, направленные по ходу часовой стрелки, окаймляют вогнутости топоповерхности, а замкнутые изолинии с направлением против хода часовой стрелки окаймляют выпуклую (положительную) часть поверхности.

Лекция 20 Методы проектирования точек и проекции с числовыми отметками

При создании геометрической модели залежи применяются различные способы изображения, особенно широко используются проекции с числовыми отметками, в которых характерные точки изучаемых (изображаемых) пространственных объектов ортогонально проецируют на основную плоскость проекций. В качестве последней в маркшейдерской практике чаще всего выбирают горизонтальную плоскость, совпадающую по высоте со средним уровнем океана (моря). Таким образом, положение некоторых точек A и B в плоскости проекций определится положением точек пересечения перпендикуляров, опущенных из точек A и B (рис.20.1), и отстоянием точек A и B от плоскости проекций (координата z), т. е. числовой отметкой проекций точек. В тех случаях, когда рассматриваемые точки расположены выше плоскости проекций, их отметки принято считать положительными (точка A), если расположены ниже – отрицательными (точка B).

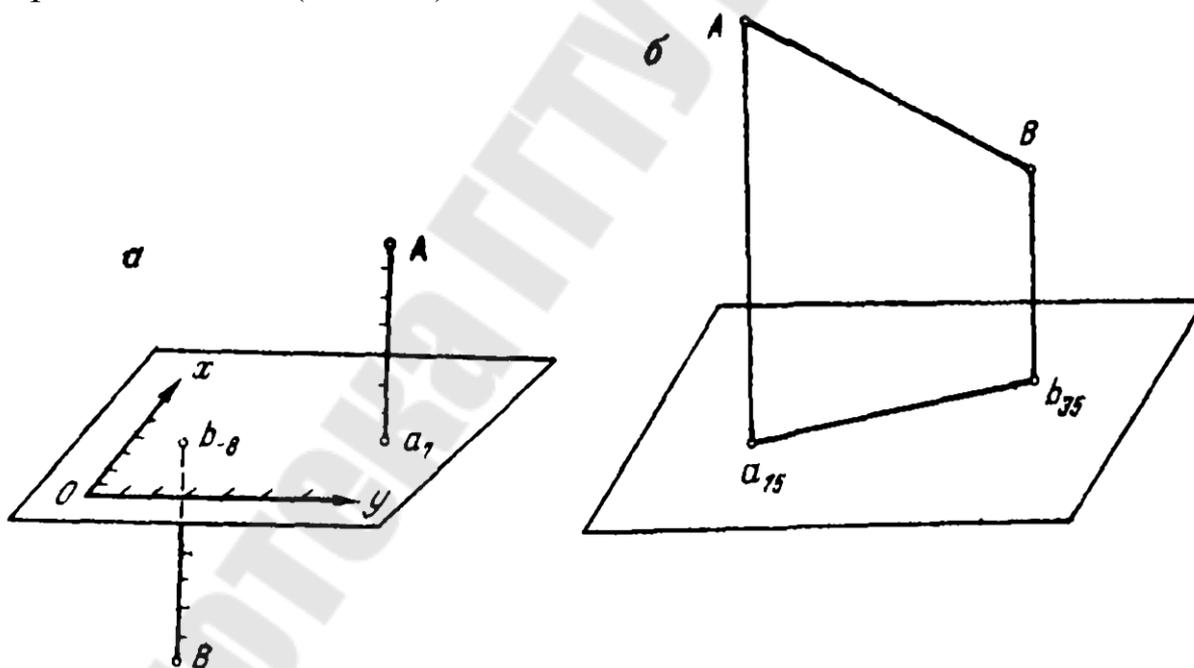


Рис.20.1 Схемы определения положения в проекции с числовыми отметками точки (а) и прямой (б)

Прямая в проекции с числовыми отметками изображается или проекцией ее двух точек (рис.20.1, б), или своей проекцией с числовой отметкой какой-нибудь точки и углом ее наклона к горизонту; однако, чаще всего на плане прямая изображается в

целочисленных (градуированных) отметках, для этого на проекции прямой отмечают точки, кратные выбранному сечению. Разность двух соседних целочисленных отметок градуированной прямой принято называть высотой сечения прямой. Расстояние между проекциями двух точек, разность отметок которых равна высоте сечения, называется заложением прямой.

В геологоразведочной и горной практике возникают задачи, когда необходимо знание взаимного положения двух прямых, которые могут быть параллельными, пересекающимися и скрещивающимися. Две прямые считаются параллельными, если параллельны их проекции, заложения равны и падение направлено в одну сторону. Равенство заложений предопределяет равенство углов наклона прямых к плоскости проекций. Пересекающиеся прямые имеют общую точку, следовательно, их проекции на плане пересекаются, и также имеют общую точку. Частным случаем пересекающихся прямых являются взаимоперпендикулярные прямые. Если обе перпендикулярные прямые AB и BC параллельны плоскости проекции (рис.20.2) или одна из них BC параллельна, а вторая BD перпендикулярна плоскости проекций, то прямой угол, образованный этими прямыми, проецируется без искажений.

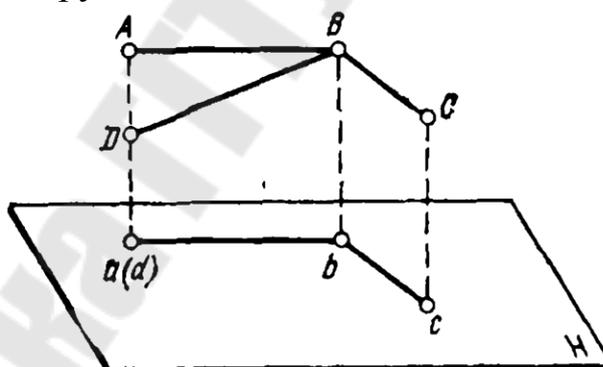


Рис.20.2 Перпендикулярные прямые

Для скрещивания прямых возможны два случая:

проекции прямых пересекаются, но точка пересечения не имеет общей отметки;

проекции прямых параллельны, но или углы их наклона направлены в разные стороны, или не равны заложения прямых.

Плоскость в общем случае может быть задана тремя точками, не лежащими на одной прямой; прямой и точкой, не лежащей на этой прямой; двумя параллельными или двумя пересекающимися линиями, принадлежащими данной плоскости.

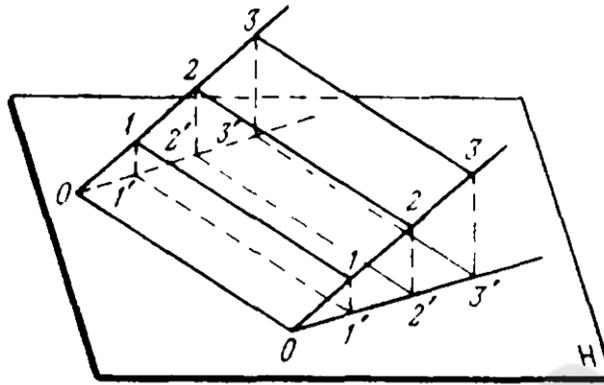


Рис.20.3 Плоскость в проекции с числовыми отметками

В проекции с числовыми отметками плоскость чаще всего изображается с помощью горизонталей, представляющих собой линии плоскости, расположенные параллельно плоскости проекций. Горизонтальными плоскости 0-0; 1-1; 2-2; 3-3 (рис.20.3) проводят обычно через один и тот же интервал по высоте, называемый высотой сечения плоскости. Проекции горизонталей на плоскости проекций 0-0; 1'-1'; 2'-2'; 3'-3' параллельны и отстоят друг от друга на одинаковом расстоянии 0-1'; 1'-2'; 2'-3', называемом заложением горизонталей. В общем случае плоскость может быть наклонной, вертикальной и горизонтальной. Горизонтальная плоскость параллельна плоскости проекций, поэтому все фигуры, лежащие в ней, проецируются в натуральную величину. Вертикальная плоскость является перпендикулярной к плоскости проекций, ее проекция на план изображается прямой линией.

При решении некоторых практических задач геологоразведочного и горного дела, поверхности, ограничивающие слои горных пород, залежей, разрывных нарушений, принимают за плоскости, ориентировку которых в пространстве определяют или дирекционным углом (азимутом) линии простирания плоскости и углом ее падения, или дирекционным углом (азимутом) линии падения и углом падения.

В маркшейдерском деле направление горизонталей плоскости выбирают, руководствуясь следующим правилом «если встать по направлению горизонтали, то падение должно находиться справа от наблюдателя».

Плоскость и прямая могут иметь следующее взаимное положение:

прямая лежит в плоскости, если хотя бы две ее точки совпадают с плоскостью;

прямая пересекает плоскость, если прямая имеет только одну общую точку с плоскостью. Факт пересечения прямой и плоскости проверяется при помощи профильной плоскости, т. е. плоскости, перпендикулярной к плоскости проекции и проходящей через данную прямую;

прямая параллельна плоскости, если на плоскости возможно найти прямую, параллельную данной;

прямая перпендикулярна к плоскости, если ее проекция перпендикулярна к проекции горизонталей плоскости, направление падения плоскости обратно падению прямой, и между заложениями прямой $l_{пр}$ и плоскости $l_{пл}$ и высотой их сечения h существует зависимость $h^2 = l_{пр} \times l_{пл}$.

Плоскости в пространстве могут располагаться либо параллельно друг другу, либо пересекаться.

Плоскости считаются параллельными, если параллельны их горизонталы, заложения плоскостей равны, и падение плоскостей направлено в одну и ту же сторону. В геологии поверхности, ограничивающие слой какой-либо породы, в определенных пределах можно рассматривать как две параллельные плоскости.

Плоскости пересекаются, если:

а) горизонталы плоскостей пересекаются; линией пересечения плоскостей в данном случае является линия, соединяющая точки пересечения одноименных горизонталей;

б) горизонталы плоскостей параллельны, заложения равны, но имеют неодинаковое заложение;

в) горизонталы плоскостей параллельны, заложения равны, но падение плоскостей направлено в разные стороны.

Примеры решения некоторых геолого-маркшейдерских задач с применением проекции с числовыми отметками. Применение проекции с числовыми отметками для решения различных задач маркшейдерской и геологоразведочной практики дает хорошие результаты, заключающиеся, во-первых, в том, что возможно количественное определение ряда величин, характеризующих как структуру месторождения, так и конструкции систем разработки; во-вторых, повышает наглядность и читаемость изучаемых и разрабатываемых объектов. Рассмотрим один из них – определение угла складки.

Основными элементами складки являются крылья, замок, шарнир, угол складки, осевая или биссекторная плоскость.

Под крыльями понимают боковые поверхности, представляемые обычно плоскостями. Замок складки называют криволинейный участок складки, на котором наблюдается постепенный переход от одного крыла к другому. Некоторая линия, по которой пересекаются плоскости, представляющие собой крылья складки, называется шарниром складки. Двугранный угол, образуемый крыльями складки, называется углом складки. Биссекторной плоскостью складки называют поверхность, проходящую через биссектрису угла.

На рис.20.4, а представлен план, где при помощи горизонталей сечением через 25 м изображена складка.

Если продлить одноименные горизонталы разных крыльев складки, то получим точки пересечения 1, 2, 3 и т. д. Соединив эти точки прямой, получим линию, называемую шарниром складки, направление падения которого показано стрелкой.

Для того, чтобы определить угол складки, являющийся двугранным углом, вначале следует провести плоскость, перпендикулярную к шарниру складки. Горизонталы этой плоскости должны быть перпендикулярны к оси шарнира, а заложение может быть определено или по формуле $h^2 = h_{пр}^2 / l_{пр}$, или при помощи

геометрических построений, показанных на рис. 20.4,б. Во втором случае проводятся две параллельные линии на расстоянии, равном высоте сечения h . От произвольной точки a , расположенной на нижней линии, откладывают расстояние ab , равное заложению оси шарнира $l_{пр}$. Точку b проецируют на верхнюю прямую – получают точку d . Прямая ad представляет собой след оси шарнира. Проводят через точку d линию dc перпендикулярно к прямой ad , таким образом, получают след плоскости, перпендикулярной к оси шарнира. Отрезок bc является заложением перпендикулярной плоскости $l_{пл}$. Выбирают одну из точек пересечения горизонталей крыльев складки, например, точку 3 с отметкой 175 м и через нее проводят линию, перпендикулярную к оси шарнира, которая является горизонталью искомой плоскости. Вдоль шарнира отмечают ряд точек на расстоянии друг от друга, равном заложению плоскости. Через эти точки проводят линии, перпендикулярные к оси шарнира. Эти линии также являются горизонталями плоскости перпендикулярной к оси

шарнира.

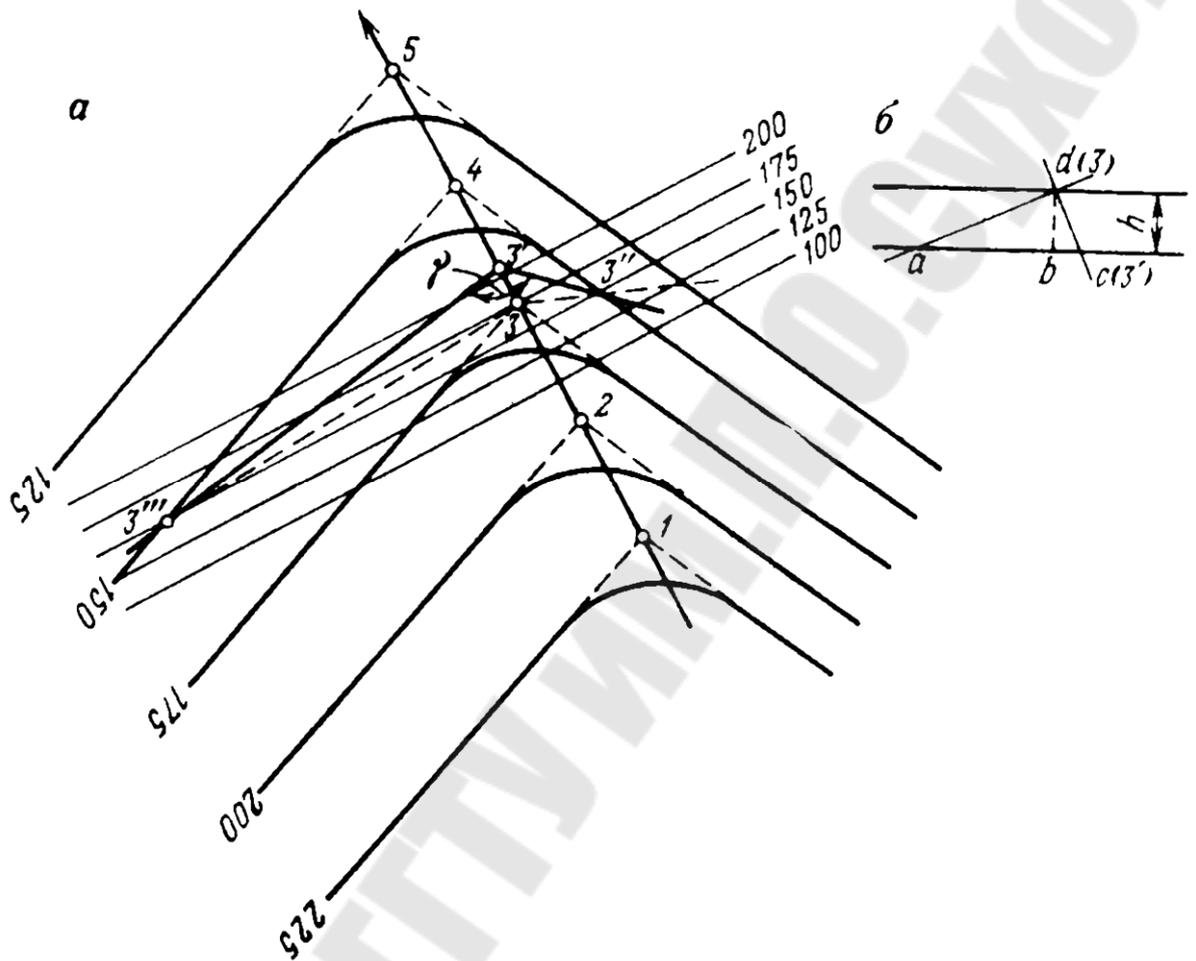


Рис.20.4 Схема определения угла складки

Определяют линии пересечения полученной плоскости с плоскостями крыльев складки (пунктирные линии), которые представляют собой проекцию на плоскость угла складки. Для того чтобы определить его истинную величину, достаточно плоскость, определяемую углом $3''33''$ вращением вокруг горизонтали с отметкой 150, совместить до положения параллельного с плоскостью проекций, т. е. точку 3 переместить в точку 3' на расстояние $3-3'$, равное разности $ac-ab$ (см. рис. 20.4, б). Соединив точку 3' с точками 3'' и 3''' , получим угол $3''3'3'''$, равный γ и представляющий собой истинное значение угла складки.

Лекция 21 Плоскость в проекции с числовыми отметками

Преобразование проекций. В геологоразведочном и горном деле часто возникают задачи, когда необходимо определить истинные значения длин отрезков прямых, углов, площадей фигур, проецирующихся на план с искажениями, определить линии пересечения пересекающихся плоскостей с параллельными горизонталями и целый ряд других задач. Для их решения используют метод преобразования проекций, сущность которого заключается в том, что, используя проекции изображаемых объектов, строят новые изображения с таким расчетом, чтобы стало возможным получить их истинные размеры непосредственно с чертежа. В геолого-маркшейдерской практике наиболее часто используют метод перемены плоскости проекций и метод совмещения.

Метод совмещения. Под совмещением понимают приведение изучаемой плоскости в положение, параллельное основной плоскости проекций, при этом объекты, расположенные в исходной плоскости, получают в неискаженном виде. Совмещение с основной плоскостью проекции осуществляется вращением наклонной плоскости вокруг одной из ее горизонталей.

Рассмотрим существо метода на конкретной задаче.

Пусть в проекции с числовыми отметками даны две пересекающиеся прямые, обозначенные точками a_{70} , b_{60} , d_{30} (рис. 21.1,а). Необходимо определить истинное значение угла, образованное этими прямыми.

Две пересекающиеся прямые определяют собой плоскость. На рисунке она показана пунктирными горизонталями. Для того чтобы совместить эту плоскость с плоскостью проекций, развернем ее вокруг одной из горизонталей, например $+60$, до горизонтального положения. При вращении точки c и b_{60} останутся на месте, точки a_{70} и d_{30} переместятся по перпендикулярам к горизонталям. Для того чтобы определить, на какие расстояния они переместятся, рассмотрим вспомогательный чертеж, представляющий собой две параллельные линии (рис. 21.1, б), проведенные друг от друга на расстоянии, равном высоте сечения h , и след исходной плоскости $l - l'$. Если совместить след плоскости $l - l'$ с нижней линией, то получим отрезок l' . Обозначим разность между отрезками l' и l (заложение плоскости) через Δl . Полученный отрезок Δl представляет собой увеличение расстояния между двумя соседними горизонталями при совмещении

данной плоскости с основной плоскостью проекций. Таким образом, отложив отрезок Δl по направлению $a'a_{70}$, получим совмещенное положение точки A . Аналогичным образом получено положение точки D , для этого по направлению $d'd_{30}$ был отложен отрезок $d_{30}D$, равный $3\Delta l$.

Если соединить точки A , D и b_{60} , то получим совмещенное положение исходных прямых, что позволяет измерить их истинную длину и истинный угол γ образованный ими.

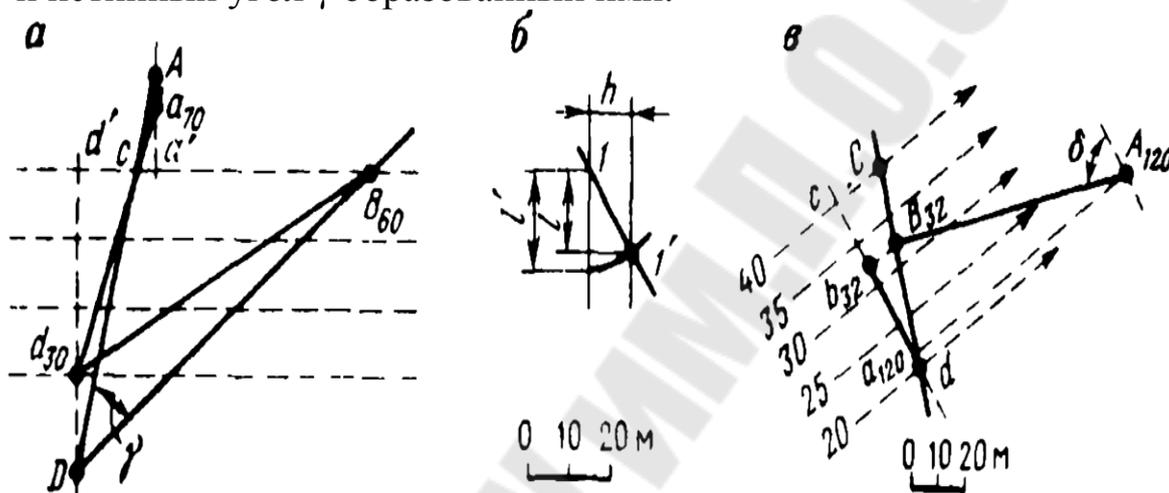


Рис.21.1 Методы перемены плоскостей для отыскания угла двух пересекающихся прямых и кратчайшего расстояния между точкой и плоскостью

Метод перемены плоскости проекции. В методе перемены плоскости проекций выбирают вспомогательную плоскость проекций, при проецировании на которую изучаемый объект получают без искажений. Чаще всего таковой является плоскость, перпендикулярная к основной плоскости проекций (профильная плоскость), проводят ее через изучаемый объект так, чтобы он проецировался на нее без искажений. Затем вспомогательная плоскость со всеми спроецированными на нее элементами совмещается с основной плоскостью проекций или занимает параллельное ей положение. Совмещение выполняется путем вращения вспомогательной плоскости вокруг одной из ее горизонталей.

Рассмотрим применение метода перемены плоскости проекций на решении конкретных задач.

Пусть из точки a_{120} (рис. 21.1, в), расположенной на земной поверхности, надо запроектировать скважину по кратчайшему

расстоянию до угольного пласта, условно представленного плоскостью и изображенного при помощи горизонталей.

Кратчайшим расстоянием между плоскостью и точкой является опущенный из точки на плоскость перпендикуляр. В связи с тем, что проекция линии перпендикулярной плоскости перпендикулярна к горизонталям этой плоскости, проведем через точку a_{120} линию ac , перпендикулярную к горизонталям плоскости, и построим вертикальную плоскость, проходящую через эту линию. В ней должна находиться ось проектируемой скважины, а также линия пересечения плоскостей. Повернем вспомогательную плоскость вокруг горизонтали с отметкой 20 до совмещения с горизонтальным положением. Так как вращение было вокруг горизонтали с отметкой +20, точка d останется на месте, а точки c и a переместятся соответственно на 20 и 100 м и займут положения C и A . Соединив точки d и C , получим совмещенное положение линии пересечения исходной плоскости с вертикальной плоскостью. Из точки A опускаем перпендикуляр на совмещенное положение линии пересечения, получаем точку b_{32} , являющуюся точкой пересечения скважины с плоскостью. Если из нее опустить перпендикуляр на прямую ac , то получим на плане положение точки b . Интерполированием между горизонталями +35 и +30 определим высоту точки b , которая равна +32. Угол наклона скважины к земной поверхности измеряется транспортиром. Проектная длина скважин от поверхности до угольного пласта определяется отрезком AB и равна 92,5 м.

Определим линию пересечения двух плоскостей (рис.21.2) заданных параллельными горизонталями – одна сплошными, вторая пунктирными. Для этого построим вспомогательную вертикальную (профильную) плоскость, проходящую перпендикулярно к горизонталям исходных плоскостей. Повернем эту плоскость вокруг горизонта с высотной отметкой 0 до ее совмещения с основной плоскостью проекций. На совмещенном положении профильной плоскости отмечают следы наклонных плоскостей, точка пересечения K которых позволяет найти положение линии пересечения плоскостей: для этого из точки K опускают перпендикуляр до оси вращения профильной плоскости. Через полученную таким образом точку k проводят линию, параллельную горизонталям исходных плоскостей и представляющую собой линию пересечения плоскостей.

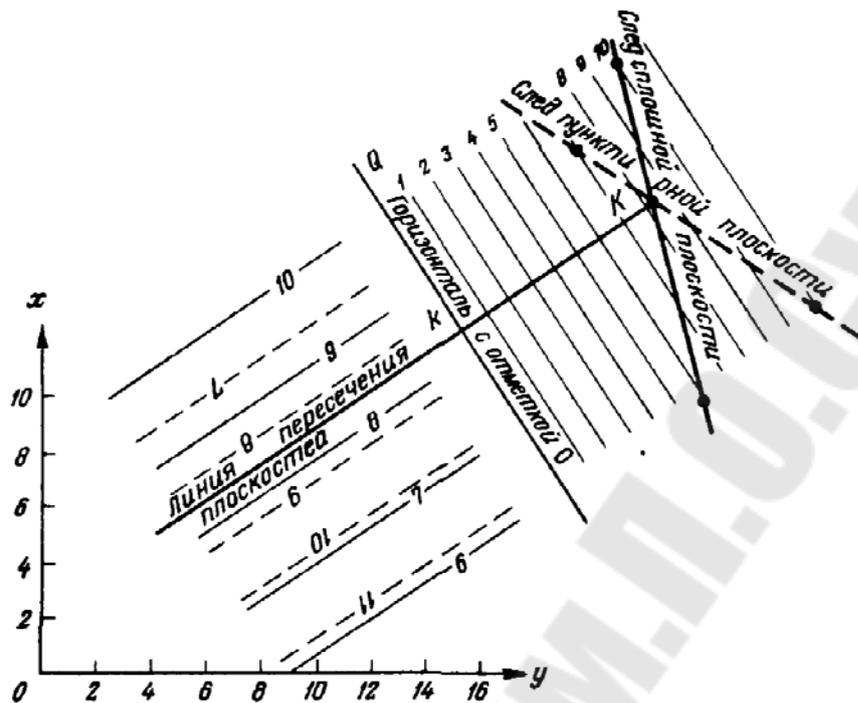


Рис.21.2 Схема определения линии пересечения плоскостей, заданных параллельными горизонталями

По полученному профилю можно также определить истинное значение угла, образованного двумя пересекающимися плоскостями.

Лекция 22 Способы изображения топографических поверхностей

Для скрытых, невидимых или условных поверхностей построение изолинии на плане не всегда является простой задачей. Чтобы изолинии правильно отражали изучаемый конкретный показатель, требуется при их построении учитывать геологические условия и другие факторы, влияющие на характер изменения показателя, принимать во внимание соподчиненность в залегании горных пород и пр.

В зависимости от исходных данных, их расположения и характера изучаемого показателя построение изолиний производят вручную или с помощью соответствующих приставок к ЭВМ – графопостроителей методами: инвариантных линий, многогранника, профилей, статистического окна, косвенным.

Метод инвариантных линий состоит в следующем.

На план в соответствующем масштабе по координатам наносят точки, в которых определены (замерены) значения изображаемого показателя; около каждой точки выписывают значение показателя в виде числа (отметки) (рис. 22.1, а), в результате геометрического анализа выписанных отметок намечают ориентировочное положение инвариантных линий изображаемой поверхности (рис. 22.1, б), учитывая при этом геолого-структурные данные о месторождении и пр.

Различают отрицательную (синюю) и положительную (красную) инвариантные линии.

Отрицательной инвариантной линией является геометрическое место минимумов высот данной поверхности – тальвеги или русла рек с системой притоков (пунктирная линия на рис. 22.1, б).

Положительной инвариантной линией является линия водоразделов (сплошная линия на рис. 22.1, б). Место пересечения инвариантных линий является инвариантной (седловидной) площадкой.

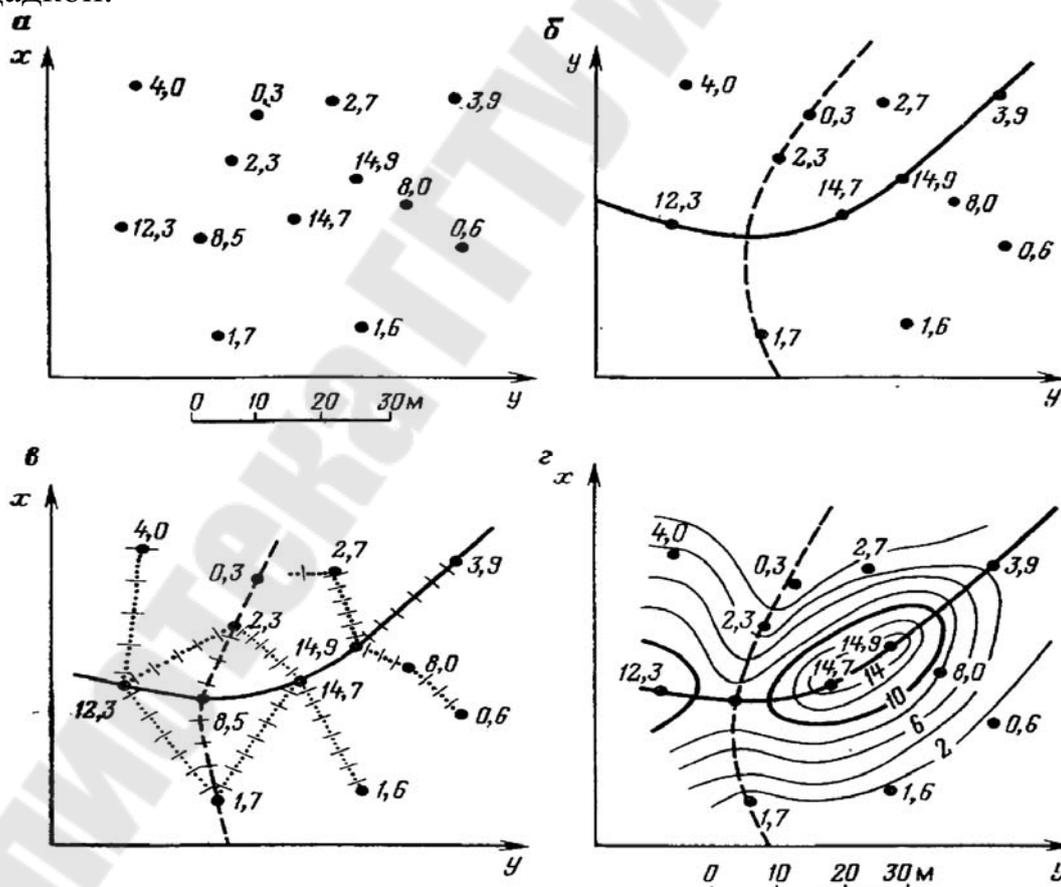


Рис.22.1 Последовательность построения на плане изолиний топографической поверхности методом инвариантных линий

Инвариантные линии и площадки являются своего рода остовом данной поверхности и имеют большое значение в анализе точности ее изображения с помощью изогипс. Достаточно точную модель можно построить тогда, когда выявлено необходимое и достаточное число точек, для каждой из положительных и отрицательных инвариантных линий и для каждой из инвариантных площадок, а также необходимое и достаточное число скатов и число точек на них.

Относительно инвариантных линий между точками намечают линии скатов, по которым линейным интерполированием, задавшись величиной сечения, находят ступенчатые отметки (рис.22.1, в). Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, получают на плане изображение искомой поверхности в изолиниях (рис. 22.1, г).

Метод многогранника применяют тогда, когда затруднительно наметить инвариантные линии или когда в отдельных точках поверхности замерены ее элементы залегания азимут линии падения и угол падения (рис. 22.2).

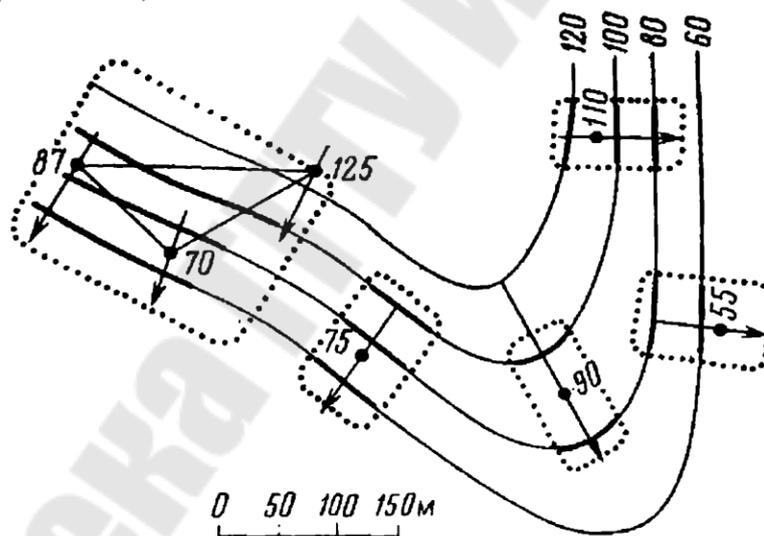


Рис.22.2 Схема построения изолиний поверхности методом многогранника

В первом случае поверхность представляется многогранником, каждая грань которого—треугольник с вершинами в близлежащих точках с числовыми отметками. Задавшись сечением, между ближайшими точками производят интерполирование.

Точки с одинаковыми отметками соединяют вначале ломаными, к затем плавными сглаженными кривыми. В результате получают план поверхности в изолиниях. Изображение поверхности считается

точным, если уклонения любой ломаной линии, построенной по точкам, от соответствующей ей кривой поверхностей не превышают допустимой величины.

Построение изолиний этим методом, как и другими, нанимают с более детально изученных участков изображаемой поверхности, переходя постепенно к менее изученным с большим расстоянием между точками.

Во втором случае точки, в которых определены элементы залегания поверхности, по координатам наносят на план, подписывают около них числовые отметки. По дирекционному углу через каждую точку проводят проекцию линии падения. Задав сечение, аналитически или графически с учетом угла падения, на линиях наносят ступенчатые отметки, через которые проводят изолинии по нормали к линиям падения. Учитывая кривизну поверхности по ряду других факторов, изолинии с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми. В результате получают план поверхности в изолиниях более точный, чем план, построенный по отметкам точек без учета элементов залегания поверхности.

Метод профилей применяют при наличии нескольких профилей или сечений изучаемой поверхности, расположенных как параллельно, так и различно ориентированных одно к другому (рис. 28.3).

Сущность метода состоит в следующем. На план наносят проекции профилей по координатам исходных точек на них: 1,1'; 2,2'; 3,3'. На профилях (см. рис. 22.3) проводят высотную сетку – серию параллельных основанию профиля линий на расстоянии, равном сечению поверхности. Точки пересечения линий высотной сетки с профилем поверхности изображаемого показателя проектируют сначала на основание профиля, а затем относительно исходных точек переносят на план линий профиля, подписывая около них соответствующие отметки. Соединяя на плане одноименные точки плавными кривыми, получают искомую поверхность в изолиниях.

Построение изолиний поверхности с помощью профилей применяют при разведке или опробовании месторождений по разведочным линиям.

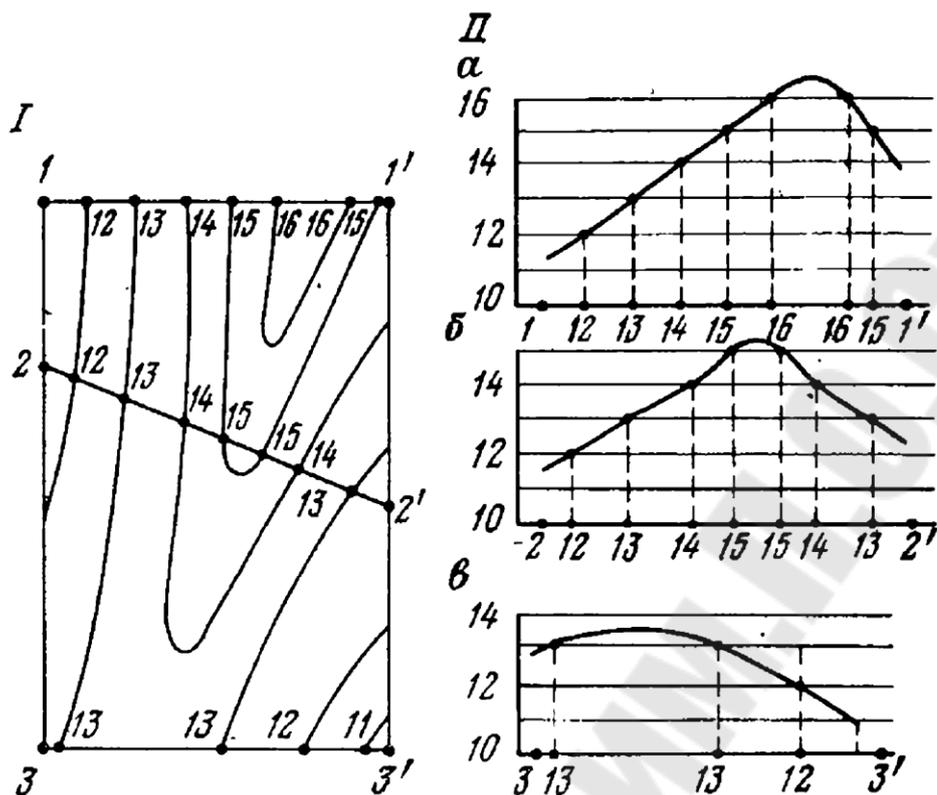


Рис.22.3 К построению изолиний поверхности I методом профилей II по линиям а – 1–1'; б– 2–2'; в – 3–3'

Так как расстояния между скважинами или точками опробования по разведочной линии (Р.Л.1; Р.Л.2; Р.Л.3) гораздо меньше расстояний между разведочными линиями, то и детальность выявления поверхности по линии большая, чем между линиями. Для поверхностей с относительно одинаковой изменчивостью по всем направлениям (рис. 22.4, а) формальное применение метода профилей при построении поверхности в изолиниях из-за разного уровня сведений в сечениях и между ними может привести к искусственному ее искажению – одностороннему вытягиванию изолиний между сечениями, как это показано на рис. 22.4, б, и последующему ложному толкованию изменения размещения изображаемого показателя. Построение изолинии поверхностей с помощью относительно удаленных друг от друга профилей следует производить на месторождениях с заранее известным «вытянутым» характером изменения геологического показателя, например, поверхности кровли пластов на крыльях складки, как правило, вытянутой по простиранию, размещения компонентов, рассеянных в виде вытянутых ореолов на россыпных месторождениях и т. п.

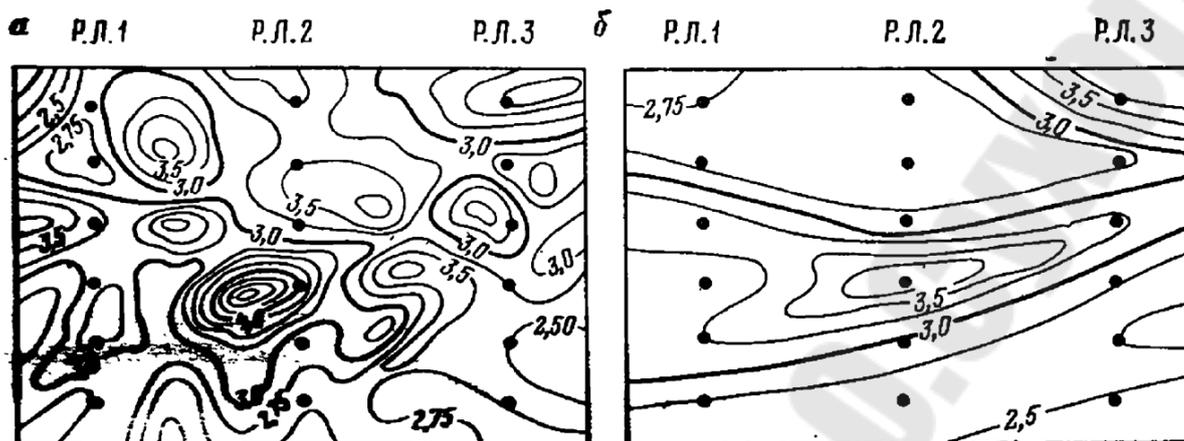


Рис. 22.4 К построению изолиний поверхности по профилям:
 а – фактическая поверхность в ее реализации по разведочным линиям; б – искажение (вытянутость) поверхности, построенной по профилям

Метод статистического окна, или площадное сглаживание, применяют при большом числе точек с числовыми отметками показателя на плане. Если проводить изолинии с использованием всех имеющихся числовых отметок, то, помимо большой затраты времени на это, получается так называемый мелкосопочный рельеф (рис. 22.5, а). По такому изображению трудно находить закономерности изменения показателя, делать какие-либо выводы и заключения и использовать эти поверхности для практических целей.

Статистический метод заключается в построении изолиний поверхности по средним групповым отметкам. Для этого на план участка с большим числом точек наносят квадратную или прямоугольную сетку со сторонами a и b . Величину сторон сетки выбирают в зависимости от масштаба плана, изменчивости показателя, расстояния между точками, общего падения поверхности и т. п. В каждой ячейке сетки или статистическом окне определяют среднее арифметическое значение отметок всех попавших в нее точек и подписывают это среднее в центре статистического окна.

Окно перемещают на половину своего размера сначала по одной оси, а затем по другой (рис. 22.5, б), или на полный его размер (рис. 22.5, в).

Если точки группируются в одной какой-либо части ячейки, то среднее подписывается в их геометрическом центре. Пограничные точки учитываются в обоих соседних окнах. Затем, задавшись сечением, по отметкам средних строят изолинии. В результате

производной и определяется соответствующими математическими действиями между данными поверхностями.

Лекция 23 Классификация математических действий с топографическими поверхностями

Поверхности топографического порядка. Топографическими поверхностями принято называть поверхности неправильного вида, не имеющие определенного геометрического закона образования. К ним относятся как физически существующие поверхности (например, поверхности лежачего и висячего боков залежей, поверхности контактов слоев, горизонтов), так и условные (воображаемые) поверхности (поверхности, отображающие изменение качественных показателей залежей, изменение мощностей залежей и т. п.).

В отличие от поверхностей правильной формы поверхности топографического порядка из-за своей сложности математическому описанию не поддаются. Для их изображения в геолого-маркшейдерской практике используют изолинии, которые образно можно представить как проекции кривых, полученных от сечения изучаемых поверхностей параллельными плоскостями.

Под сечением изолиний понимается кратчайшее расстояние между секущими параллельными плоскостями. Под заложением понимается расстояние между двумя проекциями изолиний.

Поверхности топографического порядка обладают рядом свойств, главными из которых являются плавность – изолинии представляют собой плавные кривые; непрерывность, т. е. бесконечно малому изменению координат x , y должно соответствовать бесконечно малое приращение координаты z ; конечность – в точке с координатами x , y имеется лишь одно значение изучаемой функции.

С поверхностями топографического порядка большинство математических действий можно производить графически.

Вычитание поверхностей топографического порядка. При вычитании топографических поверхностей возможны следующие случаи:

1. Изолинии исходных топографических поверхностей пересекаются (рис. 23.1, а). В точках пересечения из отметок изолиний уменьшаемой поверхности (сплошные линии) вычитают значения отметок вычитаемой (пунктирные линии) топографической поверхности. Таким образом, в пределах плана получают цифровой

массив, отображающий в числах новую топографическую поверхность. По числовым значениям проводят изолинии искомого показателя. Высота сечения исходных топографических поверхностей должна быть одинаковой. Это упрощает построение изолиний результирующей поверхности.

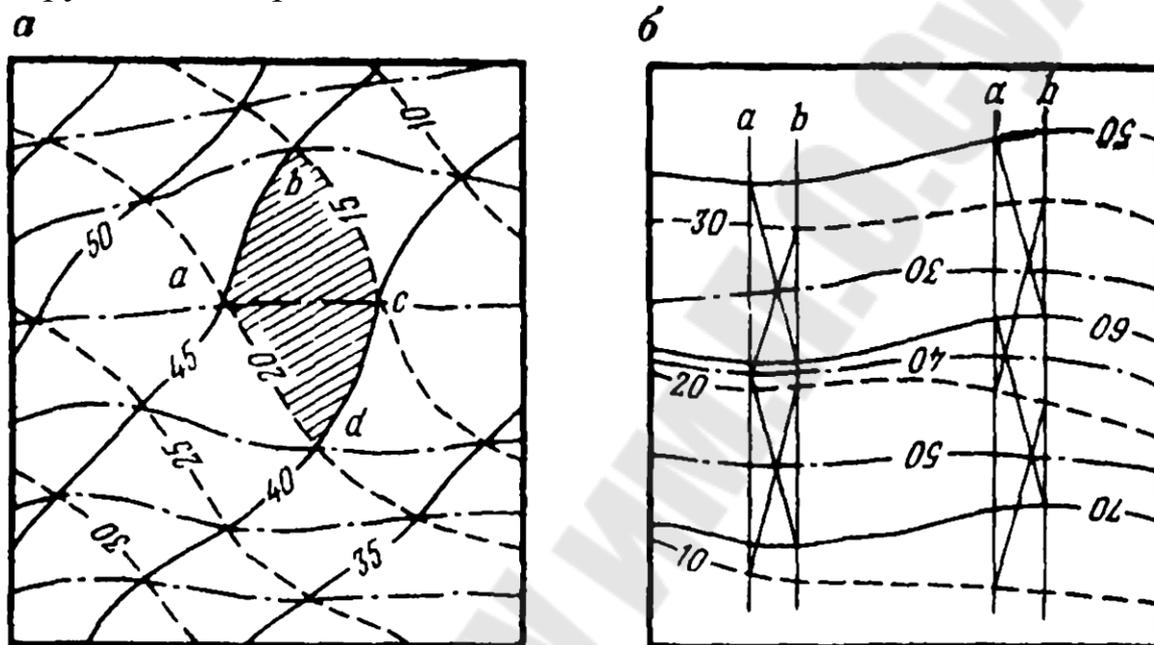


Рис.23.1 Пример вычитания топографических поверхностей

Рассмотрим некоторую четырехугольную фигуру, полученную при пересечении исходных изолиний, например, $abcd$ (см.рис.23.1, а); по одной из диагоналей получены две одинаковые отметки, соединив которые плавной кривой, получают направление изолиний результирующей поверхности. Используя аналогичные фигуры, можно построить изолинии результирующей топографической поверхности для всего плана.

2. Изолинии исходных топографических поверхностей в пределах плана не пересекаются (рис.23.1, б). В данном случае проводят дополнительные построения, заключающиеся в том, что на плане проводят несколько параллельных линий (по возможности по нормальям к изолиниям). Между параллельными линиями строят профили поверхностей: для этого к одной из линий, например б, относят только «старшие» отметки, ко второй— «младшие». Для каждой пары соседних линий строят профили, через точки пересечения следов исходных топографических поверхностей проводят изолинии искомой топографической поверхности. Отметки изолиний определяются как разность отметок или только «старших»

или только «младших» изолиний исходных поверхностей, между которыми проводилось построение пересекающихся профилей.

Сложение поверхностей топографического порядка. При сложении топографических поверхностей возможны два случая: 1) изолинии исходных топографических поверхностей пересекаются; 2) изолинии исходных топографических поверхностей в пределах плана не пересекаются.

Сложение топографических поверхностей в первом случае практически не отличается от вычитания, за исключением того, что в местах пересечения изолиний определяется не разность отметок, а сумма.

Во втором случае, т. е. при непересекающихся изолиниях, сложение заменяется вычитанием, однако вычитаемой топографической поверхности придают противоположный знак:

$$z_Q = z_P + z_L - z_P - (-z_L).$$

Умножение и деление поверхностей топографического порядка. Умножение может быть выполнено двумя методами. В первом – в точках пересечения изолиний определяют произведение исходных поверхностей, по полученному массиву цифр строят изолинии результирующей топографической поверхности. Для выбора величины сечения изолиний устанавливают минимальное и максимальное значения произведения перемножаемых поверхностей и среднее число изолиний исходных топографических поверхностей. Разность между максимальным и минимальным значениями делят на среднее число изолиний. Полученная величина, округленная до ближайшей удобной цифры, принимается за высоту сечения.

Во втором случае, когда изолинии перемножаемых поверхностей не пересекаются, на план наносится квадратная или прямоугольная сетка. В вершинах прямоугольных фигур определяют значения исходных поверхностей и их произведение. По полученному массиву цифр новой топографической поверхности приемами, описанными в первом способе, производят построение результирующей топографической поверхности.

Деление поверхностей топографического порядка в принципе не отличается от умножения, но применяется редко.

Лекция 24 Форма и геометрические параметры залежи полезного ископаемого

Залежью полезного ископаемого называется тело, размещенное в массиве горных пород, с промышленным содержанием полезных компонентов. Тело залежи ограничено поверхностями раздела (контактами), которые могут быть действительными или условными.

Действительными поверхностями раздела залежи, или поверхностями контакта с вмещающими породами являются, например, поверхности стратиграфических напластований, поверхности магматических внедрений или поверхности разрывных нарушений.

Условные поверхности раздела устанавливаются для вкрапленных руд и россыпных месторождений, когда оруденение не имеет четких границ и содержание полезного компонента в руде по краям залежи постепенно уменьшается. Для таких залежей на основании данных опробований проводят условные поверхности раздела залежи по точкам с заданным бортовым содержанием полезного компонента в руде.

По своей форме залежи подразделяются на простые и сложные.

К простым относятся пласты, пластообразные, простые жильные и линзообразные залежи, у которых поверхности раздела для ограниченных участков близки к плоскостям.

К сложным залежам относятся неправильные жилы, штоки, штокверки, сложные линзы, карманы и т. д.

Форма и пространственное положение залежи полезного ископаемого в недрах определяются совокупностью линейных и угловых величин, называемых геометрическими параметрами. К ним относятся:

1) координаты точек наблюдений на контактах залежи с вмещающими породами, в которых устанавливаются другие геометрические параметры;

2) углы простираения и падения поверхности (контакта) залежи;

3) мощность залежи;

4) глубина залегания залежи;

5) положение в пространстве элементов симметрии изучаемой геологической структуры и др.

Координаты x , y , z точек на поверхности залежи определяются по результатам маркшейдерских съемок и инклинометрической съемки скважин.

Пространственное положение поверхности висячего или лежащего бока залежи в любой точке наблюдения характеризуется двумя

направлениями — линией простирания и линией падения, называемыми угловыми элементами залегания залежи.

Линией простирания поверхности залежи называется горизонтальная линия, лежащая на этой поверхности. Иными словами, линия простирания – это горизонталь поверхности залежи. Если горизонтали поверхности залежи представляют на плане кривые линии, это указывает на изменчивость направления простирания поверхности залежи вдоль этих горизонталей. Направление простирания в любой точке поверхности залежи совпадает с направлением касательной к горизонтали в этой точке.

Линией падения залежи называется линия наибольшего ската поверхности лежачего или висячего ее бока. Направление падения перпендикулярно к направлению простирания залежи в данной точке.

Для однозначности за направление линии простирания в данной точке поверхности залежи берется такое направление, от которого падение располагается вправо.

Углом простирания или просто простиранием поверхности залежи в ее точке А (рисунок 24.1) называется дирекционный угол α (или азимут) линии простирания AD.

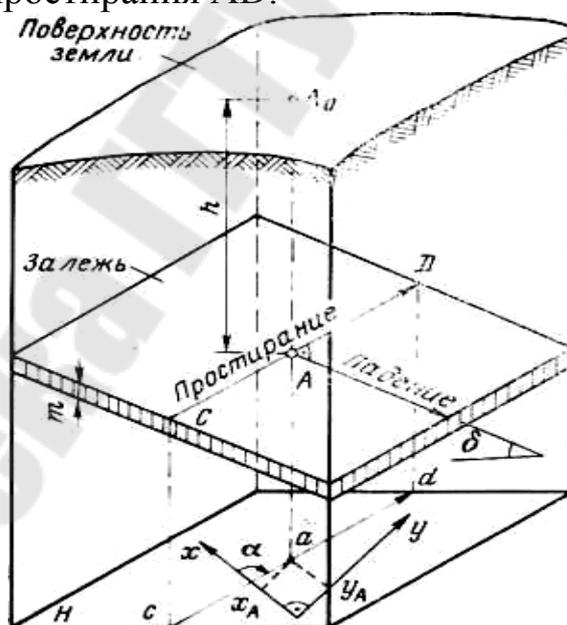


Рис.24.1 Элементы залегания залежи (пласта)

Дирекционный угол (или азимут) линии падения всегда на 90° больше дирекционного угла линии простирания залежи.

Углом падения залежи δ называется вертикальный угол, составленный линией падения с горизонтальной плоскостью. Угол

падения изменяется от 0 до 90°.

Глубиной залегания залежи h в точке A называется расстояние по отвесной линии от поверхности висячего бока залежи до земной поверхности, т. е. $h = AA_0$.

Линией выхода залежи на земную поверхность называется линия на поверхности залежи, во всех точках которой $h = 0$.

Мощностью залежи m называется расстояние между поверхностями ее висячего и лежащего боков. В зависимости от направлений, по которым измеряются эти расстояния, мощности различаются. Числовые значения геометрических параметров залежи могут быть определены непосредственным и косвенным способами.

Непосредственным называется такой способ определения элементов залегания, когда в естественных или искусственных обнажениях залежи эти элементы измеряются в натуре.

Косвенным называется такой способ определения этих элементов, когда непосредственно измеряются другие, доступные для измерений величины, а по ним графическими построениями или аналитическими вычислениями определяются требуемые значения величин элементов залегания.

Лекция 25 Гипсометрические планы

Гипсометрическим планом принято называть чертеж, на котором в проекции на горизонтальную плоскость в уменьшенном виде (т. е. в определенном масштабе) изображена в изогипсах поверхность кровли или почвы залежи. Гипсометрические планы составляют в крупных масштабах, и этим они отличаются от структурных карт, которые в стратоизогипсах отображают поверхность маркирующего горизонта на большой площади, обычно в мелком масштабе.

Гипсометрические планы имеют следующее значение:

- 1) они дают пространственное представление об условиях залегания залежи (пласта) и о геологической структуре месторождения;
- 2) служат основой для проектирования геолого-разведочных скважин и горных выработок;
- 3) используются для подсчета запасов пластовых месторождений (способ В. И. Баумана) и для перспективного и текущего планирования горных работ;

4) служат основой для построения изолиний различных изогradientов при изучении геотермического режима горных пород, газоносности пластов, при изучении гидрогеологии месторождения и при геофизических исследованиях недр.

Построение гипсометрических планов производят различными способами, что зависит от типа месторождения и принятой методики разведки.

Построение гипсометрических планов по высотным отметкам отдельных точек почвы или кровли пласта

В этом случае гипсометрические планы строят следующим образом (рис.25.1):

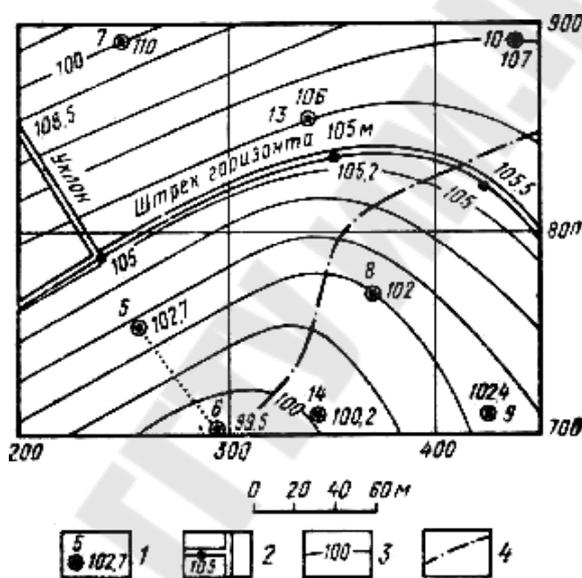


Рис.25.1 Гипсометрический план почвы пласта K_4 :

1 – номер скважины; 2 – горная выработка по пласту; 3 – изогипсы почвы пласта; 4 – ось синклинали

1) на план принятого масштаба по координатам наносят устья скважин, точки входа скважин в пласт (для планов кровли) и точки выхода для почвы залежи, а также все те точки, в которых были определены высотные отметки пласта;

2) высотные отметки выписывают на план возле точек входа или точек выхода скважин (для почвы);

3) проанализировав числовые отметки кровли или почвы залежи, намечают на плане так называемые инвариантные линии, т. е. линии максимальных отметок – «водораздельные линии» и «водосоединительные»;

4) задавшись сечением изогипс, производят интерполирование ступенчатых отметок по линиям скатов, т. е. находят отметки, кратные выбранному сечению;

5) одноименные отметки соединяют плавными кривыми, и получают изогипсы кровли или почвы залежи.

Построение изогипс залежи следует начинать с наиболее изученной части месторождения. Если на некоторых участках месторождения можно по-разному провести изогипсы залежи, то это означает, что в этом месте данных недостаточно и требуются дополнительные наблюдения.

Построение гипсометрических планов при помощи вертикальных разрезов

Если месторождение разведуют буровыми скважинами, расположенными по разведочным линиям, то по этим линиям обязательно строят вертикальные геологические разрезы в масштабе плана (рис.21.2) и при построении гипсометрического плана обязательно используют вертикальные разрезы.

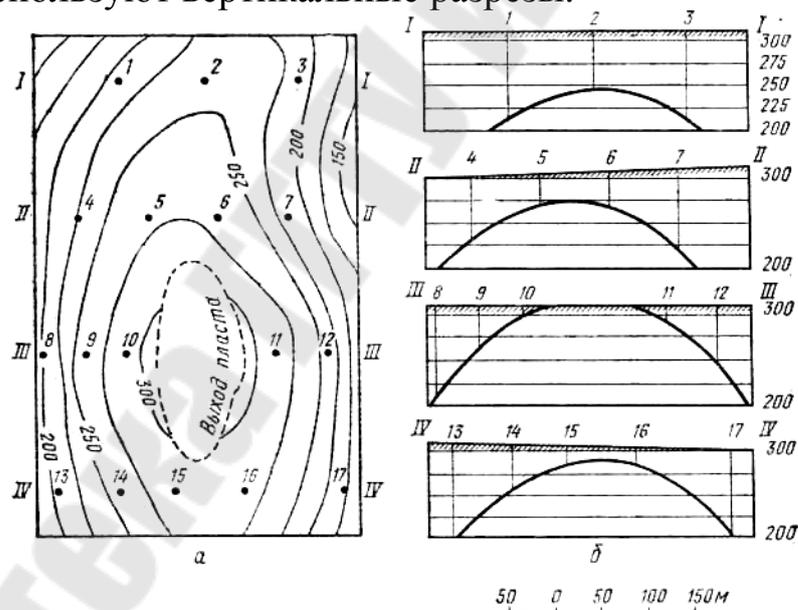


Рис.21.2 Построение гипсометрического плана по разрезам: а – гипсометрический план кровли пласта; б – вертикальные разрезы

На них строят шкалу глубин справа и слева на разрезе (рис. 21.2) и проводят горизонтально секущие линии, отстоящие по высоте на расстоянии принятого сечения изогипс почвы или кровли пласта (в данном случае через 25 м). На разрезах легко найти точки (рис.21.2, б), например, по линии I-I точки с отметками 200, 225, 225 и 200, относящиеся к кровле пласта. Затем эти точки с разреза I-I переносят

на план (рис.21.2,а) на линию $I-I$, с разреза $II-II$ на линию $II-II$ плана и т. д. Если на плане соединить точки с одноименными отметками, то получим в плане изогипсы кровли пласта. Судя по характеру изогипс кровли видно, что месторождение имеет форму брахиантиклинальной складки

Способ нормалей применяется при построении структурных карт мелкого масштаба. Он удобен в тех случаях, когда нормальные (истинные) мощности осадочных отложений и мощности пород между пластами хорошо выдерживаются на значительных площадях и на глубину; когда имеется хорошая обнаженность горных пород и на основе геологической съемки получена карта выходов угольных пластов и маркирующих горизонтов на поверхность (рис. 21.3), а также имеется нормальная стратиграфическая колонка пород изучаемого района.

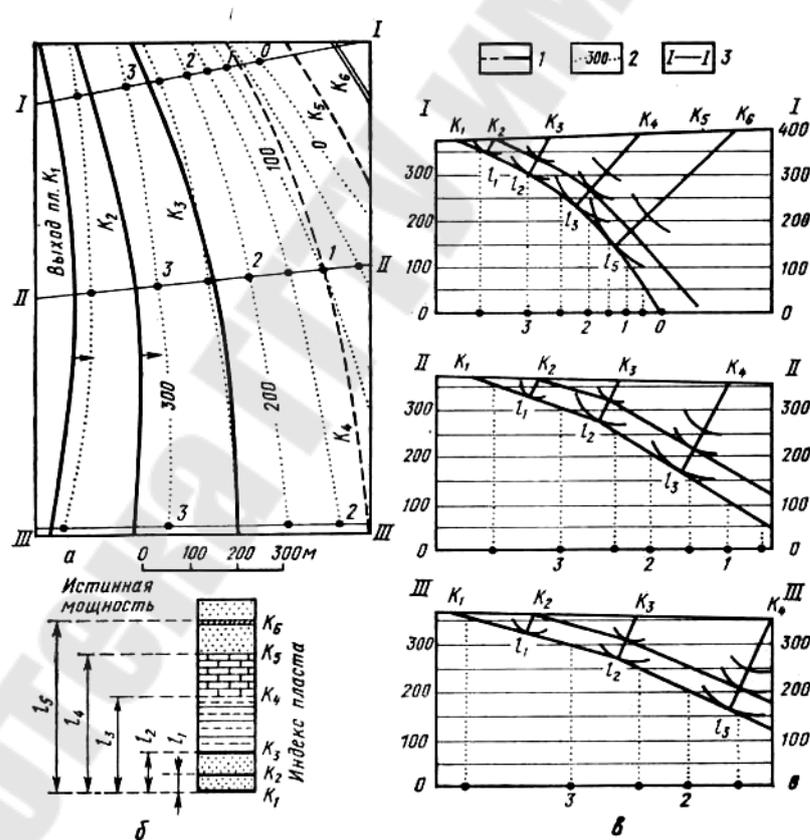


Рис.21.3 Построение плана почвы пласта по способу нормалей: а – карта выходов и изогипс пласта K_1 ; б – нормальная стратиграфическая колонка; в – вертикальные разрезы; 1 – выход пласта на поверхность; 2 – изогипсы почвы пласта K_1 , 3 – линия разреза

Построение гипсометрии кровли малоразведанного пласта по

гипсометрии хорошо разведанного маркирующего горизонта (пласта) при помощи вычитания поверхностей (способ «карт схождения»). При разведке свиты пластов часто возникает задача построения гипсометрии кровли малоразведанного и глубоко залетающего пласта по данным гипсометрии хорошо разведанного маркирующего горизонта (пласта), залегающего выше. П. К. Соболевский предложил решение этой задачи про водить при помощи вычитания поверхностей, полагая, что в толще осадочных отложений действует закон соподчинения.

Для характеристики геологического строения и гидрогеологических условий разработки будущего месторождения при разведке нередко строят графики изогипс поверхности размыва древних коренных пород (карты древнего размыва), поверхности коренных пород россыпных месторождений (изогипсы постели россыпи), изогипсы поверхности водоупорного горизонта подземных вод, изогипсы поверхности уровня подземных вод (карты гидроизогипс) и графики изогипс поверхностей – тектонических нарушений, которые составляют на основе разведочных данных и наблюдений, используя при этом общие принципы методики геометризации недр.

Практическое значение гипсометрических планов

Гипсометрические планы наилучшим образом характеризуют пространственное положение и элементы залегания залежи. Пользуясь гипсометрическим планом, можно решать следующие задачи.

1. Изогипсы дают четкую качественную характеристику изменения простирания поверхности залежи. Дирекционный угол α простирания залежи в любой точке A на ее поверхности равен дирекционному углу направления касательной к изогипсе, проходящей через данную точку. Угол α может быть измерен графически по плану.

2. С помощью изогипс графически можно определить угол падения поверхности залежи в любой ее точке.

3. На совмещенном гипсометрическом плане можно определить вертикальную и горизонтальную мощности залежи в любой ее точке. Вертикальная мощность залежи в заданной точке плана равна разности гипсометрических отметок данной точки на висячей и лежащей поверхностях залежи. Горизонтальная мощность залежи в данной точке поверхности висячего бока в заданном направлении

равна расстоянию от этой точки по заданному направлению до точки его пересечения с одноименной изогипсой поверхности лежащего бока.

4. Совместив гипсометрический и топографический планы, можно определить глубину залегания любой точки залежи из выражения

$$h = z_n - z_r$$

где z_n – отметка этой точки на поверхности земли; z_r – гипсометрическая отметка той же точки на поверхности висячего бока залежи.

5. По гипсометрическому плану можно построить вертикальные разрезы залежи в любом направлении. Замкнутые изогипсы висячего и лежащего боков залежи представляют собой линии горизонтальных сечений залежи.

6. Гипсометрические планы используются для рационального проектирования детально-разведочных работ, а также при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых.

7. Гипсометрические планы используются для определения рационального места закладки шахтных стволов и определения планового положения проектируемых штреков, проводимых по пласту.

8. Гипсометрические планы дают наглядное представление о характере и форме имеющихся на данном участке тектонических нарушений залежи. По ним определяются направление и длина выработки на смежную – смещенную часть залежи, а также составляются прогнозы распространения нарушения на соседние пласты и т. Д.

Лекция 26 Использование аксонометрических проекций при геометризации недр

Аксонометрические проекции. Аксонометрические проекции относятся к частным случаям параллельного проектирования. Слово аксонометрия означает осеизмерение. Оно наиболее точно выражает сущность метода, который заключается в том, что изображаемый объект относится сначала к системе трех взаимно перпендикулярных координатных осей, а затем параллельным пучком лучей проектируется вместе с координатными осями на плоскость проекции.

В зависимости от угла между направлением проектирования и плоскостью проекции различают прямоугольные и косоугольные аксонометрические проекции.

На рис.26.1 пространственная точка A , отнесенная к системе прямоугольных координатных осей XYZ , вместе с осями проектируется пучком параллельных лучей на плоскость аксонометрической проекции P . На этой плоскости получаем проекцию точки и аксонометрические координатные оси. Если на прямоугольных координатах отложить равные отрезки, то на аксонометрических осях они изобразятся с искажениями. Отношение аксонометрической, или искаженной, длины отрезка по осям к натуральной называется коэффициентом или показателем искажения по осям и обозначается:

$$p = x'/x; \quad q = y'/y; \quad r = z'/z.$$

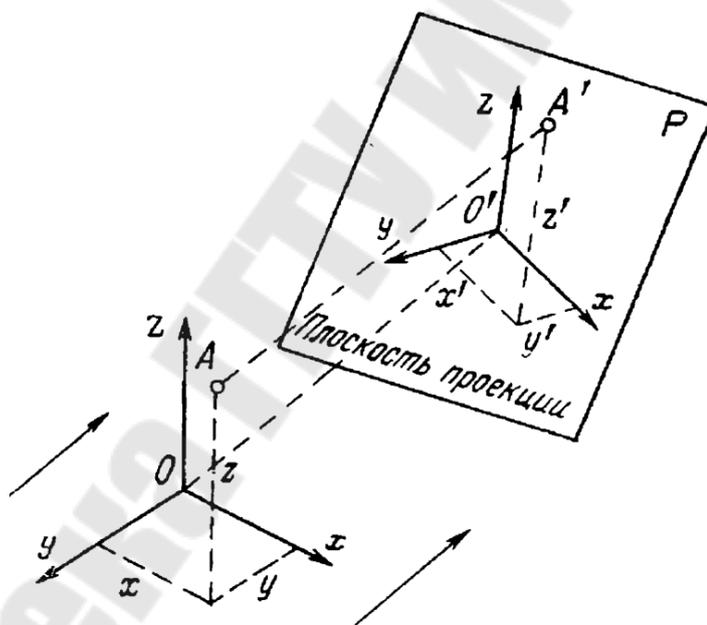


Рис.26.1 Схема аксонометрического проектирования

Величина показателей искажения изменяется от единицы, когда ось параллельна плоскости проекции, до нуля, когда она перпендикулярна ей.

В прямоугольной аксонометрической проекции имеет место следующая зависимость:

$$p^2 + q^2 + r^2 = 2$$

Меняя направление проектирования и положение плоскости аксонометрических проекций, можно получить самые разнообразные

направления аксонометрических осей и величины коэффициентов искажения по осям.

Согласно теореме Польке-Шварца, три отрезка x' , y' , z' произвольной длины, лежащие в одной плоскости и выходящие из одной точки O' под произвольными углами друг к другу, представляют собой параллельную проекцию трех равных отрезков x , y , z , отложенных на прямоугольных осях координат от начала O . Другими словами, для наглядного изображения объекта в аксонометрической проекции имеется широкий выбор направления осей и коэффициентов искажений. В аксонометрических проекциях все отрезки прямых в пространстве, параллельные какой-либо координатной оси, имеют одинаковые показатели искажения, между тем как по другим осям они могут быть различными.

Если коэффициенты искажения одинаковы по всем трем осям, то аксонометрическая проекция называется изометрической, если только по двум осям, – диметрической. При различных коэффициентах искажения по всем трем осям проекция называется триметрической.

В практике геолого-маркшейдерских работ чаще применяют именно эти виды аксонометрических проекций.

Определение истинных углов, длин и площадей. Длина отрезков, параллельных какой-либо аксонометрической оси, измеряется непосредственно в масштабе по этой оси. Длина отрезков, не параллельных осям, а также углы между отрезками в плоскостях аксонометрических осей вычисляют аналитически или проще – с помощью аксонометрического транспортира, получаемого для каждой координатной плоскости путем трансформирования окружности с радиусами-векторами, равными единице длины в масштабе исходного плана. Истинные площади фигур в координатных плоскостях с масштабами по осям $1:M_x$ и $1:M_y$ и острым углом между ними β определяют по формуле

$$S_{\text{ист}} = \frac{M_x M_y}{\sin \beta} S_{\text{акс}},$$

где $S_{\text{акс}}$ – площадь фигуры в аксонометрической проекции, измеряемая планиметром или иным способом.

Лекция 27 Сдвигание горных пород

Общие сведения о процессе сдвижения. Проведение в горном массиве выработки вызывает перераспределение напряжений в некоторой зоне вокруг нее (рис.27.1, б). Причем возникают зоны концентрации и разгрузки напряжений, часто ведущие к появлению разрушений горных пород.

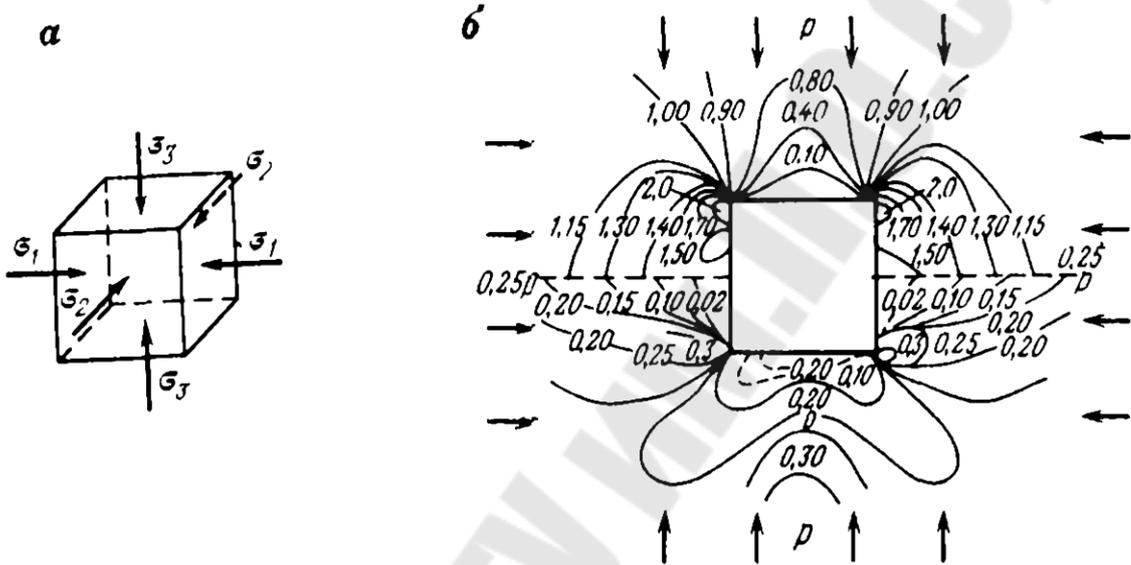


Рис.27.1 Схема действия напряжений на кубик (а) и распределение напряжений вокруг выреза (б)

С увеличением размеров выработанного пространства зона разрушения горных пород, называемая сдвижением горных пород, расширяется. При некотором соотношении размеров выработанного пространства и глубины горных работ зона сдвижений достигает земной поверхности.

Параметры процесса сдвижения. Участок земной поверхности, затронутый сдвижением, называется мульдой сдвижения. Обычно мульда сдвижения представляет тарелкообразную или корытообразную (редко чашеобразную) впадину на земной поверхности. Представляет интерес сечение мульды, по которому ее края наиболее удалены от границ выработки. Эти сечения, как правило, проходят через центр мульды, ориентированы по простиранию и падению пластов и называются главными сечениями мульды сдвижения.

Распределение сдвижений и деформаций земной поверхности в пределах мульды неравномерно. Часть мульды сдвижения, где возникли деформации земной поверхности, вызывающие в

сооружениях повреждения, нарушающие нормальную их эксплуатацию, называется зоной опасного сдвижения. Для обозначения на поверхности этой зоны используются углы сдвижения, под которыми подразумевают внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах в главных сечениях мульды по простиранию и вкrest простирания залежи (пласта) полезного ископаемого горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами критических деформаций поверхности.

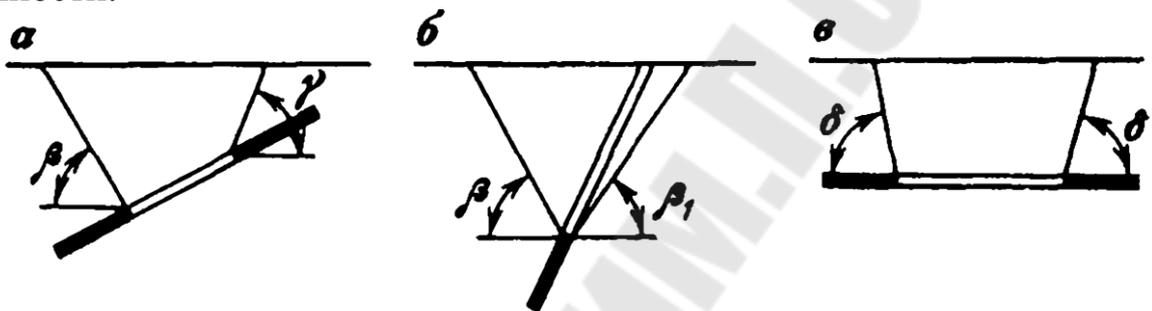


Рис. 27.2 Углы сдвижения; а, б – на разрезах вкrest простирания; в – на разрезах по простиранию

Углы сдвижения определяются в условиях полной подработки, под которой подразумевается такое состояние дна мульды сдвижения, когда дальнейшее расширение обрабатываемой площади не вызывает увеличения сдвижения в этой части мульды. Не все деформации, возникающие при сдвижении поверхности, опасны для обрабатываемых объектов. Наибольшие деформации земной поверхности, не вызывающие повреждений и не нарушающие нормальную эксплуатацию поверхностных сооружений, называются критическими, или предельно безопасными деформациями поверхности. Хотя для различных сооружений эти деформации будут разными, опыт показывает, что для большинства сооружений можно принять следующие значения опасных деформаций: наклон $4 \cdot 10^{-3}$, кривизны $0,2 \cdot 10^{-3}$, растяжение $2 \cdot 10^{-3}$.

Различают углы сдвижения в коренных породах и наносах. В коренных породах вкrest простирания углы сдвижения обозначаются в висячем боку со стороны нижней границы выработанного пространства через β , со стороны верхней границы – через γ (рис 27.2, а). При крутом падении опасная зона определяется от нижней границы выработанного пространства в висячем боку углом сдвижения ρ , в лежащем – углом сдвижения β_1 (рис.27.2, б). На разрезе по

простирацию углы сдвижения принимаются одинаковыми с обеих сторон выработанного пространства и обозначаются через δ (рис.27.2, в). В наносах углы сдвижения равны по всем трем направлениям и обозначаются φ .

Углы сдвижений зависят от строения месторождения и физико-механических свойств пород, поэтому они различны для разных месторождений. Их величины для угольных бассейнов и основных рудных месторождений определены в результате инструментальных наблюдений и даны в соответствующих правилах охраны сооружений от вредного влияния подземных горных разработок.

Граничными углами β_0 , γ_0 , δ_0 , β_0 называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные при полной подработке на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с граничными точками, т. е. точками на земной поверхности, в которых оседание не превышает средней погрешности нивелирования. Практически за границы мульды сдвижения принимаются точки с оседаниями 15 мм или горизонтальными деформациями растяжения $0,5 \cdot 10^{-3}$.

Различают на разрезе вкrest простираания при пологом падении граничные углы β_0 , γ_0 (рис.27.3, а), при крутом падении граничные углы β_0 , β_{01} и на разрезе по простираанию δ_0 .

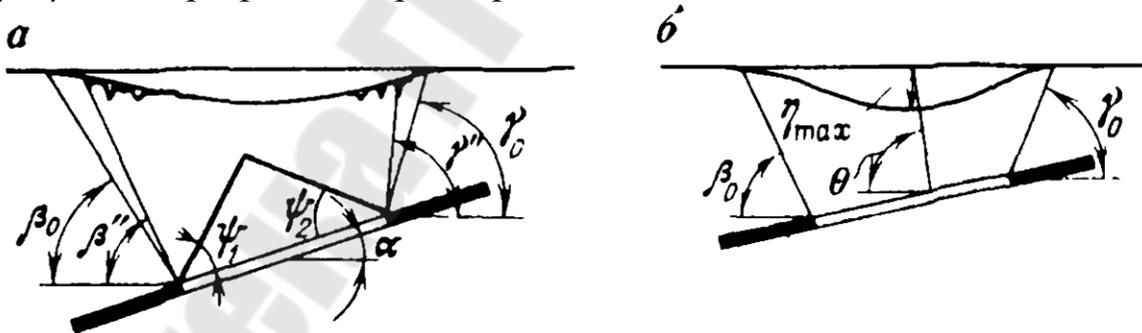


Рис.27.3 Граничные углы, углы полных оседаний, угол максимальных оседаний и углы разрывов

На величину граничных углов существенное влияние оказывают глубина разработки, угол падения пласта и плотность пород.

Граничные углы используются при предрасчете сдвижений и деформации поверхности. Центр мульды сдвижения при горизонтальном залегании располагается над серединой выработанного пространства, а при наклонном – сдвинут

относительно нее. Угол θ (рис.27.3, б) называется углом максимальных оседаний и определяется углом со стороны падения пласта, образованным на вертикальном разрезе в главном сечении мульды вкрест простирания горизонтальной линией и линией, соединяющей середину выработки с точкой на поверхности, испытавшей максимальные оседания, или с серединой плоского дна мульды.

При большой величине отношений линейных размеров выработанного пространства к глубине залегания на поверхности может образоваться обширная площадь, все точки которой осядут на равную и максимальную в данных условиях величину.

Дальнейшее расширение выработки не ведет к увеличению оседания поверхности, последняя рассматривается в условиях полной подработки. В противном случае подработка называется неполной.

Определение зоны полной подработки производится с помощью углов полных сдвижений, которыми называются внутренние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды линий пласта и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами плоского дна мульды сдвижения.

Различают углы полной подработки на разрезе вкрест простирания: ψ_1 – со стороны падения; ψ_2 – со стороны восстания выработанного пространства (см. рис.27.3, а) и на разрезе по простиранию; ψ_3 – с обеих сторон выработанного пространства.

Для характеристики процесса сдвижения часто используется коэффициент подработанности, под которым понимается отношение длины очистной выработки к минимальной ее длине, необходимой для полной подработки земной поверхности по данному направлению. Применяются два коэффициента подработанности: по линии падения и по линии простирания пласта.

В ряде случаев при сдвижении поверхности возникают трещины. Зона мульды сдвижения, в которой они наблюдаются, оконтуривается углами разрывов, представляющими внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с ближайшими к краям мульды трещинами на земной поверхности (см. рис.27.3, а).

Различают углы разрывов на разрезе вкрест простирания пласта β'' и γ'' и по простиранию пласта δ'' .

Оседание поверхности τ , являющейся вертикальной составляющей вектора сдвижения, изучено значительно полнее других параметров. Принято различать максимальное оседание при полной подработке η_0 и неполной подработке η_m .

Вертикальные деформации возникают вследствие неравномерности оседаний и характеризуются наклонами, кривизной и радиусом кривизны.

На рис.27.4, а точки 1, 2, 3 – реперы на поверхности до подработки; 1', 2', 3' – реперы на поверхности после подработки, η_1, η_2, η_3 – оседания соответствующих реперов; s_{1-2}, s_{2-3} – расстояния между точками 1–2 и 2–3 до подработки.

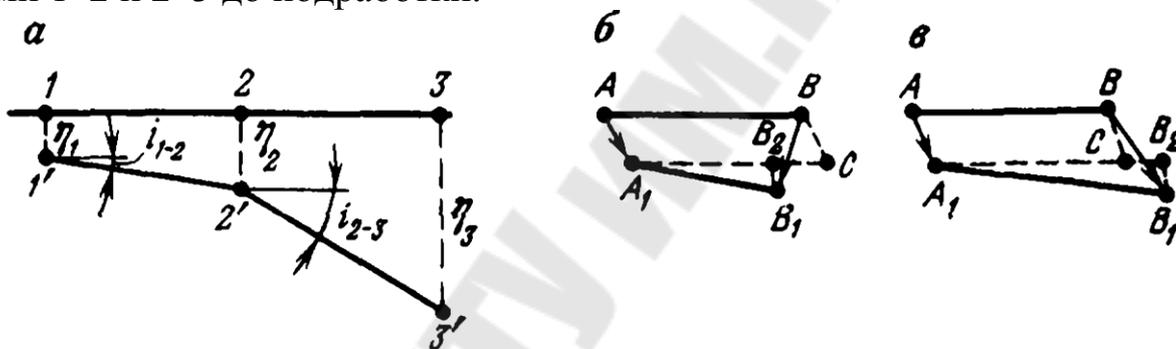


Рис.27.4 Деформации вертикальные (а), горизонтальные (б), сжатия и растяжения (в)

Наклон интервала поверхности определяется по отношению к его первому положению. Например, наклон отрезка 2–3 после подработки выражается углом i_{2-3} . На практике о величине наклона судят по разности оседаний крайних точек интервала, отнесенной к первоначальной его длине

$$i_{2-3} = (\eta_3 - \eta_2) / s_{2-3}.$$

Наклон соседних интервалов мульды сдвижения в большинстве случаев неодинаков. Эта неравномерность оседаний дает второй вид вертикальных деформаций – кривизну. Значение неравномерности оседаний поверхности характеризуется разностью углов наклона двух соседних отрезков

$$k_2 = (i_{2-3} - i_{1-2}) / \left(\frac{s_{1-2}}{2} + \frac{s_{2-3}}{2} \right),$$

т. е. кривизной – отношением разности наклона соседних интервалов к полусумме этих интервалов.

Радиусом кривизны R является величина, обратная кривизне. Горизонтальные деформации – одна из наиболее важных характеристик процесса сдвижения поверхности. Рассмотрим совместное движение двух точек поверхности: A и B (рис.27.4,б,в). В результате сдвижения точка A переместится в точку A_1 , а B – в точку B_1 . В случае сжатия отрезка AB соотношение между векторами AA_1 и BB_1 будет таково, как показано на рис. 34.5, б, а в случае растяжения – как на рис.27.4,в.

Приведем через точку B линию, параллельную и равную вектору AA_1 . Очевидно, вектор A_1B_1 характеризует расстояние AB после деформаций поверхности. Относительная горизонтальная деформация будет

$$\varepsilon_{AB} = (AB - A_1B_1) / AB.$$

Таким образом, горизонтальная деформация (растяжение – сжатие) является укорочением или удлинением длины интервала, отнесенным к первоначальной длине.

Продолжительность процесса сдвижений представляет интерес главным образом при оценке возможности возведения сооружений на подрабатываемой площади. В процессе сдвижения принято различать три стадии: начальную, активную и затухающую. Под начальной стадией понимается отрезок времени, во время которого возникает процесс сдвижения. В большинстве случаев начальная стадия сдвижения протекает до подхода забоя под наблюдаемую точку и характеризуется скоростью оседания (от десятых долей до 1 – 1,5 мм/сут). Под активной стадией принято считать период, когда скорость оседания превышает 50 мм/сек при пологом залегании и 30 мм/мес – при крутом залегании пласта. Процесс сдвижения считается законченным на ту дату наблюдений, после которой сумма оседаний в течение 6 мес не превышает 30 мм.

Длительность процесса сдвижения в основном зависит от глубины горных работ, мощности пласта, физико-механических свойств пород. Траектория движения точек и распределение величин сдвижений и деформаций в пределах мульды сдвижения имеют вполне определенные закономерности. По мере подвигания забоя точки поверхности при приближении забоя сдвигаются ему навстречу. Затем после того, как забой пройдет под точкой, сдвигаются точки в сторону удаляющегося забоя и, наконец, при достаточном удалении забоя точки начинают двигаться по вертикали вниз.

Список литературы

1. Авакян В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ. - М.: «Амалданик», 2012. - 330 с.
2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 1, 2. - М.: ФГУП «КАРТГЕО - ЦЕНТР», 2006. - 360 с.
3. Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. - М.: «Недра», 1990. - 233 с.
4. Ворошилов А.П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ: Учебное пособие. - Челябинск: АКСВЕЛЛ, 2007. - 163 с.
5. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: ФГУП «КАРТГЕОЦЕНТР», 2004. - 355 с.
6. Герасимов А.П., Назаров В.Г. Местные системы координат. - М: ООО «Прспект», 2010. - 64 с.
7. ГОСТ Р 51794-2008 «Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек».
8. ГОСТ 24846-81 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений».
12. ГОСТ 21778-81 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения».
9. ГОСТ 21779-82 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски».
10. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и её применение. Тверь.: ООО ИПП «АЛЕН», 2006.
11. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. - М.: Картгеоцентр - Геодезиздат, 1993. - 104 с.
12. Яковлев Н.В. Высшая геодезия: учебник для вузов. - М.: «Недра»: 1989. - 445 с.

Содержание

Лекция 1 Предмет и задачи геодезии	3
Лекция 2 Планетарные модели Земли	5
Лекция 3 Система геодезических координат	6
Лекция 4 Содержание планов и карт	9
Лекция 5 Номенклатура топографических карт	12
Лекция 6 Ориентирование направлений	18
Лекция 7 Рельеф	24
Лекция 8 Задачи, решаемые на топокарте	32
Лекция 9 Геодезические сети, построенные наземными методами	36
Лекция 10 Плановые спутниковые сети	42
Лекция 11 Элементы теории погрешностей	47
Лекция 12 Понятие о математической обработке результатов геодезических измерений	52
Лекция 13 Методы и приборы измерения углов	54
Лекция 14 Методы и приборы измерения расстояний	66
Лекция 15 Методы и приборы измерения превышений	73
Лекция 16 Автоматизированные средства регистрации математической и графической обработки результатов геодезических измерений и наземных съёмки	81
Лекция 17 Геодезические работы на трассе нефтепровода	84
Лекция 18 Производственное значение и подразделение методики геометризации месторождений	95
Лекция 19 Геометрический анализ геохимического поля и топографическая поверхность	98
Лекция 20 Методы проектирования точек и проекции с числовыми отметками	104
Лекция 21 Плоскость в проекции с числовыми отметками	110
Лекция 22 Способы изображения топографических поверхностей	113
Лекция 23 Классификация математических действий с топографическими поверхностями	120
Лекция 24 Форма и геометрические параметры залежи полезного ископаемого	123

Лекция 25 Гипсометрические планы	125
Лекция 26 Использование аксонометрических проекций при геометризации недр	130
Лекция 27 Сдвижение горных пород	133
Список литературы	139

Абрамович Ольга Константиновна

**ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО
И ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ НЕДР**

Пособие

**по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-51 02 02
«Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 12.02.18.

Пер. № 6Е.

<http://www.gstu.by>