

Министерство Образования Республики Беларусь  
Учреждение Образования  
«Гомельский государственный технический университет имени П.О.  
Сухова»

Кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений и  
транспорт нефти»

**ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ  
НЕДР**

Пособие по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-51  
02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Гомель 2017

УДК 622.1+550.8  
ББК 33.12

Рекомендовано кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений и транспорт нефти» ГГТУ им.П.О. Сухого (протокол №5 от 24.11.2016 г.)

Рецензент: А.П. Гусев, к.г.-м.н., доцент, декан геолого-географического факультета УО ГГУ им. Ф.Скорины;

### **Абрамович О.К.**

Геодезия, маркшейдерское дело и геометризация недр: пособие по одному курсу для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» дневной и заочной форм обучения / О.К. Абрамович – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017 - 141 с.

В пособии 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 съёмок, геометризации формы залежей с одинаковыми физико-механическими свойствами и процессами, протекающими в недрах, геометризации пространственного положения скважин. Приведены методы прогнозирования изучаемых показателей, способы подсчёта запасов и маркшейдерского контроля оперативного учёта добычи нефти и газа и процесса разработки. Уделено внимание современным методам ведения съёмочных и инженерных работ, в частности использованию спутниковых навигационных систем.

## Содержание

Введение.....	5
Словарь терминов.....	12
Тема 1 Общие сведения о формировании и развитии геодезии.....	42
Тема 2 Планетарные модели Земли.....	43
Тема 3 Система геодезических координат.....	45
Тема 4 Содержание топографических планов и карт.....	48
Тема 5 Элементы топографической карты.....	50
Тема 6 Понятие ориентирования.....	55
Тема 7 Рельеф и способы его изображения на топографических картах...61	
Тема 8 Задачи проектирования, решаемые на топографических картах....68	
Тема 9 Геодезические сети, построенные наземными методами.....72	
Тема 10 Плановые спутниковые сети.....77	
Тема 11 Элементы теории погрешностей.....94	
Тема 12 Понятие о математической обработке результатов геодезических измерений.....99	
Тема 13 Методы и приборы измерения углов.....101	
Тема 14 Методы и приборы измерения расстояний.....119	
Тема 15 Методы и приборы измерения превышений.....125	
Тема 16 Автоматизированные средства регистрации математической и графической обработки результатов геодезических измерений и наземных съёмки.....132	
Тема 17 Геодезические работы на трассе нефтепровода.....135	
Тема 18 Производственное значение и подразделение методики геометризации месторождений.....158	
Тема 19 Геометрический анализ геохимического поля и топографическая поверхность.....167	
Тема 20 Методы проектирования точек и проекции с числовыми отметками.....172	
Тема 21 Преобразование проекций для решения конкретных задач с числовыми отметками в горной практике.....177	
Тема 22 Способы изображения топографических поверхностей.....181	
Тема 23 Классификация математических действий с топографическими поверхностями.....187	

Тема 24 Форма и геометрические параметры залежи полезного ископаемого.....	191
Тема 25 Гипсометрические планы.....	200
Тема 26 Использование аксонометрических проекций при геометризации недр.....	210
Тема 27 Сдвигение горных пород.....	212
Тема 28 Топографическая съёмка на основе лазерного сканирования и контроль строительства инженерных сооружений.....	218
Тема 29 Камеральные работы Credo при решении инженерно-геологических и маркшейдерских задач.....	224
Тема 30 Дистанционные методы в геодезии и геологии.....	228
Тема 31 Основы геодезической гравиметрии.....	236
Тема 32 Разбивочные работы на объектах нефтегазового промысла.....	249
Тема 33 Контроль параметров объекта после разбивки и в процессе эксплуатации.....	256
Тема 34 Определение пространственного положения оси скважины.....	261
Список литературы.....	274

## Введение

Маркшейдерское дело – отрасль горной науки и техники, занимающаяся измерениями на поверхности и в недрах Земли при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и строительстве горных предприятий.

Содержание маркшейдерского дела в начальный период его существования можно охарактеризовать как подземную геодезию. Однако в процессе своего развития маркшейдерское дело как отрасль горной науки превратилось в комплексную науку, включающую в себя помимо методики и техники съемочных работ (называемой собственно маркшейдерским делом) также оценку точности измерений и вычислений, выполняемой на базе применения способа наименьших квадратов и теории вероятностей; маркшейдерско-геодезическое приборостроение; геометрию недр; сдвигание и давление горных пород (геомеханику горных пород) и пр. Общим объединяющим фактором названных разделов являются цели, стоящие перед маркшейдерской наукой, – обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации месторождений на базе инструментальных измерений, выполняемых в конкретных горно-геологических условиях горного предприятия. В связи с ростом удельного веса горнодобывающей промышленности в последние годы происходят расширение и усложнение задач маркшейдерской службы, появляется необходимость резкого повышения качества работы путем внедрения последних достижений науки и техники, наблюдается тенденция к созданию специализированных звеньев маркшейдерской службы для выполнения одного вида работ на кусте предприятий. По-прежнему, первоочередной задачей маркшейдерского дела является составление планов горного предприятия, обеспечивающих нормальное функционирование производства и отображающих как состояние недр совместно с проведенными в них выработками, так и комплекс поверхностных сооружений. В последние годы в области методики и техники маркшейдерских работ получены определенные достижения, выразившиеся в составлении четких методических руководств и разработке нормативных документов; во внедрении новых решений задач ориентирования и построения подземных опорных маркшейдерских сетей; в применении при развитии опорных сетей высокоточных теодолитов и светодальномеров, новых приборов и методик съемки разрезов. В маркшейдерском деле для полевых измерений и камеральной обработки используются разнообразные и весьма сложные приборы и инструменты, часто представляющие собой высокоточные электронные

устройства, эксплуатируемые в трудных условиях горных предприятий и в связи с этим обладающие определенными особенностями.

Важными задачами, решаемыми маркшейдерской наукой, являются изучение пространственных форм месторождений, залегающих в недрах, и изображение их на специальных горно-геометрических графиках; размещение и распределение качественных особенностей полезного ископаемого; определение оптимальных режимов добычи полезного ископаемого для получения конечного продукта с необходимым наперед заданным содержанием полезных и вредных компонентов. Эта область маркшейдерской науки «Геометризация недр», или «Горная геометрия», помогает успешно выполнять функции маркшейдерской службы по контролю за соблюдением мероприятий по охране недр и наиболее полному извлечению полезного ископаемого. Фундаментальное направление в маркшейдерской науке связано с изучением особенностей протекания механических процессов в массивах горных пород и в элементах систем разработки при извлечении полезного ископаемого (горная геомеханика).

Маркшейдерское дело как инженерная дисциплина в своем развитии широко аккумулирует положения таких фундаментальных наук, как математика, физика, механика, философия. Для выполнения измерений и вычислений маркшейдерия использует основные приемы геодезии. Кроме того, она тесно связана со смежными дисциплинами: геодезическим приборостроением, геологией, горным делом, управлением производством и т.д.

Маркшейдер участвует во всех этапах работы горного предприятия, начиная с разведки месторождения и кончая погашением отработавшего свой срок предприятия. Причем каждый этап требует своей специфики производства маркшейдерских работ. *При разведке месторождений* полезных ископаемых маркшейдер участвует в съемке земной поверхности; согласно проекту геологоразведочных работ определяет и задает в натуре положение разведочных выработок; производит съемку разведочных выработок, мест взятия проб, обнажений горных выработок, элементов залегания пластов полезного ископаемого и вмещающих пород; совместно с геологом составляет на основе съемок графическую документацию, отражающую форму и условия залегания месторождения. Существенное значение для оценки месторождений имеют работы маркшейдеров по составлению различных горно-геометрических графиков, отражающих качественные свойства полезного ископаемого. Маркшейдерские планы и разрезы, построенные по данным геологической разведки, используются для подсчета запасов и проектирования горного предприятия. *При проектировании горных предприятий* маркшейдер

участвует в проектно-изыскательских работах; в оформлении границ, месторождения в соответствии с действующими положениями о горных и земельных отводах; в проектировании системы разработки и сооружений поверхностного комплекса; в разработке мер охраны сооружений (поверхностных и подземных) от вредного влияния подземных разработок; в составлении графиков организации и планов горных работ в процессе строительства и эксплуатации месторождения; в подсчете потерь и промышленных запасов полезных ископаемых.

*При строительстве горных предприятий* маркшейдер выполняет широкий круг задач, связанных с перенесением проекта в натуру. Он осуществляет контроль строительства поверхностного комплекса. *Роль маркшейдера при разработке месторождений* полезных ископаемых исключительно велика: он производит съемки выработок; задает направления горным выработкам; по результатам съемок составляет планы; осуществляет контроль ведения горных работ в соответствии с проектами и правилами безопасности; осуществляет наблюдения за сдвижением и давлением горных пород; участвует в составлении мер охраны сооружений, природных объектов, горных выработок от вредного влияния подземных разработок и рекультивации плодородного слоя сельскохозяйственных угодий; составляет квартальные, годовые и перспективные планы развития горных работ; выполняет учет движения балансовых и промышленных запасов, потерь полезного ископаемого.

*Предметом освоения дисциплины* являются следующие объекты:

- Земля в целом как небесное тело;
- гравитационное поле Земли;
- земная поверхность;
- недра Земли.

Геодезия изучает фигуру Земли и её динамику, методы измерений на земной поверхности и в её недрах для составления графической документации в виде планов, карт и разрезов. Она необходима при решении ряда инженерных и народнохозяйственных задач, в том числе и в горно-добывающей промышленности.

Задачи геодезии подразделяются на научные и научно-технические. Решение задач по интенсификации рациональных технологий разработки месторождений невозможно без современных знаний в области геодезии и маркшейдерского дела. В связи с прогрессивными изменениями в технологиях ведения горных работ возникают новые потребности в маркшейдерских работах, что в свою очередь определяет *актуальность* и значение дисциплины, которая занимает важное место при подготовке горных инженеров.

*Цель дисциплины* – научить студента общей технологии ведения геодезических и маркшейдерских работ при разработке и эксплуатации

месторождений нефти и газа.

*Задачи дисциплины* – дать студенту общие теоретические знания и обучить практическим навыкам по ведению геодезических и маркшейдерских измерений, расчетов при разработке и эксплуатации месторождений нефти и газа.

Дисциплина «Геодезия маркшейдерское дело и геометризация недр» связана с рядом других дисциплин специальности, либо использует знания, навыки и умения, полученные в курсах: «Высшая математика», «Физика», «Общая геология» «Инженерная и горная графика», «Разработка нефтяных и газовых месторождений».

### **Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

В результате изучения дисциплины формируются следующие компетенции:

#### ***академические:***

– АК-1. Использовать основные законы естественно-научных дисциплин в своей деятельности.

– АК-2. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;

– АК-3. Применять соответствующий физико-математический аппарат, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии для решения проблем, возникших в ходе деятельности.

– АК-4. Уметь работать самостоятельно.

– АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

– АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

– АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

– АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

– АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

#### ***социально-личностные:***

– СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

– СЛК-6. Уметь работать в команде;

– СЛК-7. На научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности.

– СЛК-8. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со своей деятельностью.

#### ***профессиональные:***

#### ***Производственно-технологическая деятельность:***

– ПК-1. В составе группы специалистов разрабатывать технологическую документацию, принимать участие в создании стандартов и нормативов.

– ПК-2. Разрабатывать стендовое и тестирующее оборудование для технологического процесса разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

– ПК-3. Выявлять причины изменения технологического процесса разработки нефтяных и газовых месторождений, разрабатывать предложения по их предупреждению.

– ПК-4. В составе группы специалистов проводить сертификацию оборудования для добычи нефти и газа.

***Ремонтно-эксплуатационная деятельность:***

– ПК-7. Профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы.

***Проектно-конструкторская деятельность:***

– ПК-14. Пользоваться современными средствами документооборота конструкторской документации на производстве, обосновывать и вносить изменения в конструкторскую документацию.

– ПК-15. Разрабатывать технические задания на проектируемый объект, уметь выбирать структуру и элементарную базу, рассчитывать и анализировать режимы работы, как отдельных узлов, так и изделия в целом.

– ПК-16. В составе группы специалистов или самостоятельно разрабатывать конструкторскую документацию на проектируемое устройство для эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

***Научно-исследовательская деятельность:***

– ПК-24. Анализировать перспективы и направления развития современной техники и технологий добычи нефти и газа.

– ПК-25. Намечать основные этапы научных исследований при подготовке к проектированию новых изделий.

– ПК-26. Проводить анализ патентной чистоты технических решений.

– ПК-27. Проводить подготовку научных статей, докладов, заявок на изобретения.

– ПК-28. Подготавливать техническую документацию к тендерам, проводить экспертизу тендерных материалов.

– ПК-30. Ориентироваться в базовых положениях экономической теории, применять их в условиях рыночной экономики.

В процессе изучения дисциплины обучаемый должен:

***знать:***

– системы геодезических координат, топографические и специальные карты, их применение в горном деле;

– назначение и методы создания плановых и высотных геодезических и маркшейдерских опорных сетей традиционными и спутниковыми методами;

– методы наземных и воздушных топографических съемок объектов горного предприятия;

– требования к точности маркшейдерско-геодезических работ и условия их реализации на практике;

– технику и технологии вычислительной и статистической обработки геодезической информации;

– маркшейдерские работы при проведении траншей;

– способы съемок подробностей;

– задачи маркшейдера при ведении буровзрывных работ;

– маркшейдерские работы при строительстве технологического комплекса на промышленной площадке;

– маркшейдерские работы при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок;

– оперативный учет добычи полезных ископаемых;

– работы по наблюдению за проявлением горного давления и маркшейдерское обслуживание горных работ в опасных зонах;

– маркшейдерскую документацию;

– геометризацию формы, условий залегания и положения залежи полезного ископаемого в недрах;

– геометризацию размещения качественных свойств залежи;

– параметры и факторы влияющие на процесс сдвижения горных пород;

***уметь характеризовать:***

– эффективность традиционных и спутниковых методов создания опорных и съёмочных маркшейдерско-геодезических сетей;

– достоверность графических и числовых материалов прежних и текущих маркшейдерско-геодезических съемок;

– точность задания направления линейного сооружения;

– точность замеров подземных горных выработок;

– величину и характер проявления горного давления;

***уметь:***

– анализировать точность результатов маркшейдерско-геодезических измерений в процессе полевых работ и при пост-обработке числовой информации на соответствие полученных данных установленным нормам допустимых погрешностей;

– анализировать конечные графические и числовые маркшейдерско-геодезические материалы на достоверность отображения ими объекта съемки;

***владеть:***

– опытом работы с геодезическими приборами при создании опорных сетей и выполнении наземных планово-высотных съемок;

– графом вычислительной обработки результатов измерений, выполненных при прокладке теодолитных и нивелирных ходов, тахеометрической и нивелирной съемок;

– технологией составления планов и профилей местности и объектов горного предприятия;

– методикой определения площадей объектов по планам и картам, а также по координатам точек их контуров;

– навыками расчета задания направления прямолинейного элемента или круговой кривой.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

*Абрис* – сделанный от руки схематический план участка местности, на котором показываются контуры угодий, местные предметы, результаты измерений, приводятся названия и другие сведения, необходимые для составления точного плана при теодолитной съемке.

*Азимут геодезический* – двугранный угол, образованный плоскостью геодезического меридиана точки наблюдения и плоскостью, проходящей через нормаль к поверхности референц-эллипсоида в точке наблюдения и данное направление; отсчитывается от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки от 0 до 360°.

*Азимут магнитный* – Горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана до данного направления по ходу часовой стрелки от 0 до 360°. Зависимость между магнитным  $A_m$  и истинным  $\alpha$  азимутами выражается формулой

$$A_m = \alpha - \delta$$

Где  $\delta$  – склонение магнитной стрелки, принимаемое к востоку от истинного меридиана со знаком «+» и к западу – со знаком «-».

*Анаглифический снимок*. Для изготовления анаглифического снимка один снимок стереопары печатают краской одного цвета, другой – на той же подложке, но с некоторым смещением изображения – краской дополнительного цвета. Через анаглифические очки наблюдатель увидит стереоскопическую модель объекта в черно-белых тонах.

*Анаглифическая карта* печатается так же, как и анаглифический аэрофотоснимок, в двух дополнительных цветах. Одним цветом печатается с обычного издательского оригинала, а дополнительным – со специально изготовленного, на котором все элементы местности вычернены с некоторым сдвигом в зависимости от рельефа местности. На анаглифической карте невозможно наносить ситуацию, поэтому в качестве картографического документа она не пригодна, но может быть использована в качестве учебного пособия при изучении метода изображения рельефа горизонта.

*Аномалия силы тяжести* – разность  $\Delta g$  между наблюдаемым (действительным)  $g$  и нормальным (теоретическим)  $\gamma$  значение силы тяжести, т.е.

$$\Delta g = g - \gamma$$

Нормальное значение силы тяжести находится по географической широте  $\varphi$  и высоте  $H$  данной точки. По широте  $\varphi$  вычисляется или

выбирается из таблиц значений  $\gamma_0$  на поверхности уровенного эллипсоида. В величину  $\gamma_0$  вводится поправка (редукция)  $\delta\gamma$  за высоту точки. Высота  $H$  точки берется нормальная или геодезическая. В первом случае аномалию называют «смешанной», а во втором – «чистой».

*Аэрофотоаппараты топографические* предназначены для производства аэрофотосъемки в целях создания топографических карт. Они отличаются высокой точностью построения изображения; размер аэрофотоснимков – 18X18 см; наиболее часто применяемые фокусные расстояния – 70, 100, 140 и 200 мм; фотопленка выравнивается прижимом на стекло, не выравнивание не превышает 20 мкм, стекло входит в расчет объектива; минимальная экспозиция 1:1000 с. АФА т. имеют устройства для регистрации информации, необходимой при фотограмметрической обработке аэрофотоснимков.

*АФА разведывательные*, к ним относятся:

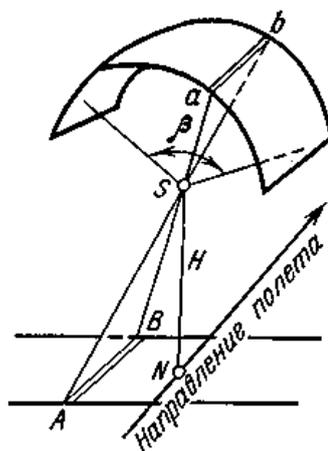
*АФА щелевой.* Фотографирование АФА щ. производится не отдельными кадрами, как топографическим АФА, а непрерывно а фотопленку, движущуюся позади неподвижной узкой щели со скоростью, равной скорости движения изображения местности, и в каждый момент фотографируется только узкая полоса местности поперек линии полета. Регулирование экспозиции осуществляется изменением ширины щели. При аэрофотосъемке АФА щ. пленка на продольное перекрытие не расходует. Следовательно, одним фильмом можно заснять маршрут длиной, равной длине пленки, помноженной на знаменатель масштаба съемки. Поэтому аэрофотосъемка АФА щ. с успехом может применяться при изысканиях, связанных со строительством железных и шоссейных дорог, трубопроводов, линий электропередач и во многих других видах народнохозяйственного строительства.

*АФА панорамный.* В этом АФА фотопленка размещается по цилиндрической поверхности; экспонирование, как и в щелевом АФА, производится через узкую щель.

Пленка в АФА п. во время сканирования находится в неподвижном положении, а перед ее поверхностью движется щель  $AB$  и одновременно, как одно целое с ней, вращается объектив так, что его оптическая ось все время перпендикулярна к плоскости щели.

Существуют также АФА п., в которых объектив неподвижен, а сканирование осуществляется с помощью вращающихся призм или зеркал.

Достоинством АФА п. является большой угол поля зрения, что позволяет сфотографировать широкую полосу местности, от горизонта до горизонта в стороны от линии полета. АФА п. применяется в изыскательских и разведывательных целях.



*Аэрофотоснимок* – фотографическое изображение местности, полученное с самолета или другого летательного аппарата. В геометрическом отношении А. представляет собой центральную (или иную) проекцию, центром проектирования которой служит задняя узловая точка объектива аэрофотоаппарата (АФА).

*Аэрофотосъемка* – фотографирование местности с самолета или какого-либо другого летательного аппарата. А. производится для создания топографических карт по аэрофотоснимкам; изучения и учета лесных фондов; проектирования инженерных сооружений; при выполнении геологоразведочных работ и для ряда других народно-хозяйственных целей.

*Базис геодезический* — расстояние между двумя закрепленными на местности точками, измеренное с высокой точностью и служащее для определения длин сторон *триангуляции*. Базисы геодезической сети 1 класса имеют длину не менее 6 км и измеряются инварными проволоками с относительной ошибкой не более 1:1 500 000.

*Барометрическое нивелирование* – определение разностей высот точек путем измерения атмосферных давлений в этих точках при помощи барометров. Если в точках 1 и 2 измерить атмосферное давление соответственно  $B_1$  и  $B_2$ , а также температуру воздуха  $t_1$  и  $t_2$ , то разность высот ( $H_2 - H_1$ ) этих точек может быть найдена по следующей так называемой *приближенной барометрической формуле*:

$$H_2 - H_1 = K_0(1 + \alpha t_{cp})(\lg B_1 - \lg B_2), \quad (a)$$

где коэффициент  $K_0 = 18\,470$  (по определению М. В. Певцова);

$$\alpha = \frac{1}{273}; \quad t_{cp} = \frac{1}{2}(t_1 + t_2);$$

$\lg B_1$  и  $\lg B_2$  – десятичные логарифмы измеренных значений атмосферного давления, выраженного в мм рт. ст. При использовании таблиц барических ступеней высот формулу (а) представляют в виде

$$H_2 - H_1 = \frac{k}{B_{cp}}(1 + \alpha t_{cp})(B_1 - B_2), \text{ (б)}$$

где  $k = K_0 \mu = 18470 \cdot 0,4343 = 8000$  и  $B_{cp} = \frac{1}{2}(B_1 + B_2)$ .

Величина  $\frac{k}{B_{cp}}(1 + \alpha t_{cp})$  называется *барической ступенью высоты*.

Формулы (а) и (б) справедливы для невозмущенного состояния атмосферы, т. е. при условии, что изобарические поверхности параллельны уровненным поверхностям и что атмосферное давление в течение времени перехода с одной точки на другую остается в этих точках неизменным; практически же при условии, что изменение атмосферного давления и температуры при нивелировании происходит пропорционально времени, температурный градиент остается неизменным. Существует несколько способов барометрического нивелирования, основанных на этом условии.

Способ соответствующих наблюдений осуществляется двумя наблюдателями. Сверив в начальной точке показания барометров, термометров и часов, один наблюдатель остается на ней, производит и записывает отсчеты барометра, термометра и часов через равные промежутки времени, например через 30 мин. Второй наблюдатель производит на определяемых точках в моменты измерений такие же отсчеты и записи. Для вычисления разностей высот записанные первым наблюдателем показания барометра и термометра интерполируются на моменты отсчетов второго.

При нивелировании площадей наблюдения производятся в условленные сроки на станции, выбранной в середине района, от которой прокладываются маршруты до определяемых точек, с возвращением на станцию для контроля показаний приборов.

Более точные способы нивелирования учитывают наклоны (возмущения) изобарических поверхностей и изменения температурного градиента.

*Башмак* (в геометрическом нивелировании) – металлическая подставка в виде диска для установки на нее нивелирной рейки. Вместо башмаков применяют еще забиваемые в землю костыли.

*Болотова способ* – графический способ определения местоположения на карте четвертой точки по имеющимся на ней трем другим (задача Потенота). Способ применяется, когда требуется перенести с аэрофотоснимков на карту какие-либо точки, которых на ней нет, а также

при необходимости определить на карте точку своего стояния на местности. Задача решается при помощи прозрачной бумаги (восковки). На аэрофотоснимок накладывают восковку, и на ней из переносимой точки, как из полюса, прочерчивают направления на три контурные точки снимка, опознанные на карте. Затем восковку накладывают на карту и добиваются такого положения, чтобы прочерченные на ней направления прошли через соответствующие точки на карте. Точка полюса на восковке покажет положение искомой точки на карте. Для определения положения на карте точки своего стояния намечают на восковке, в произвольном месте, точку и визируют через нее на три точки местности, опознанные на карте. После этого накладывают восковку на карту и тем же приемом, как и в случае с аэрофотоснимком, находят положение искомой точки. Б. с. применим и для определения на планшете положения переходной точки при мензуральной съемке.

Исходные три точки следует выбирать так, чтобы углы между прочерченными на восковке направлениями были не менее  $60^\circ$ ; восковка во время визирования должна сохранять неизменное положение. Способ не применим, если определяемая точка находится на одной окружности с исходными.

*Буссоль* – прибор для измерения на местности магнитных азимутов или румбов. Состоит из кольца с угловыми делениями и магнитной стрелки, вращающейся на острие шпиля в центре кольца. Для визирования Б. имеет диоптры, при измерениях ее устанавливают на штатив, кладут на планшет или держат в руках. Б. проверяется сравнением определений с особо хранящейся нормальной буссолью. Разность между показаниями нормальной и рабочей Б. называется поправкой буссоли.

Круглая Б. или коробчатая ориентир-буссоль обычно имеется в комплекте принадлежностей точных и технических теодолитов. Для определения теодолитом магнитных азимутов его ориентируют, для чего устанавливают алидаду на отсчет  $0^\circ 0'$ , закрепляют ее зажимным винтом с горизонтальным кругом и вращением всего прибора устанавливают стрелку Б. на отсчет  $0^\circ 0'$  (на нулевой диаметр). Если нулевой диаметр Б. параллелен коллимационной плоскости зрительной трубы, то отсчет по лимбу при каком-либо другом азимутальном положении визирной оси трубы будет равен магнитному азимуту линии визирования. Б. при теодолитах проверяются сравнениями с нормальной буссолью или измерениями по направлениям, магнитные азимуты которых, с учетом суточных и вековых колебаний, известны.

*Величины измеренные, вычисленные и постоянные*

Все числовые величины, с которыми имеют дело в обычной практике геодезических, топографических и картографических работ, можно разделить на измеренные, вычисленные и постоянные.

*Измеренной величиной*, а точнее и полнее *измеренным значением величины*, называют числовой результат ее измерения.

*Вычисленной величиной* называют числовое значение функции измеренных величин. Любую вычисленную функцию результатов измерений можно назвать косвенно измеренной величиной.

Примерами постоянных математических величин могут служить число «пи» – отношение длины окружности к ее диаметру,  $e$  – основание натуральных логарифмов.

#### *Величины независимые и зависимые*

Независимой в теории ошибок измерений считается такая  $B$ ., неизбежная малая ошибка которой образуется независимо от ошибок других  $B$ ., участвующих в данной обработке измерений.  $B$ . будет *зависимой*, если ее ошибка является функцией ошибок других  $B$ ., участвующих в данных вычислениях. Результат любого измерения – независимая  $B$ . Если третий угол треугольника найден как дополнение до  $180^\circ$  к двум его измеренным углам, то значение такого угла будет зависимой  $B$ . по отношению к двум измеренным углам. Условие независимости образования ошибок лежит в основе многих правил и формул теории ошибок измерений и способа наименьших квадратов.

От понятия «зависимая величина» необходимо отличать понятие «функциональная связь». *Функциональная связь* между результатами измерений может возникать только при наличии избыточно измеренных величин. Так, например, между двумя измеренными углами треугольника никакой функциональной связи не существует. Избыточно измеренный третий угол даст функциональную связь между результатами измерений: сумма трех углов плоского треугольника должна быть равна  $180^\circ$ ; на этом основании можно подсчитать истинную ошибку.

#### *Величины необходимые и избыточные*

Необходимыми называют величины, которые нужно знать (измерить), чтобы однократно найти значения искомым величин. Например, чтобы найти все шесть элементов плоского треугольника, необходимо измерить три его элемента, в числе которых была бы, по крайней мере, одна сторона. При математической обработке геодезических построений необходимые величины называют *необходимыми неизвестными (параметрами)*. Необходимые неизвестные, как и необходимые измеренные величины, можно выбирать, руководствуясь тем, чтобы последующие вычисления были возможно более простыми. Между необходимыми величинами никаких математических соотношений

существовать не может. *Избыточными* называют величины, измеренные сверх необходимых. Если, например, в плоском треугольнике нужно знать величины его углов и с этой целью были измерены все три его угла, то любой один из этих углов будет избыточно измеренной величиной. Избыточно измеренные величины в геодезических построениях позволяют многократно находить значения искомым величин. Каждая избыточно измеренная величина непременно влечет появление математических соотношений между измеренными величинами. В этих соотношениях при подстановке в них измеренных значений величин из-за неизбежных малых ошибок измерений будут возникать *невязки*. Избыточные измерения позволяют обнаруживать промахи и просчеты, судить о точности измерений и найденных значений искомым величин. В практике все величины всегда измеряются многократно, и в геодезических сетях всегда предусматриваются измерения избыточных величин.

*Верньер* (нониус) – отсчетная шкала для измерений долей делений на равномерной шкале.

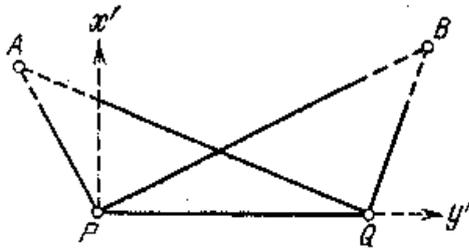
*Высота* точки земной поверхности есть расстояние до этой точки по отвесной линии до уровенной поверхности, принятой в государственной геодезической сети за исходную (нулевую).

В системе ортометрических высот высоты считаются от поверхности геоида. Но ортометрические высоты практически не могут быть точно определены, так как для их вычисления необходимо знать среднее значение силы тяжести на отрезке отвесной линии между геоидом и данной точкой, что практически недостижимо.

*Высота фотографирования* — высота полета самолета над некоторой средней уровенной поверхностью снимаемого района. В. ф. ( $H$ ) устанавливают в зависимости от заданного масштаба аэрофотосъемки ( $1:m$ ), величины фокусного расстояния АФА ( $f$ ) и вычисляют по формуле  $H = mf$ .

В полете В. ф. выдерживается по барометрическому высотомеру; технические требования к аэрофотосъемке, выполняемой для картографирования, допускают отклонение высоты от заданной не более чем на 5%. Высота средней уровенной поверхности определяется по карте как средняя между высшей и низшей точками снимаемого района. Однако если в различных частях района рельеф по своей характеристике различен, то район подразделяется на участки и для каждого участка выбирается своя средняя уровенная поверхность.

*Ганзена задача* – определение координат двух пунктов  $P$  и  $Q$  по измеренным на них направлениям на данные пункты  $A$  к  $B$  и взаимным направлениям  $PQ$  и  $QP$ .



*Гаусса проекция* – изображение поверхности эллипсоида на плоскости под следующими условиями, предложенными немецким ученым К.Ф. Гауссом:

1) один из меридианов эллипсоида принимается за осевой и изображается на плоскости осью абсцисс ( $X$ ) с сохранением длин дуг меридиана;

2) проекция равноугольна (сохраняет на плоскости углы изображаемых фигур).

*Геодезическая задача обратная* – задача, в которой по данным координатам двух точек требуется найти расстояние между ними и взаимные направления. Г. з. о. часто встречается в геодезических вычислениях и в навигационных расчетах. В геодезии рассматривается решение задачи на плоскости, сфере и эллипсоиде. Решение на плоскости и сфере выполняют по формулам соответственно плоской и сферической тригонометрии. Для решения задачи на земном эллипсоиде поверхность последнего предварительно изображают в той или иной проекции на сфере или на плоскости, затем решают задачу на этих более простых поверхностях, после чего вносят в результаты поправки за искажения проекции. Математическая сущность задачи заключается в преобразовании плоских прямоугольных или географических координат в полярные. Выбор метода решения задачи зависит от требуемой точности. Формулы для точного решения задачи на поверхности земного эллипсоида настолько сложны, что на практике их более или менее упрощают, поступаясь в той или иной мере строгостью решения.

*Геодезическая задача прямая* – задача, в которой по данным координатам одной точки, азимуту или дирекционному углу направления с нее на вторую точку и расстоянию между ними требуется найти координаты второй точки и направление с нее на первую.

*Геодезическая сеть* – система пунктов на земной поверхности, закрепленных на местности специальными знаками и центрами, положение которых определено в плановом отношении и по высоте.

Плановые координаты пунктов Г. с. определяются методами *триангуляции, полигонометрии, трилатерации* и их сочетанием, а

положение пунктов по высоте – методами *геометрического* и *тригонометрического нивелирования*. Г. с. служат плановой и высотной основой для топографических съемок и составления карт, а также для изыскательских и строительных работ, связанных с точными расчетами на местности.

*Геодиметр* – прибор для измерения расстояний методом светолокации конструкции шведского ученого Бергстранда; относится к светодальномерам фазового типа.

*Геоид* – фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей в открытых морях и океанах с их спокойной поверхностью (без волн, приливов и течений) и продолженной под материками. Строгое определение положения поверхности Г. относительно отсчетной поверхности практически невозможно, поэтому при изучении физической поверхности Земли роль вспомогательной поверхности выполняет поверхность *квазигеоида*.

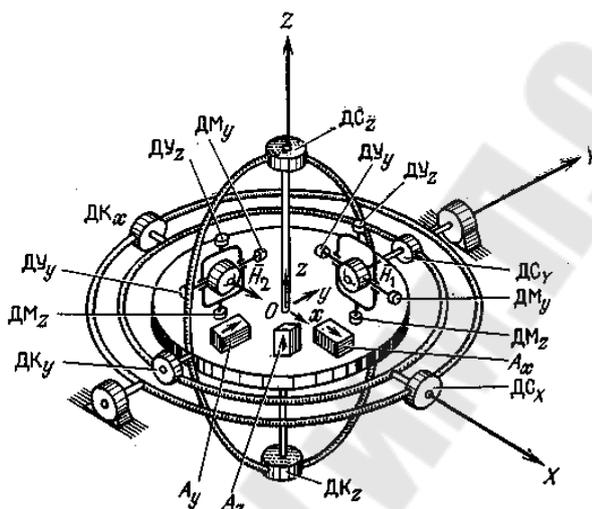
*Гипсометрические планы*. *Горизонталы* поверхности залежи принято называть *изогипсами*, а план поверхности залежи – гипсометрическим планом. *Изоглубинами* называются линии равных вертикальных глубин от земной поверхности до висячего бока залежи.

*Гироскоп* – техническое устройство, главной особенностью которого является чувствительность к поворотам основания в пространстве. По принципиальным основам конструкции Г. могут быть роторными и безроторными. Под *роторными* гироскопами понимают механическое устройство, основу которого составляют быстро вращающиеся динамические симметричные маховики (*ротор*) и его *подвес*, позволяющий оси собственного вращения ротора изменять свое направление в пространстве. Ротором в гироскопах, как правило, служит ротор специального электрического двигателя – *гиромотора*. Помимо гиромотора и системы подвеса в конструкцию роторных гироскопов также входят датчики угла и датчики момента, системы токоподвода и арретирования. Датчики угла предназначены для регистрации поворотов гироскопа, а датчики момента – для наложения на гироскоп внешней силы, стремящегося повернуть гироскоп вокруг какой-либо оси подвеса. Система токопровода должна обеспечивать подвод электропитания к гиромотору при минимальных механических и магнитных воздействиях на гироскоп. С помощью системы арретирования производится скрепление подвижных деталей гироскопа с его корпусом.

*Гироскопическое ориентирование* – метод определения *астрономических азимутов* направлений на земной поверхности, в котором измерения производятся *гиротеодолитом*. В геодезическом производстве и маркшейдерском деле наибольшее распространение

получили гиротеодолиты, у которых чувствительным элементом служит маятниковый *гироскоп* (приборы этого типа малочувствительны к наклонам корпуса, толчкам, и вибрациям).

*Гиротеодолит* – геодезический прибор, предназначенный для автономного определения азимутов направлений. Представляет собой угломерный прибор, в котором объединены *гироскоп* как датчик направления меридиана и *теодолит*.



*Глазомерная съемка* – упрощенный способ топографической съемки с целью быстрого получения наглядного и выразительного, но приближенного по точности схематического плана участка местности. Выполняется иногда в экспедиционных условиях для отображения подробностей местности при отсутствии карты достаточно крупного масштаба, а также при составлении *абриса*.

*Голограмма* – зарегистрированная светочувствительным материалом интерференционная картина, образованная двумя пучками взаимно когерентного света: предметным и опорным пучками.

*Голограмметрия* – новое научно-техническое направление, включающее теорию и практику измерения объектов по их *голограммам* и *голографическим стереомоделям*. Г. является комбинацией методов когерентной оптики, фотограмметрии и картографических работ.

*Горизонталы* (изогипсы) – линии на карте, соединяющие точки земной поверхности с одинаковой высотой.

*Град* – единица десятичной меры углов, равная 1/100 прямого угла; обозначается буквой *g*. Г. делится на 100° (градовых минут), а 1° – на 100<sup>cc</sup> (градовых секунд). 1<sup>g</sup> = 0,9° = 54' = 3240''.

*Градиент температуры земной атмосферы* – мера изменения температуры воздуха с увеличением высоты над земной поверхностью на 1 м.

*Графики изолиний мощности залежи* – чертежи, на которых графически изображается характер изменения мощности залежи при помощи линий равных мощностей (изомощностей), называются *графиками изолиний мощностей*. Мощность залежи на этих графиках принято относить к точкам висячего бока залежи.

#### *Способы построения планов и графиков изомощностей*

Графики и планы изомощностей залежи могут быть построены непосредственным или косвенным способом. При падении залежи под углом до  $30 - 40^\circ$  и разведке ее в основном вертикальными скважинами, как правило, строят план изолиний вертикальных мощностей. При этом исходными данными являются координаты  $x, y$  точек наблюдений (точек встречи скважин с поверхностью висячего бока залежи) и определенные по выходу керна значения вертикальной мощности залежи  $m_v$ , отнесенные к этим точкам. Кроме того, используются данные, полученные в других разведочных точках.

Для построения плана вертикальных изомощностей поступают следующим образом:

а) вычерчивают координатную сетку и в заданном масштабе по координатам  $x, y$  наносят все точки наблюдения;

б) возле этих точек выписывают соответствующие им значения вертикальной мощности залежи, взятые из бурового журнала или определенные тем или иным способом;

в) производят оконтуривание залежи, если это не сделано при построении других графиков.

*Графическая точность* – точность измерения расстояния между двумя точками на бумаге при помощи циркуля и масштабной линейки. Опытным путем установлено, что такие измерения не могут быть выполнены точнее, чем 0,1 мм, поэтому при графических измерениях и построениях величина 0,1 мм считается предельной графической точностью.

*Геометризация месторождений полезных ископаемых* является прикладной частью отрасли горно-технологической науки, называемой геометрией недр.

#### *Методы геометризации месторождений*

Основными методами геометризации месторождений являются методы изолиний, геологических разрезов (сечений) и профилей. Кроме этих основных методов при геометризации сложных залежей применяют метод объемных наглядных графиков. В последние годы при решении некоторых задач стали применять метод математического моделирования с применением ЭВМ.

*Метод изолиний* получил самое широкое применение на практике, когда изучаемый показатель  $V$  меняется в плоскости и в пространстве. Этот метод геометризации часто называют методом графического моделирования, так как изолинии показателя  $V$  на чертеже дают весьма наглядное изображение характера изменения этого показателя. Достоинствами метода изолиний кроме наглядности являются простота построения структурных и качественных горно-геометрических графиков.

*Метод геологических разрезов* и профилей применяется для отображения формы и условия залегания залежи полезного ископаемого в любом вертикальном, горизонтальном и наклонном сечении. Чаще всего строят вертикальные геологические разрезы по простиранию и вкрест простирания залежи.

Этот метод широко применяется при геометризации структуры залежи в начальной стадии разведки. Однако разрезы не могут отобразить характера изменений качественных свойств полезного ископаемого, поэтому при геометризации залежи способ изолиний и способ геологических разрезов рекомендуется применять совместно.

*Метод объемных наглядных графиков* применяется при структурной и качественной геометризации сложных месторождений. Объемные графики строят в виде аффинных и аксонометрических проекций.

*Горно-геометрические графики:*

*Структурные графики* – горно-геометрические графики, дающие наглядное пространственное представление о форме, элементах и условиях залегания, нарушениях и других геометрических особенностях залежи.

*Качественные графики* – горно-геометрические графики, наглядное пространственное представление о характере изменения качественных свойств полезного ископаемого (например, содержание полезных или вредных компонентов).

*Дешифрирование аэрофотоснимков* – изучение аэрофотоснимков с целью опознания изображений на них объектов и определения их качественных и количественных характеристик.

*Дешифровочные признаки изображений объектов* – демаскирующие признаки объектов в том виде, в котором они передаются изображением.

*Заложение ската* – расстояние на топографической карте между смежными горизонталями, зависящее от принятой *высоты сечения рельефа* на данной карте и крутизны ската в данном месте. Заложение ската является проекцией линии ската на горизонтальную плоскость. По величине заложения ската можно определить в нужном месте крутизну ската.

*Измерение горизонтальных углов*

Существуют различные способы измерения горизонтальных углов, причем во всех способах углы измеряют многократно. Основными способами измерения горизонтальных углов являются измерение отдельного угла, способ круговых приемов, измерение углов во всех комбинациях и способ повторений.

*Интерполирование* – отыскание по ряду табличных величин функции ее значения для промежуточного значения аргумента.

*Камеральное трассирование* – трассирование по топографическим картам.

Камеральное трассирование линейных сооружений производится при технико-экономических и технических изысканиях с целью выбора основного направления и вариантов трассы. Однако на местности со сложным рельефом прибегают к трассированию по крупномасштабным планам и в процессе, полевых изысканий. В зависимости от условий местности камеральное трассирование выполняют или способом попыток, или построением линии заданного уклона.

*Способ попыток* применяют в равнинной местности на участках вольных ходов. Между фиксированными точками намечают по карте кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль местности с проектной линией. На основании анализа продольного профиля выявляют участки, в которых трассу целесообразно сдвинуть вправо и влево, чтобы высоты местности ближе подходили к проектным. Эти участки вновь трассируют и составляют улучшенный проект трассы.

В горных условиях на участках напряженных ходов самым распространенным приемом камерального трассирования является нахождение на топографической карте в заданном направлении *линии предельно допустимого уклона* для данной категории трассы или, как его называют, «ход раствором циркуля».

Так как линия нулевых работ обычно представляет собою весьма извилистую кривую, то для размещения основных элементов плана трассы ее спрямляют; затем вписывают кривые, разбивают пикетаж. По горизонталям определяют отметки пикетов и характерных перегибов местности и составляют продольный профиль, по которому проектируют трассу. В местах, где получаются большие объемы земляных работ, сообразуясь с высотами рельефа на карте, трассу несколько смещают в ту или иную сторону и перепроектируют этот участок.

*Беспикетный способ* полевого трассирования, при котором разбивают на местности только рельефные и контурные плюсовые точки, измеряя между ними расстояние дальномером и подсчитывая их пикетажные значения по суммам расстояний (нарастающим итогом).

*Картографическая (географическая) сетка* образуется на карте изображениями линий меридианов и параллелей, проводимых с частотой, устанавливаемой в зависимости от масштаба и назначения карты. На топографических картах крупных и средних масштабов К. с. не прочерчивается, но на внутренних рамках показываются выходы меридианов, и параллелей. К. с. используется для определения по карте географических координат точек местности или для нанесения их по географическим координатам.

*Каталог координат геодезических пунктов* – систематизированный список пунктов, расположенных на площади листа карты масштаба или на участке района работ, в котором указываются названия и класс пунктов, прямоугольные координаты, абсолютные высоты центров и дирекционные углы направлений на соседние пункты или на специальные ориентирные пункты. Пункты в К. к. г. п. обычно располагаются в порядке убывания их абсцисс. К. к. г. п. сопровождаются схемой геодезической сети, описанием центров и другими сведениями, необходимыми при последующем использовании сети.

*Километровая сетка* – координатная сетка на топографических картах, проведенная через интервалы, соответствующие определенному числу километров.

*Клинометры* – приборы, предназначенные для измерения только углов наклона оси скважины на различных ее интервалах, а приборы, измеряющие как углы наклона, так и азимуты оси скважины – инклинометры.

*Компас магнитный* – прибор, служащий для определения сторон горизонта и измерения на местности магнитных азимутов. Основная часть К. м.— магнитная стрелка, свободно вращающаяся на острие стальной иглы. Под влиянием магнитных сил Земли стрелка сама устанавливается в направлении магнитного меридиана. Практическая точность измерения магнитного азимута компасом порядка 3-5°.

*Координатная сетка на топографических картах* – сетка, образуемая вертикальными и горизонтальными линиями, параллельными осям прямоугольных координат.

*Координатные зоны* – ограниченные двумя меридианами части земной поверхности (сфероидические двуугольники), каждая из которых изображается на плоскости совершенно одинаковым образом в плоских прямоугольных координатах в принятой *проекции Гаусса*. Зоны имеют размеры в 6 и 3° по долготе. Средний меридиан зоны изображается на плоскости осью абсцисс  $X$ , а экватор — осью ординат  $Y$ .

*Место зенита (MZ)* – отсчет по вертикальному кругу теодолита, если визирная ось зрительной трубы вертикальна и алидада вертикального круга установлена по уровню в положение, которое она занимает при измерении вертикальных углов.

*Мощность залежи по различным направлениям:*

*Нормальная* (истинная) мощность залежи – кратчайшее расстояние от заданной точки ее поверхности висячего бока до поверхности лежачего бока.

*Горизонтальная* мощность залежи – кратчайшее расстояние от той же заданной точки по горизонтальному направлению до поверхности ее лежачего бока.

*Вертикальная* мощность залежи – расстояние от той же заданной точки по вертикали до поверхности ее лежачего бока.

*Мульда сдвижения* – участок земной поверхности, подвергшийся сдвигению под влиянием горных разработок.

*Наклонение магнитной стрелки* – вертикальный угол, образуемый осью магнитной стрелки с горизонтальной плоскостью.

Н. м. с. обусловлено расположением магнитных полюсов в глубине Земли. В северном полушарии вниз наклоняется северный конец стрелки, а в южном – южный. По мере приближения к магнитным полюсам Н. м. с. увеличивается, достигая в полюсах  $90^\circ$ . Влияние Н. м. с. на работу компаса устраняется передвижением специального грузика на стрелке. Характер распределения Н. м. с. по поверхности земного шара изображается на изоклинических картах. *Изоклина* — линия одинаковых значений Н. м. с. Изоклина, соответствующая Н. м. с.  $0^\circ$ , называется магнитным экватором.

*Нивелирование* – определение высот точек земной поверхности относительно некоторой избранной точки или над уровнем моря.

*Нивелирование геометрическое* – метод определения разностей высот точек посредством горизонтального визирного луча, получаемого при помощи нивелира.

*Ортодромия* – линия кратчайшего расстояния между двумя точками на поверхности земного шара или эллипсоида. Название «ортодромия» принято в навигации и картографии; в математике и геодезии линии кратчайшего расстояния называются «геодезическими».

*Отвесная линия* – направление вектора силы тяжести в данной точке. Направление О. л. характеризуется астрономическими координатами – широтой  $\varphi$  и долготой  $\lambda$ , определяемыми из астрономических наблюдений.

*Отклонение магнитной стрелки* – угол, образованный вертикальной линией (линией абсцисс) координатной сетки топографической карты и направлением магнитного меридиана.

*Ошибки измерений* – отклонения результатов измерений от истинных или более точных значений измеренных величин ошибок измерений неизбежно возникают при любых измерениях вследствие влияния непрерывных изменений (колебаний) всех факторов, участвующих в образовании результата измерения, и именно таких по своей величине изменений, воздействовать на которые нет практической возможности в каждом данном измерении. Этими изменяющимися факторами являются измерительный прибор и его детали, объект измерений, наши органы чувств, внешние условия и т. д. Влияние этих изменяющихся факторов обуславливает неизбежные малые различия между собой результатов измерений, а следовательно, и отклонения их от точных значений измеренных величин. По характеру закономерностей действия этих источников ошибок измерений разделяют на два основных вида – *ошибки случайные* и *ошибки систематические*. Суммарное действие различных источников ошибок измерений называют *полной ошибкой результата измерений*.

Знак ошибок измерений устанавливается по правилу вычитания – «измеренное значение минус более точное». У термина «ошибка» в русском языке имеется синоним «погрешность».

*Ошибки систематические* – ошибки, возникающие в случаях, когда некоторые источники ошибок влияют на результат измерения не в случайной форме, а по определенному функциональному закону действия этих источников. При повторении измерений вполне одинаковым образом величина систематической ошибки в существенной ее части будет оставаться постоянной, но лишь в той мере, в какой будут сохраняться условия, порождающие ее возникновение. О. с, вообще говоря, не имеют компенсационного свойства и подлежат обнаружению и исключению из результатов измерений введением поправок или соответственно разработанными способами измерений. Случайное отклонение величины систематической ошибки от величины поправки называют остаточным действием систематической ошибки.

*Ошибки случайные* – ошибки, возникающие вследствие того, что объект измерений, мерный прибор, среда и другие факторы, участвующие в образовании результатов измерений, всегда претерпевают в процессе измерений изменения (колебания), влекущие за собой элементарные малые изменения результатов. Эти элементарные изменения суммируются в результатах измерений случайно, но с различной вероятностью той или иной их комбинации. Очевидно, например, что быть в результате

отдельного измерения всем элементарным изменениям однозначными, т. е. всем положительными или отрицательными, менее вероятно, чем разнозначными. Суммарно эти элементарные изменения образуют в каждом отдельном измерении случайную часть полной ошибки его результата. Ослабить влияние этих малых изменений можно лишь до некоторого предела в каждом данных измерениях, и так как та или иная их комбинация всегда будет иметь место, то случайные по абсолютной величине и знаку ошибки оказываются неизбежными во всяких измерениях. Предельные величины ошибок зависят от точности приборов, качества внешних условий и опытности измеряющих. Чем точнее прибор, благоприятнее условия и опытнее наблюдатель, тем меньше амплитуды колебаний результатов измерений. Закономерность распределения О. с. обнаруживается при массовых испытаниях; при небольшом же ряде измерений она не выявляется, так как невозможно установить, какие причины и как действуют при образовании ошибок единичных измерений. Практикой установлено, что ряды случайных ошибок равнозначных геодезических измерений подчиняются закону нормального распределения ошибок и обладают свойством компенсации: среднее арифметическое из ряда ошибок при возрастании числа измерений стремится к нулю.

*Планы* – проекции объектов земной поверхности и горных выработок, составленные в ортогональной проекции на горизонтальную плоскость с указанием на них числовых отметок (координат  $z$ ) отдельных точек или горизонталей изображаемой поверхности.

*Поверки нивелира* – обследование прибора, устанавливающее, удовлетворяет ли он геометрическим и конструктивным требованиям, соблюдение которых необходимо для приведения линии визирования в горизонтальное положение. Содержание и порядок поверок и юстировок зависят от типа нивелира.

*Поверки теодолита* – обследование прибора, устанавливающее, удовлетворяет ли он следующим геометрическим и конструктивным требованиям, соблюдение которых необходимо для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

*Поле невидимости* – участок местности в каком-либо секторе обзора, невидимый из-за складок рельефа или скрытый за местными предметами. П. н. может быть определено по крупномасштабной топографической карте путем построения профилей по направлениям, исходящим из точки наблюдения.

*Полезная площадь аэрофотоснимка* – центральная часть аэрофотоснимка, ограниченная линиями, проходящими через середины перекрытий между смежными аэрофотоснимками.

*Полигонометрия* – метод определения положения геодезических пунктов путем проложения на местности ломаной линии (полигонометрического хода) или системы связанных между собой ломаных линий (полигонометрической сети), в которых измеряются все углы и стороны.

*Привязка геодезической сети* – включение в создаваемую сеть элементов ранее проложенной сети в качестве исходной основы или с целью присоединения к ней.

*Принцип наименьших квадратов* – математическое условие, налагаемое на отыскиваемую совокупность поправок  $v$  к приближенным значениям математически связанных между собой искомым величин, например, к результатам измерений, состоящее в требовании, чтобы сумма квадратов поправок была минимальной, т. е. чтобы

$$[v^2]=\min,$$

а при неравноточных результатах – чтобы

$$[pv^2]=\min,$$

где  $p$  — веса результатов, к которым отыскиваются поправки  $v$ .

*Проекция ортогональная* – изображение пространственного объекта на плоскости посредством проектирующих лучей, перпендикулярных к плоскости проектирования. Имеет широкое применение в технике. Съёмка топографических карт и планов также производится в П. о., причем уровенная поверхность в пределах листа карты принимается за плоскость, а отвесные линии – перпендикулярными к ней. На топографическую карту (план) наносятся не измеренные на местности наклонные расстояния, а их горизонтальные проложения, и, следовательно, отдельный лист топографической карты (плана) масштабов 1:100 000 и крупнее является ортогональной проекцией изображенной на ней земной поверхности.

П, о. характеризуется двумя основными свойствами (в пределах точности графических построений):

- 1) расстояния на карте (плане) пропорциональны горизонтальным проложениям соответствующих расстояний на местности и
- 2) углы с вершиной в любой точке карты (плана) равны соответствующим горизонтальным углам на местности.

*Проекции* – чертежи, представляющие собой изображение необходимых объектов пространства на плоскости. В маркшейдерской практике используются в основном проекции с числовыми отметками на

одну плоскость. Для более наглядного пространственного изображения отдельных участков горных выработок иногда применяют аксонометрические, аффинные и перспективные проекции.

*Вертикальные проекции* – чертежи, построенные в ортогональной проекции на вертикальную плоскость. К изображению объектов в проекции на вертикальную плоскость прибегают в тех случаях, когда проектирование на горизонтальную плоскость вызывает большие искажения и приводит к неясному или недостаточно наглядному изображению рассматриваемых объектов, например горных выработок, проведенных по крутой залежи. Для устранения искажений размеров горных выработок и других объектов, расположенных на наклонной залежи, плоскость проекции располагают параллельно наклонной плоскости пласта. Такие чертежи называются проекциями на наклонную плоскость.

*Профили* представляют собой чертежи, изображающие на данной вертикальной секущей плоскости только лишь необходимые линии контура рассматриваемого объекта. Вертикальные секущие плоскости при этом могут проходить через прямые ломаные линии.

Профили строят для изображения характера изменения по высоте какой-либо поверхности, например рельефа местности, нижней границы наносов, почвы или кровли горной выработки в данном направлении. Профили в основном строят вдоль вытянутых объектов, например оси железных и автомобильных дорог, откаточных путей и т. д. Для более наглядного и резкого изображения изменения положения точек по высоте вертикальный масштаб профиля обычно принимают в 10 раз крупнее горизонтального.

*Пункт геодезический* – пункт геодезической сети, отмеченный на местности заложенным в землю центром и возведенным над ним знаком, окопанным канавой. Координаты центра пункта (абсцисса, ордината и абсолютная высота), а также дирекционные углы направлений на ориентирные пункты указываются в геодезических каталогах. Ориентирные пункты отмечаются на местности заложенным в землю центром и установленным на нем деревянным или бетонным столбом, окопанным круглой канавой.

*Пункт гравиметрический* – пункт гравиметрической сети с известными координатами, в котором проведены измерения элементов гравитационного поля Земли. При возможности гравиметрические пункты совмещают с плановыми или высотными геодезическими пунктами. Значение силы тяжести  $g$  и ее точность  $m_g$ , координаты  $B$ ,  $L$ , высота  $H$ , способ ее определения и точность  $m_H$  указываются в каталогах

гравиметрических пунктов, составляемых по листам карты масштаба 1:200 000.

*Радиогеодезические системы* – совокупность нескольких взаимодействующих друг с другом радиотехнических станций, предназначенных для определения одной из них, если положение других известно. Положение станций определяется линейными круговыми (или гиперболическими) засечками или методом *трилатерации*. Существуют Р. с. высокоточные круговые (дальномерные) и гиперболические (разностно-дальномерные) пониженной точности. Высокоточные круговые радиогеодезические системы работают на ультракоротких волнах, поэтому дальность их действия ограничивается пределами прямой геометрической видимости. Рабочий комплект круговой радиогеодезической системы включает две-три наземные станции, работающие как ведомые станции радиодальномера,

*Разбивка сооружений* является основным видом геодезических работ при вынесении проекта в натуру. Как правило, этот вид работ требует более высокой точности геодезической основы и более тщательных геодезических измерений, чем съемочные работы. В состав разбивочных работ входят построение разбивочной основы в виде триангуляции, полигонометрии, строительной сетки, трилатерации вынесение в натуру от разбивочной основы главных осей сооружений, детальная разбивка для строительства фундаментов, подземных коммуникаций, зданий.

*Разрезы* представляют собой изображение деталей объектов, расположенных в некоторой секущей плоскости. В состав маркшейдерских чертежей входят вертикальные и горизонтальные разрезы, на которых изображают геологическое строение толщи горных пород и горные выработки. Вертикальные геологические разрезы строят по линиям разведочных и горно-эксплуатационных выработок, а также по направлениям простирания и в крест простирания залежи.

#### *Сущность моделирования*

Месторождение можно рассматривать как динамическую систему с изменяющимися параметрами, а геологические процессы – как соответствующие части единой динамической системы, охватывающей Землю в целом. Широко используются статистические модели в качестве математических аналогов моделей геологических, причем эти модели служат основой для организации и планирования геологических исследований. Под термином *модель* понимают знак, формулу, чертеж, электрическую схему, специально созданный предмет, систему или целое устройство, которые в том или ином отношении имитируют или воспроизводят реально существующий в природе объект, систему или процесс. Моделирование производят на основе теории подобия,

определяющей условия, при которых модель и моделируемый объект становятся подобными. Сравнение модели и объекта осуществляется на основе формул-критериев, содержащих множители подобия (отношения свойств модели к соответствующим свойствам моделируемого объекта). Множители подобия делают возможным относить к моделируемому объекту или явлению выводы, полученные на модели. Моделирование как научный метод исследований позволяет в более короткие сроки и с наименьшими затратами получить достаточно полные сведения о закономерностях изучаемых явлений. В гидрогеологии применяется метод электрогидродинамических аналогий, в основе которого лежит моделирование природных процессов. Движение подземного фильтрационного водного потока в пористой среде и движение электрического тока в цепи выражаются аналогичными математическими уравнениями, а это дает возможность смоделировать область фильтрации в виде электрической модели и на ней изучать закономерности подземного фильтрационного потока. Методы моделирования позволяют также прогнозировать работу дренажных устройств, водозабор промышленных вод и водопритоки в горные выработки.

*Сфероид (земной)* – фигура, которую приняла бы Земля, находясь в состоянии гидростатического равновесия и под влиянием только сил взаимного тяготения ее частиц и центробежной силы ее вращения. Термин *С.* часто применяется в значении «эллипсоид».

*Съемка тахеометрическая – топографическая съемка*, выполняемая при помощи *тахеометра* обычно в масштабах от 1: 500 до 1: 5000 при сечении рельефа от 0,5 до 2,0 м. Плановой и высотной основой для *С.* т. служат теодолитные и нивелирные ходы, базирующиеся на пунктах опорной геодезической сети. Съемка подробностей производится с точек (называемых «станциями») тахеометрических ходов, прокладываемых между пунктами теодолитных ходов. Плановое положение и высоты реечных точек определяются со станций полярным способом. Имеются редуцированные тахеометры, позволяющие измерять горизонтальные расстояния и превышения непосредственно путем отсчетов по механическим или оптическим приспособлениям. При съемке подробностей на каждой станции ведется абрис, на котором схематически показывают станции, номера реечных точек, контуры угодий, местные предметы и названия. Числовые результаты измерений записываются в тахеометрическом журнале. По результатам данных, полученных на станциях, составляется камеральным путем топографический план снимаемого участка местности. Имеются тахеометры-автоматы, позволяющие составлять станционные топографические планы непосредственно на местности.

*Съемка теодолитная* – горизонтальная съемка местности (съемка без изображения рельефа) в масштабах обычно от 1: 500 до 1:10 000, при производстве которой углы измеряются теодолитом, длина линий – мерными линейными приборами или оптическими дальномерами с точностью не ниже 1:1500, в качестве вспомогательных приборов применяются *эккер*, *эклиметр* и *буссоль*. Опорная сеть строится обычно в виде системы теодолитных ходов, с точек которых снимают ситуацию, определяя нужные точки полярным способом, способами перпендикуляров, створов, а также разного рода угловыми, и линейными засечками. Результаты измерений заносят в абрис, пользуясь которым составляют камеральным путем ситуационный план снятого участка местности. При съёмке теодолитной в сочетании с нивелирными (высотными) ходами составляется нивелирный план, на котором рельеф местности изображается горизонталями.

*Съемка топографическая* – комплекс полевых и камеральных работ, имеющих целью изображение условными знаками в заданном масштабе местных предметов и рельефа участка земной поверхности. С. т. производятся в *ортогональной проекции* в масштабах 1:100 000 и крупнее. Плановой и высотной основой С. т. служат пункты государственных геодезических плановых и высотных сетей.

*Съемочная сеть* – совокупность точек, определяемых дополнительно к пунктам государственной геодезической сети для непосредственного обеспечения топографических съемок.

*Тахеометр* – топографический прибор, предназначенный для измерений на местности горизонтальных углов, расстояний и превышений, применяемый при производстве тахеометрических съемок.

*Теодолит* – геодезический прибор для измерения большинства Т. позволяют измерять и вертикальные углы, но с меньшей точностью, чем горизонтальные.

*Топография* – научная дисциплина, занимающаяся подробным изучением земной поверхности в геометрическом отношении и разработкой способов изображения этой поверхности на плоскости в виде *топографических карт* или *планов*.

*Топографо-геодезические изыскания* – наиболее известный вид работ. Он включает построение на площадке плановых и высотных опорных сетей; крупномасштабную топографическую съемку площадок; трассирование линейных сооружений; геодезическую привязку геологических выработок, гидрологических створов, точек геофизической разведки и др. Топографо-геодезические изыскания служат основой для

проектирования сооружений и проведения других видов изысканий и обследований. Широкое развитие здесь получают методы аэроизысканий.

*Точность плана* – суммарная средняя квадратическая ошибка в плановом и высотном положении изображаемых точек ситуации и рельефа.

*Трансформирование аэрофотоснимков* – преобразование плановых или перспективных аэрофотоснимков в горизонтальные. В процесс трансформирования входит также приведение аэрофотоснимков к заданному масштабу и уменьшение искажений, обусловливаемых рельефом местности.

*Триангуляция* – метод определения относительного (взаимного) планового положения геодезических пунктов путем построения на местности систем смежно расположенных треугольников, в которых измеряют их углы, а в сети – длину хотя бы одной стороны, называемой базисом или базисной стороной. Методом триангуляции в сочетании с тригонометрическим нивелированием может определяться положение пунктов и по высоте, но с меньшей точностью, чем нивелированием геометрическим.

*Трассой* называется ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, нанесенная на топографическую карту и фотоплан или заданная координатами основных точек в цифровой модели местности.

Основными элементами трассы являются: план – ее проекция на горизонтальную плоскость и продольный профиль – вертикальный разрез по проектируемой линии.

*Уровенная поверхность*

С геометрической точки зрения уровенная поверхность – поверхность, пересекающая отвесные линии во всех ее точках под прямым углом; с физической точки зрения уровенная поверхность – поверхность, во всех точках которой значение потенциала силы тяжести  $W$  одно и то же, т. е.

$$W=C.$$

Потенциал силы тяжести с удалением от центра масс во внешнее пространство принимает бесконечное множество значений, а соответствующие им уровенные поверхности образуют бесконечно большое семейство поверхностей.

*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.

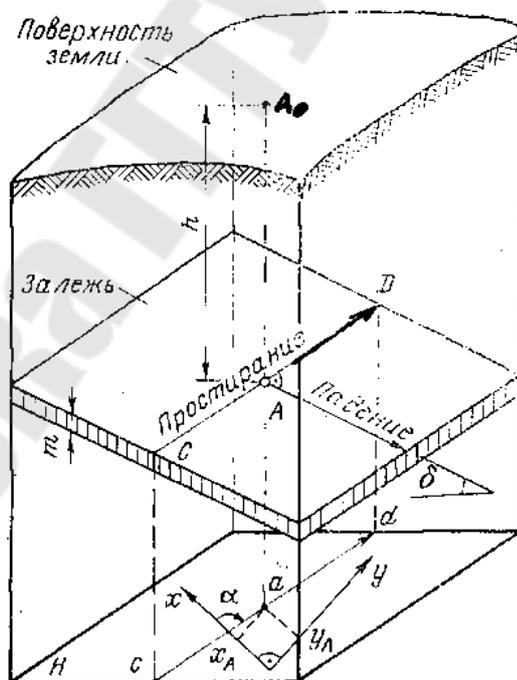
*Действительными поверхностями* раздела залежи, или поверхностями контакта с вмещающими породами являются, например, поверхности стратиграфических напластований, поверхности магматических внедрений или поверхности разрывных нарушений.

*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.

Форма и пространственное положение залежи полезного ископаемого в недрах определяются совокупностью линейных и угловых величин, называемых *геометрическими параметрами*.



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.

*Углом простирания* или просто простиранием поверхности залежи в ее точке  $A$  называется дирекционный угол  $\alpha$  (или азимут) линии простирания  $AD$ .

Дирекционный угол (или азимут) линии падения всегда на  $90^\circ$  больше дирекционного угла линии простирания залежи.

*Углом падения залежи*  $\delta$  называется вертикальный угол, составленный линией падения с горизонтальной плоскостью. Угол падения изменяется от  $0$  до  $90^\circ$ .

*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 лежачего 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.

*Фотограмметрия* (измерительная фотография) – техническая дисциплина, в задачу которой входит определение вида и размеров какого-либо объекта путем изучения и измерения не самого объекта, а его фотографического изображения. Наибольшее применение фотограмметрия получила в топографии, где объектом изучения и измерения является местность. Здесь задача фотограмметрии состоит в том, чтобы полевые измерения, необходимые для создания топографической карты, заменить измерениями аэрофотоснимков в камеральных условиях при помощи специальных фотограмметрических приборов. Часть фотограмметрии, в которой изучаются не только способы

определения планового положения объектов, но и способы измерения трехмерных объектов, называется стереофотограмметрией, которая занимает в фотограмметрии примерно такое же место, как стереометрия в геометрии. Фотограмметрия является теоретической основой аэрофототопографии.

*Фотоплан* – фотографическое изображение местности, полученное в результате *монтажа* по опорным точкам *полезных площадей* трансформированных аэрофотоснимков. Фотопланы изготавливаются обычно в рамках съемочной трапеции; точность положения контуров относительно геодезических пунктов соответствует точности топографической карты такого же масштаба, что и фотоплан.

Репродукции с фотопланов. используются для рисовки на них рельефа при топографической съемке и как самостоятельный документ при изыскательских и строительных работах, требующих детального изучения местности и точного определения расстояний или площадей.

*Фотосхема* – фотографическое изображение местности, полученное в результате *монтажа полезных площадей* трансформированных плановых *аэрофотоснимков* по их общим точкам или по *начальным направлениям*. Изготовление фотосхемы не требует полевой подготовки и трансформирования аэрофотоснимков, поэтому она может быть получена в короткий срок после аэрофотосъемки. Фотосхема используется для изучения местности при различного рода изысканиях, не требующих точных измерений. Масштаб фотосхемы равен масштабу аэрофотосъемки. Фотосхема, смонтированная по начальным направлениям, по точности несколько выше, чем смонтированная по контурам, и называется уточненной фотосхемой, но на ее изготовление затрачивается больше времени, чем на обычную.

*Фототеодолитная съемка* (наземная стереофотограмметрическая съемка) – метод создания топографических карт по *стереоскопическим парам* фотоснимков, полученных с точек земной поверхности.

*Футишок* – рейка с делениями, укрепленная отвесно и неподвижно у прочного берегового сооружения так, чтобы можно было делать отсчеты максимального и минимального уровней воды.

*Центр геодезического пункта* состоит из заложенных в землю бетонных монолитов отмечающих и долговременно сохраняющих на местности положение пункта. Точное положение пункта обозначается чугунными марками, заделанными в верхние грани нижнего и верхнего монолитов и расположенными на одной отвесной линии. На верхний монолит устанавливается опознавательный столб, несколько выступающий над землей. Существуют различные типы центров в зависимости от глубины промерзания и характера грунта.

*Цифровая модель местности* – отображение земной поверхности или ее элементов, выражающее пространственную определенность и структурную подробность объектов местности, сформированное по определенным требованиям в цифровой форме и отвечающее установленным правилам обращения.

Под цифровой моделью местности понимают представление ситуации- и рельефа массивом точек с известными координатами и высотами и с алгоритмами по их обработке, для решения отдельных инженерно-технических задач. Особо важное значение имеет использование ЦММ для определения оптимальных вариантов проектных решений (выбор трассы, расчеты проектов вертикальной планировки, расчеты искусственных сооружений и др.). По своему содержанию ЦММ разделяется на цифровую модель ситуации и цифровую модель рельефа.

Цифровая модель ситуации создается обычно на городские и промышленные территории: все здания, сооружения и другие элементы ситуации задаются координатами характерных точек (центров, углов, пересечением осей и т. д.), определяющими положение ситуации на местности.

Более трудной является задача цифрового выражения модели рельефа, так как местность имеет весьма сложную поверхность. По способу размещения точек рельефа различают регулярную, полурегулярную и структурную модели.

В регулярной модели, применяемой в равнинной местности, точки размещают в виде сетки квадратов (или правильных треугольников), как в известном методе нивелирования поверхностей. Так как при этом не учитываются геоморфологические особенности рельефа, то выбирают такой шаг сетки, чтобы отобразить характерные перегибы местности. В зависимости от сложности рельефа и масштаба съемки сторону сетки принимают равной от 5–10 м (план масштаба 1:500) до 40-80 м (план масштаба 1:5000). Построение точек модели в виде сетки сильно упрощает определение их плановых координат. Высоты вершин основных квадратов находят из измерений. При камеральном сгущении высот местность аппроксимируется поверхностью 2 или 3 порядка и высоты модели определяются из нелинейного интерполирования.

Полурегулярная модель, используемая главным образом при изысканиях линейных сооружений, создается в виде магистрали с системой поперечников. Интервал между поперечниками стремятся иметь постоянный (пикет), но могут назначаться для характеристики рельефа и дополнительные поперечники. Точки в каждом поперечнике располагают на характерных перегибах местности.

Плановые координаты осевых точек поперечников находят по пикетажу магистрали и дирекционному углу ее сторон. Приращения координат точек на поперечниках вычисляют по измеренным расстояниям от оси и дирекционному углу поперечника, который, как правило, отличается от дирекционного угла магистрали на  $90^\circ$ . В зависимости от характера местности и густоты поперечников поверхность полурегулярной модели может быть представлена в виде плоскости или криволинейной поверхности. Интерполирование высот по поперечникам производится по линейному закону, между поперечниками – по принятой аппроксимирующей поверхности.

В структурной модели, как при тахеометрической или мензульной съемке, опорные точки выбирают в характерных перегибах рельефа с учетом его геоморфологических особенностей. В этой модели местность аппроксимируется системой многогранников, ребрами которых являются структурные («скелетные») линии рельефа. В сложной, горной местности структурные линии могут быть выбраны по горизонталям как хорды, вписывающиеся в кривые.

Плановые координаты точек структурной модели определяются весьма сложно: для каждой структурной линии должны быть известны ее длина и дирекционный угол. Высоты точек легко находятся из линейного интерполирования внутри каждой грани и вдоль структурных линий.

В пересеченной местности иногда применяют статистическую модель, в которой поверхность местности определяется при помощи «плавающего квадрата» или «динамического круга» принятого размера, непрерывно перемещающегося на местности. Форма поверхности находится из аналитического решения уравнений, связывающих опорные точки, находящиеся внутри квадрата или круга.

По цифровой модели рельефа решается общая задача вычисления из полинома

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

по известным координатам  $x$  и  $y$  высот точек местности  $H$ , необходимых для построения продольных и поперечных профилей, составления проектов вертикальной планировки, вычисления объемов земляных работ, проведения горизонталей на планах и др. *Исходная информация для построения ЦММ.* Для построения цифровой модели местности могут быть использованы данные, полученные из фотограмметрических измерений аэрофотоснимков, полевых топографических работ, обработки топографических планов и карт.

*Цифровая карта местности* – цифровая модель местности, записанная на машинный носитель в установленной структуре и кодах применительно к определенной математической основе, проекции и разграфке, принятым для карт, отвечающим установленным требованиям по точности и содержанию.

*Цифровая карта топографическая* – цифровой образ местности, записанный на машинном носителе в установленных кодах и структуре в принятой для топографических карт проекции, разграфке, системе координат и высот, по содержанию и точности соответствующий карте определенного масштаба.

*Цифровая обработка изображений* – самостоятельная область применения универсальных и специализированных ЭВМ для различных преобразований изображений, представленных последовательностью или матрицей чисел (см. *Дискретизация фотоизображения и Квантование фотоизображения*).

Методами цифровой обработки изображений решается большое число задач, основными из которых являются: повышение качества изображения; подчеркивание и сглаживание деталей; сокращение избыточности; распознавание объектов по изображениям; выделение количественной информации и измерения на изображениях; машинная графика; кодирование изображений.

#### *Экватор*

1. Географический (земной) – линия на земной поверхности, все точки которой имеют географическую широту  $0^\circ$ . Экватор делит поверхность Земли на два полушария: северное и южное.

2. Небесный – большой круг небесной сферы, лежащий в плоскости, перпендикулярной к оси мира.

3. Геодезический – сечение референц-эллипсоида плоскостью, проходящей через центр эллипсоида и перпендикулярной к его малой оси. Длина экватора референц-эллипсоида Красовского 40 075 704 м.

*Эккер* – прибор, служащий для построения на местности прямых углов и применяемый при съемке ситуации и разбивке кривых; некоторые эккеры позволяют строить углы в  $45^\circ$  и находить точку, лежащую в створе между двумя данными, т. е. «вставать в створ». Существуют эккеры отражательные (оптические) и простые (с диоптрами).

*Эклиметр* – прибор для измерения углов наклона линий с точностью до десятых долей градуса. Э. состоит из круглой коробки, к которой наглухо прикреплена визирная трубка с диоптрами, а внутри помещено вращающееся колесико, на ободке которого нанесены градусные деления, подписанные через каждые  $10^\circ$ . В нерабочем состоянии колесико прижимается к коробке пружиной, а будучи освобожденным путем

нажатия стопорной кнопки, занимает под действием силы тяжести одно и то же положение относительно горизонтальной плоскости.

*Эталоны дешифрирования* — аэрофотоснимки, отдешифрованные в поле или камерально, на которых указано значение типичных для данного района объектов, трудно опознаваемых в камеральных условиях. Эталоны дешифрирования служат пособием при камеральном дешифрировании: сличая с ним аэрофотоснимки, опознают по сходственным признакам одноименные объекты.

## Тема 1 Общие сведения о формировании и развитии 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.

## **Тема 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. км<sup>2</sup> 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). Кажется 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.



Рисунок 2.1 – 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.

### Тема 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  $6^\circ$ , а при составлении планов в масштабах 1:5000 и крупнее –  $3^\circ$ . Такой участок называется зоной 1. Средний меридиан 3 каждой зоны называется осевым. Счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток.

После развертывания 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.

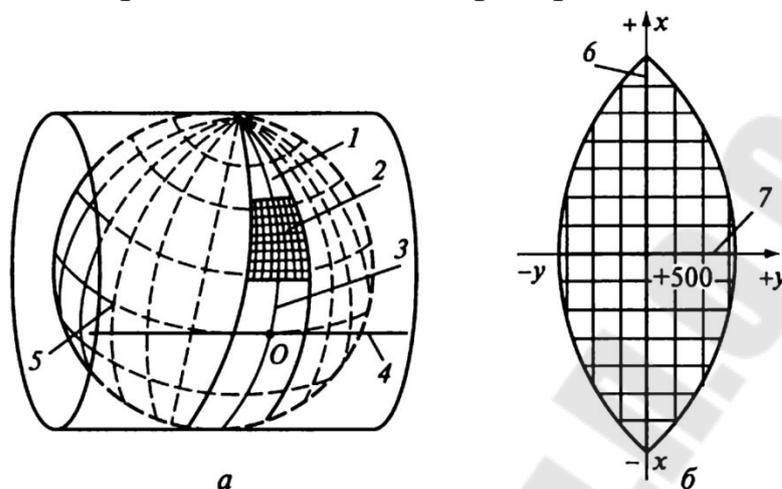


Рисунок 3.1 – Равноугольное проецирование: а - поперечная цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера; б - зональная система координат; 1 - зона; 2 - координатная сетка; 3 - осевой меридиан; 4 - ось  $y$ ; 5 - экватор; 6 - проекция осевого меридиана; 7 - проекция экватора

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  $2^\circ$  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  $\varphi$  и долготу  $\lambda$  определяют на плане или карте, пользуясь минутными шкалами рамок трапеции. 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  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по перпендикулярам до ближайших километровых линий с координатами  $x_0$  и  $y_0$  и находят

$$x_A = x_0 + \Delta x \quad \text{и} \quad y_A = y_0 + \Delta y$$

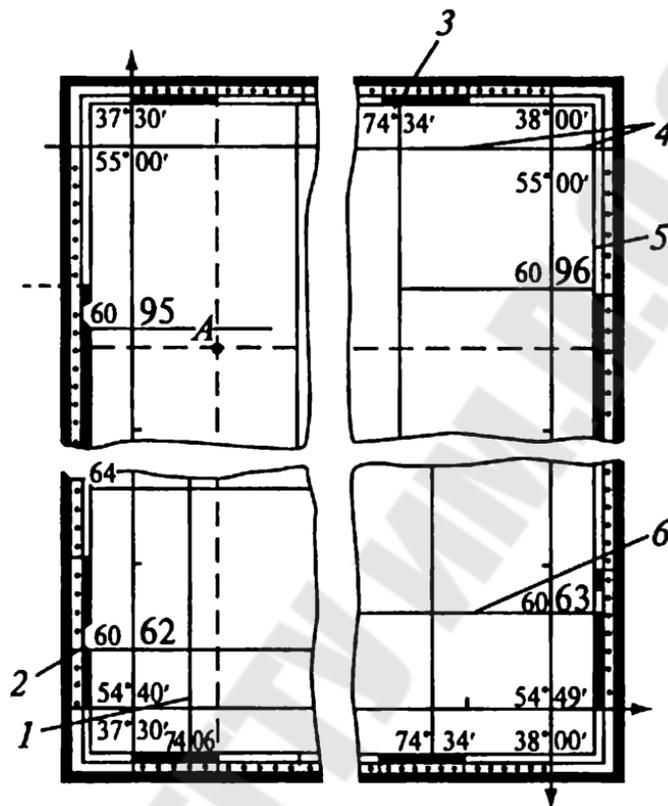


Рисунок 3.2 – Определение координат точки на топографическом плане: 1 - вертикальная километровая линия; 2 - цифровые обозначения горизонтальных линий координатной сетки; 3 - цифровые обозначения вертикальных линий координатной сетки; 4 - внутренняя рамка; 5 - рамка с минутами; 6 – горизонтальная километровая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

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.

#### **Тема 4 Содержание топографических 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 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, немасштабные, 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.

*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, промысловые 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).

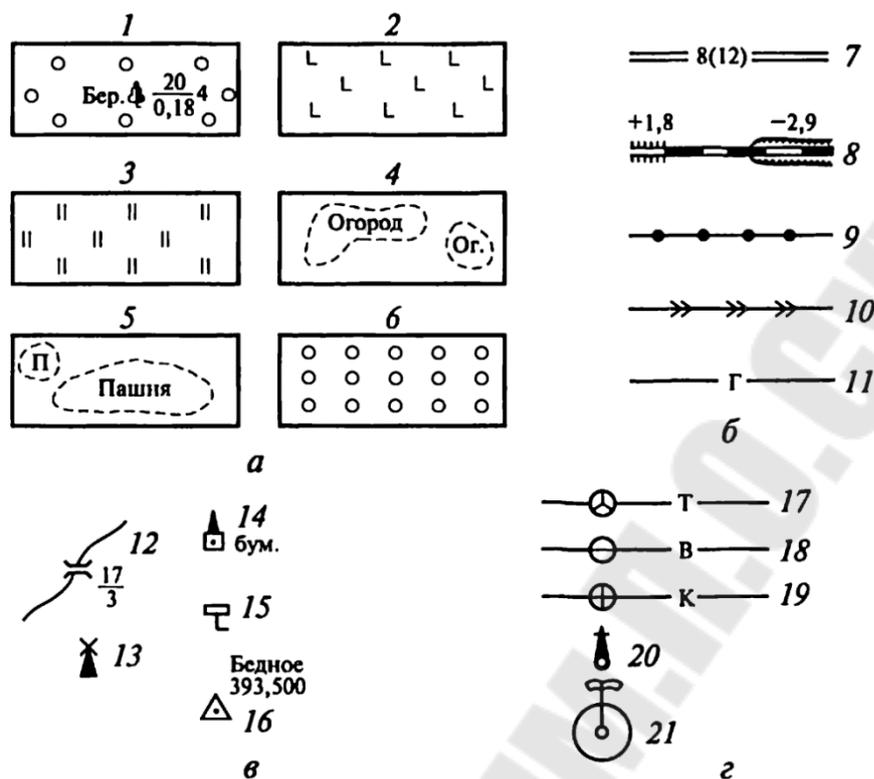


Рисунок 4.1 – Условные знаки: а – площадные; б – линейные; в – внемасштабные; г – специальные; 1 – березовый лес; 2 – вырубка; 3 – луг; 4 – огород; 5 – пашня; 6 – фруктовый сад; 7 – шоссе; 8 – железная дорога; 9 – линия связи; 10 – линия электропередачи; 11 – магистральный трубопровод (газ); 12 – деревянный 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

## Тема 5 Элементы топографической карты

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 масштабa 1:1000000. Листы карты этого масштаба ограничены меридианами и параллелями по широте  $4^\circ$ , по долготe  $6^\circ$ . Каждый лист занимает только ему принадлежащее место, будучи обозначен заглавной латинской буквой, определяющей горизонтальный пояс, и арабской цифрой, определяющей номер вертикальной колонки.

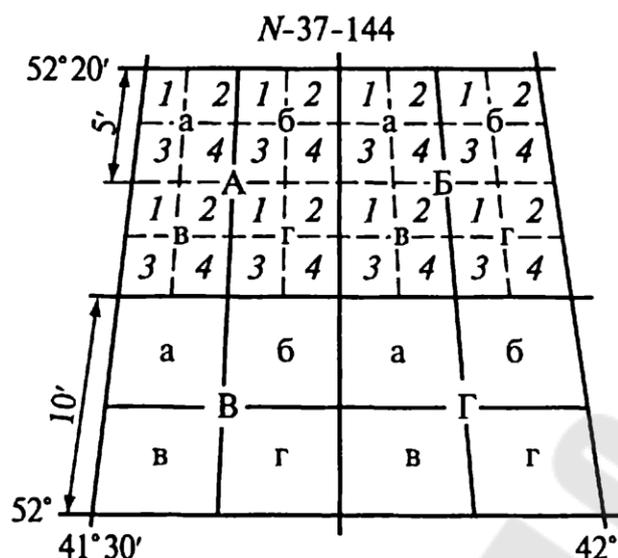


Рисунок 5.1 – Деление карты масштаба 1:100000 на листы карт масштабами 1:50000, 1:25000 и 1:10000

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-А); 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-А. Одному листу карты 1:50000 соответствуют четыре листа карты масштаба 1:25000, обозначаемые буквами а, б, в, г, например N-37-144-А-а. Одному листу карты 1:25 000 соответствуют четыре листа карты 1:10000, обозначаемые цифрами 1, 2, 3, 4, например N-37-144-А-а-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 км<sup>2</sup> 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.

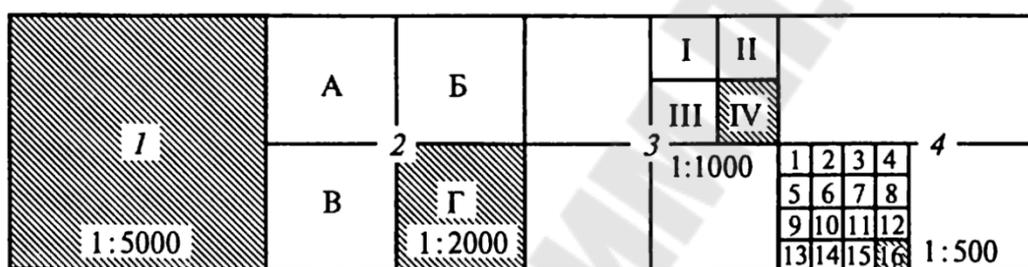


Рисунок 5.2 – Прямоугольная разграфка листа плана

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.

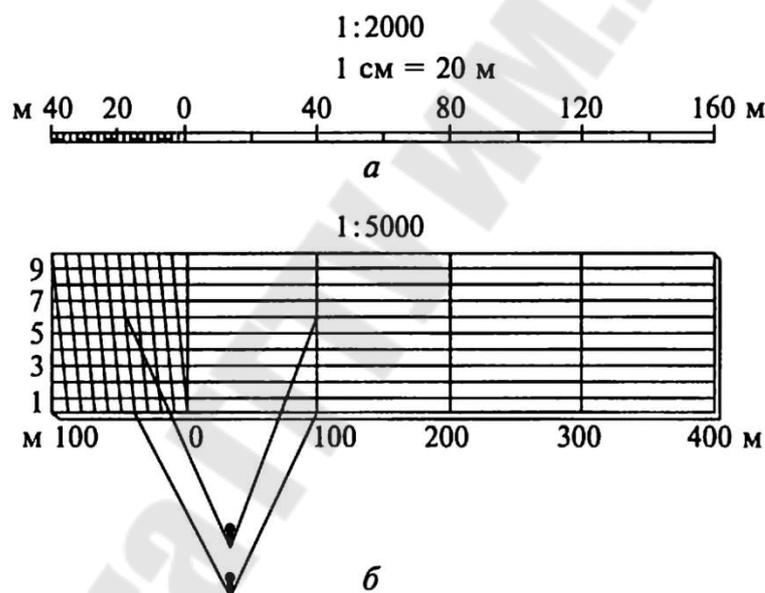


Рисунок 5.3 – Графические масштабы:  
а – линейный; б – поперечный

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 гравировают 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. Существуют и немасштабные изображения, которые также можно использовать (рисунок 5.4).

Для того чтобы акцентировать внимание на каких-то элементах чертежа, карты, плана, эти элементы изображают немасштабно, 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 немасштабному изображению нельзя производить никаких измерений.



Рисунок 5.4 – Пример немасштабного изображения – план города

*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.

## Тема 6 Понятие ориентирования

*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  $\gamma$ . 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 С или южным Ю) направлением меридиана и направлением данной линии.

Румбы обозначают буквой  $r$  с индексами, указывающими четверть, в которой находится румб. Названия четвертей составлены из соответствующих обозначений стран света. Так, I четверть – северо-восточная (СВ), II – юго-восточная (ЮВ), III – юго-западная (ЮЗ), IV – северо-западная (СЗ). Соответственно обозначают румбы в четвертях, например: в первой –  $r_{СВ}$ , во второй –  $r_{ЮВ}$ . Румбы измеряют в градусах ( $0...900$ ).

В прямоугольной системе координат ориентирование линии производят относительно оси абсцисс. Углы, отсчитываемые в направлении хода часовой стрелки от положительного (северного) направления оси абсцисс до линии, направление которой определяется,

называются *дирекционными*. Дирекционные углы обозначаются буквой  $\alpha$  и подобно азимуту изменяются от 0 до 360°.

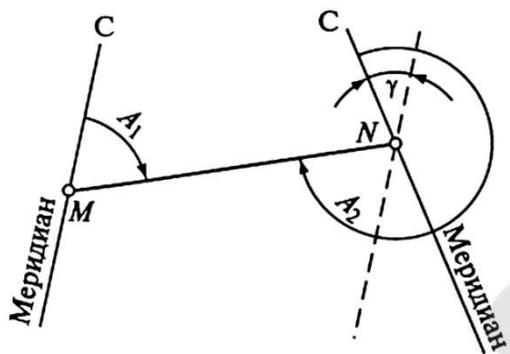


Рисунок 6.1 – Определение азимутов

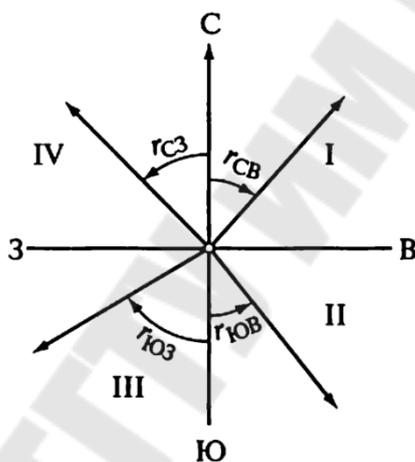


Рисунок 6.2 – Определение румбов

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

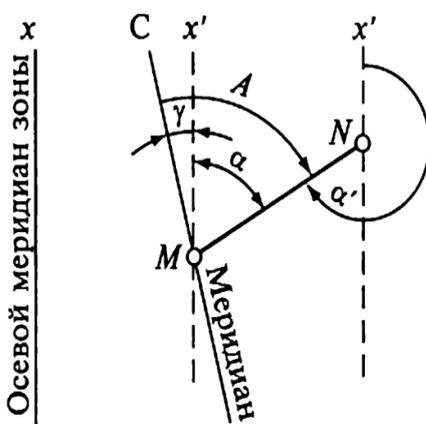


Рисунок 6.3 – Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

В данном случае  $\gamma$  – 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:  $\alpha$  – прямой,  $\alpha'$  – 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

**Взаимосвязь азимутов с румбами**

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

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

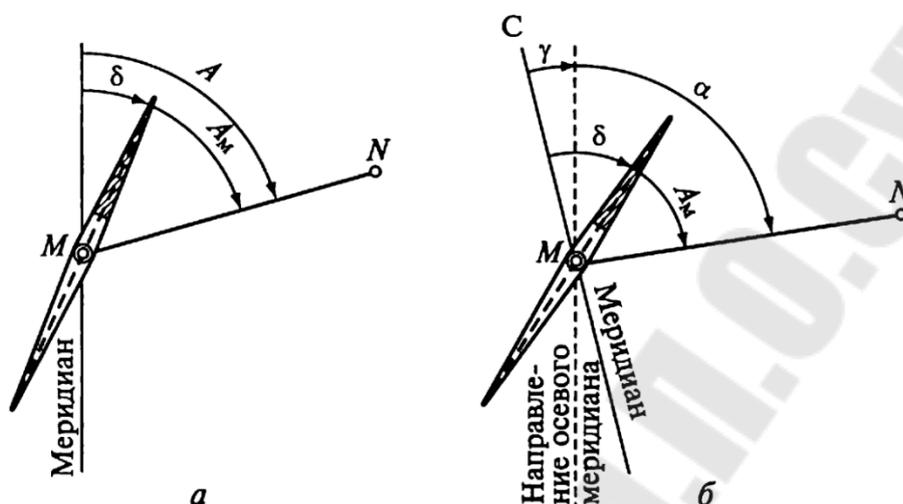


Рисунок 6.4 – Зависимости: а – между истинным и магнитным азимутами; б – магнитным азимутом и дирекционным углом

В различных точках Земли магнитная стрелка имеет разное склонение. Так, на территории Российской Федерации и Беларуси 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 шпилья, 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  $360^\circ$ , в румбическом на концах нулевого диаметра ставят нули, перпендикулярного ему диаметра –  $90^\circ$ .

В нерабочем состоянии стрелка приподнята на шпилье 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.

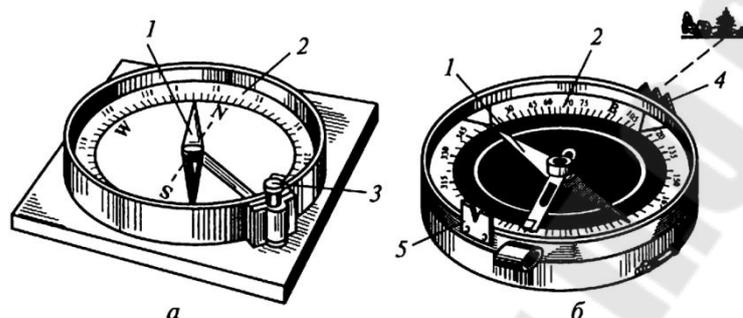


Рисунок 6.5 – Приборы для ориентирования по магнитным меридианам: а – буссоль; б – компас; 1 – магнитная стрелка; 2 – кольцо; 3 – арретир; 4, 5 – диоптры

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. Усовершенствованная модель буссоли называется *гониометром*. Гониометром кроме ориентирования можно выполнять разбивочные работы.

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.

## Тема 7 Рельеф и способы его изображения на топографических картах

*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.

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.

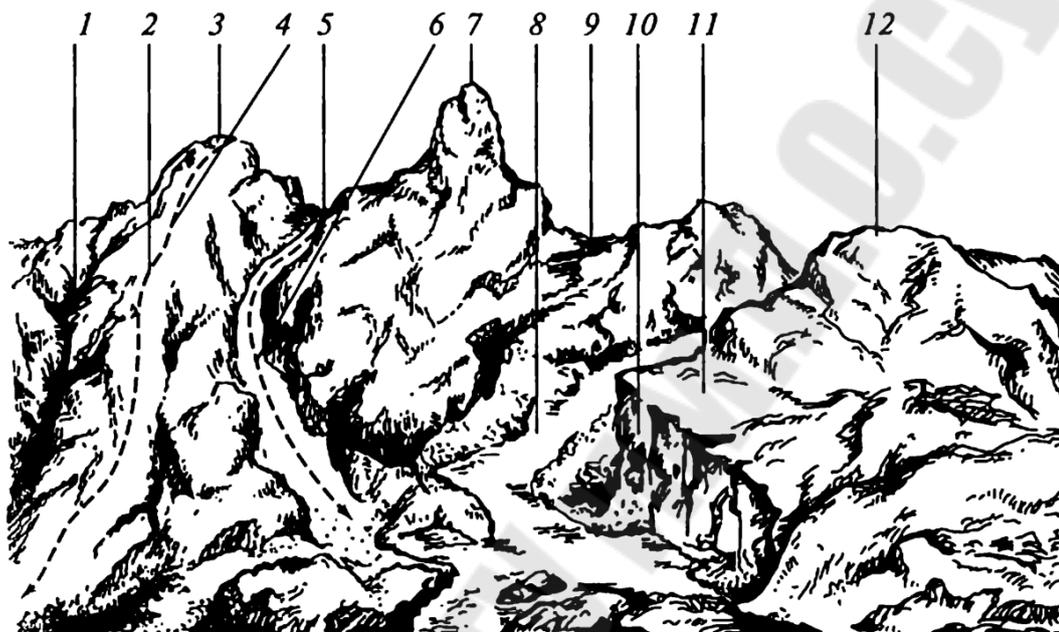


Рисунок 7.1 – Характерные формы рельефа:

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

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.

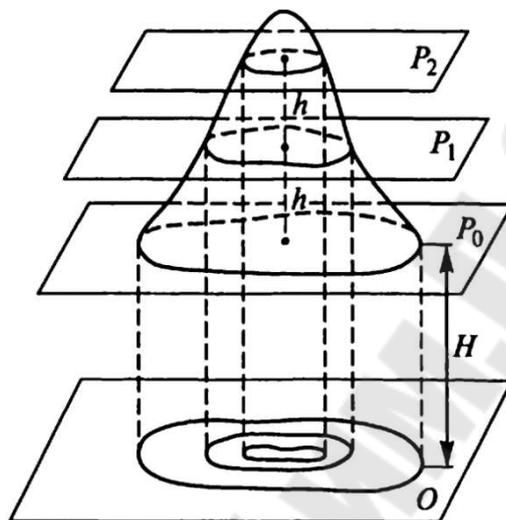


Рисунок 7.2 – Изображение рельефа горизонталями

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.

Горизонтали 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.

Если при данной высоте сечения рельефа некоторые характерные особенности его не могут быть выражены, то проводят дополнительные

полу- и четвертьгоризонтали соответственно через половину или четвертую часть принятой высоты сечения рельефа (рисунок 7.4).  
Дополнительные горизонтали вычерчивают пунктирными линиями, иногда в виде отрезков.

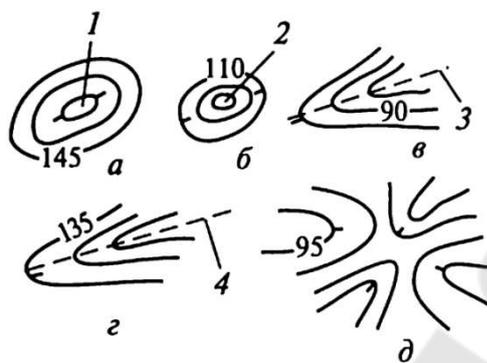


Рисунок 7.3 – Изображение горизонталями характерных форм рельефа:  
а – гора; б – котловина; в – хребет, г – лощина; д – седловина;  
1 – вершина; 2 – дно; 3 – водораздел; 4 – тальвег

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.



Рисунок 7.4 – Полу- и четвертьгоризонтали

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  $v$ , который образует линия местности, например  $AB$ , с горизонтальной плоскостью  $P$  (рисунок 7.5).

Из прямоугольного треугольника  $ABB'$  следует:

$$tgv = h/a \quad (7.1)$$

где  $h$  – высота сечения рельефа;  $a$  – заложение.

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

Крутизну ската характеризуют также уклоном линии

$$i = tgv \quad (7.2)$$

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

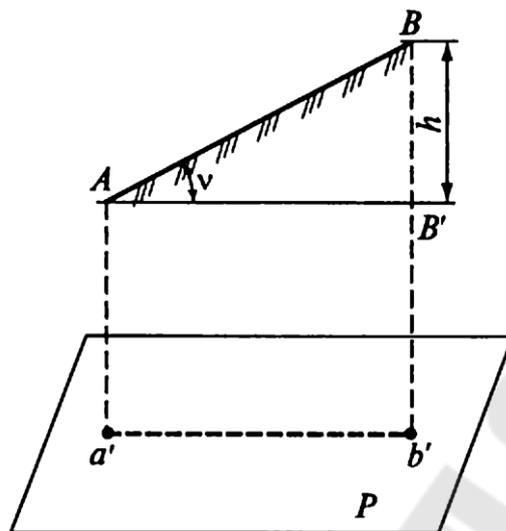


Рисунок 7.5 – Схема к определению крутизны ската

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

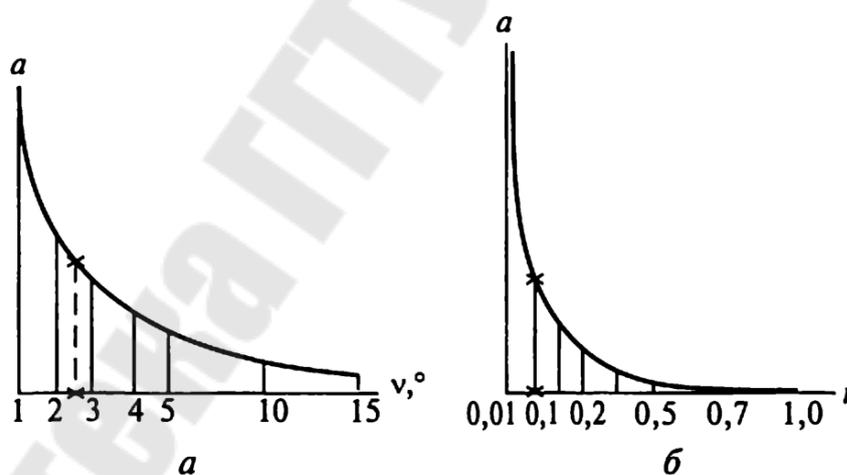


Рисунок 7.6 – Графики заложений к плану масштаба 1:1000 при высоте сечения рельефа  $h = 1,0$  м: а – для углов наклона; б – уклонов

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  $i_{пр}$ .

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

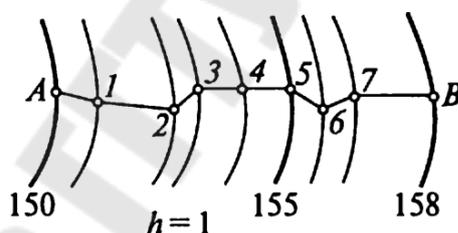


Рисунок 7.7 – Схема проведения на карте линии заданного предельного уклона

Соединив все точки, получают линию с заданным предельным уклоном.

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

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

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 горизонтали, 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).

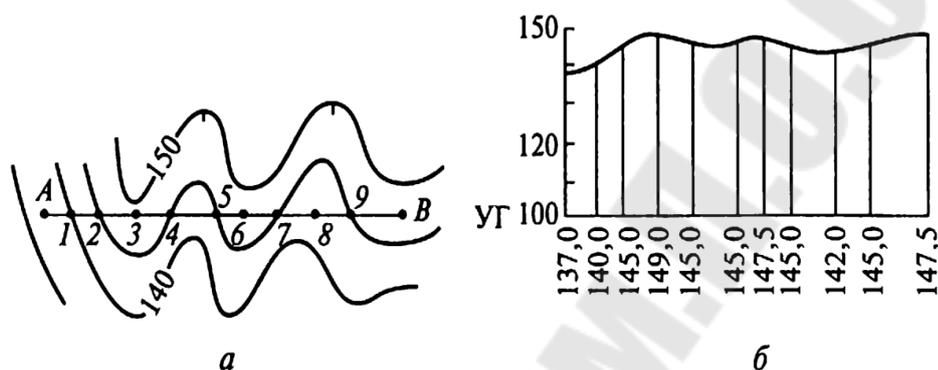


Рисунок 7.8 – Схемы построения профиля по заданному направлению: а – направление по карте; б – профиль по направлению

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).

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:

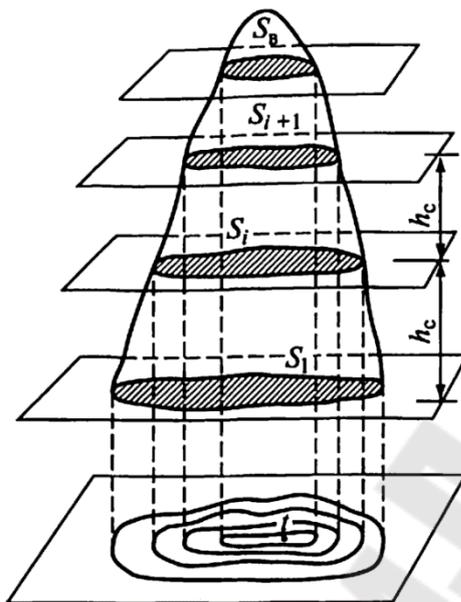


Рисунок 7.9 – Схема определения объема по карте с горизонталями

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

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.

## Тема 8 Задачи проектирования, решаемые на топографических картах

Одна из часто решаемых на топографической карте задач – это определение площадей графическим способом.

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.

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

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.

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.

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 (рисунок 8.1 б), в)).

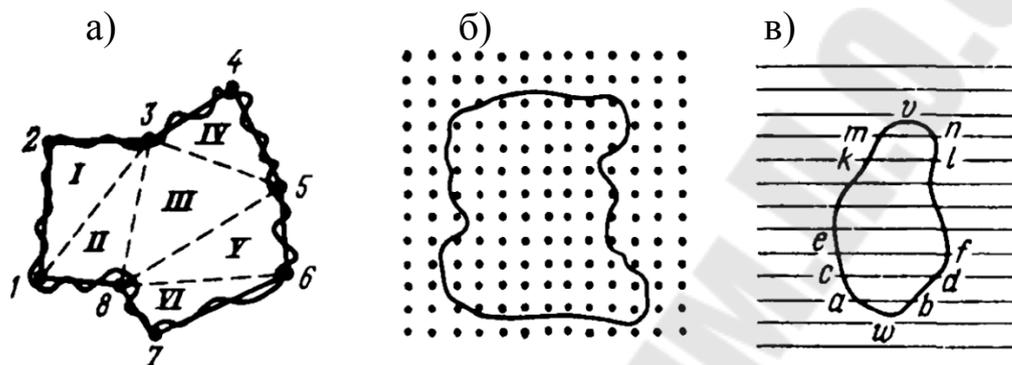


Рисунок 8.1 – Схема определения площади графическими способами методом разбиения на элементарные фигуры с использованием палеток

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  $\omega$  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  $ab$ ,  $cd$ ,  $ef$  ... $kl$ ,  $mn$  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 6с 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.

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.

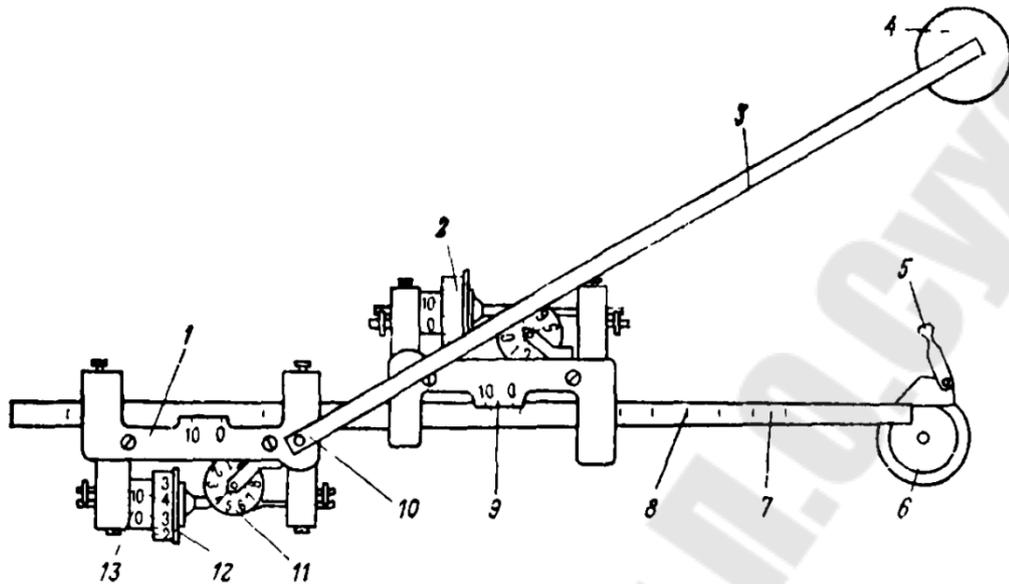


Рисунок 8.2 – Планиметр полярный

## Тема 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 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 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).

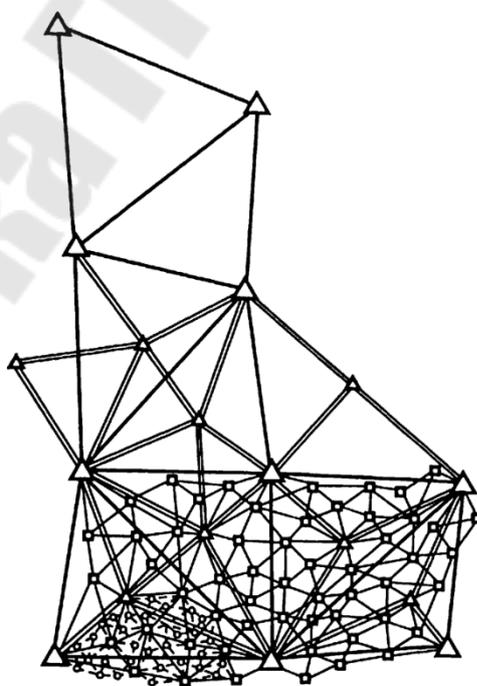


Рисунок 9.1 – Схема построения методом триангуляции государственных плановых геодезических сетей:  $\Delta$  – 1-го класса;  $\Delta$  – 2-го класса;  $\square$  – 3-го класса;  $\circ$  – 4-го класса

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 (квазаров) 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.

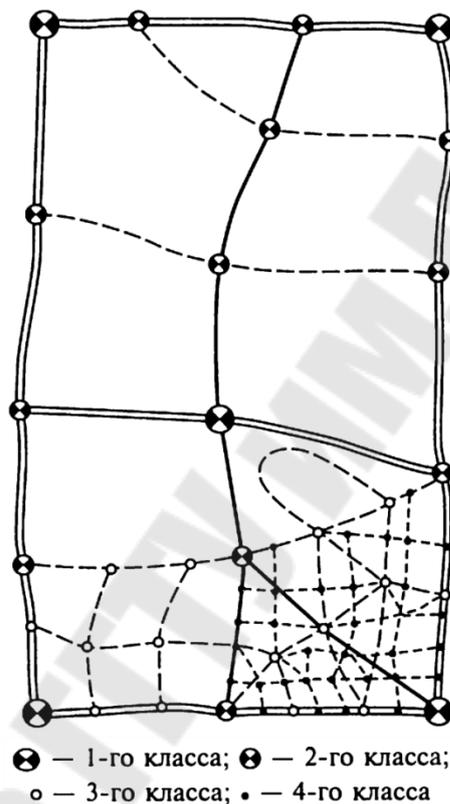


Рисунок 9.2 – Схема государственной высотной сети

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.

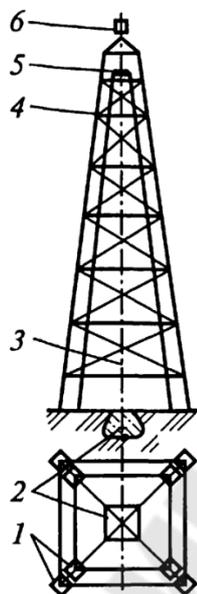


Рисунок 9.3 – Наружный металлический сигнал над подземным центром плановой сети: 1 – фундаменты; 2 – подземный центр; 3 – сигнал; 4 – настил; 5 – столик; 6 – визирная цель

*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.

## **Тема 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  $5 \text{ мм} + 1 \text{ Ю}''6$ , 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.

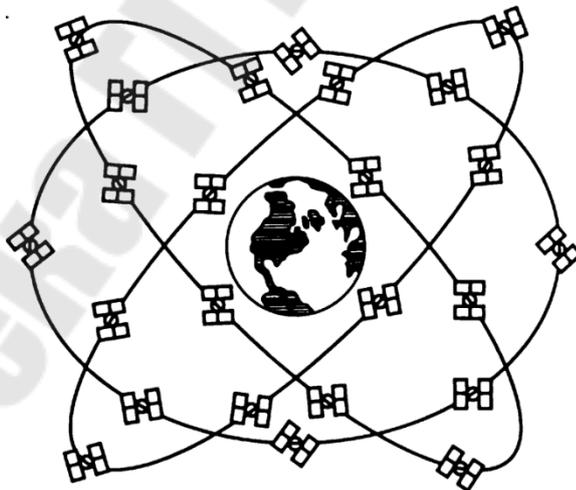


Рисунок 10.1 – Спутниковая навигационная система ГЛОНАСС

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.

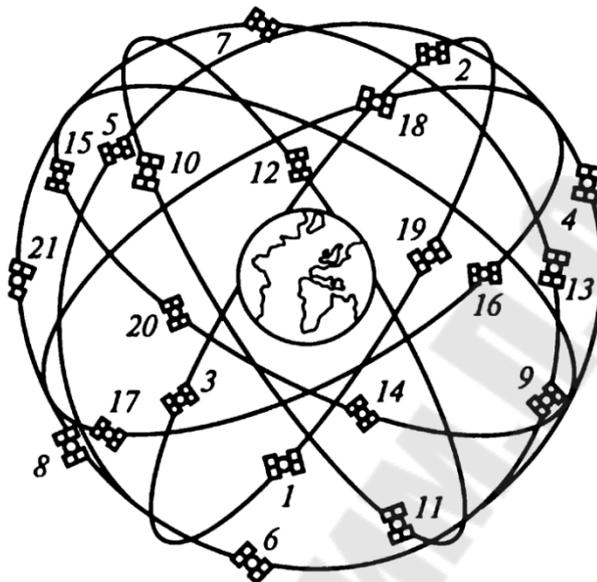


Рисунок 10.2 – Спутниковая навигационная система NAVSTAR GPS:  
1...21 – номера спутников

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  $180^\circ$  (рисунок 10.3). На частотах  $L_1$  и  $L_2$  передаются навигационные сигналы (коды), а также другая навигационная и системная информация.

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  $180^\circ$ ), 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  $9/7$ .

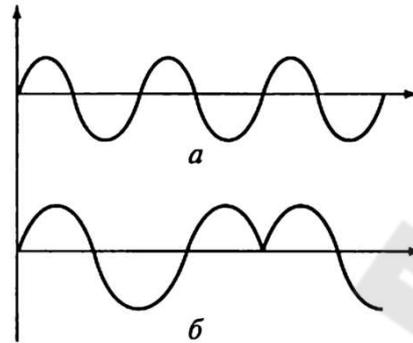


Рисунок 10.3 – Импульсно-фазовая модуляция:  
 а – сигнал до модуляции; б – сигнал после модуляции

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.



Рисунок 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

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.

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.

*Определение координат потребителя.* Для определения координат потребителя необходимо знать координаты спутников (не менее 4) и дальность от потребителя до каждого видимого спутника. Для того, чтобы потребитель мог определить координаты спутников, излучаемые ими навигационные сигналы моделируются сообщениями о параметрах их движения. В аппаратуре потребителя происходит выделение этих сообщений и определение координат спутников на нужный момент времени. Координаты и составляющие вектора скорости меняются очень быстро, поэтому сообщения о параметрах движения спутников содержат сведения не об их координатах и составляющих вектора скорости, а информацию о параметрах некоторой модели, аппроксимирующей траекторию движения КА на достаточно большом интервале времени (около 30 минут). Параметры аппроксимирующей модели меняются достаточно медленно, и их можно считать постоянными на интервале аппроксимации. Параметры аппроксимирующей модели входят в состав навигационных сообщений спутников. В системе GPS используется Кеплеровская модель движения с оскулирующими элементами. В этом случае траектория полёта КА разбивается на участки аппроксимации длительностью в один час. В центре каждого участка задаётся узловой момент времени, значение которого сообщается потребителю навигационной информации. Помимо этого, потребителю сообщают параметры модели оскулирующих элементов на узловой момент времени, а также параметры функций, аппроксимирующих изменения параметров модели оскулирующих элементов во времени как предшествующем узловому элементу, так и следующем за ним. В аппаратуре потребителя выделяется интервал времени между моментом времени, на который нужно определить положение спутника, и узловым моментом. Затем с помощью аппроксимирующих функций и их параметров, выделенных из

навигационного сообщения, вычисляются значения параметров модели оскулирующих элементов на нужный момент времени. На последнем этапе с помощью обычных формул кеплеровской модели определяют координаты и составляющие вектора скорости спутника. В системе Глонасс для определения точного положения спутника используются дифференциальные модели движения. В этих моделях координаты и составляющие вектора скорости спутника определяются численным интегрированием дифференциальных уравнений движения КА, учитывающих конечное число сил, действующих на КА. Начальные условия интегрирования задаются на узловой момент времени, располагающийся посередине интервала аппроксимации. Как было сказано выше, для определения координат потребителя необходимо знать координаты спутников (не менее 4) и дальность от потребителя до каждого видимого спутника, которая определяется в навигационном приёмнике с точностью около 1 м. Для удобства рассмотрим простейший "плоский" случай, представленный на рисунке 10.5. Каждый спутник (рисунок 10.5) можно представить в виде точечного излучателя. В этом случае фронт электромагнитной волны будет сферическим. Точкой пересечения двух сфер будет та, в которой находится потребитель. Высота орбит спутников составляет порядок 20000 км. Следовательно, вторую точку пересечения окружностей можно отбросить из-за априорных сведений, так как она находится далеко в космосе.

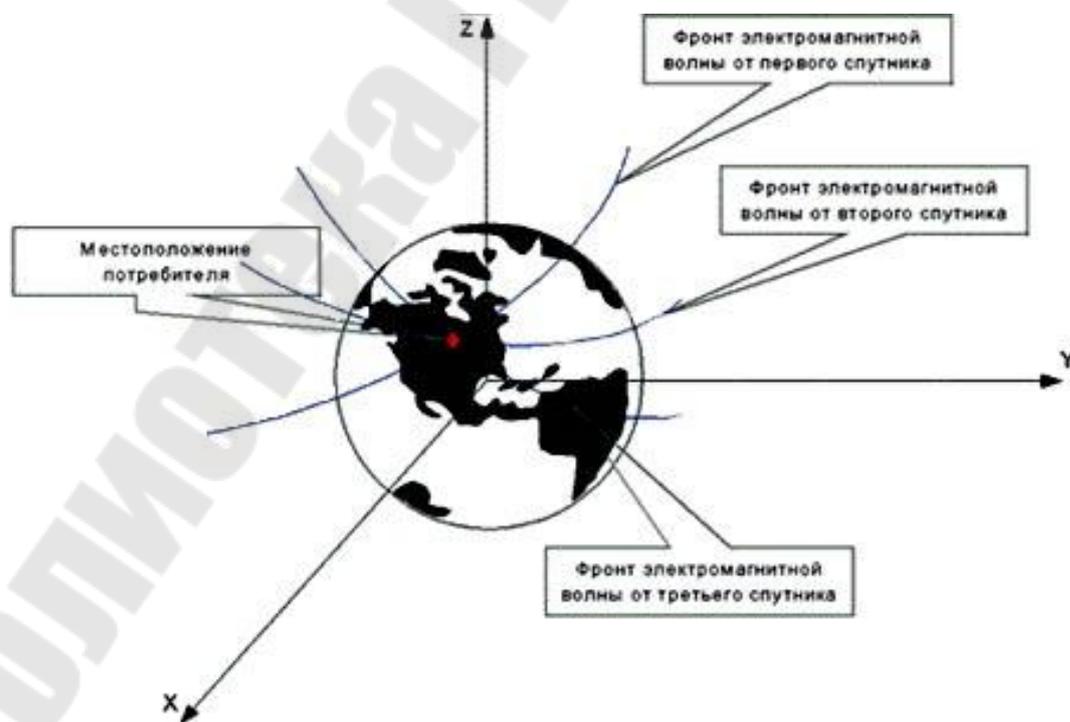


Рисунок 10.5 – Определение координат потребителя

*Поправки, вводимые в результаты измерений.* Основываясь на принципах, заложенных в идею построения спутниковых навигационных систем, можно предположить появление погрешностей измерений в отдельных звеньях системы и попытаться оценить их влияние на конечный результат определений. Источники погрешностей принято разделять на аппаратурные, вызванные несовершенством используемого приёмника; на погрешности, вызванные влиянием внешней среды; погрешности координат или эфемерид спутника; погрешности пространственной засечки; погрешности режимов и методов геодезических определений. *Наиболее значительным источником погрешностей спутниковых определений принято считать ионосферные задержки.* Газообразную оболочку Земли условно можно разделить на три слоя. Самый нижний слой толщиной около 10 км называется *тропосферой*. В нём сосредоточено около 80% всей массы воздуха и почти весь водяной пар. Следующий слой – *стратосфера* – простирается до высот 50 – 55 км. В стратосфере воздух сильно разрежен. Чётко выраженной верхней границы атмосфера не имеет. Условно такую границу проводят на высоте 3000 км – это *ионосфера*.

*К аппаратурным источникам ошибок относят факторы, определяющие так называемую разрешающую способность аппаратуры.* Обычно мерой этой способности является ошибка, с которой пара приёмников определяет вектор базы в определённых условиях при некоторой продолжительности сессии наблюдений. Длительность цикла сбора информации и продолжительность сессии наблюдений определяется таким образом, что дальнейшие наблюдения уже не повышают точность. Это обычно 2-3 часа сессии при длительности цикла 15 секунд. По опытным данным при длине вектора базы порядка километра аппаратурные ошибки составят 2-3 мм. Ошибки эфемерид и поправок часов спутника значительно снижаются за счёт наземных станций слежения и контроля. Эти станции принимают сигналы спутников, выполняют высокоточные измерения расстояний до каждого из них, обрабатывают результаты измерений, рассчитывают точные значения эфемерид и текущих поправок к ним, а также определяют корректирующие поправки бортовой шкалы времени. Эта информация поступает с радионавигационным сообщением и учитывается в процессе обработки результатов измерений. Точность поправок эфемерид обеспечивается в пределах 5 см, а поправок шкалы времени выше  $2 \cdot 10^{-10}$  сек. Геометрия взаимного расположения спутников, участвующих в измерительном процессе, также влияет на конечный результат

спутниковых определений. На рисунке 10.6 показаны две ситуации с взаимным расположением спутников:

- а) радиус-векторы расстояний до спутников, пересекаясь, образуют размытую область засечки;
- б) радиус-векторы расстояний до спутников пересекаются в конкретной точке  $P$ .

Хорошие приёмники располагают программами анализа относительного расположения всех находящихся в зоне их видимости спутников, отбирают те спутники, которые образуют лучшую геометрию засечки.

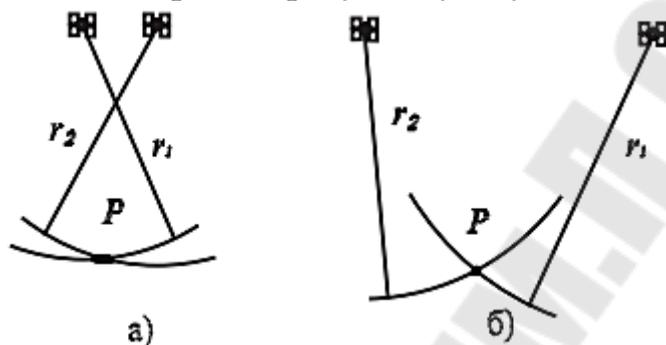


Рисунок 10.6 – Геометрический фактор снижения точности

Ещё более совершенные приёмники выполняют позиционирование (определение местоположения) по всем спутникам, находящимся в их зоне видимости. Есть ещё одна категория ошибок, которые не относятся ни к аппаратным ошибкам, ни к ошибкам, вызванным влиянием внешней среды. Это ошибки, вызванные многолучевым распространением сигнала. Возникают эти ошибки из-за того, что на антенну приёмника попадает не только прямой сигнал от спутника, но и другие его сигналы, отражённые от различных окрестных предметов местности (деревьев, зданий и т. п.). Понятно, что геометрический путь отражённых сигналов кт приводит к «двоению» или многократному повторению изображения. Чтобы свести к минимуму воздействие эффекта многолучевого распространения, сигнал в современных приёмниках побудет отличаться от пути основного сигнала. В телевидении этот эффект подвергается специальной предварительной обработке, кроме того, неплохой результат даёт использование антенн специальной конструкции. С антенной связан ещё один источник погрешностей. Вызвано это тем, что геометрический центр антенны, находящийся на её оси вращения, не совпадает с электронным (фазовым) центром, который принимает сигнал и для которого фактически определяются координаты.

*Влияние ионосферы и тропосферы на результаты спутниковых измерений.* Тропосферную составляющую общей ошибки атмосферных влияний снижают путём введения соответствующих поправок, которые

рассчитывают на основе модели тропосферы. Тропосферная поправка передаётся станциями слежения и контроля каждые два часа. Ошибка из-за неточного знания параметров тропосферы оценивается величиной в 4 мм. Структура ионосферы достаточно сложная и трудно учитывается. Она характеризуется плотностью ионизированных частиц (числом электронов на  $1 \text{ м}^3$ ). Эта характеристика не постоянная и меняется в больших диапазонах даже в течение суток в зависимости от интенсивности солнечного излучения, солнечной активности и других факторов. За состоянием ионосферы ведутся постоянные наблюдения, и её обобщённые характеристики учитываются при приёме навигационных сообщений со спутника. Учёт вариаций скорости света в зависимости от свойств среды по выстроенным моделям атмосферы (ионосферы) не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Другой путь учёта атмосферных задержек заключается в сравнении скоростей прохождения дистанции двумя сигналами с разными частотами. Идея способа довольно проста. Поскольку скорость электромагнитного излучения зависит от длины волны излучения (явление дисперсии), то два сигнала с разными частотами из одного источника придут на приёмник в разное время. Эта разница времени позволяет определить величину изменения скорости распространения электромагнитного излучения в среде и, таким образом, позволяет вводить коррекцию в результаты измерений. Этот метод учёта влияния ионосферы на скорость распространения сигнала получил название «учёт ионосферных воздействий».

*Режимы наблюдений.* Методы определения координат пунктов при помощи спутниковых технологий делятся на *абсолютные* и *относительные*. Под *абсолютными* следует понимать те способы, в которых по измеренным величинам вычисляются полные значения геоцентрических координат, а под *относительными* – те, когда по измерениям можно вычислить лишь приращения координат – пространственные базовые векторы, соединяющие пункты наблюдений. С некоторой долей условности в *абсолютных* и *относительных* методах в свою очередь можно выделить некоторые особенности измерений:

– в *абсолютных* способах определения геоцентрических координат различают *автономный* и *дифференциальный* способы. Дифференциальные способы могут быть основаны на *кодовых определениях* и *фазовых определениях*;

– в *относительных* способах определения пространственных векторов - базовых линий различают *статические* и *кинематические* методы. В статических способах можно выделить просто *статику*, *ускоренную статику* и *псевдстатику*. В кинематических способах различают *непрерывную с постобработкой*, «*стой и иди*» («*Stop and Go*»), также с

постобработкой и кинематику в *реальном времени* (*Real Time K - RTK*). Точность способов существенно различается: от долей сантиметра до нескольких десятков метров. Наибольшую точность обеспечивают дифференциальные и относительные способы. В их основе лежит предположение, что измерения с двух станций до спутника искажены примерно одинаково. Чем станции ближе друг к другу, тем это утверждение ближе к истине. В результате абсолютных измерений координаты точек определяются в общеземной системе координат в кодовом режиме с ошибкой в несколько метров.

*Автономное определение координат.* Автономно координаты определяют пространственной линейной засечкой по кодовым псевдодальностям, измеренным до четырех и большего числа спутников. Способ называют автономным в том смысле, что наблюдатель определяет координаты точки независимо от измерений на других станциях. Способ чувствителен к любым искажениям, влияющим на точность измерений. Ориентировочно влияние отдельных источников на результаты измерения дальностей для одночастотного приёмника можно оценить следующими значениями средних квадратических погрешностей. Так, нестабильность частоты аппаратуры спутника, иначе – уход шкалы времени приведёт к ошибкам в 1-2 метра. Ошибки в значениях эфемерид спутников внесут погрешность также в 1-2 м. Задержки в верхних и нижних слоях атмосферы приведут к ошибкам до 5-7 м. Нестабильность частоты или уход шкалы времени приёмной аппаратуры, а также шумы и многопутность сигнала привнесут около 2 м. Результирующая погрешность кодовых измерений дальностей составляет около 3-8 м. А если учесть влияние геометрического фактора, то результат будет ещё хуже раза в 2-4 или более. Сегодня точность абсолютного позиционирования автономным способом оценивается ошибкой до 5-10 м. Результаты измерений могут быть несколько улучшены, если измеренные псевдодальности исправляются поправками и этим приводятся к единому моменту измерений. После этого все результаты усредняются. Такой путь лучше простого усреднения тем, что он учитывает реальные изменения псевдодальностей от приемника до спутника. Для двухчастотных кодовых приемников точность несколько выше, так как из измерений исключаются ионосферные задержки. Высоты при абсолютном позиционировании кодовыми приемниками определяются очень грубо. Это их существенный недостаток.

*Дифференциальный способ.* В дифференциальном способе, в отличие от автономного, измерения одновременно выполняются двумя приемниками. В приемниках должна быть предусмотрена возможность реализации дифференциального режима. Один приемник ставится на

пункте с известными координатами. Эту станцию называют базовой, референц-станцией, опорной или контрольно корректирующей. Другой приемник, подвижный (*rover*), размещается над определяемой точкой. Поскольку координаты базовой станции известны, то их можно использовать для сравнения с вновь определяемыми и находить на этой основе поправки для подвижной станции. Существует несколько способов коррекции. При кодовых измерениях поправки могут вводиться как в псевдодальности, так и в координаты. В первом случае измеренные на базовой станции псевдодальности сравнивают с расстояниями, вычисленными по известным координатам спутника и станции, и определяют их разности. Эти разности, так называемые дифференциальные поправки (*differential corrections*), передаются на мобильную станцию, например, при помощи дополнительной радиосвязи (радиомодема). Мобильная станция, получив дифференциальные поправки, исправляет свои измеренные псевдодальности и по ним вычисляет координаты. В другом способе референц-станция вычисляет разности между известными координатами и определенными в автономном режиме, и ими исправляются координаты на подвижной станции. При этом важно, чтобы оба приемника измеряли псевдодальности до одних и тех же спутников. Поправки могут вводиться и в режиме постобработки – при обработке после измерений. В дифференциальном способе задержки в приемнике пользователя исключаются таким же путем, как и в автономном режиме – по наблюдениям четырёх и более спутников. Что касается других систематических погрешностей, то предполагается, что они устраняются поправками, которые на каждой станции практически одинаково влияют на измерения. Точность дифференциального позиционирования зависит от приемников, программного обеспечения и колеблется от первых дециметров до нескольких метров. Дифференциальные коррекции применяют и к фазовым измерениям. Здесь также существует два варианта передачи поправок: в форме необработанных измерений фазы и в форме поправок к фазе несущей. Коррекции к фазовым дальностям повышают точность до уровня 1-5 см. В процессе выполнения измерений спутниковый геодезический приёмник не только осуществляет регистрацию измеряемых величин, но и производит ряд вычислений в автоматическом режиме. Оператор при этом не может так активно воздействовать на ход таких вычислений. Роль оператора в спутниковых определениях сводится в основном к грамотной организации измерений и обеспечении одновременности работы всех приёмников, участвующих в одном сеансе наблюдений. Приёмник устанавливают на пункте и приводят в рабочее положение, пользуясь клавиатурой, в

запоминающее устройство вводят значение номера пункта, высоту антенны, время начала и конца приёма. Данные наблюдений перекачиваются в компьютер с соответствующим программным обеспечением, где они обрабатываются. В геодезических определениях координат точек местности используются в основном *относительные измерения*, схема которых приведена на рисунке 10.7. В способах относительных измерений достигаются наиболее ощутимые выгоды от внедрения идеи исключения погрешностей в разностях измерений. Как и в дифференциальном способе, аппаратуру устанавливают, как минимум на двух станциях, например *A* и *B*. Одну из них также называют базовой или референц-станцией. Никаких коррекций не определяют, а формируют разности из наблюдений на станциях.

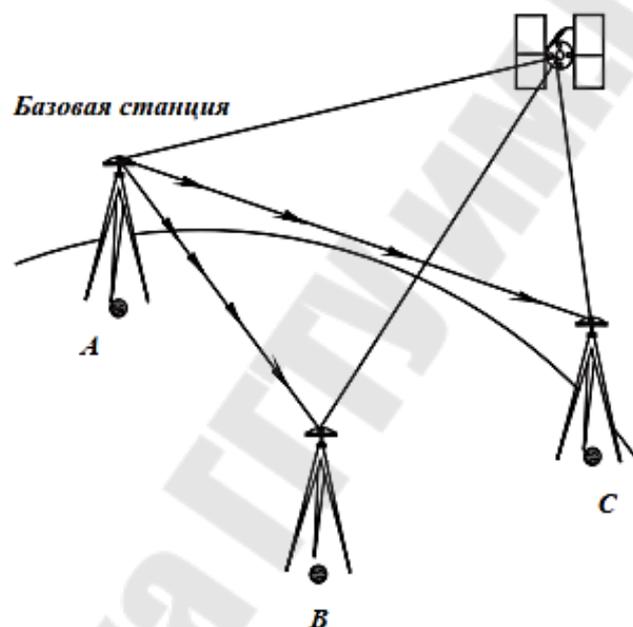


Рисунок 10.7 – Схема относительных измерений

Таким образом, в относительных измерениях определяют приращения координат между опорным и определяемым пунктами, поэтому вектор базовой линии является важной характеристикой таких измерений. Это трёхмерный вектор приращений координат между опорным и определяемым пунктами. Координаты от опорного пункта передаются к определяемому через базовую линию. Ошибки такой передачи зависят от длины базовой линии и напрямую включают в себя ошибки координат исходного пункта. Длина базовой линии при построении заполняющих геодезических сетей рекомендуется в 5–15 км. Для геодезических разбивочных сетей эта рекомендация не обязательна. Базовая станция должна иметь точные координаты, чтобы по измеренным приращениям

можно было бы вычислить координаты остальных пунктов геодезической сети. *Высокая точность относительных измерений обусловлена формированием разностей координат базовой и определяемых станций.* При совместной обработке наблюдений систематические погрешности, имеющие близкие значения для всех приёмников, участвующих в синхронных измерениях дальностей, исключаются в разностях. К ним относятся погрешности эфемерид и шкалы времени одного и того же спутника, погрешности тропосферных и ионосферных влияний. Относительные способы являются основными в геодезических и геодинамических работах. Наиболее точным и трудоемким является способ статики. Точность способа зависит от продолжительности измерений. Измерения в течение 5 мин обеспечивают дециметровую точность. Обычно продолжительность наблюдений на паре станций составляет около одного часа. За это время происходит накопление результатов измерений, выполняемых через интервалы от 1 с до 5 мин.

*Статические режимы.* Относительные измерения в свою очередь подразделяются на *статические* и *кинематические*. При любом из режимов относительных измерений один из приёмников устанавливается на пункте с известными координатами, а другие – на определяемых пунктах. *Статический режим* наблюдений является наиболее точным и основным методом при построении геодезических сетей. Он требует наибольших затрат времени. В зависимости от требуемой точности координатных определений время наблюдений может колебаться от часа до нескольких часов. В режиме статики используется постобработка и специальное программное обеспечение. Статические наблюдения заранее проектируют с использованием альманаха, а пункты установки приёмников подбирают таким образом, чтобы сигнал от спутников не блокировался окружающими предметами местности. Небо должно быть максимально открыто вплоть до горизонта. Проектируемая продолжительность наблюдений зависит от требований точности, длины базовой линии и применяемого приёмника. Длительность наблюдений обусловлена необходимостью полного разрешения неоднозначности фазовых измерений. Для двухчастотных приёмников разрешение неоднозначности осуществляется в течение 10–15 минут даже на длинных базах. Для одночастотных приёмников этого времени может оказаться достаточно лишь на коротких базах длиной до 1 км. На длинных базовых линиях разрешение неоднозначности требует длительных наблюдений в течение 1 часа и более. Большая продолжительность наблюдений позволяет повысить точность координатных определений. При высоких требованиях к точности измерения планируют в несколько сессий (приёмов), включая повторные измерения с возвращением на

определяемые пункты. В качестве исходных пунктов для базовых станций выбираются пункты, на которые распространяются требования, предъявляемые к пунктам ФАГС или ВГС. Для разбивочных сетей эти условия не обязательны. Долговременная сохранность и стабильность знаков исходных пунктов обеспечивается закладкой солидных центров, по возможности совмещенных с существующими центрами государственной геодезической сети. Допускается размещение центров исходных пунктов на крышах зданий. Пункты создаваемой спутниковой сети должны быть максимально совмещены с исходными пунктами ранее созданной геодезической сети. В качестве совмещенных пунктов предпочтительно выбирать существующие пункты глубокого заложения либо надстройки на зданиях. Пункты спутниковой геодезической сети всех классов должны удовлетворять требованиям долговременной сохранности и стабильности положения. Факторы, мешающие приему спутниковых сигналов (радиопомехи, экранировка принимаемых сигналов, наличие отражающих объектов), должны быть выявлены и устранены или сведены к минимуму. *К статическим методам относятся режимы быстрой статики и реокупации. Метод реокупации* иначе называют псевдостатикой и даже псевдокинематикой. Эти режимы статики менее трудоемки. *Быстрая статика* – это разновидность статического режима измерений, при котором время наблюдений может быть сокращено до 10-20 мин. Быстрая статика применяется на коротких базовых линиях, а также при некотором снижении требований к точности. Приёмник информирует наблюдателя, если набран достаточный объём информации, однако чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов практикуют возврат роверного приёмника на исходный пункт (это *реокупация*). Одновременное наблюдение спутников GPS и ГЛОНАСС позволяет достичь сантиметровой точности в 3-6 раз быстрее.

*Кинематические режимы. Различают два режима кинематики: с остановками (Stop&Go) и непрерывный.* Так же, как и при статическом режиме измерений, кинематический производится как минимум двумя приёмниками, принимающими сигналы одновременно не менее четырёх «общих» спутников. Один из приёмников работает в качестве базовой станции на пункте с известными координатами, другой перемещается по определяемым точкам. При работе в кинематическом режиме время статического отрезка измерений чрезвычайно мало: как правило, время набора информации на точке не превышает одной минуты (12 эпох по 5 секунд каждая). Чем больше время статического отрезка, тем выше точность полученных результатов. Метод требует непрерывного потока информации со спутников. Поэтому в процессе перемещения с точки на

точку следует избегать срывов измерений, о чём приёмник информирует наблюдателя звуковым сигналом. В этом случае необходимо вернуться на один из ранее определённых пунктов и повторить инициализацию. Инициализация заключается в измерениях с целью разрешения неоднозначности. Для выполнения инициализации в начале измерений референсный или опорный приёмник устанавливается на исходном пункте, а роверный, передвижной—в нескольких метрах от опорного. Выполнив сессию наблюдений (15–20 минут), оба приёмника переключают в кинематический режим, и роверный приёмник перемещается на определяемые точки. Если роверный приёмник в процессе инициализации находится на значительном расстоянии от базового, то время инициализации может увеличиться до 1 часа и более. В конце серии измерений (обычно около часа) проводят замыкание хода: подвижный приёмник возвращается в начальный пункт (реокупация), с которого начинались измерения. По завершении измерений данные переносят в компьютер для постобработки. Программа вычисляет векторы базовых линий для определения положения всех пунктов относительно исходного или нескольких исходных пунктов с известными координатами. Непрерывная кинематика предполагает измерения без остановок на точках и используется для высокоточного координирования траектории движущегося объекта.

*Кинематика в реальном времени.* Этот режим работы используют с целью получения координат точек непосредственно в процессе измерений (режим *RTK–Real Time Kinematics*). Метод требует специального контроллера (полевого компьютера) для оперативной обработки и сохранения материалов. Как и в предыдущих режимах работ, в *RTK* один приёмник служит базовой станцией и устанавливается на исходном пункте. Второй приёмник перемещается по определяемым точкам. Базовая станция и подвижный приёмник связаны радиотелеметрической или другой системой связи. Данные коррекции по фазе несущих и другие поправки передаются на подвижный приёмник через модем. Благодаря этой информации на подвижном приёмнике производится обработка результатов и вычисляются приращения координат для точки по отношению к базовой станции за несколько секунд.

*Обработка результатов спутниковых измерений. Предварительная обработка результатов спутниковых измерений.* По завершении полевых наблюдений результаты переносятся с приёмника или контроллера на компьютер для дальнейшей обработки. *Постобработка спутниковых наблюдений осуществляется в два этапа:* предварительная обработка и уравнивание геодезических построений. Результатом обработки является готовая продукция: каталог координат пунктов геодезической сети или

цифровая карта или геоинформационная система региона или объекта. Предварительная обработка включает в себя обработку файлов спутниковых наблюдений, оперативный контроль и оценку качества измерений, выявление некачественных наблюдений и пунктов, требующих повторных наблюдений, подготовку данных для уравнивания. Программа предварительной обработки выполняет вычисления пространственных координат спутников по их эфемеридам. Точные эфемериды публикуются на сайтах GPS в Интернете. После их появления обработку можно повторить, что повысит точность координатных определений. Дальнейшая предварительная обработка заключается в разрешении неоднозначности фазовых измерений и вычислении векторов базовых линий. Технологию вычислительного процесса с некоторым упрощением можно представить следующим образом:

- сравниваются кодовые и фазовые данные приёмника;
- выполняется обработка с использованием третьих разностей фазовых измерений;
- определяются вещественные значения чисел неоднозначности и по ним вычисляются векторы базовых линий из обработки вторых разностей фазовых измерений;
- вещественные значения неоднозначностей приводятся к целым числам и по ним окончательно вычисляются векторы базовых линий, а также характеристики точности измерений.

*Окончательная обработка* заключается в совместном уравнивании результатов измерений на основе метода наименьших квадратов и вычислении координат пунктов с оценкой точности, а также преобразовании координат в требуемую систему. Для целей обработки спутниковых наблюдений могут быть использованы самые разные программные средства, как-то: Trimble Geomatics Office, Ashtech Solutions, 3S PAKK (Thales), Geo Office (Leica), Spectrum Survey (Sokkia) и другие. Многие программы унифицированы и приспособлены для обработки большинства типов приёмников. *Программы содержат следующие основные функциональные позиции:*

- планирование измерений на основе обработки альманаха спутников и информации о препятствиях на пунктах наблюдений;
- перенесение результатов наблюдений с приёмников на компьютер для постобработки;
- предварительная обработка, контроль качества измерений;
- окончательная обработка;
- образование базы данных и сервисные функции.

Используя программное обеспечение, создают проект, в рамках которого вводятся данные по объекту, и осуществляют постобработку. Информация

в памяти приёмника содержит кодовые, фазовые, эфемеридные и другие данные, полученные со спутника. Эта информация, а также данные о станции перекачиваются в базу созданного проекта. Кроме того следует указать опорные пункты и ввести их координаты, а также указать мобильные пункты, участвующие в обработке. Следует выбрать модель учёта тропосферных и ионосферных влияний, вариант использования эфемеридных данных, а также указать избранный вариант обработки по «коду» или по «фазе», хотя в обработку одновременно принимаются оба типа измерений. В соответствии с типом приёмника выбирается частота, на которой выполнены измерения. Пространственные расстояния, измеренные мерными лентами, свето- и радиодальномерами, не зависят от геодезической системы координат, но пространственные (наклонные) расстояния, получаемые по результатам спутниковых измерений или вычисленные по координатам двух точек  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , в разных системах координат разные, если угловые и масштабный параметры связи не равны нулю. При использовании космической навигационной системы ГЛОНАСС координаты точек местности вычисляются в координатной системе ПЗ-90, а при работе в навигационной системе GPS соответственно в WGS-84. Таким образом, работая с навигационной системой GPS необходимо выполнить преобразование координат (геодезических или пространственных прямоугольных) из системы WGS в систему ПЗ и далее в референционную систему координат СК-95 (или местную систему координат). Геодезические сети со сторонами в пределах 20 км обычно обрабатываются на плоскости в принятой проекции Гаусса-Крюгера. В этом случае конечным результатом обработки являются вычисленные плоские прямоугольные координаты пунктов. *Особенности обработки результатов измерений в инженерно-геодезических сетях для обеспечения геологического производства.* Инженерно-геодезические построения по сравнению с государственными спутниковыми и астрономо-геодезическими сетями имеют некоторые специфические особенности:

- занимают сравнительно небольшие площади, а расстояния между смежными пунктами составляют от нескольких сотен метров до нескольких километров;
- стороны сети могут иметь значительные углы наклона к горизонту;
- пункты специальных разбивочных сетей характеризуются высокой точностью определения взаимного положения;
- сети имеют значительное число избыточных измерений и поэтому – большое число дополнительных условий;
- могут не иметь связи с государственной астрономо-геодезической сетью;

– инженерно-геодезические сети могут располагаться в предгорной и горной местности, где имеются значительные колебания уклонов отвесных линий.

Перечисленные особенности инженерно-геодезических сетей естественным образом отразятся на процессах обработки результатов измерений, в частности на редуцированных вычислениях. Обработку измерений, как показывает практика, проще выполнять в местной системе координат. В качестве отсчётной поверхности в этой местной системе координат выбирают сферу радиуса  $R$ , равного среднему радиусу кривизны принятого референц-эллипсоида в пределах сети. Результаты всех измерений редуцируют на поверхность этой сферы. В качестве исходного пункта может быть выбран любой пункт сети в местной системе координат, но также координаты этого пункта могут быть определены из абсолютных спутниковых измерений. Современные инженерно-геодезические сети представляют собой в основном комбинации спутниковых построений с линейно-угловыми, в частности полигонометрическими сетями, но могут быть представлены просто в виде линейно-угловых построений, привязанных к местным координатным системам. В любом случае результатами измерений в таких сетях кроме векторов базы спутниковых определений будут длины сторон сети, а также вертикальные и горизонтальные углы. Поскольку в инженерно-геодезических сетях длины сторон невелики, точность измерения вертикальных углов сравнима с точностью измерения горизонтальных углов. Редуцированная задача вследствие этих причин будет сводиться к редукации длин сторон сети и векторов базы, горизонтальных углов и зенитных расстояний.

## Тема 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

железа – эталона, изготовленного из платино-иридиевого сплава в 1889 г. и хранящегося в Международном бюро мер и весов в Париже. Копия №28 этого железа 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 градусную систему, в которой 1 град составляет  $1/400$  окружности, градусная минута –  $1/100$  град, а градусная 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  $\delta$  – отклонения отдельных значений измеренной величины от арифметической средины, называемые вероятнейшими погрешностями, причем  $[\delta] = 0$ .

Точность арифметической средины, 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.

## Тема 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  $180^\circ$  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. Как итог:

- 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 о 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. 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.

## Тема 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  $\beta = \hat{BAC} = c - b$ .

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.

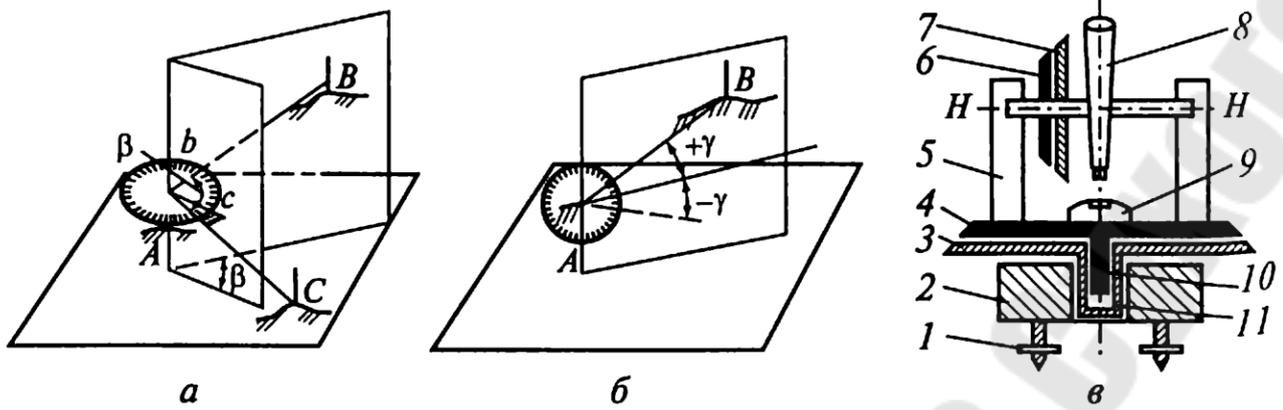


Рисунок 13.1 – Измерение углов теодолитом: а – горизонтального; б – вертикального; в – принципиальная схема устройства теодолита; 1 – винт; 2, 5 – подставки; 3, 7 – лимбы; 4, 6 – алидады; 8 – зрительная труба; 9 – уровень; 10, 11 – оси

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.

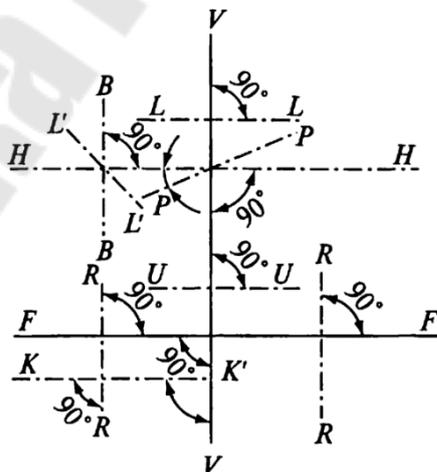


Рисунок 13.2 – Геометрическое условие теодолита: оси  $PP$  перпендикулярны плоскости рисунка, остальные оси взаимно-перпендикулярны, углы равны  $90^\circ$

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  $-40...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В строительстве, изыскательских работах, при монтаже машин, оборудовании, 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 полую 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  $1^{\circ}$ .

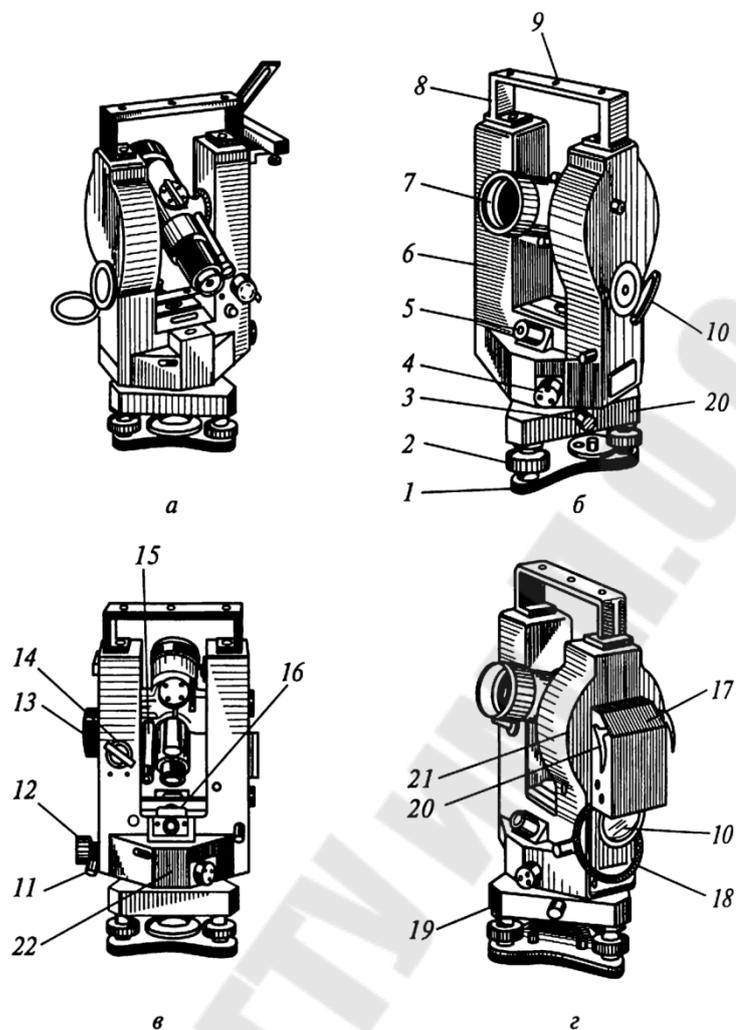


Рисунок 13.3 – Теодолит ЗТ5КП в рабочем состоянии:

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.

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.

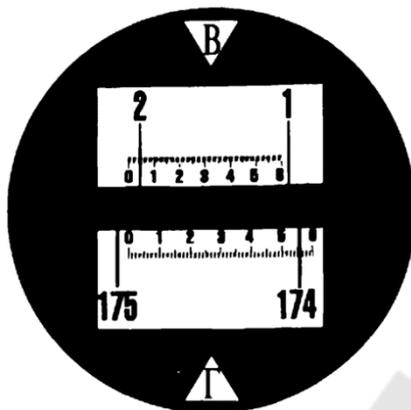


Рисунок 13.4 – Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита ЗТ5

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 (рисунок 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.

Для центрирования визирной марки над точкой применяют оптический двусторонний отвес (ОДО). Марку центрируют следующим образом (рисунок 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.

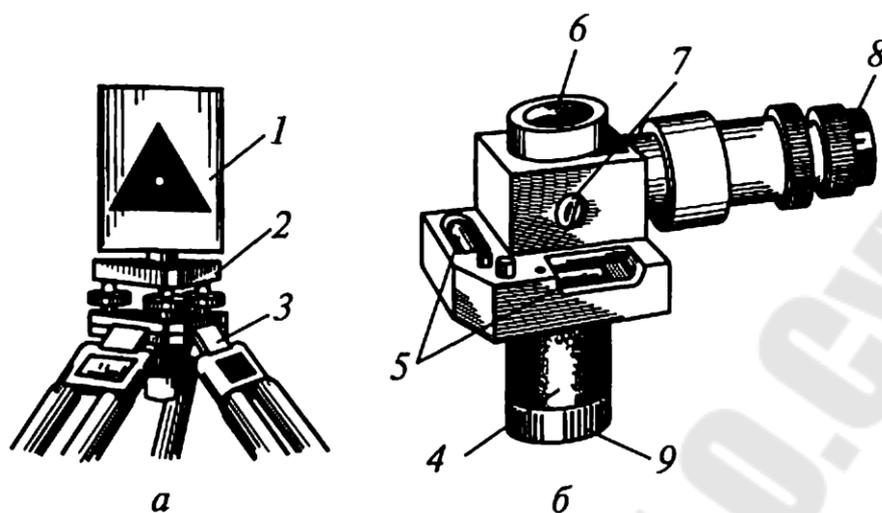


Рисунок 13.5 – Элементы установки визирных целей:  
 а – комплект визирных целей; б – оптический отвес; 1 – марка; 2 – подставка;  
 3– штатив; 4 – вертикальная ось; 5 – уровень; 6,9– объективы;  
 7– переключатель направлений; 8 – окуляр

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).

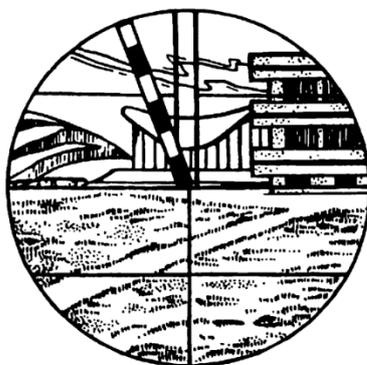


Рисунок 13.6 – Поле зрения трубы при наведении на веху  
 (изображение перевернуто)

Центр сетки трубы совмещают с ее основанием. Шпильки устанавливают при измерении углов с короткими сторонами. Острые 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  $45^\circ$  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.

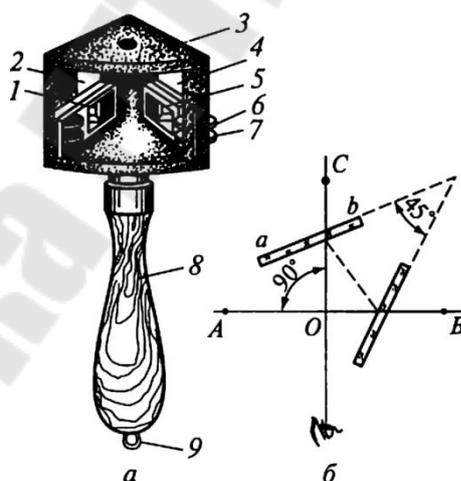


Рисунок 13.7 – Двухзеркальный ЭГ:

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  $45^\circ$ , 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  $BAC$  (рисунок 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.

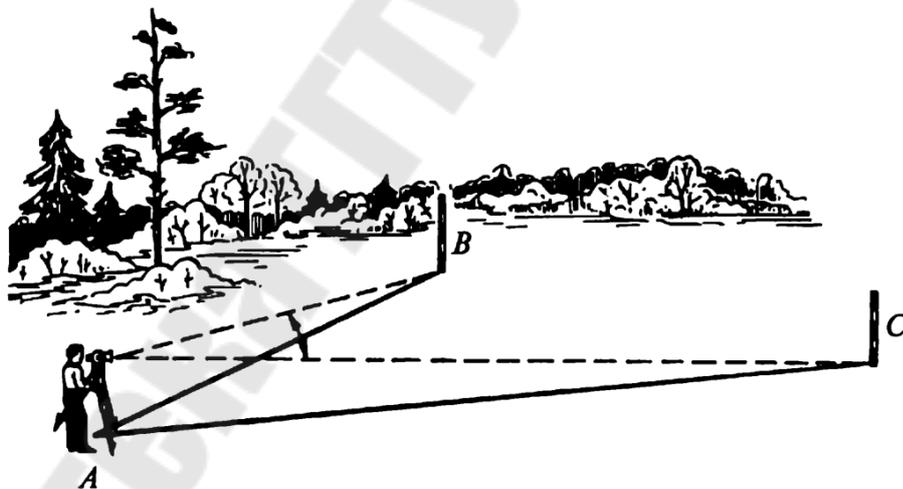


Рисунок 13.8 – Измерение горизонтального угла

Глядя поверх 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.

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.

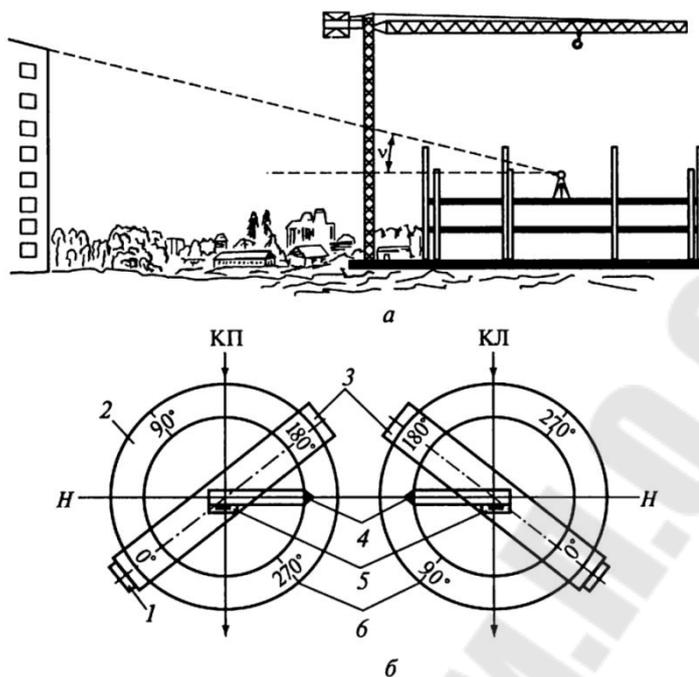


Рисунок 13.9 – Измерение вертикального угла: а – схема; б – положение оси визирования; 1 – окуляр; 2 – вертикальный круг; 3 – объектив; 4 – отсчетный индекс; 5 – уровень; 6 – оцифровка; НН – горизонтальная ось

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 *нуль-пункте*, 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 ЗТ30), то перед отсчетом по вертикальному кругу приводится в нуль-пункт уровень при горизонтальном круге.

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.

*Типы электронных тахеометров и их конструктивные особенности.*

*Электронный тахеометр* – геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов и расстояний с помощью встроенного электрооптического дальномера. Тахеометры снабжены модулями памяти и возможностью подключения к персональному компьютеру для последующей обработки данных, полученных в ходе съемки или измерений. Это многократно ускоряет процессы полевых работ и обработки информации. Современные тахеометры достаточно просты в использовании и лишены погрешностей, связанных с человеческим фактором, так как большинство процессов измерений и вычислений автоматизированы. На рисунке 13.10 представлен электронный тахеометр *Sokkia SET 250RX* – это современный инженерный тахеометр высокой точности от компании *Sokkia* (Япония). Усовершенствованная конструкция импульсного безотражательного дальномера – *REDtech II* позволяет измерять расстояния свыше 400 м без отражателя с высокой точностью, прибор успешно можно использовать в процессе производства большинства геодезических измерений, и для целей диагностики и контроля, например, осадок фундаментов, кренов мачт и колонн.



Рисунок 13.10 – Электронный тахеометр *Sokkia SET 250RX*

Многофункциональное встроенное инженерное программное обеспечение тахеометра *SET 250RX* в совокупности с современными техническими решениями дает широкие возможности применения тахеометра *SET 250RX* не только в строительстве, землеустройстве и топографии, но и для производства точных инженерных измерений и быстрых полевых расчётов.

Тахеометр *SET 250RX* имеет значительный объём внутренней памяти в сочетании с возможностью использования *Bluetooth*® (опционально), карт памяти и *USB flash* диска для хранения и переноса данных с прибора на компьютер. Простой экспорт данных (форматы *DXF/TXT/SDR*, с помощью специального ПО, которое входит в комплект поставки) позволяет проводить дальнейшую обработку данных электронного тахеометра. Инженерная модель тахеометра *SET 250RX* полностью защищена от пыли и воды, её можно применять при любом дожде и в сильно запыленных местах. Все приборы фирмы *Sokkia* изготавливаются только в Японии. *Leica TS06power* (рисунок 13.11) – это безотражательный электронный тахеометр с дальностью измерений без отражателя 400 м и указателем створа. Прибор снабжён лазерным центриром, имеет функциональное меню на базе *Windows CE 5.0 Core* и большой дисплей с подсветкой. Удобное управление, расширенная буквенно-цифровая клавиатура и понятный интерфейс, мощное ПО *FlexOffice Standart* с большим набором программ делает прибор привлекательным. Электронный тахеометр изготавливается в Швейцарии.



Рисунок 13.11 – Электронный тахеометр *Leica TS06power*

*Технические показатели прибора следующие:*

- точность угловых измерений 5", линейных – 1,5 мм + 2 ppm,
- дальность 3500 м на призму, без отражателя – 400м,
- буквенно-цифровая клавиатура, память 100000 точек,
- лазерный центрир, целеуказатель, указатель створа,
- температурный диапазон работы до  $-25^{\circ}\text{C} \div +30^{\circ}\text{C}$ , защита IP55.

Тахеометр поставляется в защищенном от пыли и влаги кейсе для переноски

прибора и принадлежностей. В кейсе предусмотрены отсеки для основных принадлежностей – аккумулятора, зарядного устройства, мини-призмы, измерителя высоты прибора и различных кабелей. Кейс предназначен для жестких условий эксплуатации и имеет малый вес.

Тахеометр *Topcon ES* (рисунок 13.12) отличается большей дальностью работы без отражателя, которая составляет 500 м на стандартную призму до 4 000 м с точностью  $\pm 2 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$ . Время выполнения измерений сокращено и составляет в режиме точных измерений 0,9 секунды, а в режиме грубых измерений всего 0,5 секунды. Вынесенная на боковую панель инструмента кнопка запуска измерений позволяет выполнять измерения быстро и не отрывая взгляд от окуляра. Минимальное измеряемое расстояние без отражателя – 0,3 м. Прибор снабжён створоуказателем для работ по выносу точек в натуру и лазерным целеуказателем, соосным со зрительной трубой.

Питание тахеометра *Topcon ES* осуществляется от аккумулятора новой конструкции, позволяющего работать до 36 часов без подзарядки. Это лучший показатель среди приборов аналогичного класса. Встроенный модуль *Bluetooth* и *USB* позволяют подключать внешний контроллер и управлять процессом сбора данных на удалении до 300 м от прибора, даёт

возможность подключения контроллера-накопителя с программным обеспечением для решения специальных геодезических задач.



Рисунок 13.12 – Электронный тахеометр *Topcon ES*

Имеется порт *USB* для расширения памяти и передачи данных. Дисплей тахеометра *Topcon ES* имеет жидкокристаллический экран высокого разрешения (192×80 пикселей) и алфавитно-цифровую клавиатуру с подсветкой. В тахеометрах *TOPCON* серии *ES* используется абсолютно новое программное обеспечение, которое значительно расширяет возможности прибора при выполнении геодезических работ.

Внедрённые новые технологии позволяют решать такие задачи как: определение трехмерных координат, геодезическая съемка, обратная засечка, определение высоты объекта, определение недоступного расстояния, измерения со смещениями, вынос в натуру, проецирование точки, площадные вычисления, пересечения, уравнивание теодолитного хода, съемка поперечников, дорожные работы.

*Конструктивные особенности тахеометров.* Электронными тахеометрами называют приборы, совмещающие в себе функции светодальномера, цифрового теодолита и полевого компьютера. Следовательно, электронный тахеометр совмещает в себе несколько функций. Рассмотрим в отдельности функции угломерного прибора и светодальномера, составляющие основу тахеометра как измерительного прибора. Основными конструктивными элементами обыкновенного оптико-механического теодолита являются:

- визирное приспособление, которое выполняется в виде зрительной трубы с сеткой нитей;
- угломерные круги или лимбы (вертикальный и горизонтальный) с системой градусных или градовых делений по контуру круга;

– *отсчётные приспособления*, позволяющие считывать дробные части наименьшего деления угломерного круга (верньеры, штриховые, шкаловые микроскопы или оптические микрометры);

– *система горизонтирования* – приспособления, позволяющие приводить ось

вращения прибора в вертикальное положение;

– *система центрирования* – приспособления, позволяющие устанавливать центр угломерного круга над вершиной измеряемого угла.

Все перечисленные конструктивные элементы являются составными частями также и цифровых теодолитов. Различие касается конструкции угломерного

круга и, естественно, отсчётного приспособления, позволяющего легко считывать отсчёт лимба по электронному табло в цифровом виде. В цифровых теодолитах используют не традиционную систему делений угломерных кругов на градусы или градусы, а устройства, преобразующие вращательные перемещения алидады относительно лимба в электрические импульсы, которые легко регистрировать и выводить на экран в виде цифровых значений. Принцип преобразования вращательного движения в электрические импульсы в двоичном коде исчислений можно представить на примере *кодового диска* (рисунок 13.13). Диск, выполненный из прозрачного материала, делят на чередующиеся чёрные и прозрачные участки. Просвечивая такой диск пучком света, на оборотной стороне, при его вращении, будут наблюдаться только два возможных события: свет есть или света нет. Световые импульсы преобразуются в электрические сигналы при помощи фотодетектора, а счётное устройство регистрирует количество этих сигналов. Таким образом, *лимб цифрового теодолита* представляет собой стеклянный круг с нанесённой кодовой маской в виде концентрических кодовых дорожек с прозрачными и непрозрачными зонами. Методы кодирования лимбов могут различаться, отдельные участки лимба могут быть обозначены кодовыми комбинациями, расположенными по окружности.

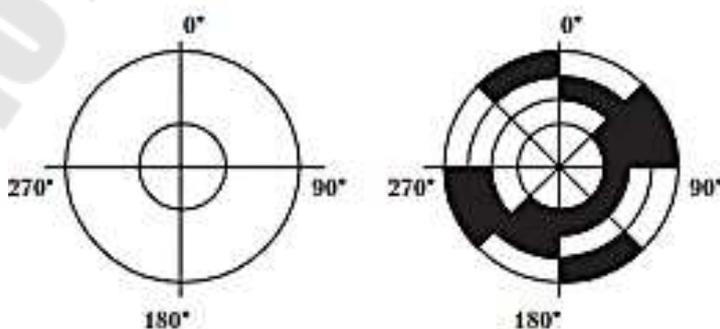


Рисунок 13.13 – Кодовый диск

Для уменьшения числа делений применяют устройства, позволяющие считывать порядковый номер интервала, а также измерять дробную часть интервала. Для уменьшения влияния эксцентриситета изображение одной половины кодового диска совмещают с изображением другой, диаметрально противоположной. Совмещение достигается при помощи оптической системы. Отклонение вертикальной оси вращения теодолита от отвесной линии приводит к ошибкам при измерении горизонтальных углов. Величина этой ошибки зависит от угла наклона вертикальной оси вращения прибора, высоты цели над горизонтом и величины горизонтального угла между плоскостью наклона вертикальной оси вращения прибора и направлением на цель (рисунок 13.14).

*Программное обеспечение и основные характеристики инженерных тахеометров.* Современные тахеометры оборудованы вычислительными запоминающими устройствами, позволяющими сохранять измеренные или проектные данные, вычислять координаты точек, недоступных для прямых измерений по косвенным наблюдениям, некоторые современные модели дополнительно оснащены системой GPS.

Встроенный *микропроцессор* позволяет тахеометру самостоятельно решать широкий *спектр задач*:

- прямая и обратная геодезическая задача;
- расчет площадей, вычисление засечек, тахеометрическая съемка и вынос в натуру;
- измерения относительной базовой линии;
- определение недоступных расстояний и высот.

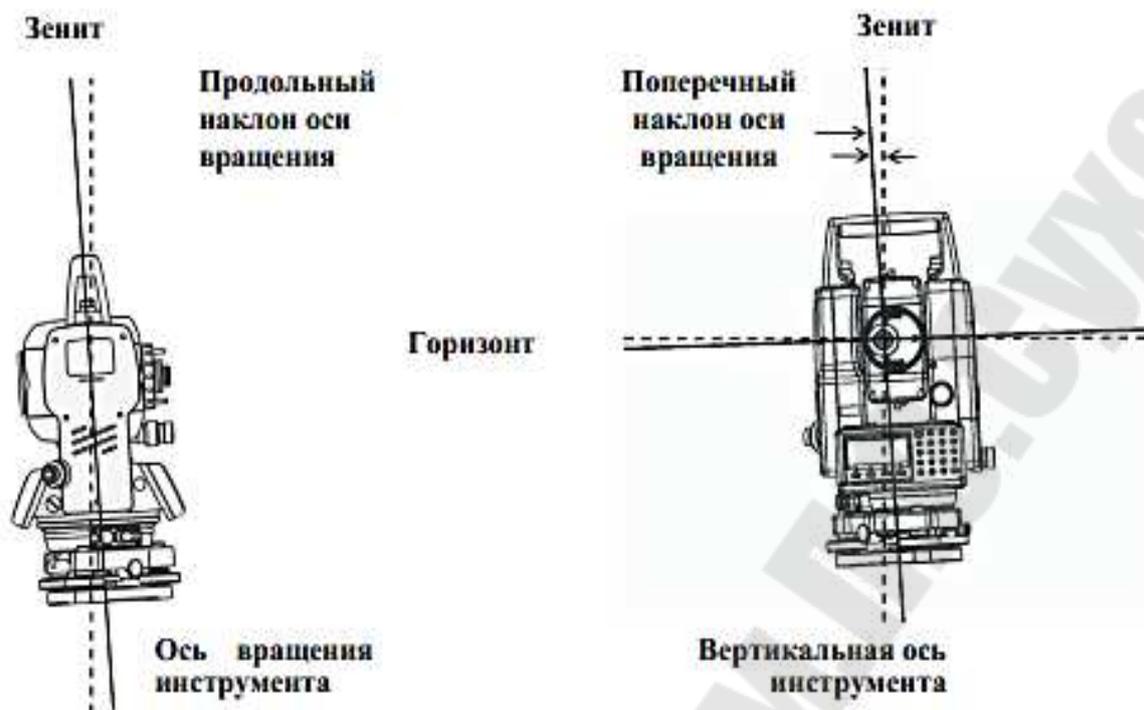


Рисунок 13.14 – Углы наклона оси вращения

Электронный тахеометр автоматически учитывает при измерениях влияние кривизны Земли и рефракции атмосферы. Для производства геодезических работ с использованием электронных тахеометров применяют специальные отражательные системы. *Компьютерные тахеометры* – современные электронные тахеометры, обеспечивающие *прямой обмен* информацией с полевыми и базовыми персональными компьютерами, снабжённые сервоприводами, дистанционным компьютерным управлением, системами автоматического слежения за целью и набором универсальных, полевых геодезических программ.

Тахеометры обладают следующими полезными возможностями:

- электронной системой слежения за вертикальностью прибора (электронные уровни и компенсатор);
- лазерным дальномером, который, помимо измерений с отражателем, часто оснащён также безотражательным режимом измерения расстояний (позволяет тахеометру производить измерения непосредственно на поверхность объекта);
- памятью, в которой хранятся все измерения и расчеты, выполненные тахеометром системой учета коллимации и рефракции, что даёт возможность работать с тахеометром только при одном круге;
- более совершенные модели тахеометров оснащены сервомоторами и возможностью автоматического захвата и слежения за отражателем. Такой тахеометр производит измерения в роботизированном режиме при минимальном участии наблюдателя.

Методы работы с электронными тахеометрами являются общими для большинства моделей, а различия могут касаться разве что порядка ввода информации, функций клавиш, возможностей программного обеспечения и т.п. Поэтому порядок производства измерений ниже представлен схематично, без привязки к конкретной модели электронного тахеометра. Прибор после установки над пунктом и приведения в рабочее положение включают. В автоматическом режиме производится самодиагностика и, если необходимо, следует откорректировать вертикальность оси вращения прибора, проконтролировать зарядку элементов питания. *Первым важным шагом* является ввод константы (постоянной поправки) отражателей, которые в комплекте естественно должны быть с идентичной геометрией. Следующим немаловажным шагом является ввод информации о состоянии атмосферы. В зависимости от используемой модели прибора здесь могут быть варианты. Атмосферная поправка может вводиться только при высокоточных измерениях, в остальных случаях она принимается по умолчанию нулевой, а температура и давление – стандартными. Есть приборы с встроенными датчиками температуры и давления, и для них достаточным является перевод учета атмосферных факторов в автоматический режим. *Следующим шагом* работы на пункте является ввод в память прибора данных о станции. Углы и расстояния, как правило, измеряются в различных файлах, и порядок их измерений не является вопросом принципиальным. Однако следует принимать во внимание, что измерение угла является процессом более тонким или деликатным, чем измерение расстояния. Углы измеряют многократно (в 6 или даже 8 приёмов), в то время, как при измерении расстояний ограничиваются двумя-тремя наведениями на призму и включением измерений. В меню выбирают «Измерения» и входят на страничку «Углы». Отсчёт по горизонтальному кругу на заднюю точку устанавливают равным нулю. Это положение следует зафиксировать, запомнить. Для измерения расстояния до задней точки следует войти на страничку «Расстояния» и нажать клавишу «Измерения». На экране отобразятся: наклонное расстояние; горизонтальная проекция этого расстояния; угол наклона линии или зенитное расстояние; отсчёт по горизонтальному кругу.

На пикетах ставят специальные вешки с отражателями, при наведении на которые автоматически определяются расстояние, горизонтальные и вертикальные углы.

Совместное использование электронного тахеометра с компьютером позволяет полностью автоматизировать процесс построения модели местности.

## Тема 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.

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.

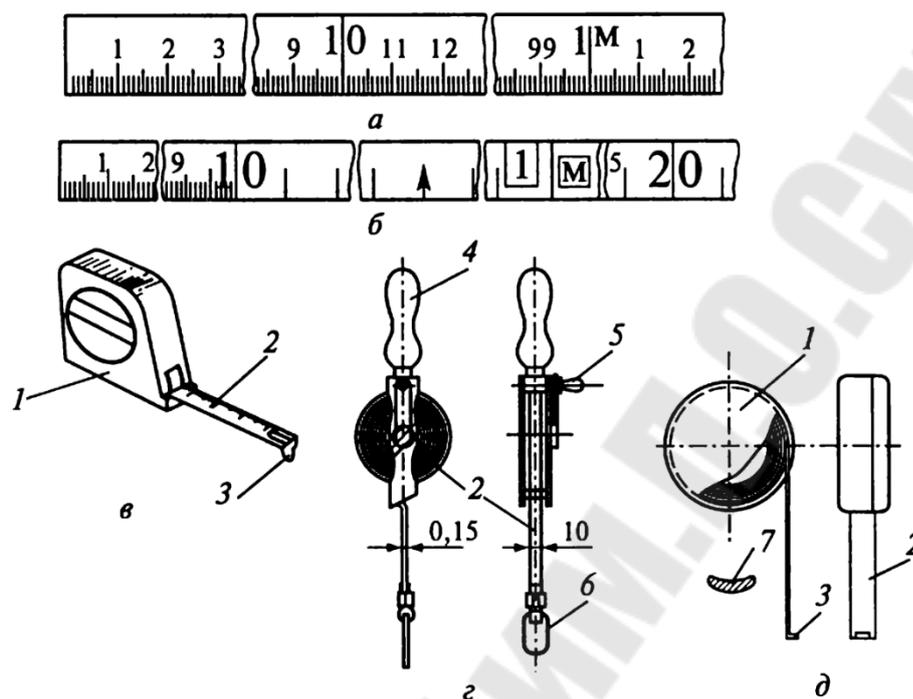


Рисунок 14.1 – Стальные рулетки:

- 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

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). 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.

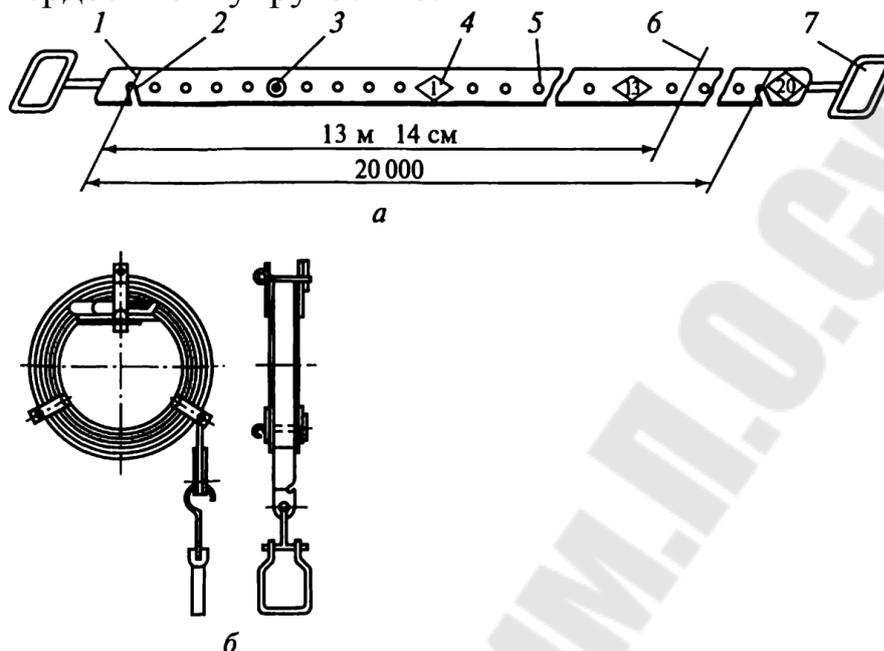


Рисунок 14.2 – Землемерная лента: а – при измерении; б – на станке;  
1 – штрих; 2 – вырез; 3 – заклепка; 4 – пластина; 5 – отверстие;  
6 – линия, до которой выполнено измерение; 7 – ручка

На концах 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 строительно-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* (рисунок 14.3, а) имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов. В поле зрения трубы (рисунок 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, следовательно расстояние с учётом коэффициента дальномера равно 21,5 м. 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.

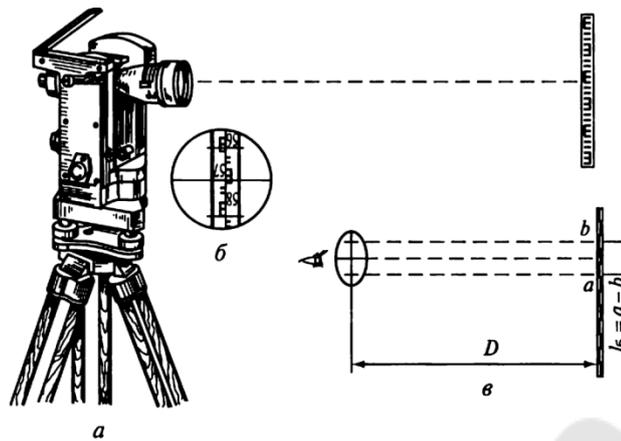


Рисунок 14.3 – Оптический дальномер: а – внешний вид; б – поле зрения трубы; в – схема измерения

Принцип действия дальномера с постоянным базисом рассмотрим на конкретном примере определения расстояния от точки  $A$  до точки  $B$  (рисунок 14.4). В точке  $A$  устанавливают теодолит. В точке  $B$  располагают отрезок (базис), длина которого  $l_b$  точно известна. Тогда, измерив угол  $\alpha$ , можно по известной из тригонометрии формуле  $D = l_b \times \operatorname{tg} \alpha$  вычислить расстояние между точками  $A$  и  $B$ .

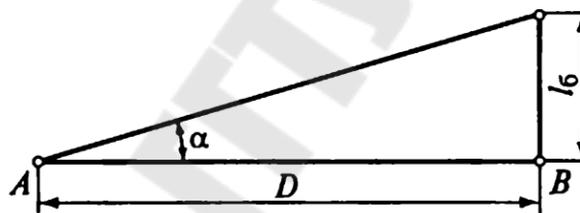


Рисунок 14.4 – Схема выполнения дальномерных измерений при постоянном базисе

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  $AB$  (рисунок 14.5) 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.

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.

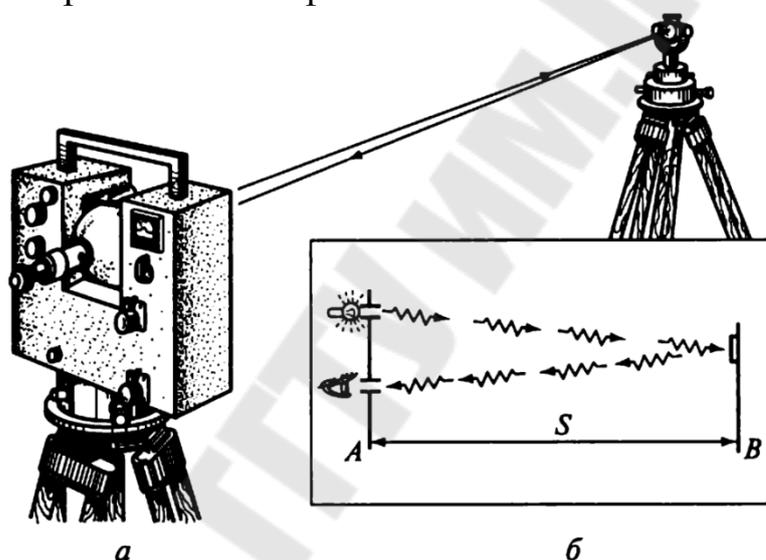


Рисунок 14.5 – Светодальномер: а – установка светодальномера и отражателя; б – ход лучей при измерении линий

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 (рисунок 14.6), которые не требуют отражателей.

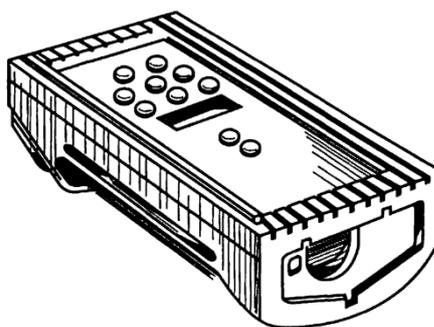


Рисунок 14.6 – Лазерная рулетка

## Тема 15 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 (рисунок 15.1, а) представляет собой оптическую систему (рисунок 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 (рисунок 15.1, в).

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*.

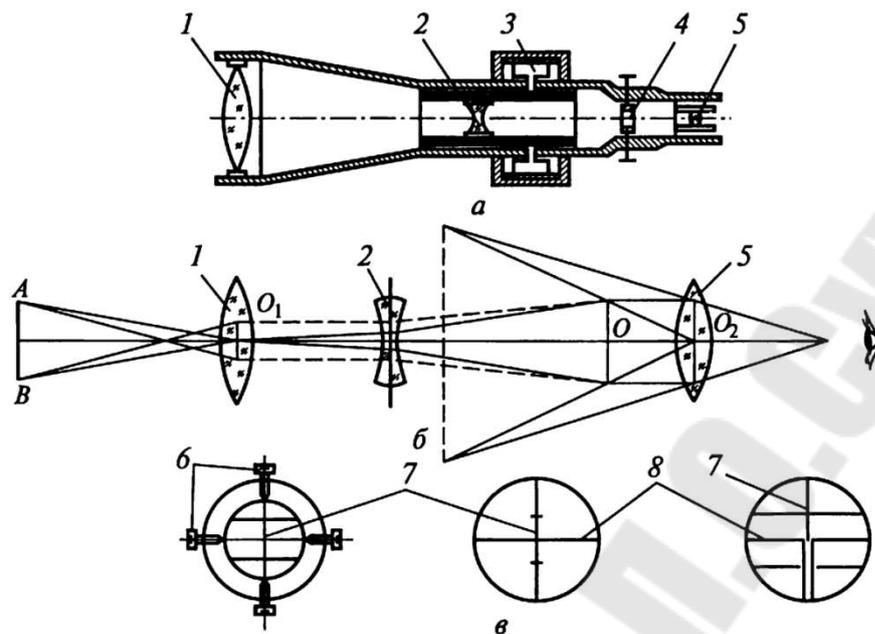


Рисунок 15.1 – Зрительная труба нивелира: а – разрез; б – оптическая схема; в – поле зрения и сетки нитей в различных приборах;

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

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 (рисунок 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  $mn$  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  $2...60''$ .

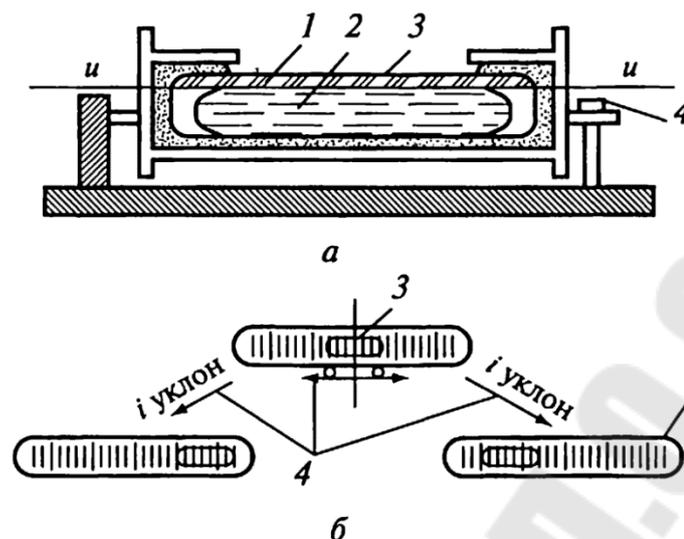


Рисунок 15.2 – Цилиндрический уровень и уклоны при положении пузырька: а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – ампула; 2 – жидкость; 3 – пузырек; 4 – исправительный винт; 5 – уклон ампулы

*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* (рисунок 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 (рисунок 15.3, б).

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'.

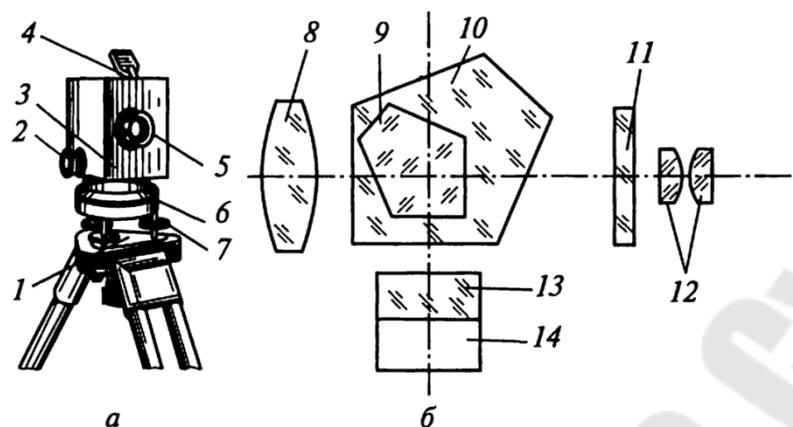


Рисунок 15.3 – Нивелир Н-10КП: а – внешний вид; б – оптическая схема;  
 1 – установочная прижимная пластина; 2 – маховичок; 3 – корпус;  
 4 – круглый уровень с зеркальцем; 5 – объектив; 6 – подставка;  
 7 – закрепительный винт; 8, 12 – линзы объектива и окуляра; 9,  
 10 – пентапризмы; 11 – сетка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

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 concentрических окружностей или в нуль-пункт.

Лазерные нивелиры (рисунок 15.4) представляют собой комбинацию нивелиров б 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.

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.

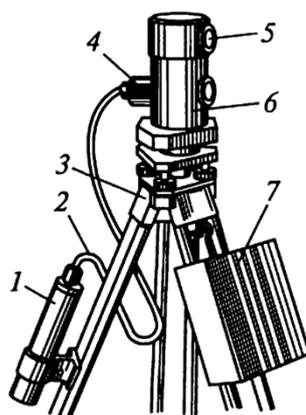


Рисунок 15.4 – Лазерный нивелир: 1 – лазерная трубка; 2 – световод; 3 – штатив; 4 – переходная деталь; 5 – объектив; 6 – нивелир; 7 – блок электропитания

Автоматизирован и весь процесс обработки результатов нивелирования с их запоминанием и хранением.

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

Нивелирная рейка (рисунок 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.

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.

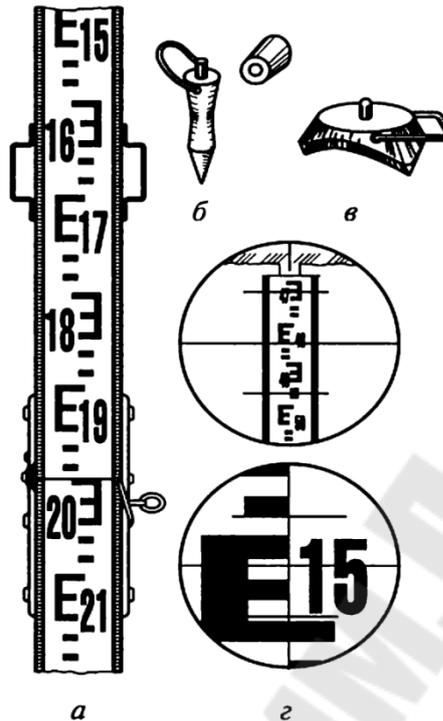


Рисунок 15.5 – Нивелирная рейка:

а – внешний вид; б – костыль; в – башмак; г – отсчеты по рейке

Нивелирные рейки можно применять в разное время года при различных метеорологических условиях. Температурный диапазон работы реек  $-40...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Во время работы рейки устанавливают на деревянные колья, костыли или башмаки. Отсчеты по рейкам (рисунок 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.

В настоящее время лазерные нивелиры выпускают в основном с автоматически горизонтирующимся пучком излучения, вращающимся лазерным пучком и другими особенностями.

*Способы нивелирования.* По способам выполнения и применяемым приборам различают: геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое и барометрическое нивелирования.

Геометрическое нивелирование — наиболее распространенный способ. Его выполняют с помощью нивелира, задающего горизонтальную линию визирования. Сущность геометрического нивелирования (рисунок 15.6, а) заключается в следующем.

Нивелир устанавливают горизонтально и по рейкам с делениями, стоящими на точках  $A$  и  $B$ , определяют превышение  $h$  как разность между отрезками  $a$  и  $b$ .

Если известна отметка  $H_A$  точки  $A$  и превышение  $h$ , отметку  $H_B$  точки  $B$  определяют как их сумму:

$$H_B = H_A + h.$$

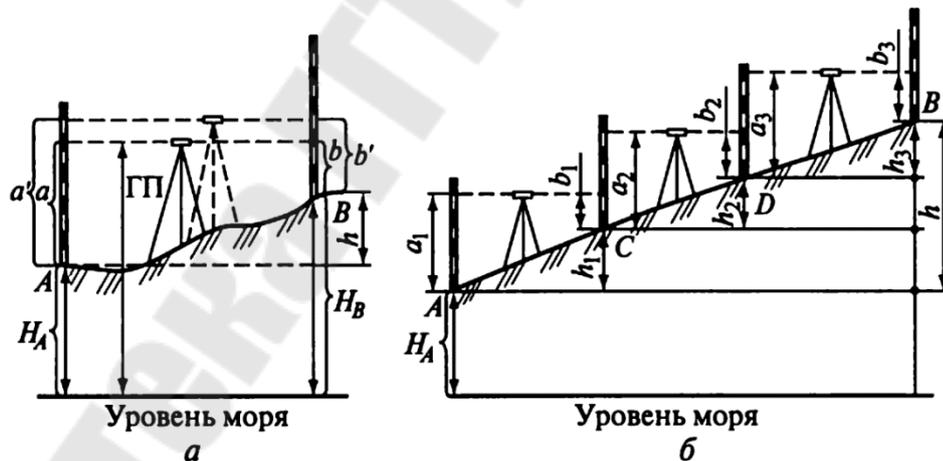


Рисунок 15.6 – Схемы нивелирования: а – простого; б – сложного

Во избежание ошибок в знаке превышения точку, отметка которой известна, считают задней, а точку, отметку которой определяют, — передней, т.е. превышение — это всегда разность отсчетов назад и вперед. Иногда отсчет по рейке называют «взглядом», поэтому превышение равно «взгляд назад» минус «взгляд вперед».

Место установки нивелира называется станцией. С одной станции можно брать отсчеты по рейкам, установленным во многих точках. При

этом превышение между точками не зависит от высоты нивелира над землей. Если поставить нивелир выше (на рисунке 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. рисунок 15.6, а).

Если же превышение между точками можно определить только после нескольких установок нивелира, то такое нивелирование условно называют *сложным* (рисунок 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.

## **Тема 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.

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.

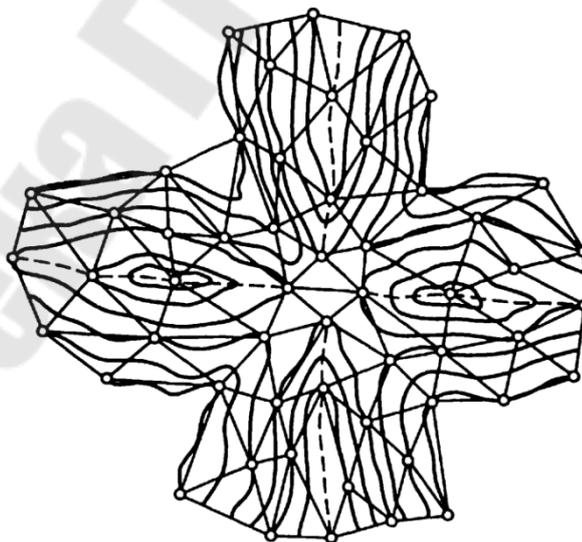


Рисунок – 16.1 Схема расположения точек цифровой модели в характерных местах рельефа и на горизонталях

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 (рисунок 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.

## Тема 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 (рисунок 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 (электропередачи, 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.

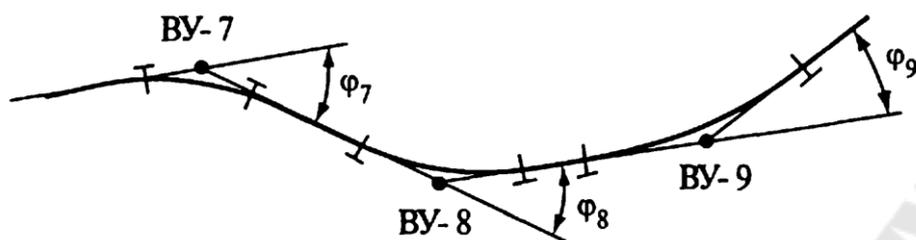


Рисунок 17.1 – Элементы плана трассы

Степень искривления трассы определяется значениями *углов поворота*. Углом поворота трассы называют угол с вершиной  $\varphi$  (ВУ- $\varphi$ ), образованный продолжением направления предыдущей стороны и направлением последующей стороны. На трассах магистральных железных дорог, трубопроводов и линий электропередачи углы поворота не должны превышать  $15... 20^\circ$ . 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 м<sup>2</sup>). 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 (рисунок 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.

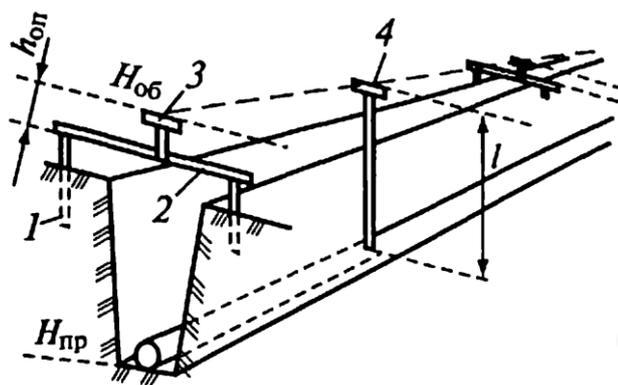


Рисунок 17.2 – Обноска для применения способа визирок при рытье траншеи:  
 1 – деревянный столб; 2 – горизонтальная доска; 3 – опорная визирка;  
 4 – ходовая визирка

При рытье траншеи 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 обносков.

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 колея 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 устанавливают 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.

*Техническое нивелирование трассы. Техника нивелирования по пикетам.*

Нивелирование по пикетам выполняют, используя геометрическое нивелирование горизонтальным лучом. Нивелир последовательно устанавливают на станциях приблизительно посередине между двумя связующими точками, в качестве которых в основном вступают пикеты. В отдельных случаях связующими точками могут быть плюсовые точки и икс-точки, которые разбивают при крутых спусках и подъемах. Связующие точки на каждой станции нивелируют с контролем: используют две рейки с чёрной и красной сторонами, либо отсчёты берут при двух горизонтах нивелира, либо прокладывают ход параллельно двумя приборами. Схема нивелирования по пикетам представлена на рисунке 17.3.



Рисунок 17.3 – Схема нивелирования по пикетам

Расхождение между двумя значениями превышение не должны быть более  $\pm 5$  мм. При переходе с нивелиром на каждую следующую станцию рейки меняются местами, т. е. задняя рейка становится передней. Плюсовые точки, установленные в местах перегиба рельефа между пикетами и называют *промежуточными* и они обязательно обозначаются, например пк 2+30, то есть данная точка находится в 30 м от пикета 2 и между пикетом 2 и пикетом 3. Если плюсовые точки не являются связующими, то превышения на них определяются один раз. Поперечники нивелируют также как и промежуточные точки после взятия отсчёта на связующие.

При нивелировании при двух горизонтах прибора отчёты по средней нити на промежуточные точки берут при втором положении нивелира.

После того как подтвердится правильность нивелирования связующих точек.

При нивелировании по пикетам предельная длина визирного луча принимается 100-150 м. Нивелирование по пикетажу при любом перерыве надо заканчивать на постоянном или временном репере, в качестве которого можно использовать специальные вбитые в землю длинные колья, гвозди или штыри забиты в пни деревьев, надёжные большие камни. Не разрешается прерывать нивелирование на пикетных кольшках трассы и иксовых-точках. Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч "на глаз" (рисунок 18.1). Вдоль трассы между закреплёнными или опознанными точками прокладывают теодолитный и нивелирный магистральные ходы. Точность построения теодолитного и нивелирных ходов регламентирована в зависимости от стадии проектирования и вида линейного сооружения. Для нивелирных ходов невязки не должны превосходить значения  $50 \cdot L_{\text{км}}$  (мм), где  $L$  - длина хода в километрах. Поскольку для развития опорных плановых сетей сегодня используют спутниковые технологии, то построение плановой основы для целей строительства трассы схематично можно представить следующим образом. На первом этапе выбирают исходные пункты каркасной сети. Такими пунктами, которые будут служить базовыми станциями, могут быть региональные пункты ВГС и СГС. Далее вдоль трассы выбирают места с открытым горизонтом для закладки пунктов спутниковой сети. В этих точках будут установлены приёмники роверных станций. Наблюдения производят с использованием максимально возможного количества приёмников в режиме статики и быстрой статики. В местах строительства переходов, пересечений и искусственных сооружений устанавливают как минимум три пункта СГС, что позволит проконтролировать их построение. По пунктам СГС вдоль трассы прокладывают магистральный ход, который позволяет произвести сгущение спутниковой сети. Это полигонометрический ход 2 разряда, в котором длины линий и горизонтальные углы измеряются электронным тахеометром. Поскольку с использованием электронного тахеометра измеряются превышения между смежными точками хода, то прокладкой магистрального хода решается вопрос построения высотной основы трассы. В процессе прокладки магистрального хода ведут поиск упрощающих местных вариантов с целью уменьшения уклонов вдоль оси трассы, обходя локальные неблагоприятные участки, сельскохозяйственные угодья, построенные новые капитальные объекты и т.д.

*Нивелирование через препятствия.* Нивелирные ходы, прокладываемые по пикетам и для привязки трассы к пунктам высокой опорной

геодезической сети, могут пересекать реки, овраги, заболоченные участки или обрывы. Нивелирование каждого из этих препятствий имеет свои особенности. Рассмотрим нивелирование реки, оврага или заболоченного участка шириной до 200 м (рисунок 17.4).

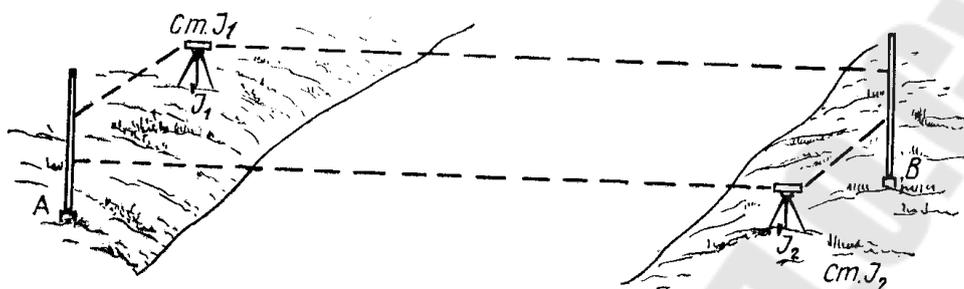


Рисунок 17.4 – Нивелирование через реку

Выбирают точки  $I_1$  и  $I_2$  для установки нивелира так, чтобы расстояние  $I_1A = I_2B$ ,  $I_1B = I_2A$ . С каждой станции  $I_1$ ,  $I_2$  делают отчёты по обеим сторонам рек, поставленных на точках А и В и вычисляют превышение. За окончательный результат принимают их среднее значение.

Для уменьшения влияние рефракции нивелирование рекомендуется выполнять в облачные дни, а если в солнечную погоду, то только утром и вечером. При этом следует максимально сократить время перестановки нивелира со станции  $I_1$  на  $I_2$  или выполнять нивелирование одновременно двумя приборами. Если расстояние между точками А и В окажется в пределах от 200 до 300 м, то с каждой станции превышение между точками определяют также, но при двух установках нивелира по высоте. Если расстояние между А и В более 300 м, то на рейке устанавливают ярко окрашенный щиток длиной 5-10 см с прорезанной по середине горизонтальной щелью.

При визировании на дальнюю рейку щиток передвигают вдоль рейки до тех пор, пока прорезанная щель не совместится с горизонтальной нитью. Отсчёт по рейке берет не исполнитель, а находящийся возле рейки реечник через щель щитка. При переходе через водное препятствие зимой по льду под рейки и под ножки штатива заранее вмораживают в лёд деревянные колышки, по которым производят нивелирование.

Летом при предварительных изысканиях линейных сооружений для передачи отметок с одного берега реки или озера на другой выбирают участок со спокойным течением и на противоположных берегах роют небольшие канавки, в которые заходит вода с реки. В канавки забивают колья вровень с поверхностью воды и считают, что при отсутствии ветра водная поверхность на противоположных берегах будет иметь одинаковые отметки. Определив

высоту такого колышка на одном берегу, нивелирование продолжают от колышка на другом берегу, считая, что в один и тот же момент времени колышки имеют одинаковые отметки.

Поперечное нивелирование оврага шириной до 100-150 м при пересечении его трассой линейного сооружения можно произвести по следующей схеме (рисунок 17.5):

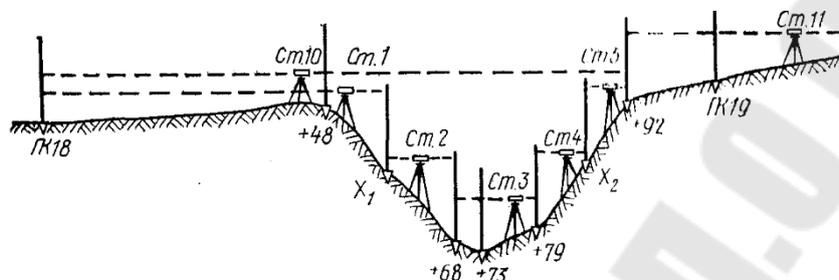


Рисунок 17.5 – Нивелирование по пикетам через овраг

Поперечное нивелирование крутых скатов и откосов можно производить ватерпасированием (рисунок 17.6). Простейший ватерпас представляет собой деревянную рейку с накладным уровнем.

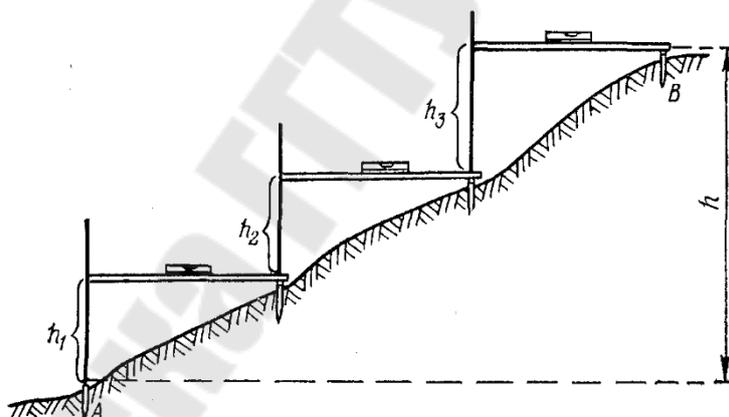


Рисунок 17.6 – Ватерпасирование

*Элементы круговой кривой трассы.* Основные элементы круговой кривой трассы:  $\varphi$  – угол поворота, измеряемый в натуре;  $R$  – радиус кривой, назначаемый в зависимости от условий местности и категории дороги;  $A = CB = T$  – длина касательных, называемая тангенсом и вычисляемая по формуле  $T = R \operatorname{tg}(\varphi/2)$ ;  $AFB = K$  – длина круговой кривой, определяемая по формуле  $K = R(\pi\varphi/180)$ ;  $CF = B$  – длина биссектрисы, которую вычисляют по формуле  $B = R(\sec\varphi/2 - 1)$ ;  $D = 2T - K$  – домер;  $D = R \times (2\operatorname{tg}\varphi/2 - \pi\varphi)$  (рисунок 17.7).

*Тангенс (Т)* – расстояние от вершины угла (ВУ) до начало кривой (НК) или конца кривой (КК). *Кривая (К)* – длина дуги окружности с радиусом  $R$  от НК до КК. *Биссектриса (Б)* – расстояние от ВУ до середины кривой (СК). *Домер (Д)* – разность путей по ломаной линии и дуге. За концом кривой все пикеты смещаются вперед на  $D$ . На круговой кривой пикетаж разбивают по линиям тангенсов. Сначала по измеренному значению угла поворота  $\varphi$  и принятому радиусу  $R$  из таблиц круговых кривых выбирают элементы кривой: тангенс  $T$ , длину кривой  $K$ , биссектрису  $B$  и домер  $D$ .

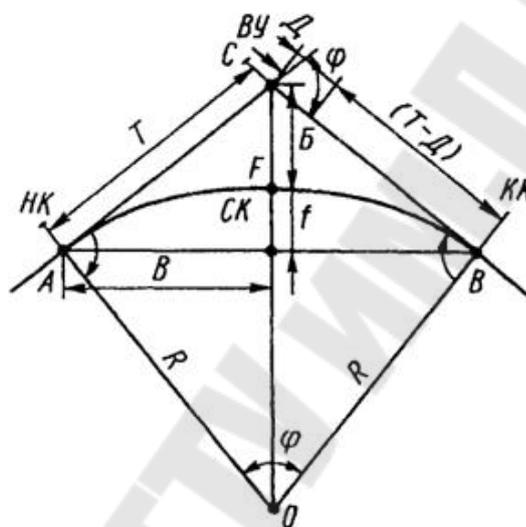


Рисунок 17.7 – Элементы круговой кривой трассы

Затем по уже определенному пикетажному значению вершины угла  $VU$  рассчитывают пикетажные наименования главных точек кривой и, найдя их на местности, закрепляют. При этом начало кривой  $NK$  находят промером от уже закрепленного ближайшего пикета, а середину кривой  $SK$  – отложением расстояния  $B$  по биссектрисе угла поворота. Разбивку пикетов от вершины угла по другому тангенсу начинают с отложения от вершины угла  $VU$  домера  $D$ , считая, что его конец имеет то же пикетажное значение, что и вершины угла. От конца домера откладывают расстояние, недостающее до ближайшего целого пикета. Далее обычным путем разбивают пикеты до следующего угла поворота. Зная пикетажное значение конца кривой  $KK$ , по ходу разбивки находят его на линии тангенса и закрепляют. Разбитые таким образом пикеты расположены на касательных, а они должны находиться на оси трассы, т. е. на кривой. Пикеты переносятся с касательных на кривую (рисунок 17.8). Существует несколько способов детальной разбивки кривой, наиболее распространённым считают метод прямоугольных координат (рисунок 17.8).

Данные получают из специальных таблиц. По принятому радиусу кривой  $R = 1000$  м и длине  $K$  участка кривой от начала (или симметрично от конца) ее до выносимого пикета по таблице выбирают значения  $(K-x)$  - кривой без абсциссы и  $y$  - ординаты. Так, для пикета 10  $K = 64$  м  $(K-x) = 0,05$  м и  $y = 2,05$  м; для пикета 11  $K = 164$  м  $(K-x) = 0,74$  м и  $y = 13,42$  м. Кривую без абсциссы  $(K-x)$  откладывают рулеткой от соответствующего пикета, временно закрепленного на касательной, в сторону, противоположную вершине угла, т. е. к началу (или концу) кривой, а ординату  $y$  откладывают из найденной точки по перпендикуляру к касательной. Перпендикуляр к касательной при  $y < 5$  м намечают "на глаз", а при  $y > 5$  м направление перпендикуляра задают инструментально.

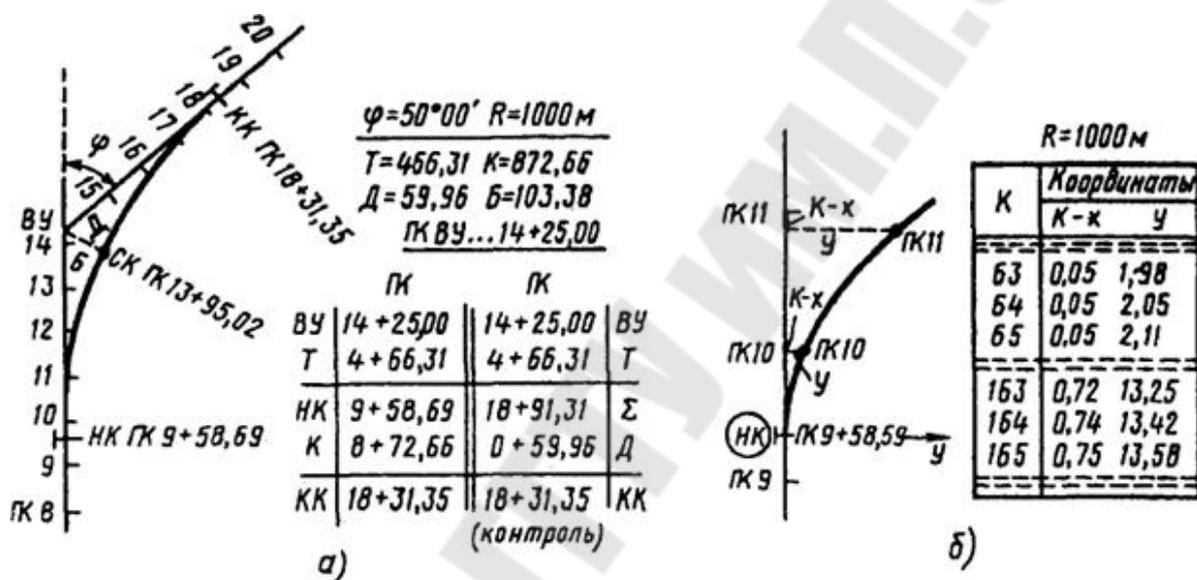


Рисунок 17.8 – Расчет пикетажа на кривой (а) и перенесение пикетов с тангенса на кривую (б)

Элементы кривой рассчитывают в пикетажном журнале (рисунок 17.9)

*Построение профиля.* Вид профиля и количество граф при его построении зависят от типа проектируемого сооружения, однако есть общие принципы и обязательные элементы построения (рисунок 17.10).

Построение профиля трассы начинают с заполнения графы расстояний по данным пикетажного журнала и журнала нивелирования. В этой графе вертикальным черточками отмечают все занивелированные точки трассы и указывают расстояние между ними. Расстояние между пикетами в 100 м не указываются. Рубленый пикет условно показывают на расстоянии 100 м, но внутри указывают его длину. Затем строят условный план трассы. Круговые кривые трассы показывают дугами. Дуга обращенная выпуклостью вверх означает поворот трассы вправо, а выпуклостью вниз поворот трассы влево.

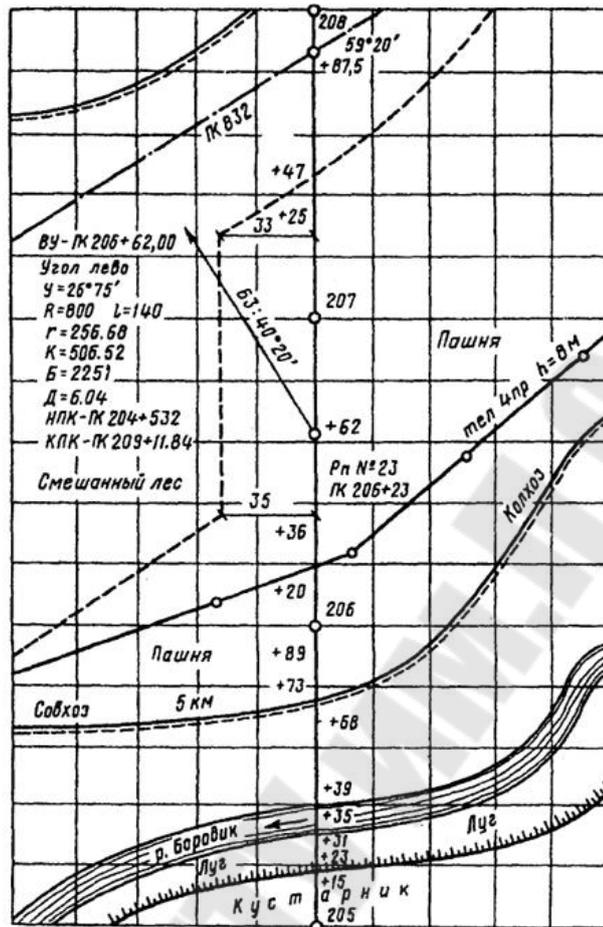


Рисунок 17.9 – Пикетажный журнал

Над такой дугой или под ней записывают значения основных элементов соответствующей круговой кривой: радиус, угол поворота, длины тангенсов и кривой. Для прямых участков указывают их длину и румб. В нижней части проставляют километровые указатели, затем заполняют графу, содержащую ситуацию полосы. По середине проводят линию, обозначающую ось трассы, относительно которой наносят объекты. Затем из журнала выписывают фактические отметки земли до 0,01 долей м, такие отметки называются *чёрными*, но ним строят профиль, соединяя прямыми отрезками и отложенные отметки. Профиль также называется *чёрным*. Профили поперечников строят в крупном масштабе 1:100 или 1:2000 (рисунок 17.11).

Линию проектного профиля называют *красной* и строят, руководствуясь техническими условиями на проектирование и строительство соответствующих объектов, в которых указаны: предельный уклон и другие обязательные условия проектирования.

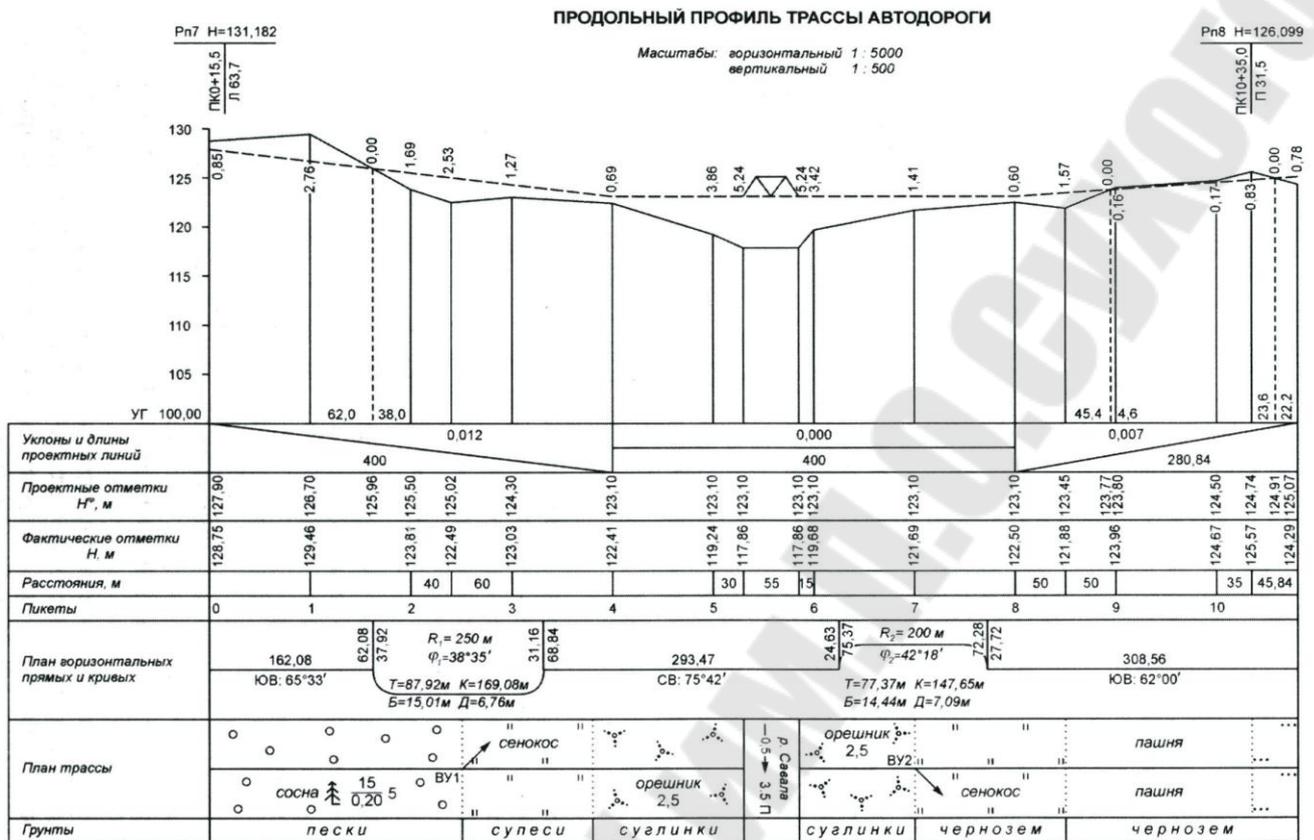


Рисунок 17.10 – Пример продольного профиля

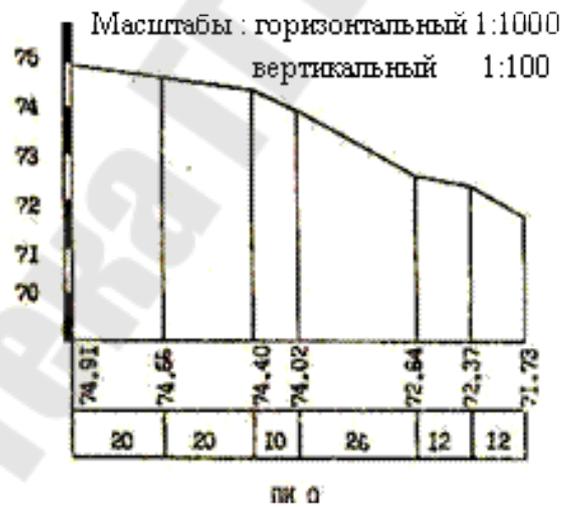


Рисунок 17.11 – Профиль поперечника

Численные значения проектных отметок, вычисленных в соответствии с заданием и инструкцией называют *проектными* или *красными*. Полученные значения записывают с той же точностью, что и чёрные отметки. Разность между проектными отметками и отметками земли называют *рабочими отметками*. Они показывают столб земли, который нужно снять или добавить для выхода на проектный уровень.

Положительные величины рабочей отметки выражают высоту насыпи и их пишут над профилем, а отрицательные глубину выемки, их пишут под профилем. Точка пересечения проектной линии с линией земли (рисунок 17.12) называется *точкой нулевых работ*, так как в этой точке фактическая поверхность земли при сооружении объекта не подлежит изменению.

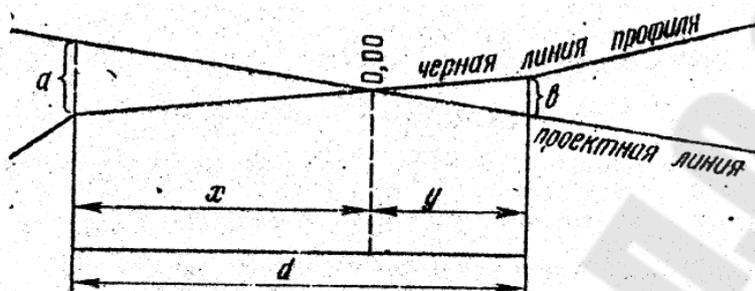


Рисунок 17.12 – Определение точки нулевых работ  
а - насыпь; в – выемка.

*Нивелирование поверхности.* Нивелированием поверхности называют топографическую съемку местности с применением геометрического нивелирования для съемки рельефа. В результате получают топографический план с изображением контуров ситуации и рельефа.

В зависимости от способа определения планового положения снимаемых контуров и нивелируемых точек различают и *способы нивелирования поверхности* - по квадратам, по параллельным линиям, по магистралям и полярный. Нивелирование поверхности выполняется в масштабах 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000; или 1 : 5000. Планы составляют на бумажном носителе, а также в цифровой форме, используемой в системах автоматического проектирования (САПР). Планово-высотное съемочное обоснование на участке съемки может создаваться теодолитными ходами. Высотные координаты пунктов съемочного обоснования определяют нивелированием IV класса и техническим. Электронные тахеометры позволяют строить планово-высотное съемочное обоснование более эффективными методами.

*Нивелирование по квадратам* – способ применяют на свободной от застройки и зарослей, достаточно ровной местности. Планы, получаемые этим способом, наиболее точны для инженерных расчетов по вертикальной планировке территории и для определения соответствующих объемов земляных масс (земляных работ). Проект сетки квадратов составляют на плане более мелкого масштаба. Сетка состоит из основных квадратов размером 100x100 м (рисунок 17.13).

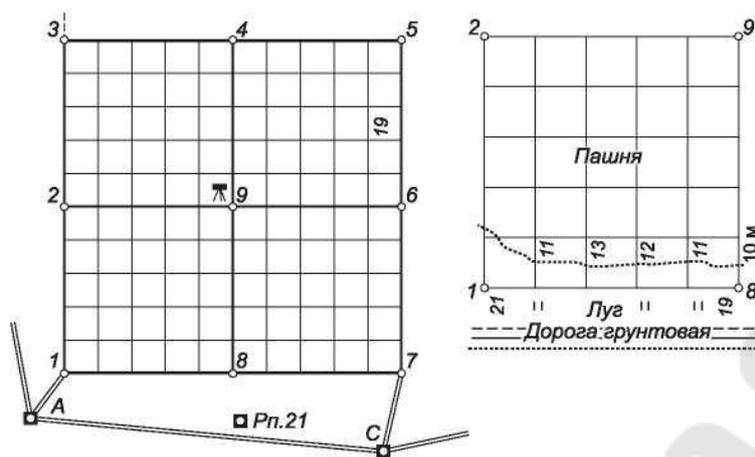


Рисунок 17.13 – Проект сетки квадратов

Для повышения точности съемки рельефа при выраженных его неровностях сетку квадратов сгущают: стороны заполняющих квадратов принимают 20 x 20 м или 10 x 10 м при съемках масштаба 1 : 500 и 1 : 1000; со сторонами 40 x 40 м или 50 x 50 м - при съемках масштаба 1 : 2000 и 1 : 5000. Разработанный проект сетки переносят на местность сначала несколько приближенно относительно контуров местности, отображенных на плане-проекте сетки, затем точно. Расстояния измеряют лентой или светодальномером (лазерной рулеткой), углы теодолитом. Допустимая величина линейной невязки принимается как  $1/2000$  от длины общего контура. Для точной плановой привязки сетки через вершины основных квадратов прокладывают теодолитный ход, опирающийся на ближайшие пункты геодезической сети. Нивелированием IV класса и техническим нивелированием определяют отметки вершин основных квадратов по общему контуру относительно двух-трех ближайших реперов высотной геодезической сети. Сетка заполняющих квадратов обозначается внутри основных квадратов деревянными сторожками. Их можно вынести в натуру с помощью теодолита, ленты или же 100-метрового троса, размеченного через 10 или 20 м. Контур местности снимают линейными измерениями относительно вершин сетки квадратов, обозначенных сторожками. При вертикальной съемке длину визирного луча нивелира допускают до 150 м, что позволяет на ровной открытой местности с одной станции нивелировать на площади до 4 га. Для этого нивелир ставят посередине, определяют горизонт прибора не менее чем по двум вершинам основных квадратов, через которые проложен нивелирный ход. Отметки поверхности земли вычисляют по правилу: горизонт прибора (постоянное число для данной станции) минус отсчет по рейке в данной точке. Значения отметок записывают в журнале-схеме при соответствующей вершине квадратов с округлением до 0,01 м.

*Нивелирование по прямым параллельным профильным линиям.*

Данный способ применяют на местности, покрытой растительностью, препятствующей развитию сетки квадратов. Для этого по контуру участка прокладывают теодолитно-нивелирный ход, опирающийся на исходные геодезические пункты и реперы. На сторонах хода закрепляют створные точки, являющиеся опорными для прямых профильных линий, пересекающих участок (рисунок 17.14, а). Профильные линии назначают через 20 м при съемках масштаба 1 : 500 и 1 : 1000 и через 40-50 м при съемке масштаба 1 : 2000. На профильных линиях разбивают пикетаж. Вдоль каждой линии прокладывают нивелирный ход технической точности, который опирается на пункты с известными отметками. С каждой станции нивелируют связующие и промежуточные точки на нескольких соседних профильных линиях. Между последовательными станциями нивелирования выбирают по две связующие точки. Отсчеты берут по черной стороне рейки и записывают в журнал нивелирования или в журнал - схему.

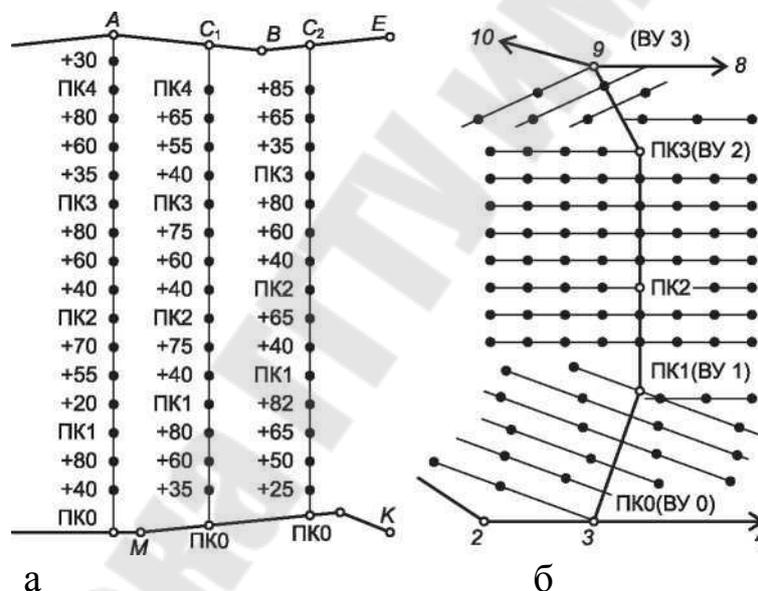


Рисунок 17.14 – Плановые основы нивелирования поверхности:  
а - по параллельным профильным линиям; б - по магистралям и поперечникам

*Нивелирование по магистралям.* Этот способ применяется при съемке заболоченной местности, частично покрытой растительностью, перекрывающей прямую видимость через весь участок между опорными пунктами основного теодолитного хода, проложенного вдоль контура участка (рисунок 17.14 б). Для съемки через участок прокладывают магистрали - теодолитные ходы, опирающиеся на пункты основного теодолитно-нивелирного хода. На сторонах магистрали разбивают пикетаж через 20 или 40-50 м в соответствии с масштабом съемки. Сотенные пикеты закрепляют устойчивыми кольями, плюсовые точки обозначают

сторожками с надписями их пикетного положения. На пикетах и плюсовых точках строят поперечники длиной до 100-120 м в обе стороны от магистрали, как правило, под углом  $90^\circ$  к соответствующей ее стороне. На поперечниках сторожками через 20 или 40 м обозначают точки высотной съемки. Съемку ситуации выполняют относительно магистралей и поперечников. Обозначенные точки поверхности вдоль магистрали нивелируют ходом технического нивелирования с двумя связующими точками между станциями. Расстояние до промежуточных нивелируемых точек принимается до 150 м. Записи отсчетов по рейкам выполняются так же, как при нивелировании по параллельным линиям.

*Составление плана в горизонталях.* После вычисления координат привязочного теодолитного хода его точки наносят на план. Относительно нанесенных опорных точек на план наносят сетку квадратов, параллельные линии, магистрали и поперечники, а также точки, лежащие на них, и точки, снятые полярным способом. По данным абрисов наносят ситуацию. Из журналов нивелирования выписывают отметки точек, положение которых на плане определено (вершины квадратов, пикетные и плюсовые точки). Проводят горизонтали методом интерполирования. Высота сечения выбирается в зависимости от масштаба плана и решаемых задач. При составлении плана участка поверхности, при нивелировании по поперечникам на план сначала наносят по координатам магистрали, и только затем, поперечники. Если нивелирование выполнялась по полигонам то начинают построение с нанесения на план проложенных теодолитных ходов. Горизонтالي первоначально проводят в этой части плана, где рельеф выражен наиболее четко. В качестве основных построений сетку и теодолитные ходы показывают, если это предусмотрено заданием.

*Геодезические расчеты при вертикальной планировке территории.*

*Вертикальная планировка* – это комплекс геодезических и земляных работ по преобразованию существующего рельефа земной поверхности на территории строительства в искусственный рельеф, обеспечивающий упорядоченный поверхностный водоотвод, удобства хозяйственного и рекреационного использования жилых зон, размещение технологических установок промышленных предприятий и т.п. Задачи вертикальной планировки решаются с помощью ЭВМ по соответствующим компьютерным программам или методом составления и оценки картограмм. Для составления проекта вертикальной планировки служит специальный топографический план (топографическая подоснова) застроенного участка в масштабе 1 : 200; 1 : 500; 1 : 1000 или же 1 : 2000. Топографическая основа для вертикальной планировки составляется по материалам тахеометрической съемки или крупномасштабной

аэрофотосъемки. Преобразование существующей топографической поверхности в проекционную осуществляется оформляющими плоскостями. Проектирование оформляющей плоскости связано с расчётом проектных отметок, определением линий нулевых работ и перенесением проекта на местность. Ведется подсчет объектов перемещаемых земляных масс, для этого формируются участки насыпи и выемок. Высота насыпи и глубина выемки в каждой точке участка характеризуется рабочей отметкой, которая равна разности фактической и проектной отметки:

$$r = H_{\phi} - H_{\text{пр}}$$

Все три отметки записывает у соответствующих точек, проектные отметки записывают красным цветом. Проектная отметка, например, при нивелировании по квадратам может быть равна среднему значению из средних отметок в каждом квадрате

Проектную высоту участка вертикальной планировки определяют исходя из конкретных условий местности и застройки. Поверхность земли на некоторой спортплощадке может быть горизонтальной, но, как правило, поверхность искусственного рельефа должна быть наклонной, чтобы обеспечивался естественный поверхностный водоотвод. Проектную поверхность рельефа иногда рассчитывают с условием заполнения понижений рельефа привозными грунтами из специального карьера.

*Составление картограммы земляных работ.* Картограмму земляных работ составляют с целью переноса проектов в натуру и планирования объема земляных работ. Картограмма часто составляется с соблюдением баланса земляных работ. Если она составляется не в автоматическом режиме, то для ее построения используют миллиметровую бумагу на которой строят нивелируемую сетку, возле каждой точки нивелирования подписывают фактическую проектную и рабочую отметки. Далее определяют положение линий нулевых работ, которые являются линиями пересечения проектной плоскости с топографической поверхностью участка. Для этого предварительно находят положение точек, в которых рабочие отметки равны нулю, на тех сторонах квадратов, концы которых имеют рабочие отметки с противоположными знаками. Положение точек нулевых работ может определяться графическим или аналитическим способами, в любом случае методом интерполирования (рисунок 17.15). Соединив все смежные точки нулевых работ, получают положение линии нулевых работ, которая разделяет область выемки и насыпи. Затем подсчитывают объемы земляных работ по каждой фигуре отдельно и определяют общий объем выемки и насыпи. Объём для каждой фигуры равен площади этой фигуры, умноженной на среднюю рабочую отметку. Если суммарный объем

выемки отличается на недопустимую величину, заданную проектом, от объема насыпи, то линия нулевых работ на картограмме смещается, для соблюдения баланса земляных работ.

$$l = \frac{|r_1| * a}{|r_1| - |r_2|}$$

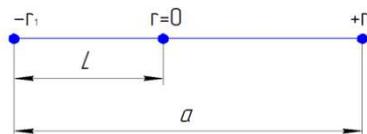


Рисунок 17.15 – Определение положения точек нулевых работ

По результатам картограммы можно точно спланировать количество и вид единиц техники, необходимых для проведения земляных работ. В процессе проведения земляных работ несколько раз выполняются съемочные работы, для контроля выемки или досыпки грунта. Если плоскую наклонную поверхность следует запроектировать с соблюдением баланса земляных работ, то такая задача быстро решается с помощью ЭВМ по соответствующей программе. При расчетах необходимо определить центр тяжести проектируемой площадки и его проектную отметку  $H_0$ . Относительно центральной точки вычисляют проектные отметки вершин квадратов.

## Тема 18 Производственное значение и подразделение методики геометризации месторождений

*Комплексы горно-геометрических чертежей.* Горный инженер должен уметь не только представлять себе положение горно-геологических объектов в пространстве, но и при отображении их на бумаге упрощать, моделировать, приводить к более или менее простым геометрическим телам, не внося существенных изменений в форму и размеры изображаемых объектов. Значительную долю выполняемых инженером чертежей составляют *проекционные чертежи*. Все они выполняются с помощью методов и приемов начертательной геометрии. Дисциплина, изучающая теоретические основы, методы и приемы построения изображений и выполнения чертежно-графических работ применительно к задачам геологии, горного и геологоразведочного производства, носит название инженерной горной графики и является частью начертательной геометрии применительно к решению геологических и горно-геологических задач. К числу дисциплин, формирующих общеинженерное и общенаучное мышление специалиста, с полным основанием может быть отнесена инженерно-

геологическая графика. Эта дисциплина не только прививает навыки построения изображений различных материальных объектов, в том числе горно-геологических, но и является исходной базой для изучения других общеинженерных (например, геодезии, технической и прикладной механики), а также специальных дисциплин. Среди методов начертательной геометрии основным, важнейшим для инженерной горной графики является *метод проецирования*, т.е. метод построения проекций пространственных объектов, тел, предметов на плоскости.

В начертательной геометрии выделяют *два основных класса задач: позиционные* (рисунок 18.1) и *метрические* (рисунок 18.2). *Позиционными* называются задачи установления взаимного расположения и принадлежности геометрических элементов. К их числу, например, относятся задачи определения по чертежу взаимного положения в пространстве двух или нескольких тел, построение линии взаимного пересечения двух фигур, установление положения точки пересечения заданной прямой с поверхностью и т. д. На рисунке 18.1 показано построение наложенного профиля на топографическую карту.

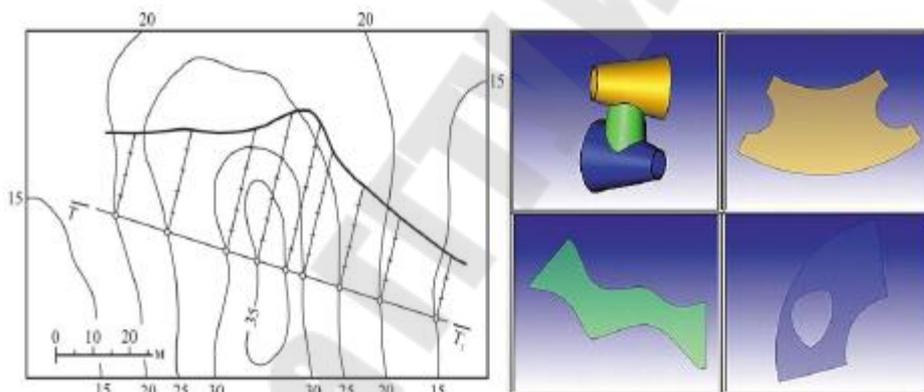


Рисунок 18.1 – Наложённый профиль      Рисунок 18. 2 – Метрический чертёж

*Метрические* – это задачи определения по чертежу натуральных (истинных) величин отрезков (расстояний), углов, площадей и других размеров (рисунок 18.2). У горных инженеров *наиболее применяемым* методом считается метод проекций с числовыми отметками, который обеспечивает наглядность и удобство измерений при простоте построений.

*Особенности инженерно-геологической графики.* Вопросы изучения различных геологических структур и геологических тел, а также разведки и разработки месторождений полезных ископаемых по присущим им особенностям и приемам решения задач носят четко выраженный пространственный графический характер. Практика показывает, что графические методы решения геологических задач зачастую являются

целесообразными и даже единственно возможными средствами получить удовлетворительное решение. К числу таких задач относятся определение элементов залегания слоев, жил и других геологических тел, построение линий выхода слоев на земную поверхность, изучение формы и пространственных элементов залегания полезного ископаемого. Горный инженер должен владеть методами создания геометрических моделей, разрезов участков земной коры, тектонических и структурных карт, построением линий выхода пластов и слоев на дневную поверхность. Горно-геологические объекты (геологические тела, горные выработки, буровые скважины) имеют сложнейшее пространственное строение. Поэтому точно отобразить их на чертеже со всеми особенностями невозможно. Горный инженер должен уметь представлять себе их положение в пространстве, а при отображении на бумаге упрощать, моделировать, приводить к простым геометрическим телам, не внося изменения в форму и размеры изображаемого объекта.

*Виды чертежей в инженерной практике.* Творческая деятельность инженера, в том числе геологического профиля, тесно связана с самыми разнообразными видами чертежно-графических работ – различными типами чертежей, графиками, эскизами, схемами. Для того, чтобы отобразить на чертеже какой-либо предмет, геологическое тело или горную выработку, а тем более для проектирования машин, горных объектов или буровых скважин, необходимо мысленно (в своем воображении) представить форму, размеры и положение этих объектов в пространстве. Без этого качества – умения мыслить пространственно – работа инженера любого профиля, а тем более горно-геологического, будет затруднена или невозможна. Особенностью изображения является то, что объемный материальный объект представляется в виде аналога, размещенного в одной плоскости. В зависимости от характера объекта, можно выделить следующие аналоги:

*Чертеж* – документ, содержащий контурное изображение изделия и другие данные необходимые для изготовления, контроля и идентификации изделия. На чертежах, отображаются горные и разведочные выработки, форма, условия залегания и качество полезного ископаемого, а также рельеф и ситуация земной поверхности территории деятельности горного предприятия. Правила графического отображения чертежей вырабатывались не один год и правила оформления, установившиеся сейчас практически идентичные для всех стран. Современным информационным системам для обработки графической информации чертежи не нужны – они работают с математическими моделями объектов. При этом легко прослеживается связь – образец (эталон) – математическая модель – воспроизведение ее. *Эскиз* –

быстро выполняемый свободный рисунок, предварительный набросок, не предполагаемый как готовая работа, часто состоит их множества перекрывающихся линий. Он предназначен для временного использования в производстве, выполнен от руки, в глазомерном масштабе, с соблюдением пропорций изображаемого предмета. Если эскиз предполагается использовать многократно, то по эскизу выполняют чертеж. *План* – чертеж, изображающий на плоскости местность, предмет или сооружение методом прямой горизонтальной проекции. *Геологическая карта* – уменьшенное обобщенное изображение земной поверхности, содержащее координатную сетку с условными знаками на плоскости в уменьшенном виде, с нанесенными на нем границами выходов различных геологических образований. Геологические карты составляют в ходе полевых съёмок и камеральными методами с широким привлечением данных бурения, геофизических материалов, результатов аэрокосмического зондирования или – это графическое изображение на топографической основе в определенном масштабе геологического строения какого-либо участка земной коры.

*По характеру выполнения чертежи подразделяются на:*

- *проекционные*, т. е. построенные на основе законов и методов проецирования;
- *схематические*, выполняемые без учета проекционных связей, в том числе с помощью условных знаков; и выполненные в форме графиков, отображающих количественные связи параметров каких-либо процессов и явлений.

*По целевому назначению можно выделить следующие чертежи:*

- *технические*, т. е. содержащие информацию о конструкции, размерах и других данных, необходимых для изготовления технических изделий и различных сооружений.
- *технологические*, в которых содержится информация о технологии производства. Этот тип чертежей выполняется в соответствии со строительными, горными, геологоразведочными и другими отраслевыми стандартами и нормативами.
- *иллюстративные*, отображающие в графической форме содержание какого-либо устройства, изделия, системы горных или геологоразведочных выработок, буровых скважин, диаграмм содержания полезного компонента, диаграмм трещиноватости горных пород и т. д. В зависимости от сферы инженерной деятельности чертежи подразделяют:
  - *машиностроительные*, к которым относятся чертежи машин, механизмов, деталей и т. д. Машиностроительное черчение базируется на

теоретических основах начертательной геометрии и проекционного черчения;

– *строительными* чертежами называют документы, которые содержат проекционные и иные изображения различного рода генеральных планов, зданий и сооружений, необходимых для его возведения и сопутствующих технологических операций. Строительные чертежи подразделяются на: инженерно-строительные, к ним относятся графическая документация, по которой строятся мосты, плотины, тоннели, дороги, и т.п.;

и *архитектурно-строительные* графические чертежи, используются при возведении зданий, а так же промышленных и гражданских сооружений;

– *топографические*, представляют собой крупномасштабный чертеж, изображающий в условных знаках на плоскости небольшой участок земной поверхности, построенный без учета кривизны поверхности и сохраняющий постоянный масштаб в любой точке и по всем направлениям;

– *горные*, на них изображаются объекты или элементы горных работ – залежи полезных ископаемых и вмещающих пород, горные выработки, подземные и поверхностные сооружения технологического комплекса горного предприятия, а также графики, характеризующие процессы и явления, происходящие при добыче полезных ископаемых;

– *электро-, радио- и электронно-технические*, содержат графические изображения, чертежи, схемы соответствующих устройств.

– *геологические*, в основном это геологические карты, планы, схемы, разрезы, профили различного наполнения и назначения.

Отмечается большое разнообразие типов чертежей, применяемых в инженерной практике, многие из них содержат большое количество легенд и других пояснительных надписей.

*Геометризация форм и условий залегания месторождений.* Залежи полезного ископаемого представляют собой вполне реальное физическое тело, которое занимает определённое положение в пространстве ограниченной поверхности раздела вещества полезного ископаемого от вмещающей его горной породы и имеет определённое внутреннее строение и морфологию.

По геометрическому признаку выделяют *3 основных морфологических вида тел полезного ископаемого:*

– *горизонтальные пологие, наклонные, крутонадающие* пласты и пластообразные залежи, линзы и др. плоские тела. Этот вид тел имеет в природе наибольшее распространение и относится к простым формам (с одним длинным и двумя короткими размерами);

– *трубообразные и подобные* им тела (с одним длинным и 2 короткими размерами);

– тела *изометрические* или близкие к изометрическим. Тела полезного ископаемого могут иметь простые и сложные внешние формы. Обычно в горной практике выделяют основную форму, характеризующую в целом данное тело, а затем указывают на усложняющие её морфологические детали, которые могут быть первого, второго и более мелких порядков. *Основная форма тела* полезного ископаемого может быть первичной, а также вторичной по отношению к его внутреннему строению. Основная первичная форма тела полезного ископаемого преобразуется, но иногда сохраняется без существенных изменений. Нередко основная первичная форма нарушена процессами эрозии, плиточными и разрывными дислокациями что приводит к образованию у тела полезного ископаемого основных (вторичных) форм. Геометрические величины замеряют в отдельных местах обнажений, по ним можно представить пространственное положение залежей и дать её изображение – *элементы залегания*. Для характеристики пространственного положения и морфологии тела полезного ископаемого пользуются следующими геометрическими элементами:

– *ось тела* – условная линия в теле отчётливо выраженной вытянутой формы.

– *центр тела* – центр тяжести геометрической фигуры тела изометрической формы или близкого к ней вида;

– *длина тела* имеет два понятия: длину тела и длину его плоского сечения. Под длиной тела понимают длину его оси. Под длиной плоского сечения (разреза тела) понимают длину линии пересечения срединной поверхности тела конкретной плоскостью сечения;

– *ширина тела* (вытянутой пластообразной формы) – длина линии пересечения средней поверхности плоскостью сечения тела, нормали к оси тела. Тело невытянутой пластообразной формы – длина линии пересечения средней поверхности нормали к ней плоскостью, секущей тело через его центр. Ширина тела как геометрический элемент отсутствует в телах трубообразной веретенообразной и изометрической формы.

– *показатель вытянутости* – отношении длины тела к максимальной ширине. *Залегание тела* – положение средней поверхности, а при её отсутствии – оси тела относительно горизонтальной плоскости, определяется средним углом падения и азимутом направления падения.

Положение геометрических элементов тела полезного ископаемого определяется средним взвешенным по длине или площади значением элементов залегания в разных местах залежи. По величине угла падения

тела и пласты разделяются на: горизонтальные и пологие (0-25 °), наклонные (25-45°.), крутопадающие (45-90 °). Падение тел или пластов существенно влияет на способ вскрытия, выбор системы разработки и средств механизации отчётных и подготовительных работ. Местоположения обнажений залежи и вмещающих пород, наблюдаемых на земной поверхности или в неглубинных развитых выработках определяется относительно геодезических или маркшейдерских сетей. Если залежи вскрыты разведочной выработкой значимых протяжений, то привязываются координаты устья выработки, а координаты забоя этой выработки определяются по расположению его относительно устья. Погрешность определяемых координат устьев скважин относительно исходных геодезических пунктов не более 1.5м (в открытых районах) и 3м (в закрытых); по высоте – 0.15м ( в равнинных районах) и – 0.3м ( в горных районах).

Простираие и падение непосредственно в натуре измеряется на месте горным компасом с точностью 1-2°.; или висячим инструментом с точностью 0.5°. Для правильного составления графиков необходимо *при пологом залегании пород точнее измерять простираие, а при крутопадающих – угол падения.*

*Связь геометрии недр с другими научными дисциплинами.*

Разведка месторождений полезных ископаемых в настоящее время часто проводится вблизи действующих 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. 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.

## **Тема 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 (рисунок 19.1, а). На первый взгляд по мелкопочной, 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 (рисунок 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 (рисунок 19.1, в).

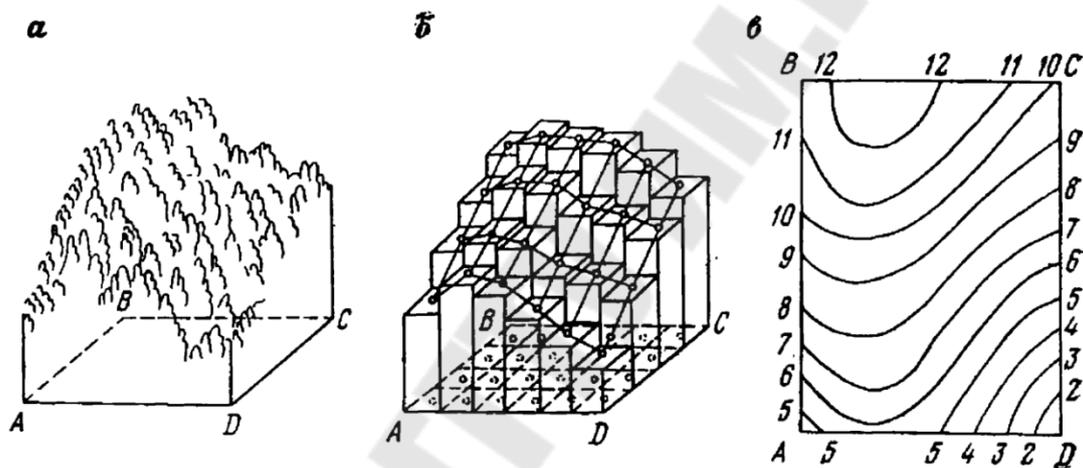


Рисунок 19.1 – Геометрическая интерпретация размещения полезного компонента

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 выразаться 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 19.1, б), что является аналогом соответствующего физического силового потока.

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

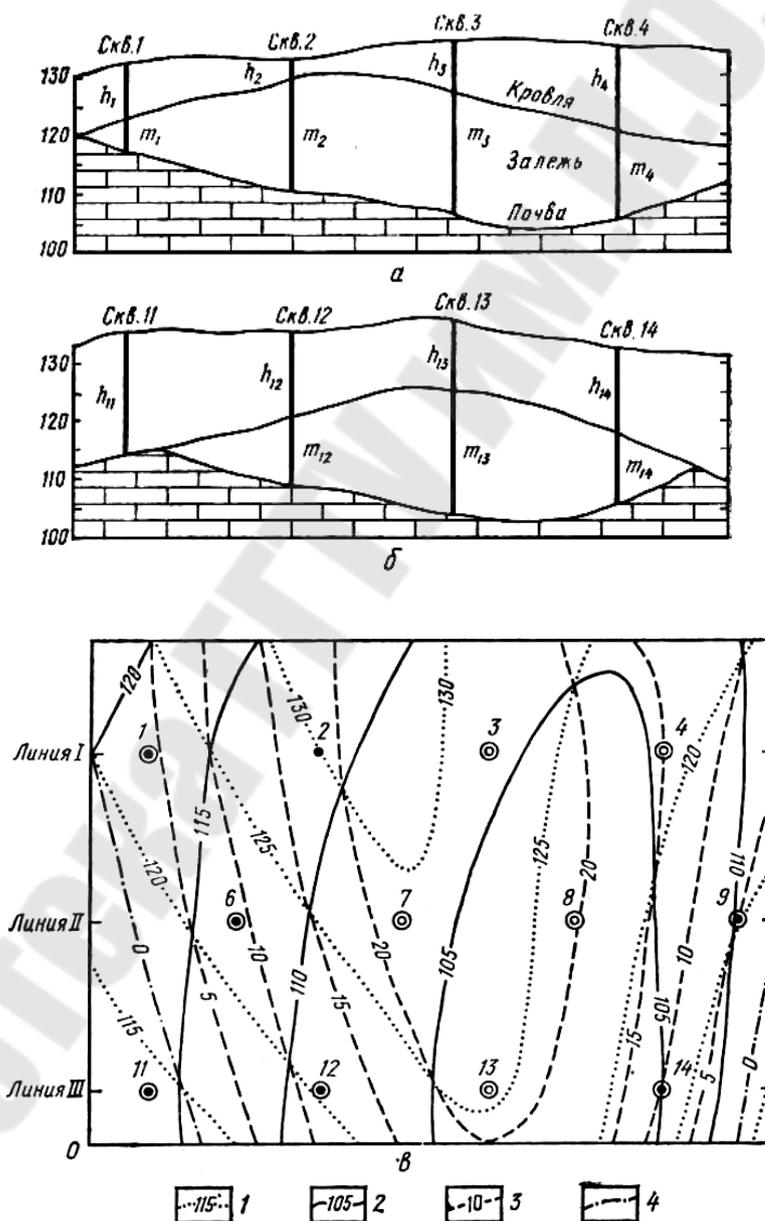


Рисунок 19.2 – Вертикальные разрезы а и б и план месторождения в; 1 – изогипсы кровли залежи; 2 – изогипсы почвы залежи; 3 – изолинии вертикальной мощности залежи; 4 – контур выклинивания залежи

На рисунке 19.2, в 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 простирации 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

$$z_m = z_g - z_k = f_1(x, y) - f_2(x, y) = f_4(x, y)$$

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 переменная 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.

## Тема 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  $B$  (рисунок 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  $B$ ).

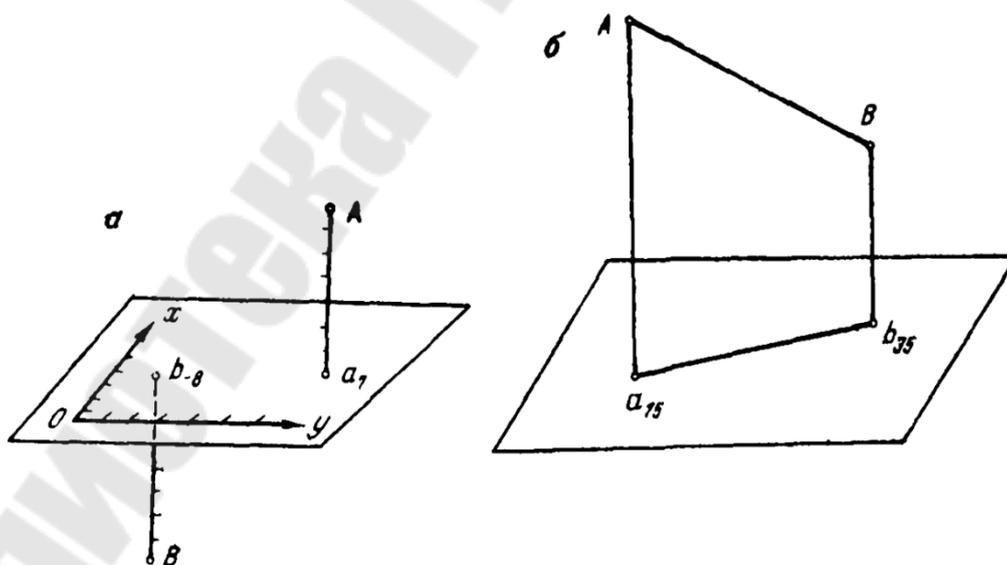


Рисунок 20.1 – Схемы определения положения в проекции с числовыми отметками точки (а) и прямой (б)

Прямая в проекции с числовыми отметками изображается или проекцией ее двух точек (рисунок 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 (рисунок 20.2) или одна из них  $BC$  параллельна, а вторая  $BD$  перпендикулярна плоскости проекций, то прямой угол, образованный этими прямыми, проецируется без искажений.

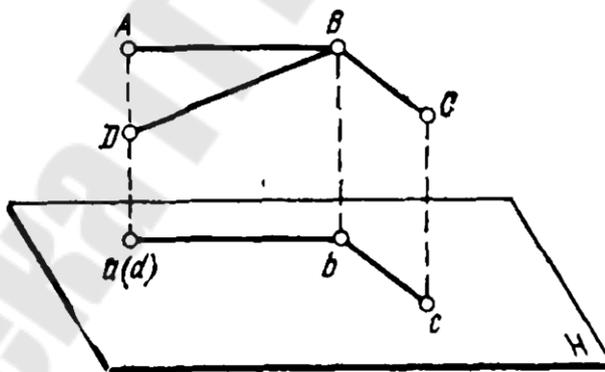


Рисунок.20.2 – Перпендикулярные прямые

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 (рисунок 20.3).

В проекции с числовыми отметками плоскость чаще всего изображается с помощью горизонталей, представляющих собой линии плоскости, расположенные параллельно плоскости проекций.

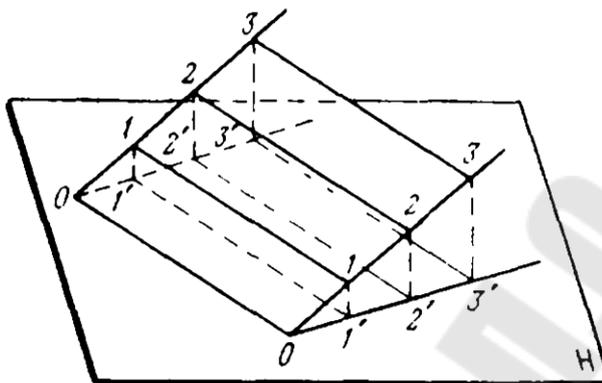


Рисунок 20.3 – Плоскость в проекции с числовыми отметками

Горизонталями плоскости 0–0; 1–1; 2–2; 3–3 (рисунок 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:

- горизонталы плоскостей пересекаются; линией пересечения плоскостей в данном случае является линия, соединяющая точки пересечения одноименных горизонталей;
- горизонталы плоскостей параллельны, заложения равны, но имеют неодинаковое заложение;
- 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 рисунке 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

$$h^2 = h^2 / l_{\text{пр}}^2,$$

или при помощи геометрических построений, показанных на рисунке 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  $l_{\text{пр}}$ . 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  $l_{\text{пл}}$ . 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

горизонталью плоскости перпендикулярной к оси шарнира.

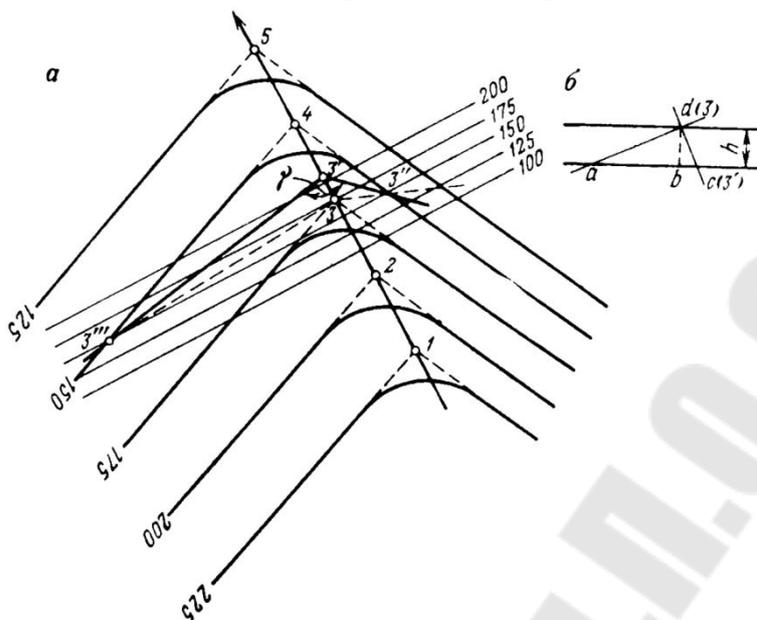


Рисунок 20.4 – Схема определения угла складки

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. рисунок 20.4, б). Соединив точку 3' с точками 3'' и 3''', получим угол  $3''3'3'''$ , равный  $\gamma$  и представляющий собой истинное значение угла складки.

### Тема 21 Преобразование проекций для решения конкретных задач с числовыми отметками в горной практике

*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  $a_{70}$ ,  $b_{60}$ ,  $d_{30}$  (рисунок 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 (рисунок 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  $\Delta l$ . Полученный отрезок  $\Delta l$  представляет собой увеличение расстояния между двумя соседними горизонталями при совмещении данной плоскости с основной плоскостью проекций. Таким образом, отложив отрезок  $\Delta l$  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  $\gamma$  образованный ими.

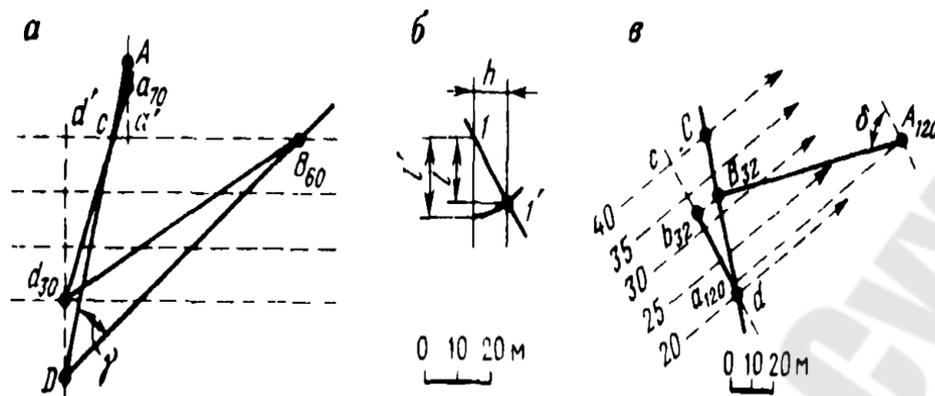


Рисунок 21.1 – Методы перемены плоскостей для отыскания угла двух пересекающихся прямых и кратчайшего расстояния между точкой и плоскостью

*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  $a_{120}$  (рисунок 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 (рисунок 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.

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

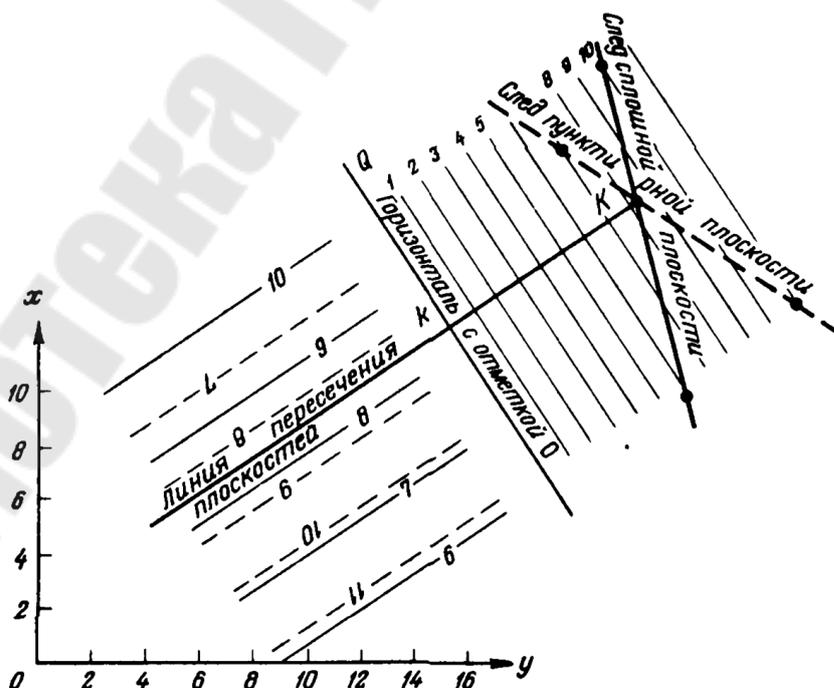


Рисунок 21.2 – Схема определения линии пересечения плоскостей, заданных параллельными горизонталями

## Тема 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.

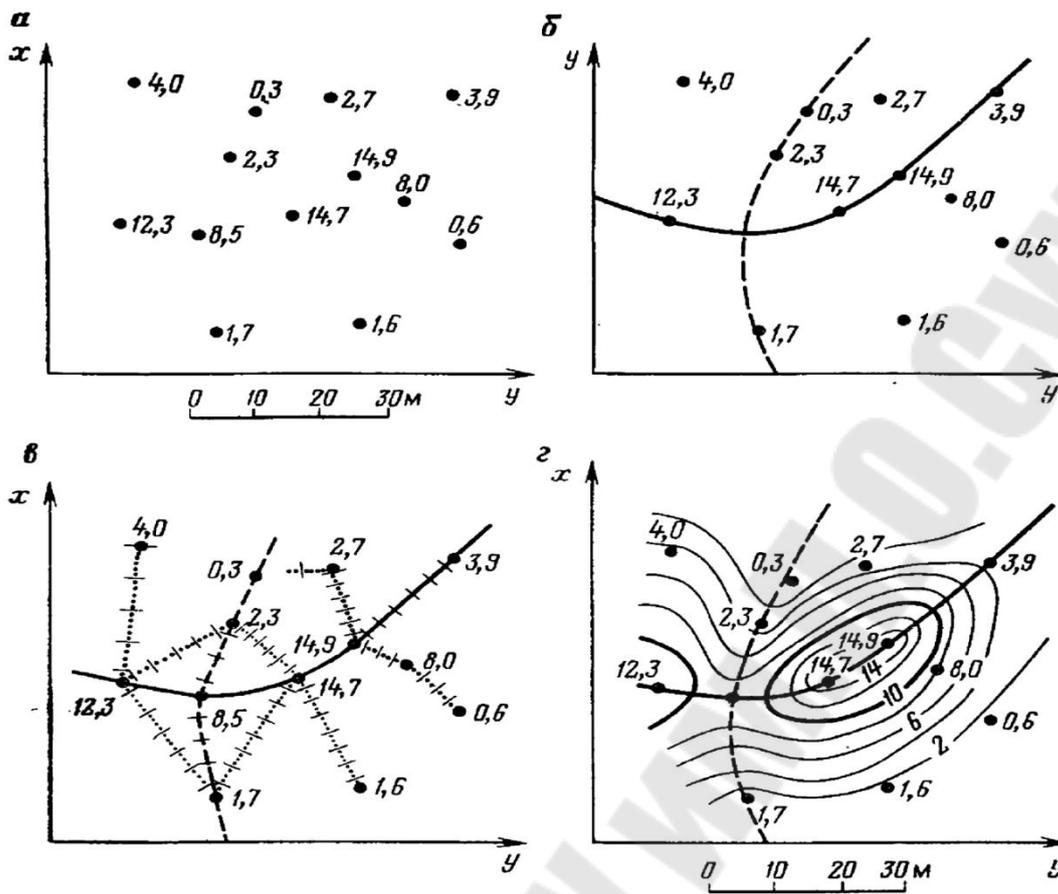
Метод инвариантных линий состоит в следующем.

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) (рисунок 22.1, а), в результате геометрического анализа выписанных отметок намечают ориентировочное положение инвариантных линий изображаемой поверхности (рисунок 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 рисунке 22.1, б).

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



Рисунке 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 (рисунок 22.1, в). Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, получают на плане изображение искомой поверхности в изолиниях (рисунок 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 (рисунок 22.2).

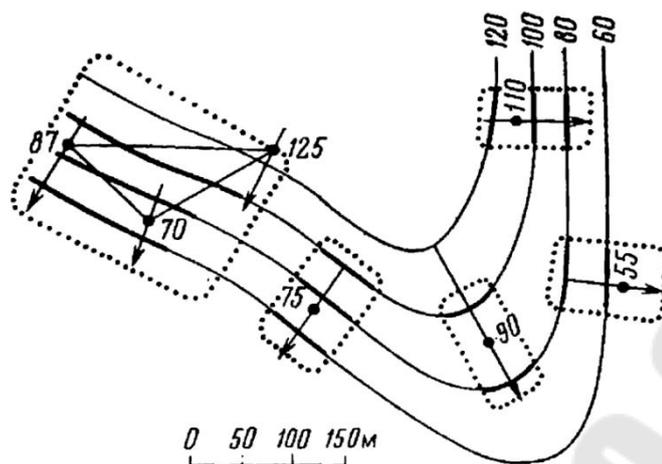


Рисунок 22.2 – Схема построения изолиний поверхности методом многогранника

В первом случае поверхность представляется многогранником, каждая грань которого – треугольник с вершинами в близлежащих точках с числовыми отметками. Задав сечение, 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, начинают 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 (рисунок 22.3).

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. рисунок 22.3) проводят высотную сетку – серию параллельных основанию профиля линий на расстоянии, равном сечению поверхности.

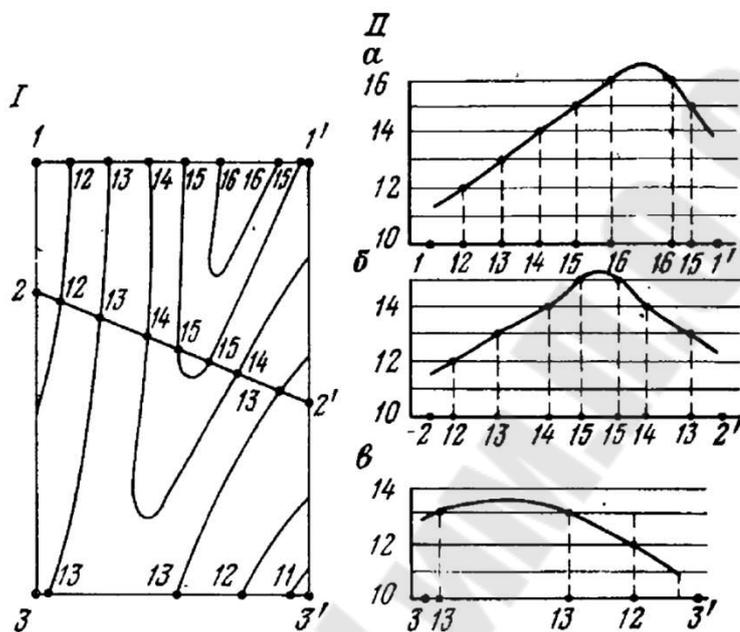


Рисунок 22.3 – К построению изолиний поверхности *I* методом профилей *II* по линиям а – 1–1'; б– 2–2'; в – 3–3'

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.

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 (рисунок 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 рисунке 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.

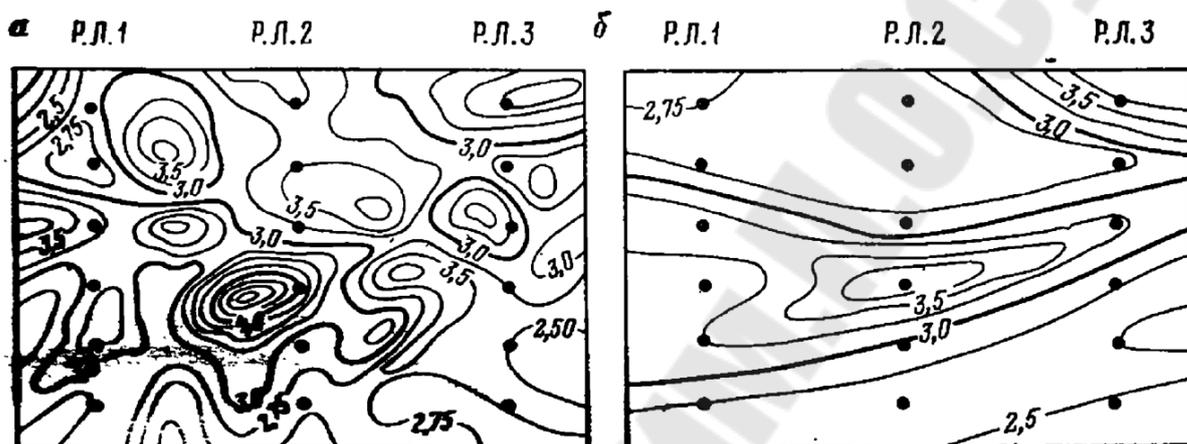


Рисунок 22.4 – К построению изолиний поверхности по профилям:  
 а – фактическая поверхность в ее реализации по разведочным линиям;  
 б – искажение (вытянутость) поверхности, построенной по профилям

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 (рисунок 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.

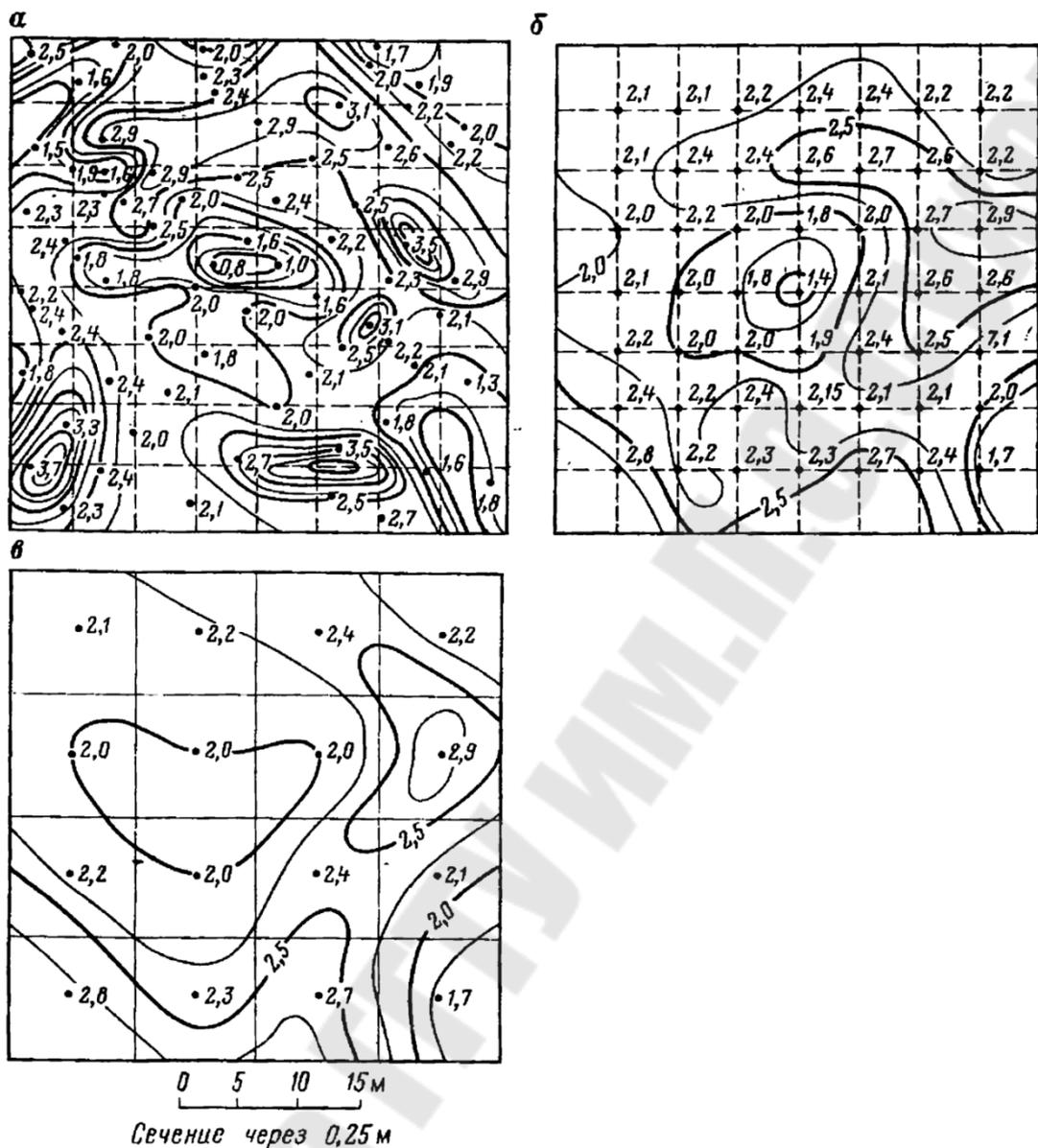


Рисунок 22.5 – К построению изолиний поверхности по точкам с индивидуальными (а) и средними значениями признака (б, в)

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 (рисунок 22.5, б), или на полный его размер (рисунок 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 получают сглаженную поверхность, характеризующую основные изменения изображаемого показателя.

Этот метод широко используется при построении изолиний по данным массовых замеров, определений, проб изучаемых свойств залежей, характеризующихся своей изменчивостью. Косвенный метод применяют тогда, когда искомая поверхность является функцией некоторой данной в изолиниях поверхности или когда даны две поверхности своими изолиниями, а искомая поверхность является их производной и определяется соответствующими математическими действиями между данными поверхностями.

### Тема 23 Классификация математических действий с топографическими поверхностями

*Классификация кривых поверхностей.* Различают три основных способа задания поверхности: *аналитический* (поверхность задается уравнением); *каркасный* (поверхность задается совокупностью точек или линий); *кинематический* (поверхность образуется непрерывным перемещением в пространстве какой-либо линии поверхности). Совокупность геометрических элементов и условий, которые определяют поверхность в пространстве, называют *определителем*.

Следует отметить, что одна и та же поверхность может быть получена различными способами. В зависимости от формы образующей поверхности разделяются на *линейчатые* (образующая – прямая линия) и *нелинейчатые* (криволинейная образующая). *Линейчатые* поверхности называются *развертывающимися*, если их можно совместить с плоскостью без разрывов и складок. *Неразвертывающиеся* поверхности не могут быть совмещены с плоскостью без наличия разрывов и складок. *Поверхности с постоянной образующей* – поверхности, образующая которых не изменяет своей формы при образовании поверхности. *Поверхности с переменной образующей* – поверхности, образующая которых изменяется при образовании поверхности.

Поверхность вращения (рисунок 23.1) получается вращением прямолинейной или криволинейной образующей  $l$  вокруг неподвижной прямой  $i$  – оси поверхности. За ось вращения обычно принимается вертикальная прямая. Каждая точка образующей (например, точка  $A$ ) описывает при своем вращении окружность с центром на оси  $i$ . Эти окружности называются параллелями. Наибольшая из этих параллелей – экватор, наименьшая – горло.

Плоскости, проходящие через ось вращения, пересекают поверхность по меридианам. Меридиан, расположенный в плоскости, параллельной  $2$ , называется главным. Поверхность вращения называют закрытой, если

криволинейная образующая пересекает ось поверхности в двух точках. Если образующая – прямая линия, то получается линейчатая поверхность вращения, если кривая – нелинейчатая. Замкнутую область пространства вместе с ее границей (поверхностью) называют геометрическим телом.



Рисунок 23.1 – Поверхность вращения

*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 (рисунок 23.2, а). В точках пересечения из отметок изолиний уменьшаемой поверхности (сплошные линии) вычитают значения отметок вычитаемой (пунктирные линии) топографической поверхности.

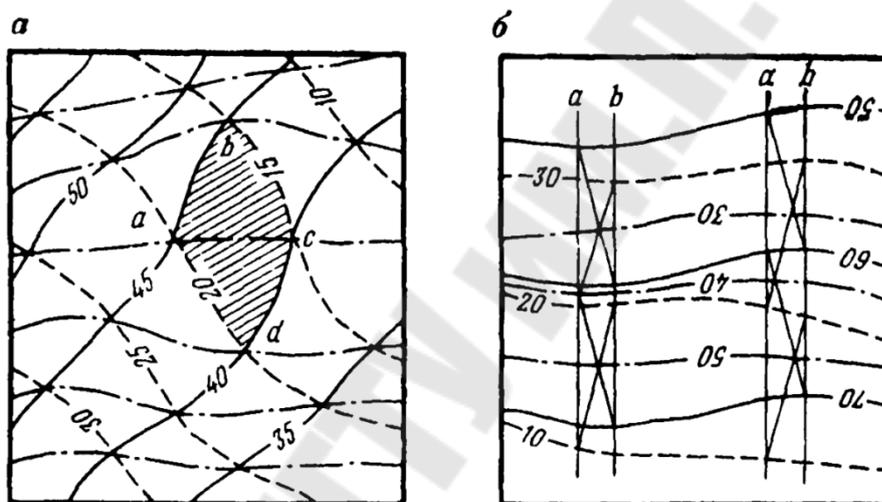


Рисунок 23.2 – Пример вычитания топографических поверхностей

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.

Рассмотрим некоторую четырехугольную фигуру, полученную при пересечении исходных изолиний, например,  $abcd$  (см.рисунок 23.2, 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 (рисунок 23.2, 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.

## Тема 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.

*Элементы залегания залежи.* Основное понятие горной геометрии – *идеальный пласт (слой)* – часть пространства, ограниченная двумя параллельными плоскостями. Из них верхняя называется *кровлей*, нижняя – *подошвой* (рисунок 24.1). Это понятие может быть применено к разным реальным геологическим объектам плоской формы: пластам осадочных пород, покровам вулканических пород, пластовым интрузиям и дайкам, контактовым зонам интрузий, жильным образованиям, разрывным нарушениям и др.

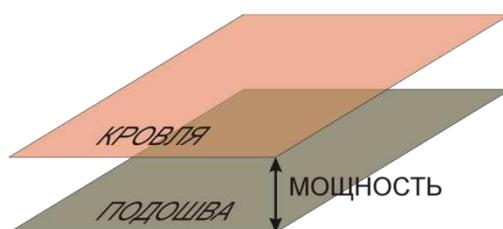


Рисунок 24.1 – Идеальный пласт

*Элементы залегания* – угловые величины, характеризующие положение пласта в пространстве – азимут простирания, азимут падения и угол падения.

*Линия простирания (а-а)* – линия пересечения поверхности пласта горизонтальной плоскостью (рисунок 24.2), *линия падения (б-б)* (рисунок 24.2), перпендикулярна линии простирания и проходит по поверхности пласта сверху вниз. *Угол падения ( $\alpha$ )* (рисунок 24.2), – угол между линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость. *Азимут простирания* (рисунок 24.3, а) – угол между направлением на север и линией простирания. *Азимут падения* (рисунок 24.3, б) – угол между направлением на север и проекцией линии падения на горизонтальную плоскость. Азимуты измеряются по часовой стрелке. При горизонтальном залегании нет ни угла падения, ни азимутов простирания и падения. Поэтому записывается просто:

*Залегание горизонтальное*». При вертикальном залегании нет азимута падения. Поэтому записывается азимут простирания.

«При наклонном залегании» записываются азимут простирания, азимут и угол падения. На практике обычно ограничиваются записью азимута и угла падения, т. к. азимут простирания легко вычислить. Для измерения элементов залегания используют горный компас.

*Определение элементов залегания по трем обнажениям, не лежащим на одной прямой*. Вначале нужно определить высотные отметки обнажений (рисунок 24.4).

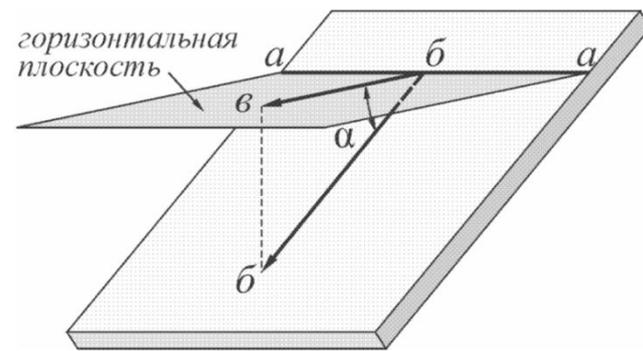


Рисунок 24.2 – Элементы залегания

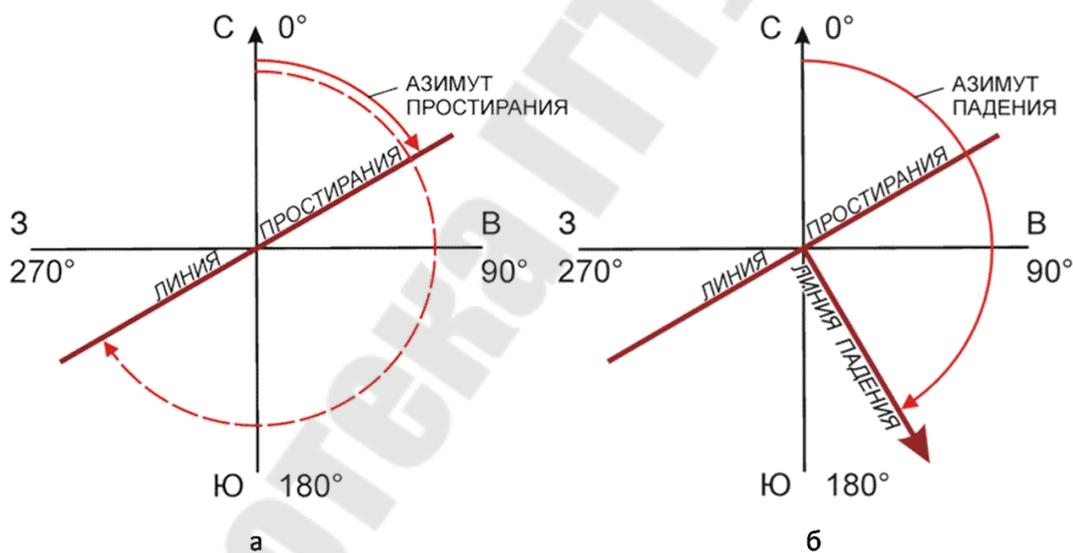


Рисунок 24.3 – Элементы залегания: а - азимут простирания, б - азимут падения

Самое высшее (3) и самое низкое (1) обнажения соединяются отрезком прямой. На этом отрезке находится точка с такой же отметкой, как и у оставшегося обнажения (2). Через эту точку и обн. 2 проводится прямая, которая является линией простирания. Из обн. 3 на нее опускается перпендикуляр, который является проекцией линии падения на горизонтальную плоскость. От точки пересечения этого перпендикуляра с

линией простирания откладывается отрезок  $h$ , равный превышению обн. 3 над обн. 2, выраженному в масштабе карты. Конец этого отрезка соединяется с обн. 3. Получаем угол падения ( $\alpha$ ).

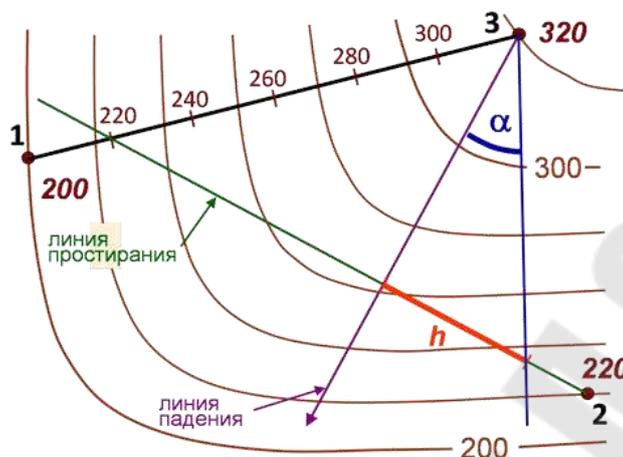


Рисунок 24.4 – Определение элементов залегания по трем обнажениям, не лежащим на одной прямой

*Определение элементов залегания по двум косым сечениям.* Вначале строят схематическую блок-диаграмму (рисунок 24.5, а), на которой:  $\beta_1, \beta_2$  – азимуты косых сечений;  $\alpha_1, \alpha_2$  – углы видимых падений в косых сечениях;  $\beta$  – азимут падения;  $\alpha$  – угол падения.  $BC$  – линия простирания;  $AD$  – линия падения,  $OD$  – ее проекция на горизонтальную плоскость. Далее изобразим эту блок-диаграмму в виде развёртки на горизонтальную плоскость. Само построение выполняется так (рисунок 24.5, б): из некоторой произвольно выбранной точки  $O$  проводятся два луча по направлениям косых сечений  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . При точке  $O$  в вершине угла восстанавливаются перпендикуляры к обоим направлениям и на них откладываются отрезки  $OA_1$  и  $OA_2$  произвольной, но равной длины. При конце перпендикуляра к первому направлению видимого падения (точке  $A_1$ ) строится угол, дополнительный к углу видимого падения по этому направлению, т. е.  $90^\circ - \alpha_1$ . При конце второго перпендикуляра (точке  $A_2$ ) строится угол, дополнительный к углу видимого падения по второму направлению, т. е.  $90^\circ - \alpha_2$ . Стороны этих углов продолжают до пересечения с направлениями видимых падений в точках  $B$  и  $C$ .

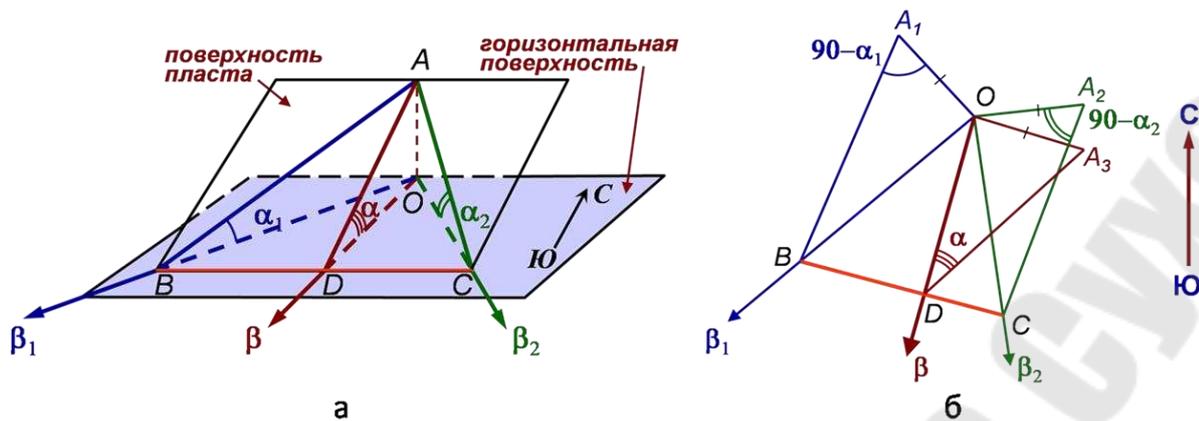


Рисунок 24.5 – Определение элементов залегания по двум косым сечениям:  
 а - изображение в виде блок-диаграммы; б - развертка блок-диаграммы на горизонтальную плоскость

Через эти точки проводится прямая – линия простирания. Из точки  $O$  на линию простирания опускается перпендикуляр  $OD$  – направление падения ( $\beta$ ). Из точки  $O$  восстанавливается перпендикуляр к направлению падения и на нем откладывается отрезок  $OA_3$ , равный отрезкам  $OA_1$  и  $OA_2$ . Точка  $A_3$  соединяется с точкой  $D$  отрезком прямой. Полученный угол  $A_3DO$  и является искомым углом падения ( $\alpha$ ).

*Построение выхода на поверхность наклонного пласта.* Чтобы построить выход поверхности (подошвы или кровли) наклонного пласта на карте местности с расчлененным рельефом, нужно изобразить эту поверхность в стратоизогипсах с тем же сечением, что и у горизонталей рельефа (рисунок 24.6). Для этого нужно знать элементы залегания пласта и его отметку хотя бы в одной точке.

Заложение стратоизогипс определяется исходя из угла падения и масштаба карты, графическим способом или по формуле  $d = h \cdot \text{ctg } \alpha$  где  $d$  – заложение стратоизогипс, выраженное в масштабе карты,  $h$  – сечение горизонталей и стратоизогипс, выраженное в масштабе карты,  $\alpha$  – угол падения. Затем нужно найти точки пересечения стратоизогипс и горизонталей с одинаковыми отметками и соединить эти точки плавной кривой. Эта кривая не должна пересекать ни горизонтали, ни стратоизогипсы в других местах, кроме найденных точек (рисунок 24.7). В зависимости от соотношения между направлением и углом падения пласта и направлением и углом наклона рельефа местности выход наклонного пласта имеет различную форму в плане.

Здесь возможны *три основных случая*:

1) если направление падения пласта совпадает с направлением склона рельефа, а угол падения больше, чем угол склона, то выход пласта образует изгиб в сторону, противоположную изгибу горизонталей рельефа (рисунок 24.8, а);

2) если направление падения пласта противоположно направлению склона рельефа, то выход пласта образует изгиб, направленный в ту же сторону, что и у горизонталей рельефа, но более плавный, чем изгиб горизонталей (рисунок 24.8, б);

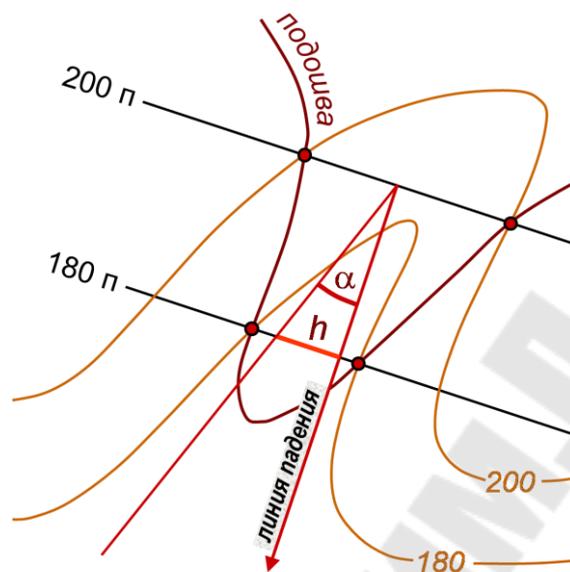


Рисунок 24.6 – Построение выхода на поверхность наклонного пласта

3) Если направление падения пласта совпадает с направлением склона рельефа, а угол падения меньше, чем угол склона, то выход пласта образует изгиб, направленный в ту же сторону, что и у горизонталей рельефа, но более резкий, чем изгиб горизонталей (рисунок 24.8, в).

*Точность определения параметров залежей нефти и газа.* Сущность объемного метода при подсчете запасов, который считается основным, заключается в определении массы нефти или объема свободного газа, приведенных к стандартным условиям, в насыщенных ими объемах пустотного пространства пород-коллекторов залежей нефти и газа или их частей.

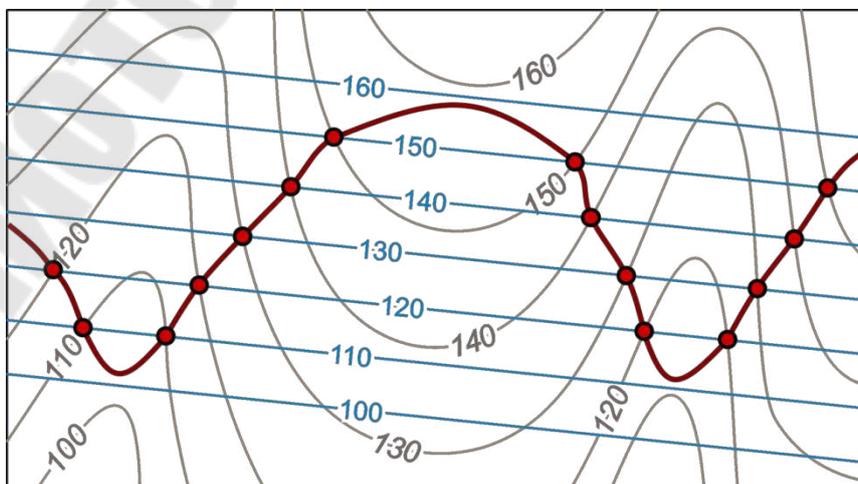


Рисунок 24.7 – Построение выхода наклонного пласта на карте местности с расчлененным рельефом с помощью стратоизогипс

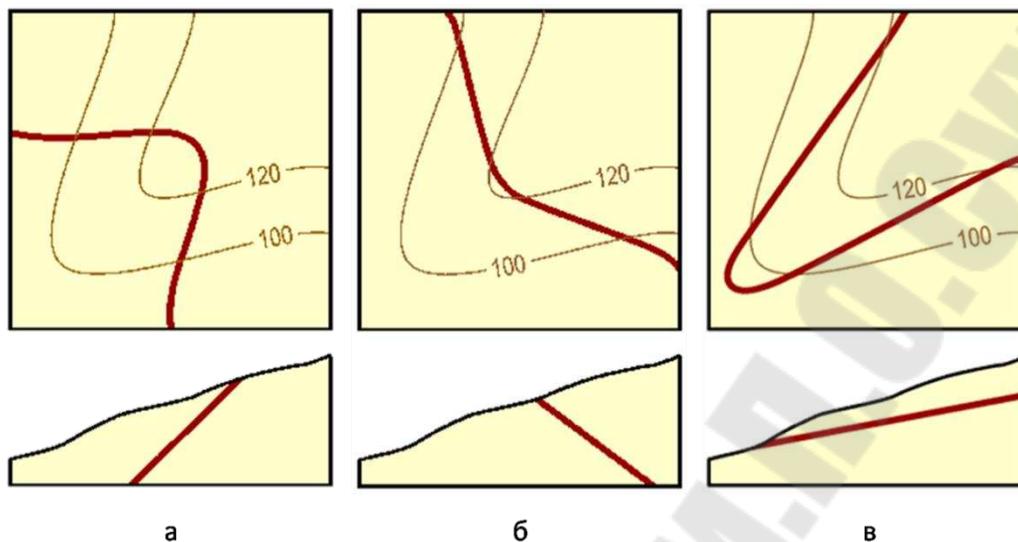


Рисунок 24.8 – Три основных случая выхода наклонного пласта в расчлененном рельефе

Величину этих объемов получают путем умножения горизонтальной проекции площади залежей нефти на среднее значение вертикальной эффективной нефтенасыщенной толщины пласта, на среднее значение коэффициента открытой пористости и на среднее значение коэффициента нефтенасыщенности. Площадь нефтеносности для каждой залежи определяется исходя из принятых отметок ВНК на подсчетных планах, совмещенных со структурными картами по кровле коллекторов соответствующих пластов. Структурные карты по кровле коллекторов составлены в масштабе 1:25000, исходя из отметок кровли верхнего и подошвы нижнего проницаемых прослоев продуктивных пластов. При структурных построениях учитываются все скважины, числящиеся на балансе месторождения, а также могут привлекаться скважины, расположенные за пределами границ лицензионного участка и числящиеся на соседних месторождениях. Границы залежи в приконтурных скважинах проводятся с учетом характера насыщения конкретно по каждой скважине. Достоверность определения площадей нефтеносности для залежей определяется, прежде всего, достоверностью структурных карт по кровле (подошве) коллекторов, а для залежей с литологическим экраном – от достоверности этого экрана. Внешние и внутренние контуры нефтеносности проводятся на структурных картах соответственно по кровле и подошве коллекторов, исходя из принятых при подсчете запасов положений ВНК по ближайшим скважинам. Замеры площадей проводятся отдельно по зонам (нефтяная, водонефтяная),

по участкам с запасами разных категорий (С1, С2), с учетом карты водоохраных зон. Выделение эффективных и нефтенасыщенных толщин продуктивных пластов проводится с использованием всего комплекса геолого-геофизической информации, проведенного для каждой скважины на отдельном планшете с увязкой по глубинам в масштабе 1:200. Там же, кроме диаграмм ГИС, приводятся результаты испытания скважин, вынесенный керн, согласно описанию, и средние значения открытой пористости по данным лабораторного исследования керна. После нанесения керна и первичному описанию проводится увязка его с каротажными диаграммами с целью определения его истинного положения в разрезе. В качестве количественных критериев разделения пород на коллекторы и неколлекторы используются критические (граничные) величины фильтрационно-емкостных свойств. При увязке керна с каротажом учитываются и другие лабораторные определения, выполненные на образцах керна: остаточная водонасыщенность, карбонатность и гранулометрический состав. Все определения физических свойств, сделанные на образце керна, характеризующие проницаемые разности и вошедшие в выделенные интервалы коллекторов, используются при оценке средних значений параметров продуктивных пластов. Отбивка границ проницаемых прослоев производится на геолого-геофизических разрезах с точностью  $\pm 0,2$  м. В соответствии с этим выделяются все проницаемые прослои толщиной 0,4 м и более. Отнесение выделенных эффективных толщин к нефтенасыщенным проводится с учетом всех имеющихся данных, прежде всего количественной интерпретации ГИС и опробования. В случаях, когда установление характера насыщения по этим данным было невозможно из-за малой толщины, нефтенасыщенными считались проницаемые прослои, залегающие выше ВНК, принятого по данному объекту. По результатам определения суммарной толщины в скважинах по каждому подсчетному объекту строятся карты эффективных нефтенасыщенных толщин с сечением изопакит чаще всего через 1 м, 2 м или 4 м.

*Виды мощностей залежи и их взаимосвязь.* Расстояние между подошвой и кровлей называется *мощностью* пласта.

*Виды мощностей:*

- кратчайшее расстояние от подошвы до кровли пласта – по перпендикуляру – называется *истинной мощностью* ( $M_n$ ),
- расстояние в горизонтальной плоскости – *горизонтальной мощностью* ( $M_r$ ),
- расстояние по вертикальной линии – *вертикальной мощностью* ( $M_B$ ).

- расстояние вдоль земной поверхности – *видимая мощность* ( $M_{\text{вид}}$ ) – зависит от соотношения между падением пласта и уклоном земной поверхности. Расстояние между подошвой и кровлей на карте – *проекция видимой мощности на горизонтальную плоскость* – может принимать любые значения. *Неполная мощность* наблюдается в том случае, когда отсутствует одна из поверхностей пласта (или обе):
- *сохранившаяся мощность* ( $M_{\text{сохр}}$ ) – расстояние от земной поверхности до подошвы пласта, кровля которого разрушена;
- *вскрытая мощность* ( $M_{\text{вскр}}$ ) – расстояние от земной поверхности до кровли пласта, подошва которого находится на глубине (рисунок 24.9).

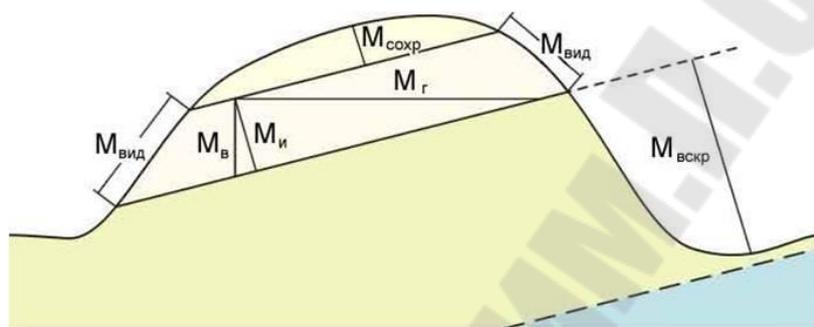


Рисунок 24.9 – Виды мощности

Для определения мощности используются *две линии выхода* (подошва и кровля) и *одна горизонталь* рельефа, которая пересекает линии выхода в двух точках каждую (рисунок 24.10).

Отложив определенный ранее угол падения пласта ( $\alpha$ ), строим так называемый *треугольник мощностей*, второй катет в котором – вертикальная мощность ( $M_{\text{в}}$ ), а высота, опущенная на гипотенузу – истинная мощность ( $M_{\text{и}}$ ).

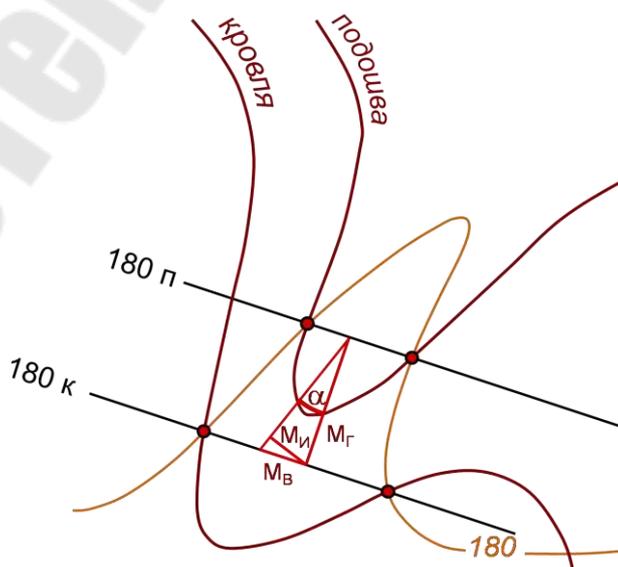


Рисунок 24.10 – Определение мощности с помощью стратоизогипс

## Тема 25 Гипсометрические планы

*Построение гипсометрического плана по координатам точек на поверхности залежи.* Форма залежи полезного ископаемого в недрах определяется поверхностями раздела полезного ископаемого от вмещающих его боковых горных пород – поверхностью лежачего и висячего бока, поверхностью тектонических разрывов или поверхностью с минимальным промышленным содержанием компонентов для тех случаев, когда полезное ископаемое постепенно переходит в боковые породы. В общем случае эти поверхности являются поверхностями топографического порядка. На плане они изображаются изогипсами или горизонталями. Геометрические графики называют *гипсометрическими* или *структурными* планами (картами).

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. *Гипсометрический план* — это чертеж поверхности напластования (маркирующего горизонта) в уменьшенном виде (в определенном масштабе), изображенной с помощью изогипс. *Изогипса* — линия равных высот точек кровли или почвы залежи. Гипсометрические планы составляют в крупных масштабах; аналогичные графики в изогипсах (стратоизогипсах), составляемые в мелких масштабах, называют *структурными картами*. *Гипсометрические планы дают пространственное представление о форме залежи и условиях ее залегания в недрах.* Гипсометрический план кровли (почвы) иногда называют *графиком рельефа пласта*. В ряде случаев строят график погребенного рельефа коренных пород, когда на размытой поверхности этих пород залегают рыхлые отложения. Во всех случаях для построения гипсометрического плана необходимо знать положение точек поверхностей пласта и их высотные отметки. Важным условием построения гипсометрического плана является правильный выбор сечения изогипс. Профессор Г.И. Вилесов рекомендовал выбирать величину сечения изогипс в зависимости от численного масштаба гипсометрического плана и преобладающего угла падения пласта. При построении гипсометрических планов более крупного масштаба (1:500 и

1:1000) сечение изогипс принимают меньшим, руководствуясь наглядностью изображений.

Построение гипсометрических планов по данным разведки производят непосредственным и косвенным способами.

Месторождения платформенного типа со слабо наклонным или почти горизонтальным залеганием разведуют обычно сетью вертикальных разведочных скважин, располагаемых более или менее равномерно по площади участка — в ряде случаев по геометрической сетке (квадратной, прямоугольной, ромбической). Гипсометрические планы в этом случае *строят непосредственно по данным разведочных скважин* — абсолютным или относительным отметкам почвы и кровли залежи. Изолинии строят по методу многогранника или с использованием инвариантных линий.

Если по одним и тем же исходным данным можно построить системы горизонталей, значительно отличающиеся одна от другой, и исходные показатели являются к моменту составления графика окончательными, то горизонталю рекомендуется проводить с учетом характера изменения других показателей, с которыми изображаемый показатель связан зависимостью.

*Построение гипсометрических планов почвы (кровли) по группе точек, имеющих высотные отметки.* В этом случае гипсометрический план почвы (кровли) строят следующим образом (рисунок 25.1).

1. На план выбранного масштаба по координатам наносят устья разведочных скважин, точки входа скважин в пласт при построении плана кровли, точки выхода скважин (для плана изогипс почвы), а также все другие точки, например точки горных выработок, в которых были определены высотные отметки поверхности пласта.

2. Возле этих точек, входа или выхода, выписывают на плане высоту точек поверхности пласта (залежи) в виде числовых отметок.

3. Проанализировав выписанные числовые отметки поверхности пласта, намечают на плане так называемые инвариантные линии — скелет поверхности пласта. К инвариантным линиям относят оси синклинальных и антиклинальных складок. К этим линиям будут приурочены повороты и изгибы изогипс на плане.

4. Выбрав высоту сечения изогипс, выполняют прямолинейное интерполирование по линиям скатов между точек с высотными отметками и находят на плане так называемые ступенчатые отметки, которые кратны выбранному сечению.

5. Соединив одноименные ступенчатые отметки плавными кривыми, получают изогипсы поверхности (кровли, почвы пласта). Построение изогипс залежи (пласта) рекомендуется начинать с наиболее изученной части поля. Если на некоторых участках месторождения можно провести

изогипсы залежи по-разному, то данных для построения плана изогипс недостаточно и требуются дополнительные сведения.

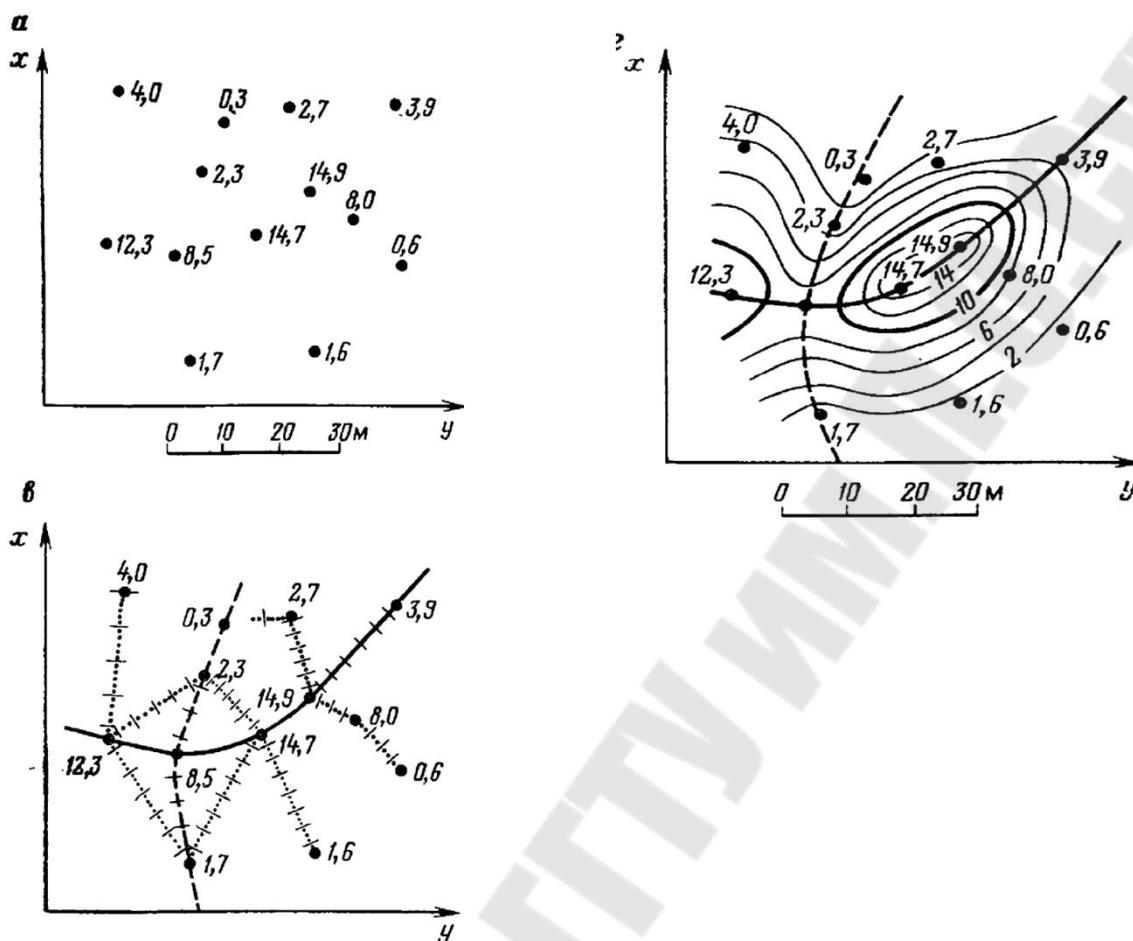


Рисунок 25.1 – Построение гипсометрических планов почвы (кровли) по группе точек, имеющих высотные отметки

*Построение гипсометрического плана кровли малоразведанного пласта по плану хорошо разведанного пласта путем вычитания поверхностей (способ карт схождения).* При разведке свиты пластов иногда возникает задача построения гипсометрического плана кровли малоразведанного и глубокозалегающего пласта на основе имеющегося гипсометрического плана хорошо разведанного пласта (маркирующего горизонта), но залегающего выше. В свое время проф. П.К. Соболевский предложил решать эту задачу путем вычитания поверхностей, полагая, что в толще осадочных отложений действует закон соподчинения.

*Построение гипсометрического плана при помощи вертикальных разрезов.* Месторождения с наклонным и крутым залеганием разведывают по разведочным линиям, которые располагают обычно вкрест простирания залежи. Гипсометрические планы в этом случае строят или

непосредственно по отметкам скважин, или косвенно, используя геологические разрезы (профили) залежей по разведочным линиям.

Наносят координатную сетку, разведочные линии, все разведочные скважины с отметками поверхностей напластования и мощности залежи, линию выхода залежи на поверхность (или под наносы), границу или контур залежи в недрах. Контур залежи на плане проводят посередине между сухими и результативными скважинами или по изолинии нулевой мощности залежи. В ряде случаев нулевой контур залежи вначале определяют на профилях или вертикальных разрезах по разведочным линиям, а затем переносят его на план (рисунок 25.2).

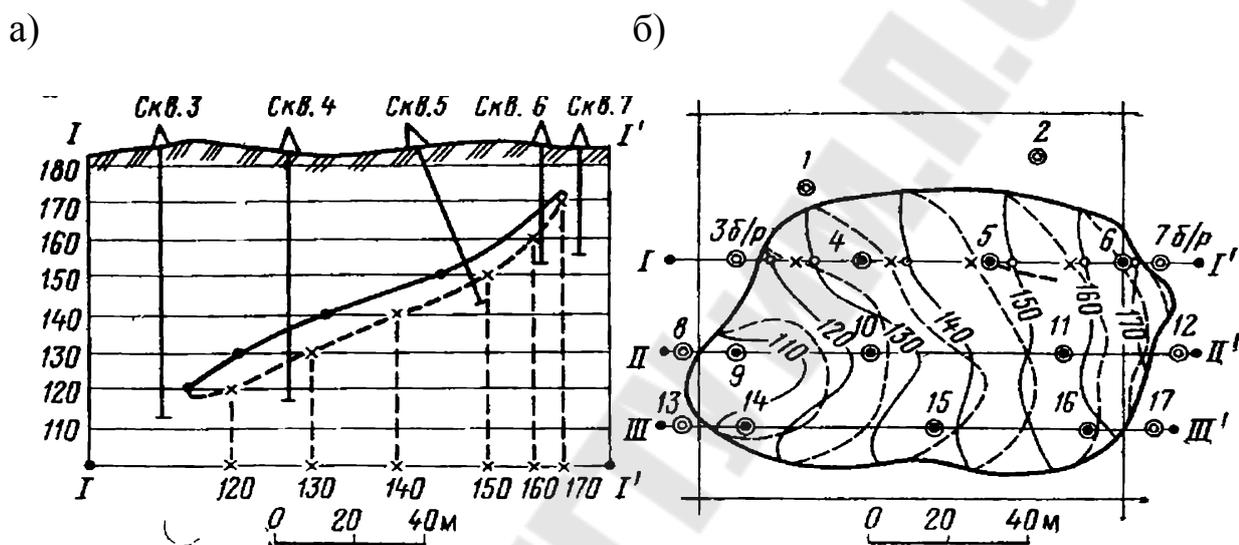


Рисунок 25.2 – Построения профиля и гипсометрического плана залежи:  
а) разрез по линии; б) план поверхности кровли и почвы залежи

На геологических разрезах или профилях залежи точки пересечения линий высотной сетки с профилем поверхности залежи проектируют на одну из линий сетки и подписывают соответствующие отметки. С разрезов эти точки переносят на план по соответствующим разведочным линиям. На (рисунке 25.2, а) эти точки нанесены лишь по разведочной линии I—I'.

Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, проводят горизонтали поверхности залежи, при этом учитывают характер залегания. На (рисунке 25.2, б) сплошными изолиниями изображена поверхность кровли, а пунктирными – поверхность почвы земли. На контурной линии изолинии поверхности кровли переходят в одноименные изолинии поверхности почвы залежи. Контур, составленный изолиниями кровли и почвы с одинаковой отметкой, представляет на плане горизонтальное сечение залежи на данном горизонте. Если на участке между разведочными линиями имеются отдельные разведочные

выработки, то горизонтали поверхности залежи проводят с учетом отметок этих выработок. Для уточнения положения горизонталей изображаемой поверхности между разрезами (разведочными линиями) дополнительно строят иногда разрезы профили пластов по способу нормалей. Так как обычно разведочные колонковые скважины располагаются по разведочным линиям, то по этим линиям, как правило, строят вертикальные геологические разрезы. Имея на вертикальном разрезе шкалу глубин и проведя горизонтально секущие линии, можно найти на поверхности почвы пласта (кровли) ступенчатые отметки, кратные принятому сечению. Использование вертикальных разрезов при построении гипсометрических планов исключает весьма кропотливую операцию — интерполирование отметок на плане, поэтому данный способ широко применяется при геометризации недр. Построение графиков изогипс поверхности размыва древних пород под наносы, водоупорных горизонтов, поверхности уровня подземных вод (гидропьезоизогипс) и поверхностей тектонических нарушений производят на основе соответствующих точек наблюдений, используя общие принципы.

*Построение структурных карт в нефтяной геологии.*

Пусть для примера на рисунке 25.3 дан вертикальный геологический разрез по разведочной линии I—I, на котором видно, что пласт *K* разведан большим числом скважин, а маркирующий горизонт (или пласт *M*), залегающий на большей глубине, разведан меньшим количеством глубоких скважин (всего четыре скважины). Пусть разрезов по разведочным линиям имеется несколько. Чтобы построить гипсометрию кровли малоразведанного пласта *M*, поступают следующим образом:

- строят гипсометрический план кровли детально разведанного пласта *K* (рисунок 25.4,а);
- зная вертикальные мощности между пластами *K* и *M* по глубоким скважинам, строят график изолиний мощности пород между пластами (рисунок 25.4,б);
- если теперь из гипсометрии пласта *K* вычесть график изолиний мощности, то получится план (рисунок 25.4, в), который будет представлять собой поверхность маркирующего горизонта (пласта) *M* в изогипсах или план гипсометрии кровли малоразведанного пласта *M* (в стратоизогипсах).

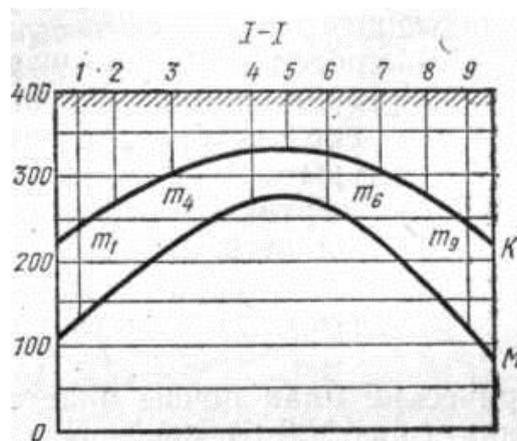


Рисунок 25.3 – Геологический разрез по линии I-I

Описанный прием получения гипсометрических планов (структурных карт) применяется в нефтяной геологии. По американской терминологии график (рисунок 25.4, б) называется картой схождения, а отсюда и название – способ карт схождения.

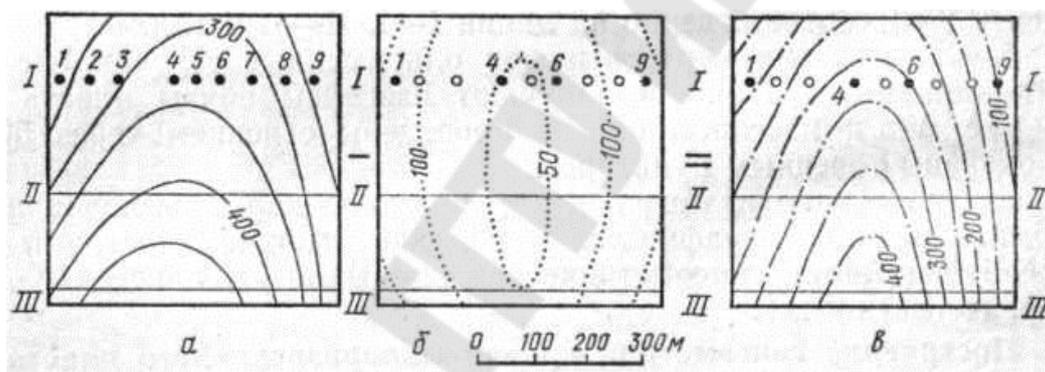


Рисунок 25.4 – Получение гипсометрического плана малоразведанного пласта при помощи вычитания поверхностей, а – гипсометрический план пласта К, б – изолиний мощности пород между пластами; в – гипсометрический план пласта М

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 гипсометрического плана и перечень задач, решаемых с помощью гипсометрических планов. Гипсометрические*

планы, построенные по данным горных работ, проведенным по полезному ископаемому, наилучшим образом характеризуют пространственное положение и элементы залегания залежи, более точно отображают поверхность залежи, чем планы, построенные ранее по данным разведки, и используются при прогнозировании показателей залежи и решении текущих задач по разработке соседних участков.

*Гипсометрические планы:*

- необходимы как для производства последующей детальной разведки, так и для разработки месторождения;
- дают возможность читать элементы залегания пласта в любой его точке;
- необходимы при составлении проекта вскрытия месторождения;
- используются для подсчета запасов пластовых месторождений (способ В. И. Баумана) и для перспективного и текущего планирования горных работ;
- служат основой для построения изолиний различных изогradientов при изучении геотермического режима горных пород, газоносности пластов, при изучении гидрогеологии месторождения и при геофизических исследованиях недр.

*Пользуясь гипсометрическим планом, можно решать следующие задачи:*

1. Изогипсы дают четкую качественную характеристику изменения простираения поверхности залежи. Дирекционный угол  $\alpha$  простираения залежи в любой точке на ее поверхности равен дирекционному углу направления касательной к изогипсе, проходящей через данную точку. Угол  $\alpha$  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

лежачего 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.

*Построение структурных карт по кровле и подошве продуктивного пласта и составление карты эффективных нефтегазонасыщенных толщин залежи.* Структурная карта представляет изображение подземного рельефа какой-либо реперной поверхности, например, кровли или подошвы пласта, в проекции на плоскость, как правило, горизонтальную. Структурная карта является одним из основных геологических документов, так как дает наглядное представление о строении недр и позволяет решить многие геолого-промысловые задачи:

- детальное изучение структурных особенностей залегания продуктивных пластов, положения разрывных нарушений, углов падения пород, характера выклинивания пород-коллекторов;
- определение границ залежей нефти и газа;
- определение местоположения и проектной глубины разведочных и эксплуатационных скважин;
- подсчет запасов нефти и газа и др.

На основе структурах карт составляют различные специальные карты, используемые при проектировании, контроле, анализе и регулировании разработки нефтяных и газовых месторождений. Структурные карты составляют для каждого продуктивного пласта на основе данных, полученных в результате применения комплекса различных методов изучения бурящихся и законченные бурением скважин. Подземный рельеф картируемой поверхности на таких картах изображается в виде системы линий, равноудаленных от принятой плоскости отсчета. В качестве базисной плоскости отсчета используют, как правило, уровень моря, а линии равных абсолютных отметок, отсчитываемых от уровня моря, называют изогипсами (рисунок 25.5).

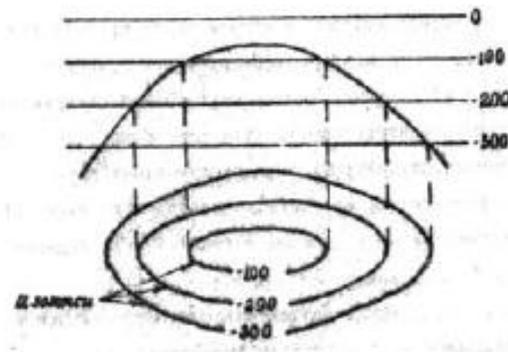


Рисунок 25.5 – Подземный рельеф картируемой поверхности

Пласты, залегающие ниже уровня моря, имеют отметки кровли и подошвы со знаком минус, а залегающие выше уровня моря со знаком плюс. Интервал по высоте между изогипсами называется сечением изогипс. Сечение изогипс выбирается в зависимости от масштаба карты и угла наклона картируемой поверхности. Изогипсы должны достаточно полно характеризовать рельеф изображаемой поверхности и при этом не загромождать карту. В общем случае, чем мельче масштаб карты, больше углы падения картируемой поверхности, тем больше сечение изогипс. Обычно при составлении структурных карт по кровле или подошве продуктивных пластов нефтяных и газовых месторождений используют следующие сечения изогипс; 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 метров. Масштаб структурной карты выбирается в зависимости от размеров структуры и требуемой точности построения. Наиболее часто используют масштабы

1 : 5000, 1 : 10000, 1 : 25000, 1 : 50000 и 1 : 500000, 1 : 200000.

Существуют различные способы графического построения структурных карт, среди которых наиболее часто применяется способ треугольников, основанный на использовании процедуры нахождения промежуточных абсолютных отметок картируемой поверхности между двумя скважинами – интерполяции. Этот способ наиболее эффективен при составлении структурах карт продуктивных пластов на месторождениях сравнительно простого геологического строения, не осложнённых тектоническими разрывами и имеющих углы падения пород, не превышающих  $60^\circ$ . Исходными данными для составления структурной карты способом треугольников по результатам бурения и изучения скважин являются:

1. План расположения скважин (координаты устьев скважин);
2. Глубина вскрытия картируемой поверхности в скважинах;
3. Альтитуда устьев скважин;
4. Удлинение стволов скважин за счет их искривления;

5 Результирующие азимуты и величина горизонтального смещения стволов скважин от устья до точки вскрытия картируемой поверхности. Под картой толщины понимают графическое изображение на горизонтальной плоскости толщины пласта (горизонта) посредством изопахит. *Изопахита* – это линия, соединяющая точки с одинаковым значением толщины пласта. Различают общую ( $h_0$ ), эффективную ( $h_э$ ) и нефте(газо)насыщенную ( $h_n$ ) толщину (рисунок 25.6).

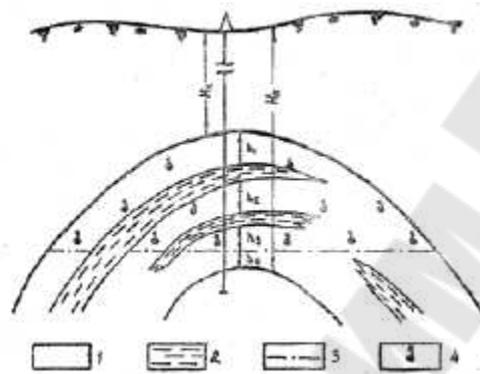


Рисунок 25.6 – Схема нефтяной залежи и виды толщины пласта:  
1 – проницаемые прослои, 2 – непроницаемые прослои, 3 – линия водонефтяного контакта, 4 – нефтенасыщенность.

*Общая толщина* – это разность между глубинами залегания подошвы ( $H_п$ ) и кровли ( $H_к$ ) пласта. *Эффективной толщиной* называют суммарную толщину проницаемых прослоев, по которым возможно движение флюидов в пласте. *Нефте(газо)насыщенная толщина* – это суммарная толщина проницаемых прослоев, заполненных нефтью (газом). Для ее определения необходимо знать положение водонефтяного (газоводяного) контакта. В зависимости от ориентации линии замера мощности в пространстве и относительно кровли (подошвы) пласта различают видимую ( $h_в$ ) и истинную ( $h_и$ ) толщины (рисунок 25.7).

*Видимая толщина ( $h_в$ )* – это расстояние между кровлей и подошвой пласта, измеренное по линии, произвольно ориентированной в пространстве к простиранию пласта. Частным случаем видимой мощности является вертикальная толщина ( $h_в^*$ ), представляющая собой расстояние между кровлей и подошвой пласта, замеренное по вертикали.

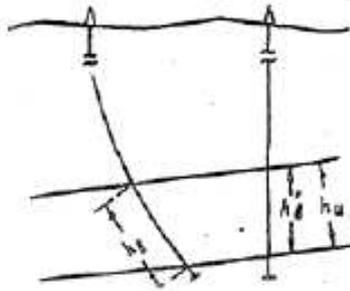


Рисунок 25.7 – Определение толщины пласта в скважине

*Истинная (нормальная) толщина ( $h_n$ )* есть кратчайшее (по перпендикуляру) расстояние между кровлей и подошвой пласта. Для изучения характера изменения толщины пласта в пределах площади (залежи) составляют карты толщин, которые называют такие картами *изопакит*. При решении практических задач используют, как правило, карты истинных толщин.

## Тема 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 рисунке 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:

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

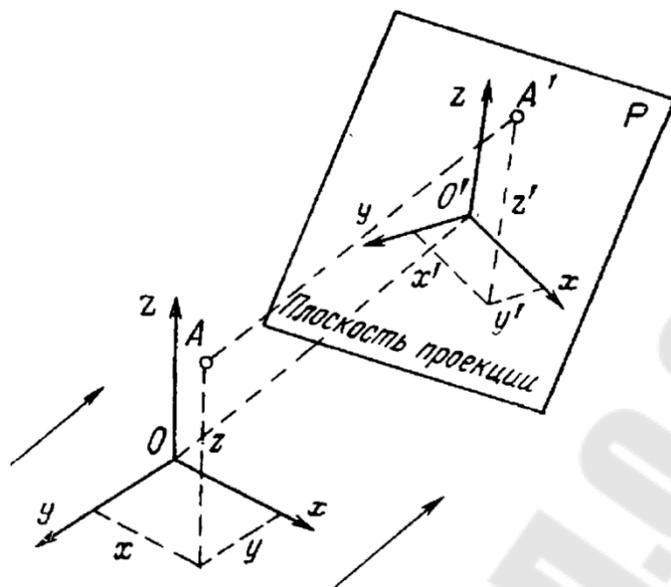


Рисунок 26.1 – Схема аксонометрического проектирования

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  $\beta$  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.

## Тема 27 Сдвигание горных пород

*Общие сведения о процессе сдвижения.* Проведение в горном массиве выработки вызывает перераспределение напряжений в некоторой зоне вокруг нее (рисунок 27.1, а, б).

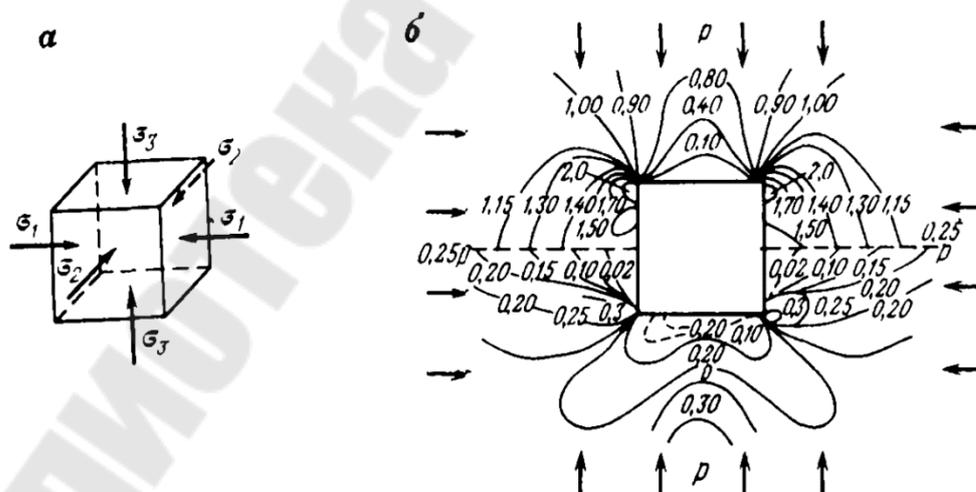


Рисунок 27.1 – Схема действия напряжений на кубик (а) и распределение напряжений вокруг выреза (б)

Причем возникают зоны концентрации и разгрузки напряжений, часто ведущие к появлению разрушений горных пород. 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 вкрест простирания залежи (пласта) полезного ископаемого горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами критических деформаций поверхности (рисунок 27.2).

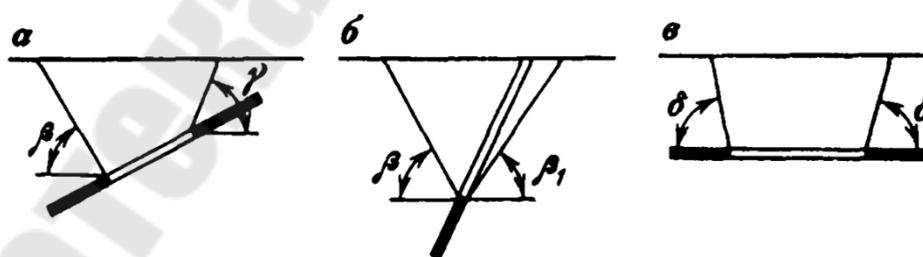


Рисунок 27.2 – Углы сдвижения; а, б – на разрезах вкрест простирания; в – на разрезах по простиранию

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 вкрест простирания углы сдвижения обозначаются висячем боку со стороны нижней границы выработанного пространства через  $\beta$ , со стороны верхней границы – через  $\gamma$  (рисунок 27.2, а) При крутом падении опасная зона определяется от нижней границы выработанного пространства в висячем боку углом сдвижения  $\rho$ , в лежащем – углом сдвижения  $\beta_1$  (рисунок 27.2, б). На разрезе по простиранию углы сдвижения принимаются одинаковыми с обеих сторон выработанного пространства и обозначаются через  $\delta$  (рисунок 27.2, в). В наносах углы сдвижения равны по всем трем направлениям и обозначаются  $\phi$ .

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  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\delta_0$ ,  $\beta_0$  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 вкрест простирания при пологом падении граничные углы  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$  (рисунок 27.3, а), при крутом падении граничные углы  $\beta_0$ ,  $\beta_{01}$  и на разрезе по простиранию  $\delta_0$ .

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.

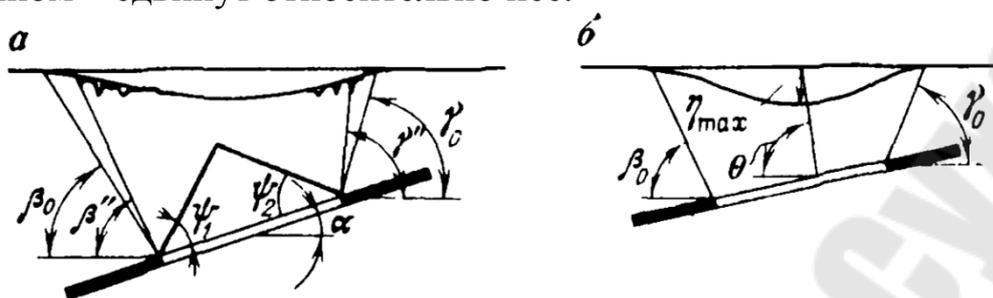


Рисунок 27.3 – Граничные углы, углы полных оседаний, угол максимальных оседаний и углы разрывов

Угол  $\theta$  (рисунок 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:  $\psi_1$  – со стороны падения;  $\psi_2$  – со стороны восстания выработанного пространства (см. рисунок 27.3, а) и на разрезе по простиранию;  $\psi_3$  – 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 сдвигении 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. рисунок 27.3, а).

Различают углы разрывов на разрезе вкrest простираия пласта  $\beta''$  и  $\gamma''$  и по простираию пласта  $\delta''$ .

Оседание поверхности т, являющейся вертикальной составляющей вектора сдвижения, изучено значительно полнее других параметров. Принято различать максимальное оседание при полной подработке  $\eta_0$  и неполной подработке  $\eta_m$ .

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

На рисунке 27.4, а точки 1, 2, 3 – реперы на поверхности до подработки; 1', 2', 3' – реперы на поверхности после подработки,  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – оседания соответствующих реперов;  $s_{1-2}, s_{2-3}$  – расстояния между точками 1–2 и 2–3 до подработки.

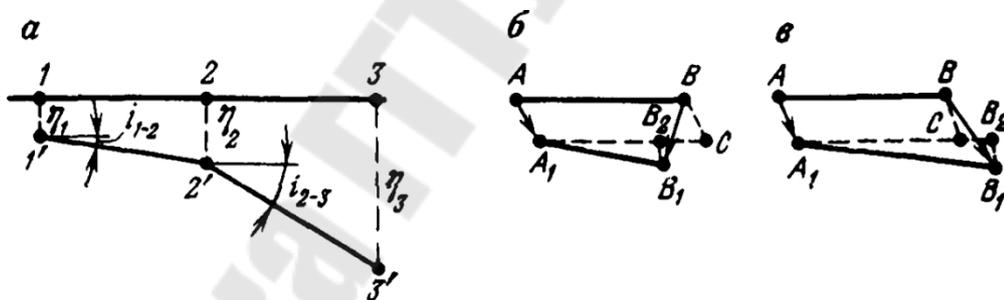


Рисунок 27.4 – Деформации вертикальные (а), горизонтальные (б), сжатия и растяжения (в)

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  $B$  (рисунок 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 рисунке 27.5, б, а в случае растяжения – как на рисунке 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.

## **Тема 28 Топографическая съёмка на основе лазерного сканирования и контроль строительства инженерных сооружений**

*Назначение лазерных сканеров в геодезической и геологической отраслях.* Лазерные сканеры находят широкое применение при выполнении топографических съёмок. Термин «*топографическая съёмка*» означает некий комплекс измерений, в результате которого получают изображение участка земной поверхности в графическом или цифровом виде. Лазерная локация на физическом уровне означает использование полупроводниковых лазеров в качестве источника зондирующего излучения. Различают *воздушную лазерную локацию земной поверхности*, когда измерительная аппаратура установлена на летательных средствах, и *наземное лазерное сканирование*, когда аппаратура установлена на земной поверхности на штативе. *Воздушные лазерные локаторы* иногда называют авиационными лидарами. Эта технология вбирает в себя ряд инновационных решений и, в принципе, является дальнейшим развитием классического стереотопографического метода. Использование метода лазерной локации, совмещенного с цифровой аэрофотосъемкой, спутниковой навигацией и геопозиционированием, позволяет говорить о появлении принципиально нового лазерно-локационного метода съемки. *Наземные лазерные сканеры* посредством высокоскоростного сканирования переносят совокупность характеристик реальной поверхности в цифровой вид и представляют результат в пространственной системе координат. *Лазерные сканеры – лазерные 3D сканеры – лазерные сканирующие системы – наземные лазерные сканеры* – это одно и то же, и это совершенно новое геодезическое оборудование. Если рассмотреть техническую сторону лазерных сканеров, можно сказать, что *лазерный сканер* – это прибор, оснащенный высокоскоростным безотражательным лазерным дальномером и системой изменения направления луча лазера – специальным поворотным зеркалом. Задав область сканирования – сектор поворота зеркала, в котором будет со скоростью до 50 000 точек в секунду распространяться лазерный луч дальномера, можно получить сплошную съемку интересующего объекта. Причем плотность точек лазерного сканирования может быть от 0,25 мм до 1 м и более. В результате получается массив точек, каждая из которых

имеет 3 пространственные координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и информацию о псевдоцвете.

*Задачи, решаемые посредством сканирования.* Лазерный сканер может выполнять съемку объектов, находящихся в любом месте сферы – полном круге по горизонтали ( $360^\circ$ ) и  $270^\circ$  по вертикали. Такое широкое поле зрения лазерного 3D сканера позволяет минимизировать количество станций сканирования. Точность безотражательного дальномера наземного лазерного сканера в среднем 4 мм. При этом точность положения каждой измеренной точки по трем осям ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) – не ниже 6 мм при расстоянии до объекта 50 метров и менее. В последнее время технология наземного лазерного сканирования все шире используется для решения задач инженерной геодезии в различных областях строительства и промышленности. Растущая популярность лазерного сканирования обусловлена целым рядом преимуществ, которые дает новая технология по сравнению с другими методами измерений. Среди преимуществ следует выделить главные: повышение скорости работ, уменьшение трудозатрат и обеспечение безопасного проведения съёмочных работ. Появление новых более производительных моделей сканеров, совершенствование возможностей программного обеспечения позволяет надеяться на дальнейшее расширение сфер применения наземного лазерного сканирования. Первым результатом сканирования является облако точек, которое и несет максимум информации об исследуемом объекте, будь то здание или инженерное сооружение.

*По облаку точек в дальнейшем возможно решать различные задачи:*

- получение трехмерной модели объекта;
- получение чертежей, в том числе чертежей сечений;
- выявление дефектов в различных конструкциях посредством сравнения с проектной моделью;
- определение и оценку значений деформации посредством сравнения с ранее произведенными измерениями;

– получение топографических планов методом виртуальной съемки. При топографической съемке сложных промышленных объектов традиционными методами, исполнители часто сталкиваются с тем, что во время полевых работ бывают пропущены отдельные измерения. Обилие контуров, большое количество отдельных объектов приводят к неизбежным ошибкам. Материалы, получаемые при лазерном сканировании, несут более полную информацию об объекте съемки. Перед началом процесса сканирования лазерный сканер производит панорамную фотосъемку, которая значительно повышает информативность получаемых результатов.

*Принципиальные схемы и технические характеристики трёхмерных лазерных сканеров.* Технология наземного лазерного сканирования, используемая для создания трехмерных моделей объектов, топографических планов сложных загруженных территорий, значительно повышает производительность труда и уменьшает затраты времени. Разработка и внедрение новых технологий производства геодезических работ всегда велись с целью сокращения сроков полевых работ. Можно с уверенностью сказать, что *лазерное сканирование* полностью отвечает этому принципу. Технология *наземного лазерного сканирования* находится в постоянном развитии. Это касается и совершенствования конструкции *лазерных сканеров*, и развития функций программного обеспечения, используемого для управления приборами и обработки полученных результатов.

*Специфические особенности наземного лазерного сканирования:*

- трехмерная модель объекта получается мгновенно;
- точность измерений очень высока, чертежи сечений и другие чертежи объекта имеют высокое качество;
- сбор данных осуществляется очень быстро – существенная экономия времени при работе в поле;
- дефекты и недочеты выявляются просто – достаточно лишь сравнить полученную конструкцию с проектной 3-мерной моделью;
- безопасность съемки опасных и труднодоступных объектов;
- топографические планы получают с помощью виртуальной съемки;
- расчет величины деформаций путем сравнения с ранее полученными результатами съемок.

Лазерные сканеры не нуждаются в наружном освещении. Иначе говоря, работы могут выполняться в абсолютной темноте. Освещение необходимо для создания фотографий объекта. Климатические условия – интервал рабочей температуры окружающей среды от 0 до 40 °С. Затруднена съемка в снег, дождь, туман, гололед. Инфраструктура для обеспечения съемки не нужна. Наличие источника питания облегчает работу, но это не обязательно. Ограничений времени работы сканера нет. Сканер может работать круглосуточно. На рисунке 28.1 приведены фотографии лазерных сканеров.

Ниже даются некоторые характеристики этих моделей.

*Технические характеристики лазерного сканера Scan Station 2*

(рисунки 28.1 а): Угол захвата 360° x 270° Скорость сканирования до 50000 точек/сек. Точность единичного измерения местоположения 6 мм. Ошибка измерения расстояния 4 мм. Угловая точность 60 микрорадиан. Точность моделирования поверхностей 2 мм. Точность измерения

визирных марок 1,0 мм. Оптимально эффективный диапазон сканирования 1 – 150 м.

Лазерный сканер HDS6000 (рисунок 28.1, б)) имеет угол захвата  $360^{\circ} \times 310^{\circ}$ . Скорость сканирования до 50000 точек/сек. Размер лазерного пятна 3 мм. Точность единичного измерения местоположения и расстояния от 2 мм (25 м) до 4 мм (50 м). Точность моделирования поверхностей 2 мм. Оптимально эффективный диапазон сканирования 1 – 79 м. Встроенные – блок питания; *Bluetooth*, жесткий диск; *USB*-разъемы; пульт управления с дисплеем.



Рис. 5.16.  
Лазерный сканер  
Scan Station 2

а)



Рис. 5.17.  
Лазерный сканер  
HDS6000

б)

Рисунок 28.1 – Внешний вид модификаций лазерных сканеров

Принципиальная схема и технические характеристики трехмерных лазерных сканеров. На рисунке 28.2 показана в качестве примера принципиальная схема и общий вид трехмерного лазерного сканера LMS-Z420 фирмы RIEGL.

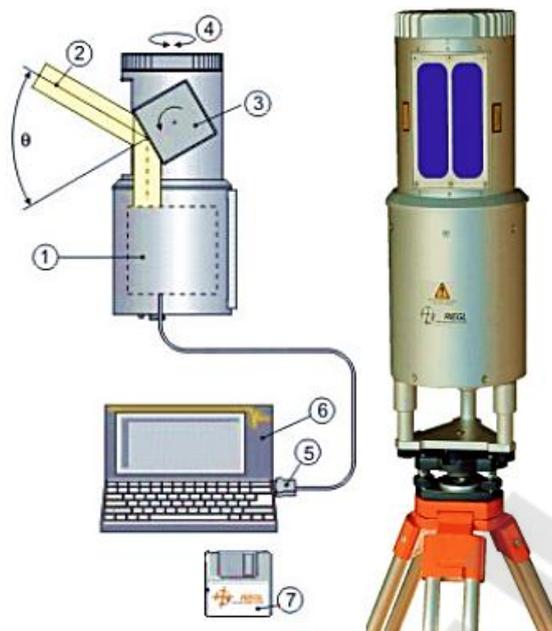


Рисунок 28.2 – Принципиальная схема трехмерных лазерных сканеров

*Основные элементы:*

- 1 – лазерный дальномер;
- 2 – вращающаяся зеркальная призма;
- 3 – вращающаяся оптическая головная часть;
- 4 – кабель передачи данных на LPT порт PC;
- 5 – персональный компьютер;
- 6 – блок программного обеспечения;
- 7 – лазерный луч;
- 8 – вертикальный угол поля зрения.

Данный сканер позволяет выполнять съемку с расстояниями до объекта от 2м до 1000 м со следующими углами поля зрения: вертикальный –  $80^\circ$ , горизонтальный –  $360^\circ$ . При этом величина углового шага сканирования  $\Delta\varphi$  и  $\Delta V$  может достигать  $0,01^\circ$  с точностью измерения углов  $0,002^\circ$ . Длины линий измеряются с точностью 10-20 мм (в зависимости от расстояния). Скорость выполнения измерений – до 9000 точек в секунду.

*Принцип формирования дискретной трёхмерной модели объекта съёмки лазерным сканером.* Принцип формирования дискретной трехмерной модели объекта съемки лазерным сканером заключается в следующем. Результатом сканирования является трехмерная модель объекта в виде совокупности точек, для каждой из которых определены пространственные координаты X, Y, Z и соответствующая плотность изображения d (рисунок 28.3).

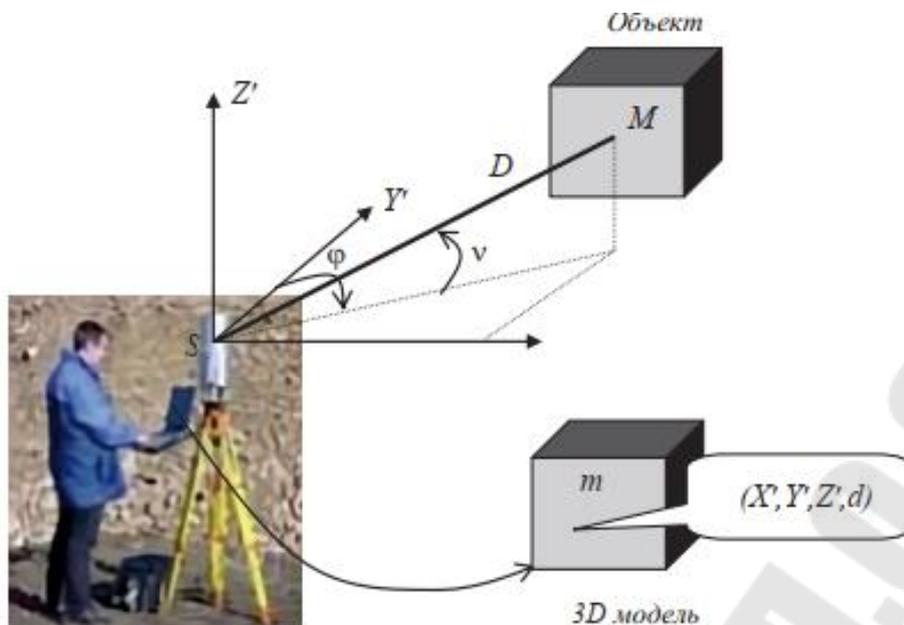


Рисунок 28.3 – Принцип формирования дискретной трёхмерной модели объекта съёмки лазерным сканером

Сканер представляет собой устройство, объединяющее в себе теодолит, лазерный дальномер и цифровую камеру. Таким образом, для любой точки объекта регистрируются горизонтальный  $\varphi$  и вертикальный  $\nu$  углы с помощью теодолита; расстояние  $D$  – с помощью лазерного дальномера; плотность изображения или интенсивность отраженного сигнала дальномера  $d$  – с помощью цифровой камеры (сенсора), или интенсивность отраженного сигнала дальномера (рисунок 28.3). Задается диапазон ( $\varphi \min$ ,  $\nu \min$  и  $\varphi \max$ ,  $\nu \max$ ) и шаг ( $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\nu$ ) изменения горизонтальных и вертикальных углов, и сканер автоматически с помощью моторов последовательно устанавливает луч лазера и регистрирует параметры  $\varphi$ ,  $\nu$ ,  $D$  и  $d$  для каждой точки объекта в заданных пределах.

Точность установки  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\nu$  с помощью моторов ниже точности измерения углов  $\varphi$ ,  $\nu$ , поэтому для каждой точки сканирования регистрируются значения  $\varphi$ ,  $\nu$ . Соответствующие координаты точек модели объекта вычисляются по известным формулам:  $X' = D \cos\nu \sin\varphi$ ;  $Y' = D \cos\nu \cos\varphi$ ;  $Z' = D \sin\nu$ . Координаты точек модели объекта  $X\varrho$ ,  $Y\varrho$ ,  $Z\varrho$  получаются в пространственной системе координат сканера (модели)  $S$ ,  $X\varrho$ ,  $Y\varrho$ ,  $Z\varrho$ , (см. рисунок 28.3). Эта система координат связана с системой отсчетов горизонтальных и вертикальных углов в сканере и в общем случае произвольно ориентирована в пространстве. Внешнее ориентирование трехмерной модели по опорным точкам. Во время съёмки сканер (система координат сканера) не ориентируется в пространстве и не нивелируется. Поэтому в результате съёмки получается трехмерная модель объекта,

свободно ориентированная в пространстве относительно системы координат объекта. Для получения соответствующих координат точек объекта в системе координат объекта  $OXYZ$  необходимо выполнить внешнее ориентирование модели. Этот процесс выполняется, как известно, по опорным точкам. В качестве опорных точек чаще всего используют специальные маркированные точки (рисунок 28.4), которые автоматически распознаются в трехмерной модели объекта. Координаты опорных точек в системе координат объекта определяются одним из геодезических методов, например, с помощью электронного тахеометра.

*Визуализация трехмерных моделей.* Как отмечалось выше, для каждой точки модели объекта фиксируется интенсивность отраженного сигнала, которая может быть использована для визуализации объекта в так называемых псевдоцветах. Для получения реальных плотностей в каждой точке сканирования в сканере применяется цифровая камера, основанная на матрице ПЗС.

С помощью этой камеры сначала получают серию изображений, покрывающих весь объект в пределах предполагаемого сканирования. Затем объект сканируется, а соответствующие плотности берутся с этих снимков. Такой подход позволяет в последующей обработке оперировать не только с облаком точек лазерного сканирования, но и с цифровыми изображениями объекта, что существенно повышает информативность полученных данных об объекте.

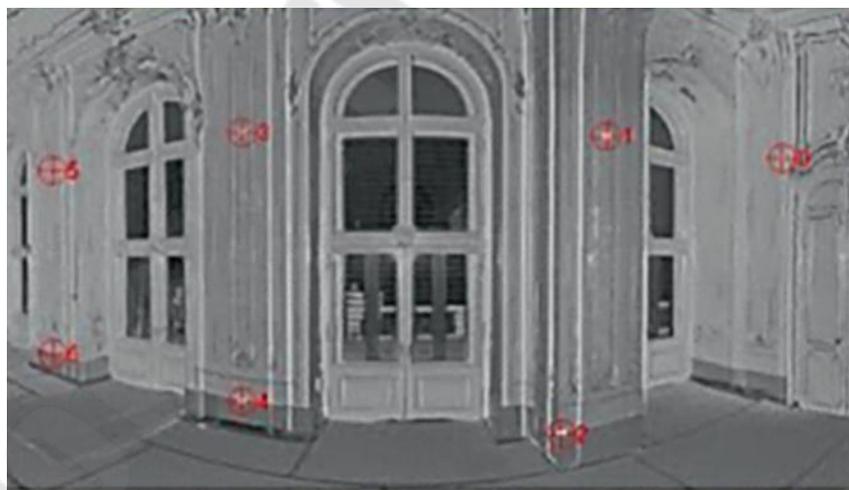


Рисунок 28.4 – Опорные точки на объекте

## **Тема 29 Камеральные работы CREDO при решении инженерно-геологических и маркшейдерских задач**

*Назначение системы CREDO.* Система CREDO\_DAT предназначена

для автоматизации камеральной обработки полевых инженерно-геодезических, маркшейдерских изысканий, выполняемых при создании опорных геодезических сетей, инженерных изысканий, разведке и добыче полезных ископаемых, геодезическом обеспечении строительства, землеустройстве.

*Общая схема обработки данных в CREDO\_DAT.*

1. Создание нового или открытие существующего проекта.
2. Уточнение, при необходимости, сервисных настроек и параметров конфигурации рабочей среды (состав и расположение окон, рабочих команд, параметров отображения элементов в графическом окне).
3. Уточнение свойств проекта, то есть параметров, присущих каждому отдельному проекту (наименование ведомства и организации, описание системы координат и высот, используемых при производстве геодезических работ, настройку стандартных классификаторов, задание единиц измерений, учитываемые поправки, параметры уравнивания и другие аналогичные настройки).
4. Импорт данных или ввод и редактирование данных в табличных редакторах. Система обеспечивает возможность комбинировать способы подготовки данных: импортировать данные по шаблону из текстовых файлов (например, координаты исходных пунктов), импортировать измерения из файлов электронных регистраторов, файлов постобработки ГНСС, вводить данные через табличные редакторы и т.д.
5. Предварительная обработка измерений, являющаяся обязательным подготовительным шагом перед уравниванием. Любые изменения проекта не будут учтены при уравнивании, если не выполнена предобработка.
6. Уравнивание координат пунктов планово-высотного обоснования. Следует обращать особое внимание на настройки параметров уравнивания и априорную точность измерений, которые существенно влияют на качество уравнивания, особенно при совместном уравнивании разнородных сетей.
7. Подготовка отчетов. Редактор шаблонов позволяет сформировать шаблон выходного документа согласно стандартам предприятия.
8. Создание чертежей.
9. Экспорт данных в системы комплекса CREDO, САПР, ГИС, текстовые файлы.

В системе CREDO\_DAT версии 4.0 реализован механизм организации рабочей области, позволяющий управлять видимостью окон и их размещением на экране монитора с учетом характера решаемых задач и предпочтениями пользователя. Созданная конфигурация рабочей области

может быть сохранена и, затем, при необходимости, быть выбрана. *Конфигурация рабочей области* моделируется посредством паркуемых окон. Команды управления отображением окон, панелей инструментов, а также строки состояния содержит главное меню *Вид*. Выбор команды включает или отключает соответствующие окна. С помощью захвата и перемещений можно выполнить группировку и парковку окон. Окно можно разместить в центральной области главного окна документа, припарковать с любой стороны от центральной области или расположить поверх других окон.

Немного о возможностях некоторых программ. *Программа ТРАНСФОРМ* предназначена для обработки растровых файлов, полученных в результате сканирования картографических и геодезических материалов, схем и чертежей. В результате работы в программе создается электронная растровая подложка, которая может использоваться в системах комплекса CREDO и других проектирующих и геоинформационных системах, а также для выпуска чертежей, топопланов и схем, оформленных в соответствии с действующими нормативными документами.

*В программе реализованы следующие функции:*

- сканирование различных документов;
- линейное растяжение и сжатие растровых фрагментов, их перемещение относительно друг друга;
- трансформация – устранение нелинейных искажений растрового материала, обусловленных деформацией исходного документа, погрешностью сканирования или другими факторами;
- склейка растровых фрагментов с изменением масштаба и разворотом относительно исходного, выбранного фрагмента;
- топографическая привязка растровых фрагментов к прямоугольной системе координат;
- устранение «несводок» контуров на смежных фрагментах;
- поворот растровых фрагментов на произвольный угол;
- обрезка прямоугольным контуром;
- наложение на растровые фрагменты многоугольных контуров видимости произвольной формы;
- сшивка растровых фрагментов в единое растровое поле с учетом контуров видимости;
- редактирование растровых изображений с помощью набора инструментов;
- печать чертежей, оформленных в соответствии с нормативными документами; разбивка на листы, если размер чертежа превышает формат печатающего устройства;
- экспорт подготовленной растровой подложки.

Реализованный в программе метод трансформации, позволяет использовать различные алгоритмы интерполяции для получения качественных в метрическом отношении изображений, в определенной степени исправляя такие дефекты, как складки бумаги, участки с неравномерным масштабом и другие. Одновременно обеспечивается привязка обрабатываемых растровых фрагментов к используемой системе координат. Трансформация растра осуществляется по задаваемым пользователем опорным точкам, координаты которых известны – *абсолютным* опорным точкам. Такими точками могут быть кресты координатной сетки, пункты обоснования, к оординированные углы зданий и т. п. Для устранения «несводок» контуров на каждом из смежных фрагментов в области их перекрытия задаются дополнительные опорные точки без указания координат – *относительные* опорные точки. Обычно такие точки задаются в характерных местах изображения: на колодцах, осветительных мачтах, пересечениях линий, отдельно стоящих деревьях. В процессе трансформации, соответствующие связующие опорные точки соседних фрагментов, совмещаются. Механизм склейки фрагментов по относительным опорным точкам, позволяет, используя различные алгоритмы интерполяции, выполнить разворот и изменение масштаба фрагментов проекта относительно исходного (выбранного) фрагмента, при этом обеспечивается привязка обрабатываемых растровых фрагментов к системе координат исходного (выбранного) фрагмента.

Для отображения на экране или чертеже только необходимых участков изображения служит аппарат контуров видимости. Контур видимости представляет собой многоугольник произвольной формы, накладываемый на растровый фрагмент, позволяющий скрыть часть проекта, лежащую за пределами контура. Контуровы видимости соседних растровых фрагментов легко сопрягаются между собой, обеспечивая «сшивку» фрагментов по произвольной траектории. В программе обрабатываются растровые изображения любой глубины цвета (черно-белые, монохромные, цветные), отсканированные непосредственно ТРАНСФОРМ или импортированные из файлов формата BMP, PCX, TIF, GIF. ТРАНСФОРМ позволяет экспортировать проект, состоящий из произвольного количества растровых фрагментов, в единый файл (поддерживаемые форматы BMP, PCX, TIF, GIF), обеспечивая тем самым объединение всех фрагментов в единое растровое поле. Проекты программы ТРАНСФОРМ хранятся в файлах формата TMD. Кроме того, проекты или отдельные фрагменты можно экспортировать в файлы форматов BMP, PCX, TIF, GIF, в файлы растровой подложки и соответствующие файлы привязки программных продуктов CREDO, ArcView, MapInfo, Photomod. Для выпуска проектной документации в соответствии с действующими информативными

документами в программу встроен компоновщик чертежей. Он позволяет отдельные растровые фрагменты произвольной формы разместить на стандартных листах, оформить листы чертежей в соответствии с ГОСТом, дополнить чертеж надписями, разбить чертеж формата, превышающего формат печатающего устройства, на склеиваемые листы. Печать производится в масштабе съёмки. Подготовленный в ТРАНСФОРМ чертеж можно сохранить в файл, что позволяет создавать электронные архивы чертежей.

*Система «CREDO линейные изыскания». 1.2»* позволяет создавать цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели рельефа (ЦМР) по данным топографической съёмки.

### **Тема 30 Дистанционные методы в геодезии и геологии**

*Геофизические съёмки.* Практическая реализация дистанционного изучения окружающей среды строится на использовании приемников чувствительных к определённой зоне электромагнитного спектра излучения. С этой позиции различают следующие виды съёмок, обеспечивающие регистрацию:

- ультрафиолетового излучения,
- видимого излучения,
- инфракрасного или теплового излучения,
- радиоизлучения,
- акустического,
- магнитного поля,
- гаммаизлучения,
- испарение объектов.

По длинам волн съёмки располагаются в следующем порядке:

- ультрафиолетовая съёмка с диапазоном длин волн (0,01-0,4 мкм),
- видимый диапазон (0,4-0,74 мкм),
- инфракрасная съёмка, которая выполняется в трех диапазонах:
  - а) 0,74-1,2 мкм,
  - б) 1,8-5,3 мкм,
  - в) 7,0-14 мкм,

Кроме перечисленных видов съёмок используется ряд геофизических съёмок:

- радиотепловая, при которой регистрирует пассивное излучение объектов земной поверхности в микроволновом диапазоне. Аппаратурой – радиолокаторы, излучение прозрачно для атмосферы;

- аэромагнитная, при которой регистрируют магнитное излучение, аппаратура – аэромагнитометры;
- аэрогаммасъёмка, которая выполняется с помощью гамма-спектрометров;
- аэрогеохимическая съёмка, которая основана на регистрации летучих элементов и соединений при испарении;
- аэроэлектроразведка, которая основана на исследовании естественных или искусственно создаваемых электромагнитных полей. По способу возбуждения различают пассивный и активный методы аэроэлектроразведки.

Возможны следующие методы электроразведочных работ:

1) в методе бесконечно длинного кабеля (БДК) изучается горизонтальная составляющая переменного магнитного поля, создаваемого длинным до 30-40 км заземлённым на концах кабелем, проложенным параллельно простиранию геологических структур. Профили располагают перпендикулярно кабелю, высота полёта около 100 метров. Для ослабления электрических помех приёмные рамки размещают в гондole выпускаемой во время полёта на тросе длиной 10-20 метров. Глубинность такого метода порядка 100 м;

2) в методе индукции источником электромагнитного поля служит питаемая переменным током генераторная рамка, установленная на самолете вместе с измерительной аппаратурой. Измеряются действительные и мнимые компоненты или модуль и фаза горизонтального или вертикального состояния магнитного поля;

3) метод вызванной магнитной поляризации (ВМП) по сравнению с методом БДК имеет преимущество в аппаратурном оформлении. Не используется наземная группа аппаратуры, а съёмка проводится на двух самолётах, следующих друг за другом по одному курсу;

4) метод радиокип эффективно применять для поиска подземных вод особенно не в жилых районах, а также для картирования мёрзлых зон и для поисков погребённых соляных куполов. Измеряемой величиной в этом методе является абсолютное значение напряжённости электрического поля, радиовещательных станций в диапазоне частот от 0,1 до 1 МГц. Аппаратура размещается на борту вертолёта или самолета.

5) в методе переходных процессов электромагнитное поле создается импульсами тока, протекающего по генераторной рамке. Частота составляет несколько десятков Герц, генераторная и измерительная аппаратура находятся в одном самолете. Установлено, чем ниже сопротивление горных пород, тем быстрее происходит затухание электромагнитного поля после выключения тока в генераторной рамке.

Это свойство используется для разделения выявленных геологических объектов по величине электрического сопротивления;

б) метод, основанный на измерении естественных переменных электромагнитных полей Земли. Измеряемая величина – угол наклона плоскости поляризации поля или отношение вертикальной и горизонтальной составляющих магнитной компоненты поля и разность фаз между ними. Вся измерительная аппаратура располагается на самолете или вертолете.

Во всех методах регистрация электромагнитного поля производится непрерывно вдоль профилей, ориентированных перпендикулярно основным структурам. По данным съемки строят крупномасштабные структурно – геологические карты, которые используются для выделения участков перспективных на поиски месторождений или непосредственно на выявление месторождений. Основной масштаб съемки 1:50000. Современные АЭР комплексы снабжены устройствами для цифровой регистрации измеряемых параметров в полете в поле, что обеспечивает машинную обработку. Модифицированная аппаратура включает также магнитный и гаммаспектральный каналы. Дальнейшее развитие дистанционных съёмок связано с усовершенствованием аппаратуры. В настоящее время для детальных поисков возможно проведение аэроразведочных работ в масштабе 1:10000.

*Аэрофотосъемка (АФС)* – комплекс летно-съёмочных, фотографических и фотограмметрических работ, в результате которых получают аэронегативы и аэроснимки местности, а также другие вспомогательные материалы.

*АФС подразделяется на:*

- одинарную;
- маршрутную;
- площадную.

*Одинарная АФС* применяется для фотографирования отдельных объектов или явлений природы, когда они засняты на одном или нескольких снимках и не планируются дальнейшие стереоскопические работы.

*Маршрутная АФС* – фотографирование ведется вдоль какого-то направления. Снимки перекрывают друг друга на 60% по маршруту (продольное перекрытие). Получают непрерывный и последовательный ряд снимков. Применяется чаще всего крупномасштабная съемка для изучения речных долин (комплекса террас), морских побережий, водоразделов, а также при инженерно-геологических и поисково-разведочных работах.

*Площадная АФС* – используется для изучения участков, площадь которых больше площади, фотографируемой одним маршрутом. Выполняется в виде ряда параллельных между собой маршрутов. Перекрытие снимков между маршрутами около 30 %, что необходимо для связи соседних маршрутов. Аэрофотосъемочные работы, выполняемые для решения геологических задач, делятся на перспективную и плановую съемку.

*Перспективная АФС* производится аэрофотоаппаратом (АФА), оптическая ось которого отклонена от нормали на значительный угол, обычно 30-60%. Преимущества этого вида съемки в том, что получаемое изображение местности более естественно и легче для восприятия. Кроме того, одним снимком охватывается большая площадь по сравнению со снимком плановым. *Плановая АФС* выполняется с помощью АФА, установленного в самолете так, чтобы его оптическая ось занимала отвесное положение при съемке. Величина отклонения оптической оси от нормали не более  $3^{\circ}$ , обычно не более  $1,5^{\circ}$ . Если аппарат установлен на гиостабилизированную платформу, то величина отклонения не более  $30'$ . Примерное положение оси определяется по положению пузырька уровня в левом верхнем углу снимка. АФС, выполняемая с высот до 10 км, называется обычной, а с высот более 10 км – высотной. Высотная АФС обеспечивает получение мелкомасштабных АС высокого качества, по генерализации изображения приближающиеся к КС. Особенно эффективна высотная АФС для горных районов. Стандартный формат снимков 18 x 18 см или 30 x 30 см. Фотографическая съемка (черно-белая, цветная, спектральная) – объективный и самый информативный вид аэрокосмической съемки. Она обеспечивает высокое качество изображения земной поверхности (высокое разрешение и геометрическая точность). Многозональная съемка обычно выполняется одновременно в 3-х–7-и спектральных зонах, а гиперспектральная – в десятках и сотнях очень узких зонах спектра. Электромагнитное излучение в разных спектральных диапазонах содержит взаимодополняющую информацию об объектах земной поверхности. Одновременная регистрация излучения в нескольких спектральных зонах позволяет получить наиболее разностороннюю характеристику объекта.

При дешифрировании прибегают к трем основным приемам:

- сопоставление с эталонными снимками;
- сопоставление и сравнение объектов в пределах одного снимка;
- логическая интерпретация.

По используемым средствам дешифрирование делится на:

- визуальное;

- визуально-инструментальное, производящееся с помощью стереоскопов, параллаксометров и др. простейших приборов;
- инструментальное, выполняемое с помощью специальных приборов и машин.

*Космические съёмки.* Фотографическую съёмку поверхности Земли с высоты более 150-200 км называют *космической*. Отличительной чертой космоснимков является высокая степень обзорности. Фотографирование может производиться во всех видимых диапазонах спектра и в ближнем диапазоне инфракрасной области. Для повышения информативности снимков при изучении геологических объектов съёмку целесообразно проводить одновременно в нескольких различных узких спектральных диапазонах. При этом наиболее широко используется многозональная космическая фотокамера МКФ-6М, имеющая 6 кассет по числу объективов. Каждый объектив работает в определенном спектральном канале в следующих зонах спектра (мкм): 0,45-0,50; 0,52-0,56; 0,58-0,62; 0,64-0,68; 0,70-0,74; 0,78-0,86. Размер каждого получаемого изображения 55 x 81 мм. Разрешение составляет 200 линий на 1 мм. Зональные снимки 1-4 каналов выдерживают увеличение до 60 раз и в таком виде вполне пригодны для геологического дешифрирования. Снимки, полученные по 5-6 каналам, выдерживают увеличение только в 10 раз. Масштаб снимков, снятых с высоты 265 км, немногим мельче 1:2000000. Для усиления информативности результатов съёмки камерой МКФ-6 разработан многозональный проектор МСП-4. С его помощью из 3-4 зональных снимков (или негативов) получают синтезированный цветной снимок, причем цветовая гамма синтезированного снимка не соответствует натуральным цветам отснятой территории (псевдоцвета).

Существует также спектральнозональная съёмка, которая производится теми же фотоаппаратами, что и обычная, но в этом случае применяют спектральнозональную двухслойную фотопленку, каждый слой которой чувствителен к определенным интервалам электромагнитного спектра. Фотографическая съёмка в настоящее время является самой информативной съёмкой из космического пространства. Для удобства пользования из отдельных плановых космоснимков монтируются фотосхемы. Трансформированные космоснимки используются для составления космофотокарт.

Изображение земной поверхности *при телевизионной съёмке* проецируется на приемное устройство – видикон, при помощи которого оно преобразуется в электромагнитные сигналы и в фототелеграфном режиме по радиоканалу передаются на приемные станции Земли, либо записываются на магнитную ленту. Поступающие на приемные станции телесигналы преобразуются на телеэкране в видимое изображение, и, при

необходимости, фотографируются с телеэкрана с помощью специального устройства. Кадровые телевизионные изображения отличаются высокой геометрической точностью и возможностью получения стереопар за счет большого перекрытия соседних кадров. Преимущества телевизионной космической съемки в ее скорости и оперативности. Недостатки – недостаточно высокое качество фотоизображения и слабое (в несколько раз ниже, чем на фотоснимках) разрешение. В настоящее время для съемок из космоса используются многоспектральные оптико-механические системы – сканеры. Термин «сканирование» обозначает развертку изображения при помощи сканирующего элемента – качающегося зеркала или вращающегося барабана, поэлементно прослеживающего местность поперек движения носителя. Зеркало посылает лучистый пучок в объектив и далее на датчик, преобразующий световой сигнал в электрический. Электромагнитные сигналы поступают на приемные станции по каналам связи. Изображение местности получают непрерывно на ленте, составленной из полос – сканов, сложенных отдельными элементами – пикселями. Сканерные изображения можно получать во всех спектральных диапазонах, но особенно эффективными являются видимый и инфракрасный диапазоны. Сканерное изображение – пакет яркостных данных, переданных по радиоканалу на Землю, которые фиксируются в цифровом виде на магнитную ленту, а затем могут быть преобразованы в кадровую форму. По качеству сканерный снимок уступает фотографическому, однако простота получения, быстрая передача на Землю, возможность представления изображения в цифровом виде, удобном для обработки на ЭВМ, выводит этот вид съемки на одно из ведущих мест в космической геологии.

*Дешифрирование материалов дистанционных съёмок для геологических целей.* На современном этапе реализация проектов обустройства и эксплуатации месторождений нефти и газа предполагает наряду с разработкой проектов технологических решений выполнение комплекса мероприятий связанных с охраной окружающей среды. Важным элементом проектных решений является разработка программы производственного экологического мониторинга и ее практическая реализация на стадии эксплуатации месторождений. Это требует оценки состояния (загрязнения) природных компонентов окружающей среды, которые включают: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный покров, растительность и животный мир. Наряду с оценкой степени загрязнения природных компонентов объектами наблюдения экологического мониторинга являются опасные геологические процессы и явления, воздействие которых на

технологические объекты может привести к авариям, и, соответственно, загрязнению природных компонентов.

В настоящее время, в соответствии с нормативными документами, проведение экологического мониторинга осуществляется на трех основных стадиях:

- предпроектной (предстроительный или фоновый мониторинг);
- проектной (строительный мониторинг);
- эксплуатационной (эксплуатационный мониторинг).

Особое место в данном перечне используемых систем наблюдения отводится аэрокосмическим комплексам. Следует отметить, что требования к проведению аэрокосмического мониторинга определяются стадией проводимых наблюдений и, соответственно, перечнем решаемых при этом задач.

Специфика использования материалов дистанционного зондирования (МДЗ) при поисках месторождений нефти и газа обусловлена геологическими особенностями нефтегазоносных территорий, представляющих собой осадочные бассейны со слабо дислоцированным чехлом большой мощности. Ловушки углеводородов приурочены, как правило, к глубоким горизонтам осадочного чехла и отражаются на поверхности через элементы и компоненты ландшафта. Дешифрирование МДЗ базируется на геоиндикационной концепции о взаимосвязи всех компонентов ландшафта. Ландшафтные элементы и компоненты, как результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, содержат информацию о структуре, составе и состоянии глубинных геологических объектов, являясь их индикаторами. Изменения в характере распределения линеаментов, мезо- и микро- форм рельефа, состояния, структуры и состава поверхностных отложений и растительности над нефтяными залежами происходят под влиянием неотектонических движений блоков, уплотнения, проседания, трещинообразования пород, перекрывающих нефтегазовые резервуары вплоть до поверхности, а также под воздействием мигрирующих от залежей флюидов. Для успешного использования МДЗ в закрытых районах, какими, как правило, являются нефтегазоносные территории и, в особенности, для прогноза нефтегазосодержащих структур, требуется одновременный анализ большого количества дистанционных и геолого-геофизических данных. Применение материалов аэрокосмических съемок может быть полезно при разработке высоко вязких нефтей и при разработке залежей в низкопроницаемых коллекторах. Аэрокосмические методы оказываются полезными главным образом потому, что на них лучше, чем каким-либо другим способом фиксируется сеть разрывов различного размера и

происхождения. Разрыв, как геологическое тело интересен для изучения трудноизвлекаемых запасов в следующих аспектах:

- зона наибольшей проницаемости недр,
- зона аномальных (пониженных) литостатических давлений,
- зона термомпереноса,
- зона аномальных физических и химических свойств горных пород,
- зона, разделяющая мозаично-подвижную матрицу земных недр.

Как хорошо видно на снимках с самолета, или из космоса, земная кора разделена разрывами на систему иерархически упорядоченных подвижных блоков, разрывами различного размера и характера. Поэтому можно прогнозировать зоны разрывов, как участки повышенной проницаемости коллекторов. По этим участкам можно ожидать перемещения агентов воздействия на пласт, а также - прогнозировать зоны перемещения блоков при строительстве наклонных и горизонтальных скважин.

Для этих целей рекомендуются детальные и локальные снимки масштабов 1:1000 – 1:100 000. При этом не следует ограничиваться одним масштабом, а обязательно следует пользоваться принципом "Масштабной этажерки", то есть сначала изучать изображения обзорного масштаба, на которых интересующий объект виден как единое целое, а контексте свой рамы. При этом на изображениях можно выделить разрывы трансрегиональные, проходящие без изменений через изучаемое месторождение и региональные, которые свойственны изучаемому месторождению, и внутрорегиональные, или локальные, формирующие разрывную структуру месторождения. Затем изучают разрывы на снимках более крупного масштаба, и главным объектом исследования служит система региональных разрывов. При изучении следует широко применять статистические методы, и следует постараться выявить закономерности распространения разрывов по территории. Затем можно переходить к изучению изображения все более и более крупного масштаба. Обычно статистически значимые закономерности удается выявить для разрывов длиной в первые сотни метров и шириной в первые метры, или десятки сантиметров. Как правило, при этом удается выявить регулярную сеть, с вложенными друг в друга ячейками размером примерно 300, 900, 1500, 4500, 10 000 м, разрывами ориентированными в субширотном, субмеридиональном, северо-восточном и северо-западном направлениях. В каждом конкретном случае могут быть установлены свои параметры. Наилучшим образом для этих целей подходят изображения, сделанные в ближней инфракрасной зоне спектра. Но в каждом конкретном регионе могут быть наиболее оптимальными и другие зоны спектра.

## Тема 31 Основы геодезической гравиметрии

*Основная задача и возможности геодезической гравиметрии.*

*Гравиметрия* – раздел геофизики и геодезии – наука об измерении и изучении распределения силы тяжести и ее составляющих на земной поверхности. В сферу изучения «Гравиметрии» входят вопросы использования результатов измерения силы тяжести для определения фигуры Земли и ее внутреннего строения, а также для изучения геологического строения ее верхних слоев: земной коры и мантии. *Задачей* гравиметрии является определение гравитационного поля Земли и других небесных тел как функции местоположения и времени по измерениям силы тяжести и гравитационных градиентов на поверхности тела или вблизи него.

Гравиметрия широко используется в самых различных областях науки и техники и является неотъемлемой частью геодезии. Тесная связь гравиметрии с геодезией видна из следующих примеров.

1. С помощью гравиметрии решается основная научная задача высшей геодезии: *изучение фигуры и гравитационного поля Земли*. Как известно, эта задача может быть решена несколькими методами, но ни один из них не может обойтись без привлечения гравиметрических данных, в то время как физический (или гравиметрический) метод изучения фигуры Земли основан на применении только гравиметрических данных.

2. Гравиметрические данные используются в общем комплексе астрономо-геодезических измерений и их математической обработки при *решении задачи редуцирования*. Как известно, геодезические измерения выполняются на реальной поверхности Земли и в реальном гравитационном поле. При этом направления вертикальных осей геодезических инструментов совпадают с направлениями отвесных линий (касательными к направлениям силы тяжести в точках стояния геодезических инструментов), зависящими от состояния гравитационного поля. В силу того, что реальное гравитационное поле Земли неоднородно из-за сфероидичной формы Земли и неравномерного распределения ее внутренних и внешних масс, направления отвесных линий в разных точках земной поверхности будут не параллельны между собой. Следовательно, вертикальные оси геодезических инструментов в разных точках земной поверхности будут также не параллельны между собой (рисунок 31.1). Кроме того, поверхность реальной Земли является математически сложной, на которой оказывается практически

невозможным решить геометрические задачи по определению координат пунктов, возникающих при обработке геодезических сетей. Чтобы выполнить математическую обработку первичного набора результатов геодезических измерений и получить координаты, результаты геодезических измерений переносят (редуцируют) с математически сложной поверхности Земли на модель Земли – эллипсоид. Для этой модели существуют формулы сфероидической геодезии, позволяющие решать требуемые геометрические задачи.

3. Результаты гравиметрических измерений используются при *обработке данных геометрического нивелирования* для перехода к системе нормальных высот, отсчитываемых от поверхности квазигеоида, которая широко применяется в повседневной практике при обозначении высот точек земной поверхности. Так для определения нормальной высоты в превышения, полученные из геометрического нивелирования, нужно ввести поправку за переход к разностям нормальных высот, которые не могут быть найдены без гравиметрических данных. Таким образом, при создании опорных геодезических сетей мы не можем обойтись без гравиметрии.

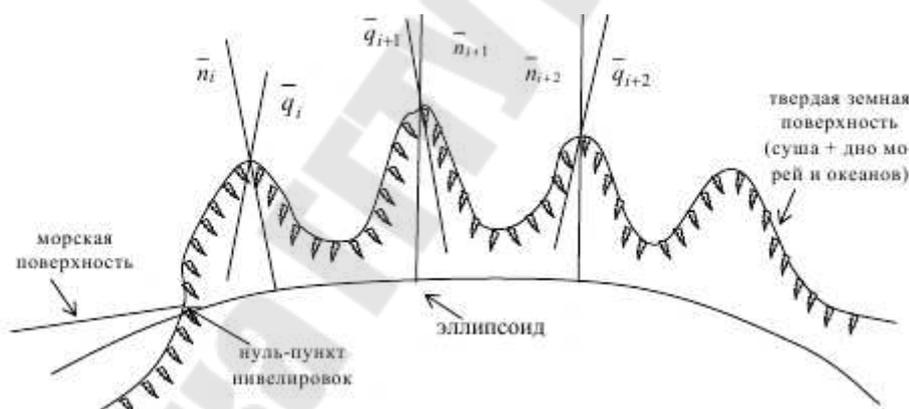


Рисунок 31.1 – Иллюстрация к проблеме редуцирования результатов геодезических измерений:  $q_i, i=1,2,\dots$  – направления отвесных линий, совпадающие с осями вращения геодезических инструментов в момент измерений;  $n_i,\dots$  – направления нормалей к эллипсоиду.

4. Гравиметрические данные также находят широкое применение и в *прикладной геодезии*. Например: при строительстве тоннелей (особенно в горных районах), проектировании шахт; при строительстве и эксплуатации крупных гидроэлектростанций, атомных электростанций, ядерных ускорителей, высотных сооружений башенного типа, домов повышенной этажности, то есть при возведении сложных сооружений, требующих точного геодезического обеспечения, которое невозможно достичь без учета неоднородности гравитационного поля.

5. Гравиметрия активно используется при *определении деформаций различных объектов* методом высокоточных повторных геодезических измерений. Особенно актуально этот вопрос стоит на геодинамических полигонах. В геологии гравиметрия используется при поиске месторождений полезных ископаемых (гравиразведка). В геофизике и геодинамике по результатам гравиметрических исследований изучают границы тектонических блоков и ведут периодические наблюдения на тектонических разломах. Изменение напряженного состояния на тектонических разломах проявляется в изменении гравитационного поля, что может рассматриваться как один из предвестников землетрясения.

*Свойства потенциала силы тяжести.* Каждое силовое поле характеризуется силой и потенциалом силы. При этом *под потенциалом силы* понимают некоторую вспомогательную функцию, частные производные которой по осям координат равны проекциям силы на эти оси. Графически каждое силовое поле представляется в виде силовых линий и уровенных поверхностей (рисунок 31.2). *Силовые линии* – это линии, в каждой точке которых касательная совпадает с направлением вектора силы. Поверхности, всюду перпендикулярные силовым линиям, называются уровенными или изопотенциальными поверхностями. На поверхности Земли величина силы тяжести зависит от следующих факторов:

- широта места наблюдения;
- высота точки над поверхностью эллипсоида;
- плотностные и структурные неоднородности внутри Земли;
- приливное влияние Луны и Солнца;
- притяжение атмосферы.

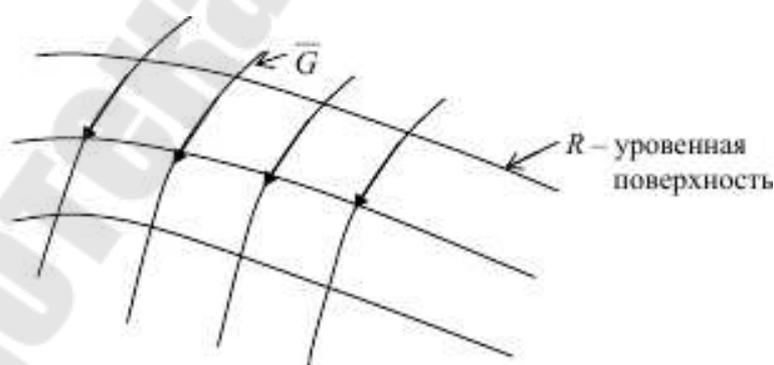


Рисунок 31.2 – Графическое представление силового поля:  
 $G$  – силовая линия;  $R$  – уровенная поверхность

Внутри Земли сила тяжести меняется по закону, проиллюстрированному на рисунке 31.3

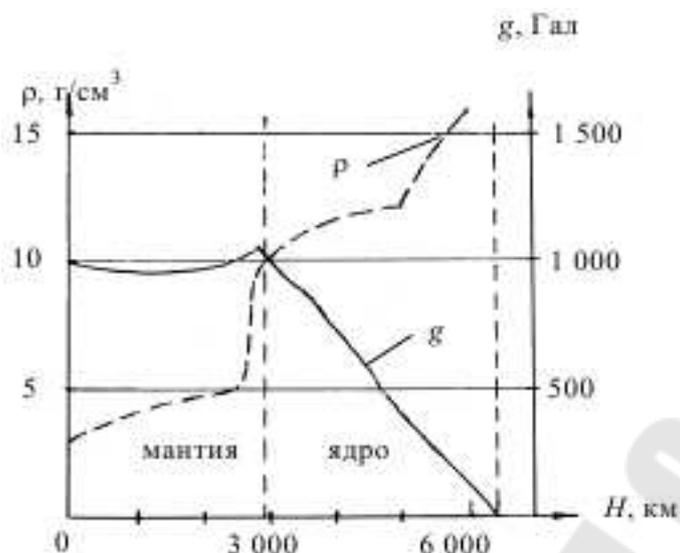
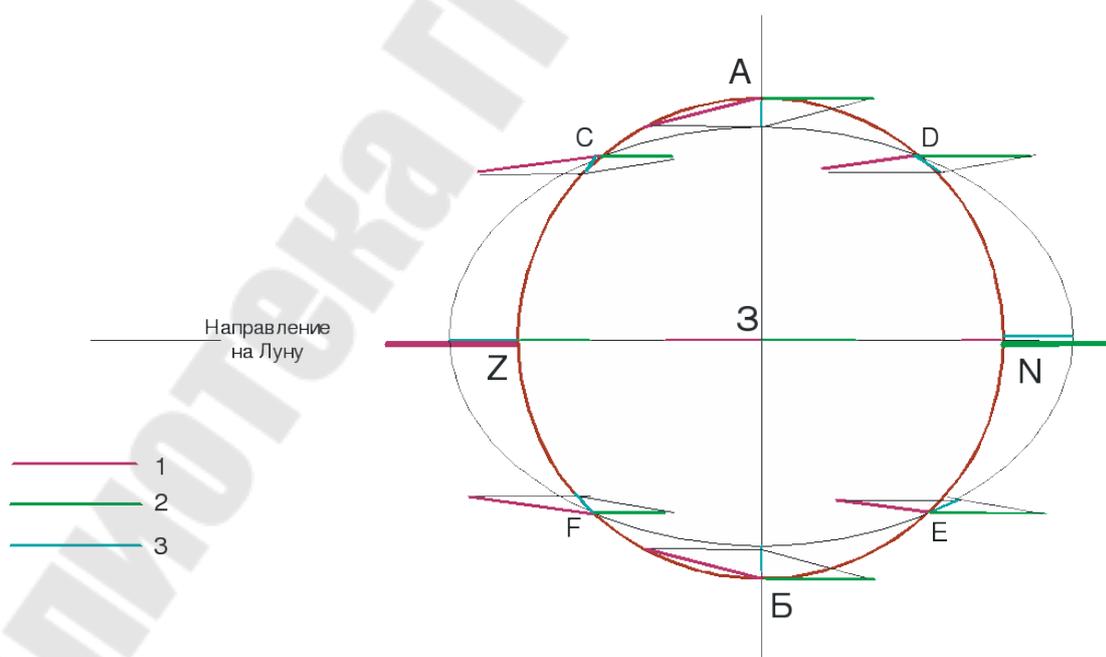


Рисунок 31.3 – Изменение плотности и силы тяжести внутри Земли

*Нормальное гравитационное поле и его аномалии.* Величина ускорения свободного падения в каждой точке пространства определяется, не только формой Земли, но и расположением в земных недрах неоднородных по плотности пород, создающих локальные аномалии в гравитационном поле. Поэтому гравитационное поле Земли принято разделять на две части: нормальное гравитационное поле и аномальное поле. *Нормальное гравитационное поле* – это такое поле, которое имела бы Земля, если бы у нее была форма эллипсоида вращения с правильным распределением масс в нем. Нормальное поле изменяется строго по широте. От экватора к полюсам его напряженность увеличивается почти пропорционально квадрату синуса широты на  $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$ . Аномальное поле не регламентируется никаким законом и изменяется незначительно (в пределах нескольких единиц  $\cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$ ). Одним из основных элементов нормального гравитационного поля является нормальная сила тяжести  $g_0$ , которую можно получить при помощи формулы Клеро  $g_0 = g_e(1 + \beta \sin^2 \varphi - \beta_1 \sin^2 2\varphi)$ , где  $g$  – сила тяжести на экваторе;  $\beta$  и  $\beta_1$  – коэффициенты, зависящие от формы Земли и угловой скорости ее вращения;  $\varphi$  – географическая широта места измерения. Формула позволяет рассчитывать нормальную силу тяжести на поверхности сфероида для любой точки наблюдения с известной широтой в предположении однородности внутреннего строения Земли и отсутствия какого-либо нарушения идеальной (сферической) формы поверхности Земли. Первое надежное определение коэффициентов  $\beta$  и  $\beta_1$  уравнения Клеро было получено только в 1884 г., когда Гельмерт вычислил их, используя многочисленные измерения силы тяжести маятниками. В настоящее время существует ряд формул для определения нормального значения силы

тяжести на поверхности эллипсоида. Горные породы имеют различную плотность и образуют разнообразные геологические структуры. В результате возникают аномалии величин, характеризующих гравитационное поле Земли, т. е. отклонения от нормальных значений, которые наблюдались бы, если бы земная кора была однородной или состояла из однородных концентрических слоев иной плотности. Поэтому реальные значения силы тяжести  $g$ , измеряемые в различных частях земной поверхности, отличаются от нормального значения, теоретически рассчитанного по формуле. Разность  $\Delta g = g - g_0$  называют аномалией силы тяжести, или аномалией ускорения свободного падения (аномальным полем силы тяжести). Величина  $\Delta g$  обусловлена залеганием на глубине тяжелых или легких горных пород и руд. Аномалии бывают положительными – «избыток масс», обычно присущими глубоководным впадинам океанов, и отрицательными – недостаток масс – в высокогорных областях материков и в районах залегания легких горных пород. Для соблюдения корректности определения  $\Delta g$  необходимо, чтобы уровень (высота) и условия наблюдения соответствовали нормальному полю. Поэтому в наблюдаемые значения силы тяжести вводят поправки (редукции), снижающие эти расхождения и приводящие наблюдаемые и теоретические значения к одной поверхности. *Существуют три основные поправки: поправка за свободный воздух, за промежуточный слой и за окружающий рельеф.* *Поправка за свободный воздух* учитывает разницу в уровне наблюдения и уровне сфероида и рассчитывается по формуле (в мГал)  $\Delta g_v = 0,3086h$ , где  $h$  – расстояние от точки наблюдения до уровня моря, м. *Поправку за промежуточный слой* вводят для исключения влияния масс, расположенных между поверхностью наблюдений и сфероидом:  $\Delta g_c = 0,041\rho h$ , где  $\Delta g_c$  – поправка за промежуточный слой, мГал;  $\rho$  – средняя плотность пород промежуточного слоя, г/см<sup>3</sup>,  $h$  – толщина промежуточного слоя, м. За плотность промежуточного слоя принимается  $\rho = 2,67$  г/см<sup>3</sup>, т. е. средняя плотность пород земной коры. *Поправка за окружающий рельеф* вводится для более точного учета притяжения рельефа местности, окружающего пункт наблюдения. Для учета влияния окружающего рельефа используют различные способы, например: разбиение местности на участки, представляющие собой криволинейные призмы с наклонной верхней гранью, учет поправки по характерным формам рельефа и др. Определяется эта поправка по специальным таблицам в тех случаях, если отклонения рельефа местности в районе наблюдения значительны. Обычно на поверхности Земли значение  $\Delta g_c$  составляет несколько десятых долей гала, достигая иногда 1 гала в горах и глубоководных впадинах. Чаще всего наблюдается неравенство  $g > g_0$  над морскими и океаническими пространствами, а над

материками  $g < g_0$ . Подобные соотношения между наблюдаемыми и теоретическими значениями ускорения силы тяжести объясняются тем, что сравнительно малая масса воды океанов и морей компенсируется массой горных пород большой плотности (базальт, перидотит, имеющие плотность около  $3300 \text{ кг/м}^3$ ). Направления реальной (наблюденной) и нормальной сил тяжести не совпадают. Это отличие характеризуется отклонением (отклонением) отвеса. Его максимальное значение составляет  $1'$ . Результаты измерений силы тяжести изображаются в плане в виде карт изолиний и в разрезе в виде кривых аномалий силы тяжести. На основе сопоставления карты аномалий силы тяжести с геологической картой района и другими геофизическими материалами можно сделать вывод об особенностях строения участков земной коры, недоступных непосредственному наблюдению. Периодические изменения силы тяжести на поверхности Земли, вызываемые притяжением Луны и Солнца (рисунок 31.4), принято называть *вариациями силы тяжести*. Максимальные лунно-суточные вариации могут достигать  $0,06 \text{ мГал/ч}$ , а за сутки не превышают  $0,35 \text{ мГал}$ . Амплитуда суточного лунного приливного гравитационного действия может достигать до  $0,25 \text{ мГал}$ , когда Луна находится в зените, а Солнечного –  $0,10 \text{ мГал}$ . Изменения ускорения силы тяжести, вызываемые притяжением Луны и Солнца, зависят от внутреннего строения Земли, что позволяет изучать ее упругие свойства.



1 – сила тяготения; 2 – центробежная; 3 – равнодействующая  
Рисунок 31.4 – Приливообразующие силы Луны

Наиболее заметным для человека перемещением составных частиц геосфер в горизонтальном направлении являются морские приливы. Под воздействием приливообразующей силы воды Мирового океана на одной половине Земли сгоняются по направлению к точке Z, на другой половине – к точке N. Отсюда следует, что под влиянием притяжения Луны водная оболочка Земли принимает форму эллипсоида и в точках Z и N образуются приливные выступы (прилив). В этот момент в точках A и B уровень воды Мирового океана понижается (отлив). Величина прилива во многом зависит от конфигурации берегов и рельефа дна. Под действием лунно-суточных приливов деформируется и твердая оболочка Земли. Если бы Земля была абсолютно твердой, такие приливы отсутствовали бы. Если бы Земля обладала свойствами жидкого тела, она деформировалась бы точно также, как Мировой океан. Под влиянием земных приливов всякий сферический слой Земли (с центром в центре Земли) превращается в слой близкий к эллипсоиду. В результате происходят периодические колебания уровня земной поверхности и ускорения силы тяжести. В земной коре приливные явления имеют значительно меньшую амплитуду, чем в гидросфере, но благодаря совместному действию приливообразующих сил в системах Земля – Луна и Земля – Солнце поверхность земной коры непрерывно пульсирует: два раза в сутки поднимается и опускается. Максимальная амплитуда ее колебания в области экватора 51 см, на широте 50–60° вертикальные смещения уменьшаются до 40 см. Волна приливного вздутия все время пробегает по Земле. Мы не ощущаем этих перемещений лишь потому, что они очень медленны, меньше 4 см в 1 ч, и относительные перемещения близрасположенных предметов совсем малы. Наблюдения последних лет установили запаздывание очередных земных приливов на 20 мин. Из-за приливного трения, которое тормозит вращение Земли, систематически увеличивается продолжительность суток, а Луна испытывает систематическое удаление от Земли, и ее орбита расширяется. Приливы в твердом теле Земли изучаются путем анализа приливных волн в гидросфере, изменений гравитационного поля Земли, наклонов земной поверхности по отношению к линии отвеса, растяжений и сжатий земной коры, неравномерностей вращения Земли и другими методами. Изучение приливов и отливов в твердом теле Земли позволяет получить сведения о ее плотности и внутреннем строении. При решении вопроса о фигуре Земли необходимо строгое сохранение условия Стокса: «...уровенная поверхность потенциала силы тяжести целиком охватывает все массы» т. е. общая масса Земли и форма уровенной поверхности не должны меняться или изменяться, по возможности, мало.

*Гравиметрические данные в задачах прикладной геодезии и*

геофизики.

*Уклонение отвеса.* В любой точке  $M$  земной поверхности (рисунок 31.5) отвес устанавливается по линии, совпадающей с направлением действия силы тяжести  $Ng$ . Это направление перпендикулярно к уровневой поверхности  $W = C$ , проходящей через данную точку  $M$ . Рассмотрим общий земной эллипсоид (ОЗЭ), наилучшим образом представляющий фигуру Земли. В общем случае поверхность  $W = C$  не параллельна поверхности ОЗЭ. Проведем нормаль  $nn_1$  к ОЗЭ через точку  $M$ . Угол  $NMn_1$  – абсолютное, или гравиметрическое ( $gv$ ) уклонение отвесной линии. Обработка всех геодезических измерений производится на референц-эллипсоиде (РЭ) данного государства.

Астрономические координаты ( $\varphi$  и  $\lambda$ ) контролируются направлением отвесной линии, а геодезические широты и долготы ( $B$  и  $L$ ) определяются положением нормали к референц-эллипсоиду. Следовательно, уклонения отвесных линий получаются как разность астрономических и геодезических координат. Для практических целей нужно знать проекции  $v_g$  на плоскость меридиана ( $\xi$ ) и плоскость первого вертикала ( $\eta$ ). Эти составляющие необходимы для перехода от астрономических к геодезическим координатам и обратно.

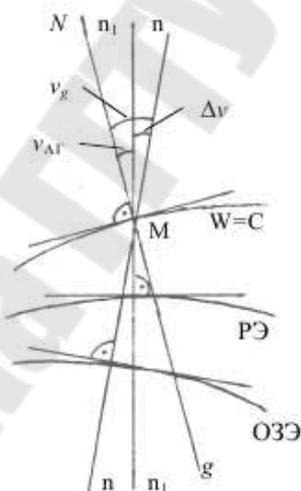


Рисунок 31.5 – Отсчетные поверхности и нормали к ним

Существует 3 способа определения уклонения отвесной линии:

- астрономо-геодезический;
- гравиметрический;
- астрономо-гравиметрический;

Гравиметрическое уклонение  $v_g$  п. Непосредственное практическое использование гравиметрических данных может быть связано, например, с монтажом технологического оборудования. Монтаж оборудования в большинстве случаев ведут с относительной погрешностью  $10^{-4}$ – $10^{-5}$

(1мм на 100 м), а съемочные работы – с еще меньшей точностью. При этом гравитационное поле в пределах стройплощадки считается однородным. При работах с относительными погрешностями порядка  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  гипотеза однородности поля силы тяжести перестает себя оправдывать и поэтому приходится переходить от материализованной прямоугольной координатной системы к координатной системе, в которой учитывается положение силовых линий – кривая, касательная к которой в каждой точке совпадает с вектором силы тяжести (рисунок 31.6). Силовые линии – плоские кривые, обращенные выпуклостью к экватору. Они имеют кривизну, не параллельны друг другу. Вместе с силовыми линиями искривляются и поверхности, ортогональные им. Эти поверхности называют уровенными, или эквипотенциальными поверхностями равного потенциала:  $W = C$ . В таких условиях работать геодезисту становится трудно. Но, если не принимать во внимание все сказанное, то точность  $10^{-6}$  останется недостижимой. При неоднородном поле силы тяжести будет наблюдаться отклонение оси вращения теодолита от координатной линии Z (силовая линия). Поэтому при измерениях геодезических величин (линий, углов, превышений) необходимо учитывать отклонения отвесных линий.



Рисунок 31.6 – Силовое поле геоида

Возникает необходимость введения поправок при выполнении ряда геодезических измерений:

– в измеренное горизонтальное направление. Горизонтальное направление

- линия пересечения вертикальной плоскости, проходящей через отвесную линию (вертикальную ось теодолита) и наблюдаемый пункт, с горизонтальной плоскостью (плоскостью лимба теодолита). Уклонения отвесной линии нужно знать не грубее точности измерения горизонтальных углов:  $0,2'' - 0,4''$ ;
- *в зенитное расстояние* одинакова для всех направлений, лежащих в одной вертикальной плоскости по одну сторону от зенита, и она вводится в том случае, если точность измерений  $Z$  сравнима с величиной  $v$ , т. е. при погрешности  $m_Z$  более  $\pm 1''$ ;
- *в измеряемое расстояние*. Поправка за угол наклона дает величину горизонтального проложения однако, на практике редуцирование расстояний ведут не по отвесным линиям, а по координатным. Из-за этого возникает дополнительная поправка. Если измеряемая линия состоит из нескольких пролетов, и длина ее невелика, то величину поправки можно считать постоянной;
- *в результаты тригонометрического и геометрического нивелирования*.

*Виды гравиметрических съемок.* Совокупность геодезических и гравиметрических измерений на местности с целью построения гравиметрической карты, называется *гравиметрической съемкой*. В зависимости *от точности*, гравиметрические съемки подразделяются на следующие.

1. Региональные – в масштабах от 1:1 000 000 до 1:500 000. Их целью является тектоническое районирование значительных по площади геологических структур, прогноз областей, перспективных на обнаружение месторождений полезных ископаемых. Результаты мелкомасштабных съемок являются основой для изучения фигуры и внутреннего строения Земли, а также, районирования земной коры по типам и определения ее толщины.

2. Среднемасштабные, или поисково-разведочные съемки. Они проводятся в масштабах от 1:200 000 до 1:50 000 для поиска месторождений полезных ископаемых на перспективных площадях, а также для уточнения геологического строения территорий исследований.

3. Детальные съемки в масштабах от 1: 25000 и крупнее применяются для оконтуривания месторождений, определения их параметров – для последующего подсчета запасов полезного ископаемого. В зависимости от физико-географических условий и применяемых средств транспортировки гравиметрической аппаратуры различают съемки: наземную, подземную, скважинную, морскую (донную, подводную, надводную), аэрогравиметрическую и спутниковую.

*По структуре* сети съемки подразделяются на следующие.

1. *Площадные*, когда расстояние между точками на профиле ( $\Delta x$ ) и между профилями ( $\Delta y$ ) находится в соответствии  $\Delta y \leq 5\Delta x$ . Если  $\Delta y = \Delta x$ , съемка называется *равномерной*. По результатам этой съемки можно построить карты аномалий силы тяжести.

2. *Профильные*, когда  $\Delta y > 5\Delta x$ . Эти съемки позволяют получить изменения аномалий силы тяжести вдоль линий. Съемки применяются для изучения глубинного строения земной коры (зон контактов крупных тектонических блоков и разломов) и для определения методики гравиметрической съемки в неизученных районах.

3. *Маршрутные*, выполняемые в труднодоступных районах по долинам рек или дорогам.

4. *Рекогносцировочные*, для определения характера изменения силы тяжести на участке работ.

Точка на местности, в которой выполнены измерения элементов гравитационного поля Земли называется *гравиметрическим пунктом*. На участке съемки гравиметрические пункты подразделяются на *исходные*, в которых известно абсолютное значение ускорения силы тяжести (обычно – это пункты Государственной гравиметрической сети), а также *опорные* в гравиметрических съемках.

*Геодезическое обеспечение гравиметрических съемок.* Геодезические данные необходимы при обработке результатов измерений с гравиметрами и построения геодезической основы для гравиметрической карты. Геодезические работы включают в себя *три основных вида работ*.

1. Вынос в натуру запроектованного участка съемки.

2. Определение (разбивка) положения съемочных профилей и точек (пунктов) на них. При этом необходимо строго соблюдать условия: профили должны быть прямолинейными, а расстояния между съемочными точками – равными. Выполнение этих условий снижает объем вычислительных работ при определении координат съемочных точек. Закрепленные точки профиля и концы профилей должны хорошо опознаваться, а их нумерация – читаться.

3. Определение координат и высот съемочных точек. Требования к точности определения планово-высотного положения пунктов зависят от точности вычисляемых аномалий силы тяжести или, другими словами, от масштаба отчетной карты.

Геодезические работы при гравиметрических съемках по стоимости в несколько раз дороже последних. Поэтому при определении координат и высот пунктов стараются применить самые простые геодезические методы, обеспечивающие требуемую точность конечных результатов: топографические карты, различные геодезические засечки, теодолитные

ходы, нивелирование – техническое или барометрическое.

*Выполнение гравиметрических измерений.* Полевые наблюдения с гравиметрами начинаются с создания *сети опорных пунктов*, которые служат для учета смещения нуль-пункта гравиметра, а также для «привязки» всей сети наблюдений к единому уровню, который обеспечивается Государственной гравиметрической сетью. Точность определения силы тяжести на пунктах полевой опорной гравиметрической сети в 1,5–2,0 раза выше, чем на рядовых. Это достигается выполнением измерений в коротких рейсах, строгим соблюдением методики наблюдений и транспортировки приборов. Если при наблюдениях на опорной сети используется тот же гравиметр, что и на рядовой, то на каждом опорном пункте необходимо выполнить измерения в трех независимых рейсах. При применении более точных приборов допускаются двукратные независимые наблюдения. *Полевая опорная сеть* может создаваться в начале полевых работ или в процессе проведения гравиметрической съемки. В практике гравиметрических работ различают центральную, двухступенчатую и полигональную системы.

1. В *центральной системе* каждый опорный пункт имеет непосредственную связь с центральным, в качестве которого может быть использован пункт Государственной гравиметрической сети.

2. *Двухступенчатая* опорная система состоит из каркасной и заполняющей сети. Каркасная опорная сеть создается по центральной системе. Рейсы заполняющей опорной сети опираются на пункты каркасной сети.

3. В *полигональной* системе опорная сеть образуется из совокупности полигонов, в которых каждое звено определено из независимых рейсов.

*Рядовая сеть.* Гравиметрические измерения выполняются отдельными рейсами. Рейс – это непрерывная последовательность измерений с гравиметром, объединенная общим смещением нуль-пункта, которая начинается и заканчивается на опорном пункте. Часть рейса между двумя соседними по времени опорными пунктами называется звеном. Основным типом рейса является однодневный. Наблюдения в рейсах проводятся, как правило, по однократной методике. При наблюдениях используются, обычно, два гравиметра. При проведении съемок в труднодоступных районах наблюдения выполняют тремя гравиметрами одновременно. Это исключает необходимость повторения рейса в случае обнаружения брака в измерениях одним из гравиметров. Если гравиметры показывают стабильность в смещении нуль-пункта, обеспечивающую точность результатов наблюдения, то допускается увеличение продолжительности рейса. При работе с гравиметром должны

выполняться следующие правила.

1. За 12 часов до начала рейса необходимо установить рабочий диапазон измерения силы тяжести. Для этого используются результаты рекогносцировочной съемки или гравиметрические карты в более мелких масштабах.

2. Перед началом рейса необходимо настроить уровни гравиметра на минимум чувствительности к наклону.

3. За два часа до начала рейса следует удерживать маятник упругой системы в исходном положении: индекс маятника должен находиться на нулевом делении окулярной шкалы.

4. В начале рейса, для введения чувствительной системы гравиметра в рабочий режим, необходимо, выполнив измерения на первых трех, четырех точках профиля, возвратиться на первую точку, затем продолжить измерения в рейсе.

5. Во время рейса нельзя менять способ транспортировки гравиметра. Скорость движения от точки к точке должна быть одинаковой.

6. Гравиметры на точке устанавливаются на специально изготовленную жесткую подставку.

7. На пунктах берут три независимых отсчета по шкале гравиметра при наведении каждый раз изображения маятника на нуль окулярной шкалы вращением измерительного винта по часовой стрелке. Этим исключается так называемый «мертвый ход» винта. Отсчеты по гравиметру следует брать через одинаковые промежутки времени. Кроме того, на каждой точке в журнале записывается название или номер рейса, профиля и пикета, дата проведения измерений, условия наблюдения (погода, сейсмичность и т. п.). В зависимости от густоты точек опорной сети гравиметрический рейс можно выполнить по следующим методикам.

1. «Прямой ход», когда измерения на рядовых пунктах начинаются на одном, а заканчиваются на другом опорном пункте.

2. «Замкнутый ход», если рейс начинается и заканчивается на одном и том же опорном пункте.

3. «Прямой и обратный ход» выполняют, соответственно в прямом и обратном направлении. В прямом ходе измерения выполняют последовательно на всех пунктах, а в обратном – только на некоторых.

При этом число пунктов, на которых выполняются повторные измерения, должно быть не менее 20 %. Обработка результатов гравиметровых наблюдений разделяется на два этапа: предварительный (полевой) и окончательный (камеральный). Качество выполненных гравиметровых измерений оценивается величиной средней квадратической погрешности определения значений силы тяжести на пункте. Рейс считается

качественным, если отклонение измеренных значений силы тяжести от контрольных не превышает утроенную величину ошибки  $\varepsilon_0$ , предусмотренную техническим проектом. Этот же принцип положен в основу отбраковки наблюдений  $g_n$  на пункте, если количество измерений  $g > 3$ . Число забракованных наблюдений должно быть менее 2 % от общего количества измерений. Камеральная обработка материалов выполняется после завершения полевых работ и предусматривает:

- повторное исследование гравиметров, включая определение цены оборота измерительного винта;
- переобработку результатов наблюдений и вычисление аномалий силы тяжести;
- составление каталогов опорных и рядовых пунктов;
- построение карт аномалий силы тяжести с редукциями Буге и в свободном воздухе;
- составление и защита отчета о выполненных работах.

## **Тема 32 Разбивочные работы на объектах нефтегазового промысла**

*Геодезическая основа разбивочных работ*. Геодезические работы при строительстве начинаются с создания геодезической разбивочной основы, обеспечивающей выполнение последующих построений и измерений в ходе строительства с необходимой точностью и с минимальными трудозатратами. Строительство любого сооружения сопровождается большим объемом геодезических построений и измерений. Для их обеспечения создается специальная геодезическая разбивочная основа, состоящая из разбивочной сети строительной площадки, а также внешней и внутренней разбивочной сети сооружения. Такая структура геодезической разбивочной основы наиболее полно отвечает требованиям достижения необходимой точности построений при минимальных затратах времени. Одновременно создаются условия для выполнения построений простейшими методами и с привлечением ограниченного количества геодезических приборов. К геодезическим разбивочным сетям относят разбивочную сеть строительной площадки и внешнюю разбивочную сеть сооружения. Разбивочная сеть строительной площадки используется для создания разбивочных сетей сооружения, выноса в натуру осей зданий, дорог, инженерных сетей и обеспечения исполнительных съемок. Плановые сети строительной площадки создаются в виде строительной сетки (рисунок 32.1, а), красных и других линий регулирования застройки (рисунок 32.1, б), центральных систем (рисунок 32.1, в) и других видов сетей.

Выбор вида разбивочной сети зависит от формы возводимых сооружений, их размещения, условий видимости и т. п. Стороны сети стремятся размещать параллельно осям сооружений. На больших строительных площадках, как правило, создается строительная сетка, состоящая из квадратов с длинами сторон 20, 50, 100 и 200 м. Пункты нивелирной сети строительной площадки обычно совмещают с пунктами плановой разбивочной сети. Высоты пунктов сети определяют проложением нивелирных ходов, опирающихся на не менее чем два репера государственной высотной геодезической сети. Внешняя разбивочная сеть сооружения создается для перенесения в натуру и закрепления проектных размеров сооружения, производства детальных разбивочных работ и исполнительных съемок. Внешняя разбивочная сеть сооружения проектируется в виде сети пунктов, закрепляющих на местности главные оси сооружения или основные оси сооружения.

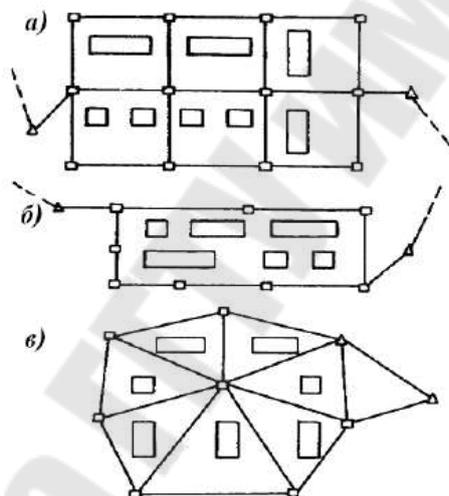


Рисунок 32.1. – Схема разбивочной сети строительной площадки

При строительстве сложных объектов дополнительными пунктами закрепляются углы здания, образованные пересечениями основных разбивочных осей. Высотной основой внешней разбивочной сети сооружения служат реперы, совмещенные с плановыми пунктами (осевыми знаками).

Строительная сетка на местности создается в виде системы квадратов или прямоугольников, ориентированных параллельно осям сооружений. В зависимости от характера строящихся объектов длина стороны квадратов или прямоугольников может составлять от 20 до 200 м. Для удобства пользования строительная сетка создается в условной системе координат. Начало системы координат выбирают так, чтобы все пункты имели положительные координаты, для этого начало

координат совмещают с пунктом, расположенным в юго-западной вершине строительной сетки. Ось абсцисс обычно условно обозначают буквой А, а ось ординат – буквой В. В соответствии с этим линиям строительной сетки присваивают порядковую нумерацию (1А, 2А, ..., 1В, 2В, ...).

*Элементы геодезических разбивочных работ.* Геодезические работы, выполняемые с целью перенесения в натуру запроектированных сооружений, называются *разбивочными работами*. Практически эти работы сводятся к выносу и закреплению на местности отдельных точек, осей и отметок, определяющих проектные положения частей и конструктивных элементов сооружения. Принята строгая последовательность выполнения разбивочных работ, вытекающая из основного принципа геодезии «от общего к частному». Вначале определяют от пунктов разбивочной сети строительной площадки положение на местности главных (основных) разбивочных осей и закрепляют их пунктами внешней разбивочной сети сооружения. Затем создают внутреннюю разбивочную сеть сооружения в виде пунктов, закрепляющих на исходном других монтажных горизонтах главные (основные) оси. И только после этого приступают к детальным разбивочным работам, предшествующим всем этапам возведения сооружения. Главные оси (оси симметрии сооружения) выносят в тех случаях, когда сооружение имеет сложную конфигурацию или большие размеры, а также когда группа сооружений объекта имеет технологические связи. При строительстве небольших сооружений выносят и закрепляют основные разбивочные оси (линии, определяющие контур наружных стен сооружения в плане). В этом случае вначале от ближайших пунктов разбивочной сети строительной площадки выносят две крайние точки, определяющие положение оси длинной стороны сооружения. Поперечные оси разбивают с ранее вынесенных точек оси путем построения прямых углов. Разбивочные работы контролируют промерами до пунктов разбивочной сети строительной площадки, не применявшихся при перенесении в натуру данной оси. Вынос точек и осей производится промерами по сторонам строительной сетки способами полярных и прямоугольных координат, линейных и угловых засечек и т. д. Главные и основные оси сооружений являются основой для детальным разбивочных работ, в процессе которых на монтажные горизонты выносятся внутренние, монтажные и установочные оси. Внутренними осями являются проектные оси конструктивных элементов сооружений. Монтажными называют оси, параллельные внутренним осям и смещенные в сторону от них для удобства

выполнения строительно-монтажных работ. Установочными осями являются оси симметрии монтируемых конструктивных элементов и оборудования. *Основными элементами (видами) геодезических разбивочных работ* являются:

- построение на местности проектных углов;
  - построение на местности линий заданной длины;
  - построение на местности линий (осей) в заданном направлении;
  - вынос в натуру точек с заданными координатами и отметками;
- построение на местности линий и плоскостей с проектными уклонами.

Исходными данными для разбивочных работ служат генеральный план строительной площадки и разбивочные чертежи. По генеральному плану, содержащему пункты разбивочной сети строительной площадки, проектируемые и существующие сооружения, местные предметы и рельеф, намечают способы разбивочных работ и определяют необходимые для их осуществления основные и контрольные разбивочные размеры (углы, расстояния, превышения, уклоны). После уточнения на местности способов разбивочных работ по проектным координатам и высотам точек (взаимному расположению конструктивных элементов) вычисляют точные значения разбивочных размеров и составляют разбивочные чертежи.

*Способы разбивки основных осей объекта.* Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта. Элементами геодезических разбивочных работ принято считать проектные углы, отрезки, точки с проектными отметками, линии проектного уклона, которые необходимо построить для перенесения проекта планировки и застройки с плана на местность.

*Построение на местности горизонтальных углов* заданной величины может быть выполнено теодолитом двумя способами:

- с точностью, равной точности теодолита;
- с точностью, превышающей точность теодолита (способ повышенной точности).

*1-й способ.* Для построения проектного угла  $\beta_{пр}$  от линии АВ (рисунок 32.2 а) на местности приводят теодолит над точкой А в рабочее положение, закрепляют лимб, наводят зрительную трубу на точку В и берут отсчет  $\beta_{кл}$  при КЛ. Затем к этому отсчету прибавляют значение проектного угла, если угол откладывают по ходу часовой стрелки (если против хода часовой стрелки - значение проектного угла вычитают). Вычисленный отсчет устанавливают на горизонтальном круге и на

местности закрепляют точку  $C_{кл}$ . Действия повторяют при КП и находят точку  $C_{кп}$ . Полученный отрезок между точками делят пополам и получают точку  $C$ , которая соответствует значению проектного угла. Для контроля построенный угол измеряют способом приемов.

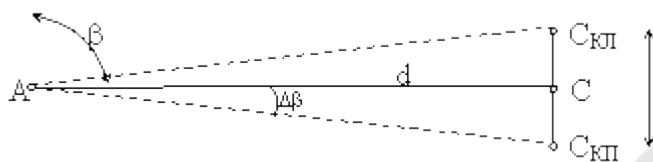


Рисунок 32.2 – Построение проектного угла 1-ым способом

*2-й способ.* С помощью теодолита откладывают на местности при одном положении трубы значение угла и закрепляют полученное направление точкой  $C_0$  (рисунок 32.3).

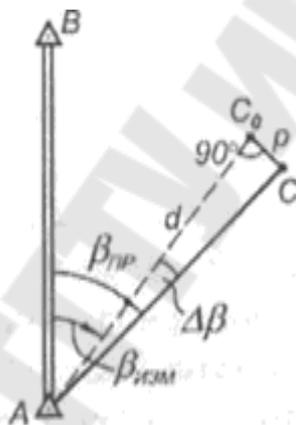


Рисунок 32.3 – Построение проектного угла 2-ым способом

Затем 2 - 3 полными приемами или повторениями измеряют угол  $BAC_0$  и получают его значение с повышенной точностью. Зная величину проектного угла, находят разность проектного и измеренного. Вычисляют линейное смещение. Величину  $p$  откладывают по перпендикуляру к линии  $AC_0$  и закрепляют точку  $C$ . Полученный угол  $BAC$  для контроля измеряют тем же числом приемов, что и угол  $BAC_0$ .

*Построение линии проектной длины.* Для построения на местности проектной линии от исходной точки в заданном направлении следует отложить расстояние  $D$ , горизонтальное приложение  $d$  которого равно проектному. Поэтому в проектное расстояние вводят поправки за наклон местности, температуру измерений и компарирование. Поправка за наклон линии всегда вводится со знаком «плюс». *Следует помнить, что при откладывании проектной длины на местности все поправки имеют*

знаки, обратные знакам поправок при измерениях длин. Для разбивки линий с точностью 1:2000 - 1:3000 применяют стальные мерные ленты, 1:3000 - 1:10000 - шкаловые ленты и рулетки, 1:10000 – 1:50000 – инварные ленты и проволоки или светодальномеры.

*Способы перенесения в натуру точек и осей сооружений.* В зависимости от условий местности, размеров и типа сооружения, вида геодезической основы и требуемой точности перенесение проектных точек и линий в натуру может быть выполнено способами прямоугольных и полярных координат, угловых и линейных засечек; створов и разбивки от местных предметов. *Способ прямоугольных координат.* На плане, опустив перпендикуляры из проектных точек 1 и 2 (рисунок 32.4) на линию АВ, соединяющую два опорных пункта, определяют прямоугольные координаты точек 1 и 2 в условной системе. На местности с помощью теодолита и мерной ленты по створу линии АВ находят точки С и D. Отложив при этих точках углы по  $90^\circ$  и ординаты  $y_1'$  и  $y_2'$ , находят искомые точки 1 и 2.

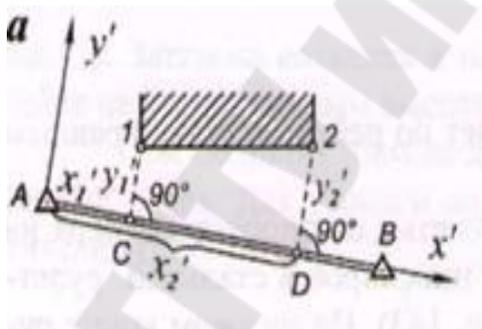


Рисунок 32.4 – Способ прямоугольных координат

Этот способ удобно применять в условиях слабо пересеченной открытой местности. Для определения положения точек с минимальной погрешностью необходимо тщательно центрировать теодолит над точками, а исходная линия АВ должна быть по возможности ближе к выносимым точкам. *Полярный способ.* Сущность способа заключается в нахождении проектных точек на местности по углу и расстоянию (рисунок 32.5).

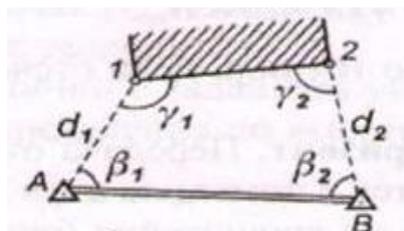


Рисунок 32.5 – Способ полярных координат

Решением обратной геодезической задачи по известным координатам двух точек (например, А и В) находят полярные координаты искомой точки 1 относительно точки А геодезической основы: горизонтальный угол и  $d_1$  – горизонтальное расстояние. На местности для нахождения положения точки 1 теодолитом, установленным в точке А, откладывают угол, а мерной лентой – расстояние  $d_1$ . Аналогично находят положение точки 2. Для контроля измеряют углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , а также расстояние между точками 1 и 2 на местности, которое сравнивают с проектным его значением.

Данный способ применяется в открытой местности, удобной для линейных измерений. *Способ угловых засечек* (рисунок 32.6) применяют при разбивке сооружений на пересеченной местности, когда непосредственное измерение расстояний от опорных пунктов до определяемой точки затруднительно.

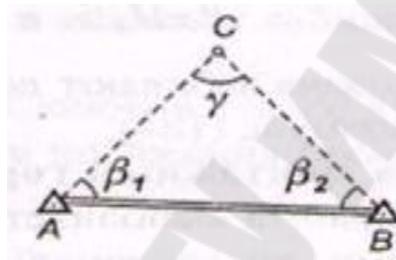


Рисунок 32.6 – Способ угловых засечек

Положение точки С (рисунок 32.6) на местности находится по углам, определенным на плане; эти углы откладывают от исходного направления с помощью теодолитов, установленных в точках В и А. Для контроля на местности измеряют угол при точке С. *Способ линейных засечек* (рисунок 32.7) применяют в случае расположения выносимых точек относительно пунктов опорной сети на расстояниях, не превышающих длины мерного прибора (ленты, рулетки). После определения на плане отрезков  $d_1$  и  $d_2$ ,  $d_3$  и  $d_4$  (рисунок 32.7) прочерчивают на местности дуги, радиусы которых соответствуют этим длинам. Их пересечения определяют положение искомых точек 1 и 2.

*Способ створов* применяется для разбивки сооружений при наличии на местности и плане координатной строительной сетки. Расстояния откладывают на местности по сторонам соответствующего квадрата и в полученных точках забивают колышки. На пересечении линий визирования ( находят положение точек объекта.

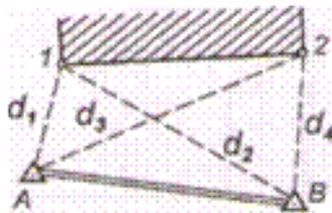


Рисунок 32.7 – Способ линейных засечек

*Способ разбивки от местных предметов* применяется на частично застроенных территориях при перенесении в натуру осей и точек вспомогательных или временных сооружений.

При разбивке сооружений от местных предметов используют способы створов, прямоугольных и полярных координат, угловых и линейных засечек и различные комбинации этих способов. Все исходные данные (углы и расстояния) определяют на плане графически, так как при этом не требуется высокой точности разбивок.

### **Тема 33 Контроль параметров объекта после разбивки и в процессе эксплуатации**

В качестве примера рассмотрим допустимые отклонения на монтаж буровой вышки. *Буровые вышки и их виды.* Буровая вышка – это сооружение над скважиной для спуска и подъема бурового инструмента, забойных двигателей, бурильных и обсадных труб, размещения бурильных свечей (соединение двух-трех бурильных труб между собой длиной 25...36 м) после подъема их из скважины и защиты буровой бригады от ветра и атмосферных осадков. В бурении применяют вышки двух типов: башенные и мачтовые (А-образные, П-образные). Башенные вышки имеют четыре несущие ноги, связанные решеткой в единую пространственную систему в виде четырехгранной усеченной пирамиды, Они имеют четыре опоры, которыми устанавливаются на фундамент или на основания. Такие вышки изготовляют отдельными секциями из труб или профильного проката. Каждая секция состоит из отдельных деталей: четырех ног, поясов, соединяющих ноги секций в верхней и нижней частях, и диагональных тяг или раскосов в зависимости от конструкции вышки. При сборке детали вышки соединяют болтами. У вышек высотой 41 м верхнее основание равно 2x2 м, а нижнее 8X8 м. Нижнее основание у вышек высотой 53 м равно-10X10 м. Ноги нижней и верхней секций вышек имеют опорные плиты, которыми они крепятся к основанию при помощи болтов. На плиты верхних секций устанавливают подкранблочную раму. Внизу в передней (со стороны приемного моста) и

задней гранях вышек имеются ворота высотой 10,5—12 м, состоящие из двух полураскосов. Вышки высотой 41 м оборудуют одним балконом, а высотой 53 м двумя балконами на внешних гранях вышки, которые служат укрытием для второго помощника бурильщика во время спуско-подъемных операций. На балконе устанавливают люльку для работы верхового и пальцы для установки бурильных свечей. По исполнению основных несущих элементов (ног, поясов)-вышки можно подразделить на трубные и из профильного проката. Современные конструкции трубных вышек имеют ряд преимуществ перед профильными. В них гораздо меньше болтовых соединений, они имеют меньшую массу и основные элементы таких вышек при перевозке более устойчивы к деформациям. Наибольшее распространение получили трубные вышки типа 2ВБ-53-320 конструкции ВНИИнефтемаша. Устойчивость вышки в вертикальной плоскости, перпендикулярной к плоскости ферм, обеспечивается двумя подкосами из труб. В верхней части подкосы шарнирно соединены с мачтами вышки, а в нижней части — с опорами, установленными на основании. Для центрирования вышки в плоскости, перпендикулярной к плоскости ферм, опоры могут перемещаться по направляющим при помощи винтов. В плоскости ферм вышку центрируют при помощи винтовых стяжек, расположенных в верхней части мачты. В качестве элемента, поддерживающего вышку в вертикальном положении, в большинстве вышек применяют козлы или поперечную раму (портал). Портал монтируется на подвышечных основаниях и крепится к мачтам ног вышки с помощью горизонтальных фиксаторов. Он также используется как приспособление для подъема вышки в вертикальное положение. К мачтам вышки на определенной высоте крепят балкон с двумя люльками для второго помощника бурильщика и пальцами для установки свечей или площадку для механизма расстановки свечей АСП и магазины для установки свечей. Одна из ног вышки с внешней стороны от пола буровой до балкона оборудована маршевыми лестницами с переходными площадками, а от балкона до кронблока — лестницами тоннельного типа внутри ферм секций. В некоторых конструкциях вышек с прямоугольным сечением мачт маршевые лестницы и переходные площадки расположены внутри ферм секций. Для предотвращения случайного падения свечей в сторону приемного моста или лебедки на мачтах установлены предохранительные пояса. Вышки мачтового типа по сравнению с башенными вышками имеют ряд преимуществ: на их изготовление тратится меньше металла, они имеют меньшее число деталей, что упрощает и ускоряет сборку и разборку вышек. Открытое пространство между мачтами позволяет удобнее вести вспомогательные

работы. По конструктивной схеме и способу монтажа все мачтовые вышки идентичны.

*Монтаж буровой вышки.* Буровые вышки башенного типа можно собирать четырьмя способами:

- 1) подвесной монтажной стрелой, которую перемещают по собранным секциям вышки для сборки последующих секций, методом «снизу-вверх»;
- 2) двумя шагающими стрелами также методом «снизу-вверх»;
- 3) сборкой вышки в горизонтальном положении с последующим ее подъемом в вертикальное положение;
- 4) при помощи вышечных подъемников методом «сверху-вниз», когда вначале собирают верхнюю секцию, а в последнюю очередь – нижнюю.

Способ сборки вышек вышечными подъемниками является основным широко применяемым в настоящее время. Этим способом вышки башенного типа можно собирать как на подвышечных основаниях, так и непосредственно на фундаментах. Наиболее распространенным методом монтажа вышек башенного типа является метод «сверху вниз». Перед началом монтажа вышки по этому методу на вышечном основании монтируют подъемник. В начале сборки вышки на полу вышечного блока внутри подъемника собирают верхний пояс верхней секции и монтируют на нем подкронблочные балки, козлы, кронблок и подкронблочную площадку, а затем к собранному поясу подвешивают на мягких подвесках элементы ног секции. Собранный пояс надежно закрепляют с помощью хомутов на трубах траверсы подъемника и поднимают его на высоту одной секции. В поднятом положении продолжают сборку верхней секции: элементы ног при помощи хомутов соединяют с верхним поясом, собирают второй пояс и закрепляют диагональные тяги секции. Собранные секции устанавливают на подкладки из брусьев, уложенные на полу вышечного блока, и опускают траверсу подъемника в нижнее положение. К нижнему поясу собранной секции подвешивают на мягких подвесках элементы ног следующей секции. Затем нижний пояс собранной секции надежно закрепляют с помощью хомутов на трубах траверсы, поднимают собранную секцию на определенную высоту и приступают к сборке следующей секции, наращивая ее к предыдущей, поднятой секции. Одновременно со сборкой несущей конструкции вышки монтируют подкронблочную площадку, балкон, маршевые лестницы, ограждения и пальцы. После окончания сборки вышки подъемник демонтируют, а вышку центрируют относительно центра скважины. Центрировку вышки производят, по отвесу, подвешенному к центру подкронблочной площадки, который должен совместиться с точкой пересечения шнуров, натянутых по диагонали между ногами вышки. На рисунке 33.1 показана схема сборки вышки при помощи подъемника.

Вышки башенного типа разбираются при помощи подъемников в последовательности, обратной сборке. Вышки А-образного типа собираются на земле в горизонтальном положении

*Испытание буровых вышек всех типов.* После окончания установленного заводом-изготовителем расчетного срока службы (обычно в паспорте вышки указано 10 лет) буровые вышки должна осматривать комиссия и подвергать их испытанию по утвержденной методике (инструкции). Периодичность проверки технического состояния и испытания вышек определяет комиссия. *Цель испытания* – определение способности вышки надежно выдерживать допускаемую (паспортную) нагрузку на крюке после окончания расчетного срока службы.

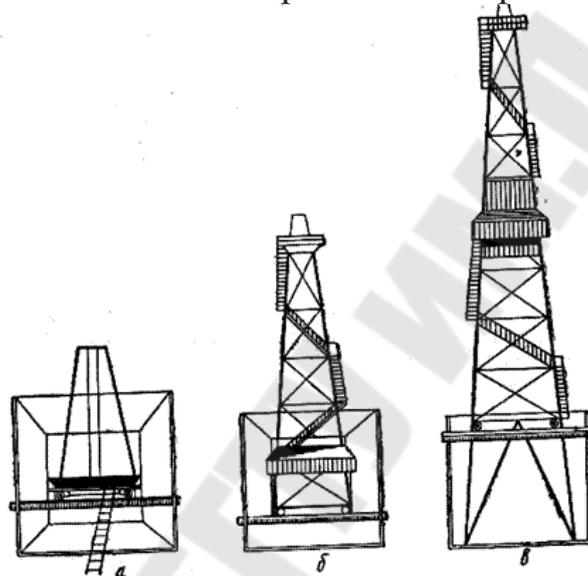


Рисунок 33.1 – Схема сборки вышки башенного типа при помощи подъемника:  
а — оборака верхней секции; б — подъем секции вышки с балловом;  
в — поднятая вышка

Обследование металлоконструкций и статическое испытание вышек в промышленных условиях рекомендуется проводить в летний период, в светлое время суток, при благоприятных условиях погоды. При проверке технического состояния вышки выявляются *изменения геометрических форм* вышки и отдельных элементов, ослабления местных сечений, вмятины, трещины, коррозия и другие дефекты. Величина (стрела) прогиба для ног, поясов, подкосов, раскосов вышки (кипенного типа не должна превышать 1,5 мм на 1 погонный метр длины, а для секций мачтовых вышек – 1 мм и их элементов – 2мм на 1 погонный метр длины. При сохранении прямолинейности трубных элементов допускаются вмятины (без исправлений) площадью  $S$  при глубине  $H$  для труб диаметром 60...102 мм -  $4 \text{ см}^2$ .  $H = 5 \text{ мм}$ ; для труб диаметром 114...180 мм -  $4 \text{ см}^2$ ,

$H = 10$  мм. Прогибы и вмятины, превышающие допустимые значения, устраняются согласно рекомендациям завода-изготовителя и техническим условиям на эти виды работ. Кроме того, пока вышка находится в горизонтальном положении, производится контроль толщины стенок несущих элементов с помощью *ультразвукового толщинометра*. Допускаемые минимальные толщины стенок не должны быть менее 80 % от их номинальной величины. Буровая вышка перед испытанием должна быть отцентрирована. Смещение талевой системы относительно центра ротора свыше 50 мм не допускается. На кронблочной площадке вышки в двух плоскостях устанавливают и закрепляют нивелирные рейки.

На территории буровой на расстоянии, превышающем высоту вышки на устраивают наблюдательный пункт с геодезическими приборами.

Натяжение талевой системы обеспечивается буровой лебедкой от вспомогательного привода (РПДЭ) или тяговым трактором через вспомогательную оснастку, подсоединенную к переброшенному через барабан лебедки ходовому (ведущему) концу талевых канатов и удаленную на расстояние: высота вышки плюс 10 м (рисунок 33.2).

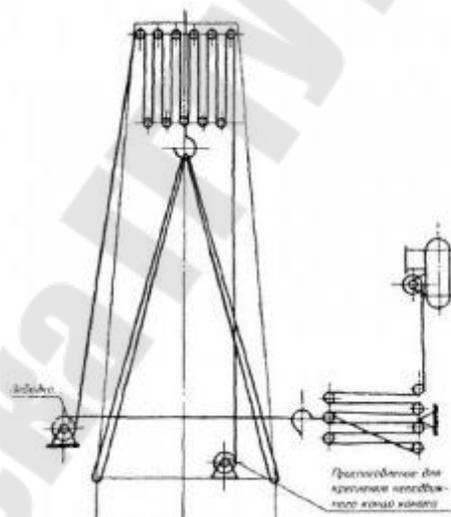


Рисунок 33.2 – Натяжение талевой системы

Соединение крюка (или автоматического элеватора) талевой системы с опорными частями подвышенного основания осуществляется через петли закоряющего каната с помощью специально подготовленных стропов (рисунок 33.2). Длина канатной петли  $L$  принимается равной 30...45 м для вышек высотой до 41 м и 40...50 м для вышек высотой 53 м; длина стропов 12...15 м. Диаметр каната петли и стропов обычно изготавливают из талевых канатов того же диаметра, что в оснастке талевой системы. Тогда коэффициент запаса прочности каната будет не менее 2. Испытание

буровой вышки проводится в три этапа с замером на каждом этапе отклонения наголовника и усадки вышки в нагруженном состоянии и после снятия нагрузки.

Для различных этапов нагружения рекомендуются следующие значения испытательных нагрузок в процентах от допустимой паспортной нагрузки на крюке:

на первом этапе - 60;

на втором этапе 100;

на третьем этапе - 120.

Допускается остаточное проседание вершины вышки после снятия нагрузки для вышек высотой 41...42 м — 20 мм и высотой 53...54 м - 30 мм. Если остаточное проседание превышает допустимое значение, то комиссия выявляет причины и принимает решение о возможности дальнейшей эксплуатации вышки. Периодичность обследования при сроке эксплуатации до 10 лет не реже jednou разa в 5 лет: при сроке эксплуатации свыше 10 лет не реже одного разa в 3 года. Предельный срок эксплуатации вышки со времени ее монтажа не должен превышать 21 лет. Вопрос об эксплуатации вышки свыше 20 лет должен быть решен комиссией. Комиссия может разрешить дальнейшую эксплуатацию вышки, но не свыше 10 лет, при этом периодичность обследования устанавливает комиссия.

### **Тема 34 Определение пространственного положения оси скважины**

*Элементы, характеризующие пространственное положение оси скважины.* Основную информацию о нефтеносности территории в процессе поисков и освоения нефтяных и газовых месторождений геологи получают в результате бурения скважин. Положение устья скважины, т. е. точка её заложения, всегда может определяться координатами  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ , полученные путем топографической или маркшейдерской съемки. При известных значениях координат устья скважины положение оси (её координаты) прямолинейной скважины определяется начальными зенитным –  $\theta$  и азимутальным углами –  $\alpha$ .

*Зенитный угол  $\theta$*  (от фр. *zenith* – точка небесной сферы) – угол между вертикалью и осью скважины в заданной точке. Замеряется зенитный угол строго в *апсидальной плоскости*, поэтому при проецировании траектории ствола на любую другую вертикальную плоскость зенитный угол отображается с отклонением от истинного значения. При искривлении скважины возможно увеличение (выполаживание) или уменьшение (выкручивание) зенитного угла. *Азимутальный угол  $\alpha$*  (азимут – от араб,

*as-simut* – путь) – угол, определяющий направление ствола наклонной скважины относительно стран света и замеряемый по часовой стрелке между направлением на север (на схемах обозначено *Nord*) и осью скважины (апсидальной плоскостью) в заданной точке. Возможно определение  $\alpha$  на проекции ствола скважины на горизонтальную плоскость между линиями, определяющими направление на север и проекцию ствола скважины на горизонтальную плоскость. При искривлении скважины азимутальный угол может уменьшаться (искривление влево) или увеличиваться (искривление вправо). В геологической документации скважины изображаются в виде проекции её оси на вертикальные (изображение на геологическом разрезе – *профиль скважины*) и горизонтальную (на геологической карте – *инклинограмма* или *план скважины*) плоскости (рисунок 34.1). При разведке месторождений скважины обычно забуриваются в направлении разведочных линий или по профилям, а поэтому азимут заложения скважин в основном совпадает с азимутами разведочных профилей. Координаты любой точки оси ствола прямолинейной скважины (в декартовой системе координат).

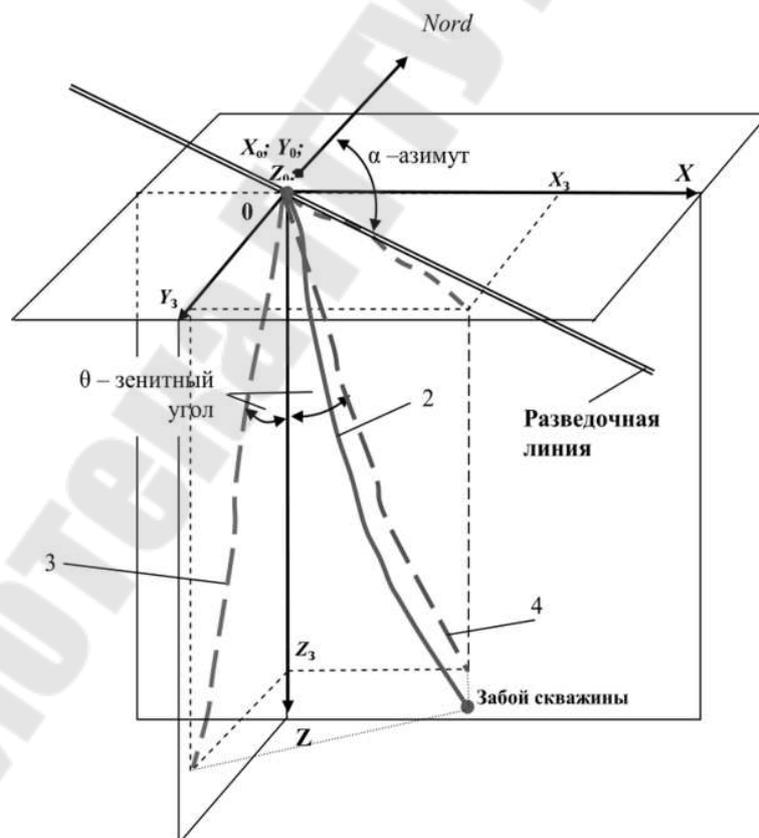


Рисунок 34.1 – Графическое изображение скважины в декартовой системе координат, где: 1 - инклинограмма (план скважины); 2 - ось скважины (пространственная траектория); 3 - профиль скважины на плоскости YOZ 4 - профиль скважины на плоскости XOZ

Положение траекторий скважин определяют по данным *инклинометрических замеров*, проводимых в стволе через интервалы определенной длины (обычно 5, 10, 20, 40 или 50 м). В каждой точке на определенной глубине измеряют зенитный -  $\theta$  и азимутальный углы -  $\alpha$ . Практика буровых работ показала, что все скважины в процессе бурения искривляются в той или иной мере. Если искривление скважины происходит самопроизвольно, то такое искривление называется *естественным*, если осуществляется преднамеренно, – с целью решения какой-либо технической задачи, – то *искусственным*. Если в процессе искривления происходит изменение только зенитного или азимутального угла, то такое искривление называется плоским. Если скважина при изменении азимута сохраняет свой зенитный угол, то её трасса получает вид спирали, а при постоянной интенсивности азимутального искривления – винтовой линии.

Изменение угла искривления (зенитного или азимутального) на определенном интервале называется *приращением искривления на интервале*. Отношение приращения зенитного или азимутального искривления на интервале к длине этого интервала называется *интенсивностью искривления по зенитному или азимутальному углам* (рисунок 34.2).

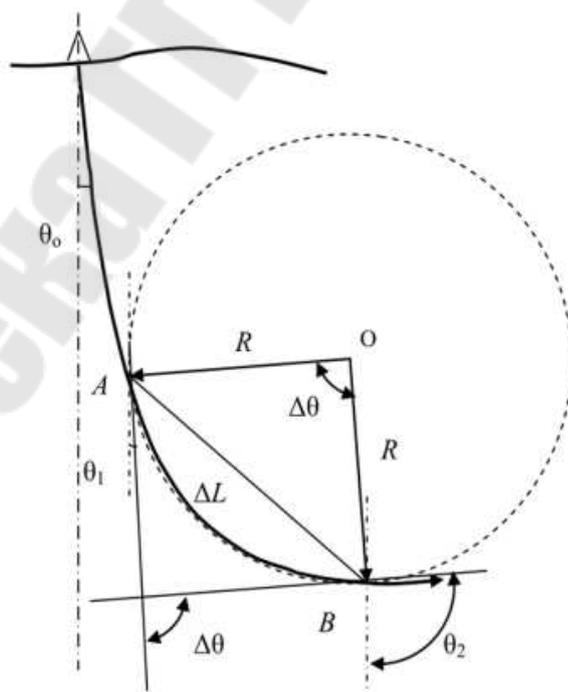


Рисунок 34.2 – Схема определения зенитного искривления и кривизны скважины

*Определение интенсивности искривления скважин.* Интенсивность искривления (кривизна скважины) –  $i$  однонаправленное изменение пространственного угла искривления скважины на определенном интервале ствола. Интенсивность искривления идентична понятию кривизна, используемому в математике. В направленном бурении для определения интенсивности искривления используется кривизна дуги окружности, например, радиуса  $R$  (рисунок 34.2).

Кривизна дуги окружности и радиус кривизны дуги окружности – взаимнообразные величины: радиус кривизны скважины – величина обратная кривизне или интенсивности искривления скважины и определяемая как радиус дуги окружности, кривизна которой тождественна кривизне участка ствола скважины.

При расчете интенсивности искривления возможны следующие варианты:

- изменяется только зенитный угол;
- изменяется только азимутальный угол;
- изменяются одновременно и зенитный, и азимутальный углы.

Шаг инклинометрических замеров при бурении нефтяных и газовых скважин может составлять 20-30 м при искривлении скважин отклонителями, например, для исправления угла наклона или азимута и 200-300 м при стабилизации направления ствола скважины для оценки степени естественного искривления ствола.

Интенсивность искривления и радиус кривизны рассчитывают на одном интервале ствола скважины, имеющего искривление одного направления. По полученным значениям координат ствола скважины строят профиль (рисунок 34.3, *а*) и инклинограмму скважины (рисунок 34.3, *б*).

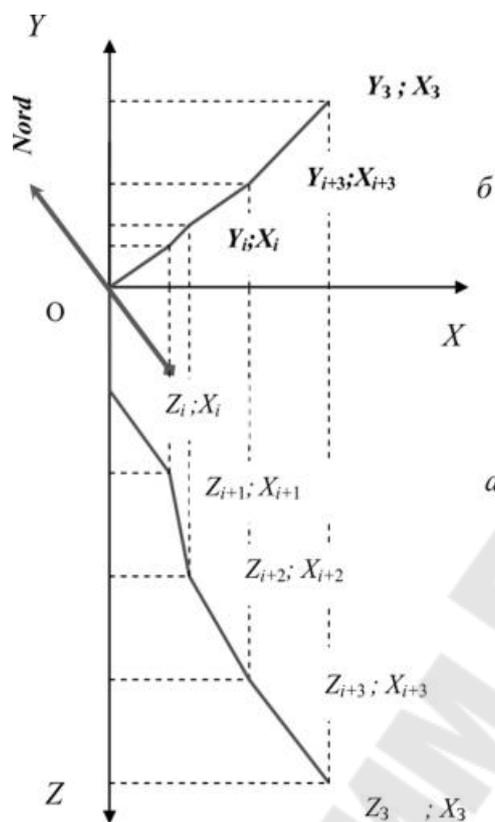


Рисунок 34.3 – Профиль и инклинограмма (план) скважины

По значениям зенитного и азимутального углов можно построить годограф скважины (рисунок 34.4), по которому определяют значение угла набора кривизны или на всем интервале искривления скважины или на отдельных его участках. Годограф скважины строится по данным инклинометрических замеров в масштабе для значений зенитного угла, например, 1 см = 1 град (отрезки  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ ,  $OD$ ,  $OE$  на рисунке 34.4.). В то же время указанные отрезки направляют под углами к северному направлению, которые равны значениям азимутальных углов. Отрезки  $AE$ ,  $AC$  и  $CE$  с учетом масштаба позволяют определить значения полных углов искривления на соответствующих интервалах ствола скважины.

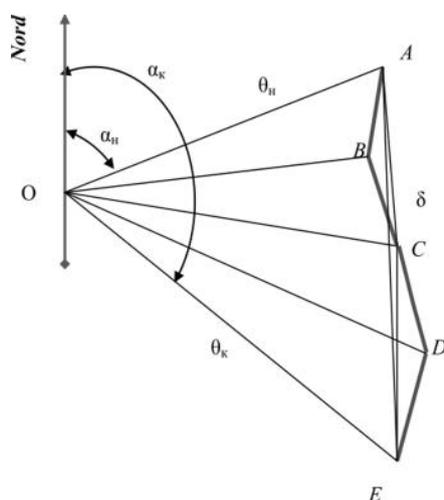


Рисунок 34.4 – Векторная диаграмма (годограф) искривления скважины:  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ ,  $OD$ ,  $OE$  - значения зенитных углов скважины представленные в линейном масштабе, например,  $1 \text{ см} = 1$ ;  $AE$  - усредненный пространственный угол искривления скважины на интервале бурения от точки  $A$  до точки  $E$

*Инклинометрическая съёмка скважин.* *Инклинометрия* – определение пространственного положения ствола буровой скважины путём непрерывного измерения инклинометрами. По данным замеров угла и азимута скважины, а также глубины ствола в точке замера строится *план (инклинграмма)* – проекция оси скважины на горизонтальную плоскость и *профиль* – вертикальная проекция на плоскости магнитного меридиана, геологического разреза по месторождению, проходящего через исследуемую скважину. Наличие фактических координат бурящихся скважин даёт основание судить о качестве проводки скважины и точно определять точки пересечения скважиной различных участков геологического разреза, т.е. установить правильность бурения в заданном направлении, что позволяет правильно оценивать запасы месторождений по данным буровой разведки и выбирать рациональную систему их разработки. *Суть метода:* бурится скважина. Затем зонд инклинометра опускается в скважину и в процессе опускания в заданных точках производятся измерения наклона обсадных труб (ствола скважины). Далее, на основе измеренных углов наклонов и азимутов с привязкой к глубине погружения, рассчитывается траектория движения зонда – то есть скважины. Этот метод предполагает что нижний конец трубы неподвижен, поэтому для правильного подбора глубины скважин нужны данные предварительных изысканий. Инклинометры позволяют получить дискретно три параметра:

- глубину скважины в точке замера  $L$ ;
- угол отклонения оси скважины от вертикали (зенитный угол)  $\theta$ ;

– магнитный азимут плоскости искривления скважины в точке замера Ат.

*Инклинометрические приборы.* В состав стандартного набора для инклинометрических измерений входят:

- инклинометрический зонд (предназначение – ручное измерение отклонений от оси труб, которые смонтированы в скважину);
- специализированный измерительный кабель;
- портативное считывающее устройство.

Для проведения оперативных измерений применяются автономные инклинометрические приборы (магнитные и гироскопические). Магнитные применяют в необсаженных скважинах для точечных и непрерывных измерений. Гироскопические – как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах. И те и другие инклинометры выпускаются в различных модификациях. Гироскопические инклинометры используют при исследовании обсаженных скважин. Данный инклинометр работает на основе свойств гироскопа, а именно - сохранении оси вращения неподвижной. Инклинометр имеет два гироскопа, один из которых предназначен для измерения азимутов, а второй - для измерения угла наклона. Электрические инклинометры применяются при обследовании необсаженных металлическими трубами скважин. Основой данного прибора является рамка, которая подвешена в корпусе и расположена горизонтально относительно отвеса. На рамке расположены стрелка буссоли и указатель угла наклона. Они поочередно подключены к источнику тока и отвечают за обеспечение передачи с реохордов необходимого напряжения.

Особым преимуществом оборудования современного образца является возможность их приспособления и интеграции в другие виды техники. К примеру, вполне возможно использовать гироскопический инклинометр в составе любой каротажной станции. Это позволяет эффективно проводить исследования любых типов скважин: вертикальных, наклонных, с включениями из ферромагнетиков, обсаженных и так далее.

Инклинометрия включает в себя все современные разработки и оборудование из областей гироскопического приборостроения, электроники, обработки цифровых сигналов и так далее.

В настоящее время добывающими компаниями осуществляется множество проектов по разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами, где геологические цели становятся все меньше, в то время как сетка разработки все более уплотненной, и расстояния между стволами скважин минимизируются. Также для наиболее эффективного извлечения

углеводородов производится бурение горизонтальных скважин, отходы от устья которых достигают 10 км.

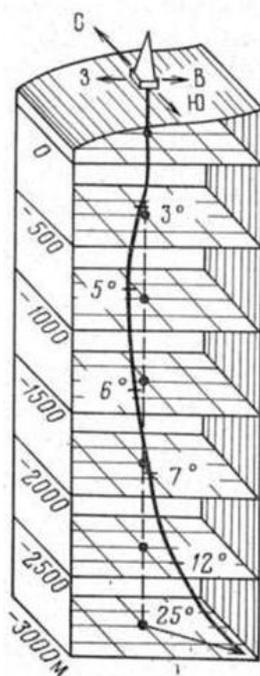
Данные проекты требуют высокой точности определения положения скважин в пространстве и, соответственно, совершенно нового подхода к выполнению инклинометрических измерений. Для геометрического расчета положения ствола скважины необходимо знать зенитный угол и азимут для определенной глубины по стволу. Как только прибор оказался в скважине, кроме неточности калибровки инклинометра на измерения начинает воздействовать множество внешних факторов, которые не имеют эффекта на поверхности. Эти факторы представляют собой неоднородность магнитного поля, нарушения соосности между прибором и скважиной, температуру, колебания КНБК во время снятия замера и т.д. Также появляются погрешности определения глубины по стволу для замера, вызванные растяжением инструмента под действием собственного веса и температуры. Все эти ошибки накапливаются от замера к замеру, поэтому помимо геометрического расчета необходимо осуществлять вероятностный расчет.

В современном программном обеспечении при проектировании скважин существует возможность рассчитывать вероятностное положение скважин. Результатом этого расчета является некий объем вокруг геометрической траектории, или Эллипс Неопределенности (ЕОУ), учитывающий все возможные положения ствола скважины с учетом погрешностей с достоверностью до 99%. На базе этих расчетов ведется оценка рисков пересечений и определяются вероятности попадания в заданные заказчиком геологические цели. Самым современным способом минимизации погрешностей при использовании стандартных телесистем с магнитными датчиками является метод усовершенствованной геомагнитной привязки\*. Минимизация погрешностей достигается путем создания и использования усовершенствованных геомагнитных моделей, совмещенных с измерениями вариаций поля на поверхности. В результате проведения инклинометрических измерений и их обработки получают данные о положении каждой точки ствола скважины в пространстве. На рисунке 34.5 схематически изображено положение ствола скважины в пространстве. Плоскость, проходящую через вертикаль и ось скважины на данном её участке называют *плоскостью искривления*.

*Основные виды работ при контроле проводки ствола скважины.*

Контроль проводки ствола скважины по проектному профилю включает следующие основные виды работ:

- задание направления стволу скважины;
- ориентирование отклонителя;



34.5 – Схема положения ствола скважины в пространстве

- проверку текущего положения от ствола скважины в пространстве (в процессе ее проводки);
- проверку отклонения от ствола скважины от проектной трассы.

Текущий контроль пространственного положения оси ствола бурящейся скважины осуществляется в соответствии с регламентом бурения скважины, при этом во внимание принимаются следующие основные факторы: форма траектории оси ствола скважины; геологическое строение района работ; метод бурения ствола скважины и конструкция бурового инструмента; проходка на долото; конструкция скважины.

Первое измерение при забурировании наклонного участка ствола нужно проводить после проходки интервала, на котором угол отклонения от вертикали увеличивается до 4 – 5°. Если в результате первого измерения наклонного участка ствола нет необходимости изменять ориентирный угол, то последующие измерения проводятся через интервалы 100 – 150 м.

При изменении азимута геометрические параметры направления скважины нужно измерять через 25 – 50 м (после каждого рейса) до тех пор, пока ствол не будет выведен на нужное направление. При бурении прямолинейного участка наклонного ствола с применением стабилизирующих устройств интервалы между измерениями следует назначать в зависимости от геологического строения района. Если геологические и горно - технические условия при проходке ствола стабильны и не сильно влияют на направление оси ствола, измерения

можно проводить через 100 – 150 м проходки. Если же естественные условия искривления способствуют резкому изменению азимута, то интервалы между измерениями должны быть сокращены, а при очень неблагоприятных условиях следует ограничить величину рейса. Окончательная инклинометрия в открытом участке ствола по всему интервалу производится в обязательном порядке перед спуском обсадной колонны. Фактическая траектория оси ствола скважины всегда будет отличаться от проектной. Допустимые отклонения устанавливаются с учетом требований разработки месторождений, бурения скважин и их эксплуатации. В проекте разработки месторождения предусматривается для каждой скважины определенная точка вскрытия продуктивного горизонта. При этом допускается некоторое отклонение от предусмотренной проектно-технологической документации точки вскрытия, учитывающее геологическое строение разбуриваемой площадки, физику пласта, технологические факторы бурения, погрешности проводки скважины и определения ее пространственного положения. Для оптимальных условий бурения и эксплуатации скважин необходимо учитывать угол общего искривления оси ствола скважины (угол смежности), интенсивность искривления ствола (отношение общего искривления в градусах к длине интервала скважины, выраженной в десятках метров). Допустимые численные значения отклонений точек вскрытия пласта скважиной от их проектного местоположения по каждому продуктивному горизонту определяются в соответствии с таблицей 34.1. Для расстояний между местоположением точек вскрытия в таблице 34.1 допуски установлены исходя из предельных значений погрешностей измерений применяемых в настоящее время технических средств и методики инклинометрии. При определении расстояний между проектными и фактическими точками вскрытия пласта вводятся поправки за его наклон в зависимости от численного значения угла наклона пласта, масштаба геологических структурных карт, геологических разрезов и карт разработки. В качестве критерия оценки точности положения характерной точки оси ствола скважины принята средняя квадратическая погрешность. Оценивать положение характерной точки оси ствола скважины можно также на плоскости и в пространстве через эллипс и эллипсоид погрешностей соответственно. Для сравнения и фактического положения характерной точки оси ствола скважины и проектным ее положением необходимо иметь дежурный план проводки скважины в масштабе 1:500 – 1:2000, на котором изображена проектная и фактическая трасса оси ствола скважины. Вокруг проектного положения характерной точки радиусом  $R$ , равным значению допуска, в соответствующем масштабе строится окружность.

Точка фактического местоположения накрывается эллипсом погрешностей. При этом может быть один из пяти приведенных случаев:

Таблица 34.1

Допустимые численные значения отклонений точек вскрытия

Максимальный угол наклона пласта, град	Масштаб карты разреза	Минимальное расстояние между точками вскрытия, м
10	1:10 000	135
15	1:25 000	135
15	1:50 000	300

- эллипс погрешностей находится в пределах границы допуска;
- характерная точка находится внутри границы допуска, эллипс погрешностей частично выходит за пределы допуска;
- характерная точка находится на линии, обозначающей границы допуска, а 50 % площади эллипса погрешностей выходит за пределы допуска;
- характерная точка находится за пределами допуска, но какая-то 104 часть площади эллипса погрешностей (менее 50 %) накрывает допуск;
- эллипс погрешностей находится за пределами границы допуска.

Пространственное положение оси скважины, представленное в аксонометрической проекции (рисунок 34.6), позволяет не только увидеть объёмную картинку, но и оценить количественно характер искривления.

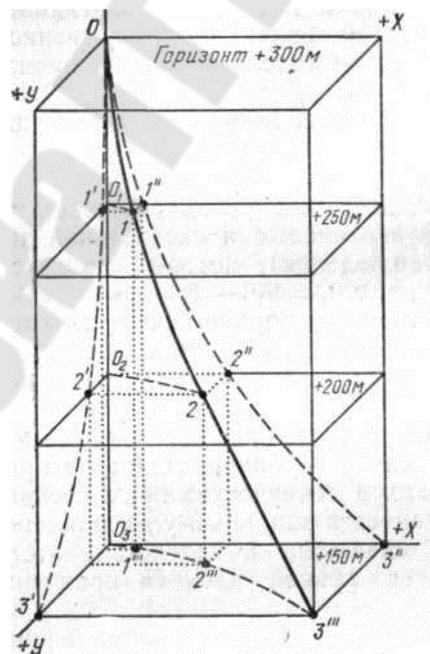


Рисунок 34.6 – Искривленная скважина в аксонометрической проекции

Оформление результатов измерений, вычисление окончательных координат и определение погрешностей измерений, а также выдача

материалов заказчику должны производиться в соответствии с нормативными требованиями.

При кустовом бурении запрещается начинать строительство очередной скважины, если на предыдущую скважину отсутствуют данные по пространственному положению ее ствола. Проектный профиль скважины выбирается с учетом условий ее дальнейшей эксплуатации и должен быть технически выполним при использовании существующих технических средств, обеспечивая при этом проходимость геофизических приборов, обсадных и бурильных колонн.

## 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 «Проспект», 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».
9. ГОСТ 21778-81 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения».
10. ГОСТ 21779-82 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски».
11. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и её применение. Тверь.: ООО ИПП «АЛЕН», 2006.
12. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. - М.: Картгеоцентр - Геодезиздат, 1993. - 104 с.
13. Яковлев Н.В. Высшая геодезия: учебник для вузов. - М.: «Недра»: 1989. - 445 с.