

БІЛГІЛЕРДІҢ ҚОРҒАНЫСЫ
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
СІМПАУИ ҚАҒАЗАТ ҚАҒАМЫ

Б. Д. ФЕДОРОВ Ю. В. КОРОБЧЕНКО

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ и маркшейдерского дела

СРЕДНЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



Б. Д. ФЕДОРОВ
Ю. В. КОРОБЧЕНКО

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ и маркшейдерского дела

Издание четвертое, переработанное
и дополненное

*Допущено Министерством угольной промышленности СССР
в качестве учебника для учащихся горных техникумов*



МОСКВА „НЕДРА“ 1985

Федоров Б. Д., Коробченко Ю. В. Основы геодезии и маркшейдерского дела: Учебник для техникумов.—4-е изд., перераб. и доп.—М.: Недра, 1985. 255 с.

Изложены основные сведения о форме Земли и способах изображения ее поверхности, о производстве геодезических и маркшейдерских работ при открытой разработке месторождений и строительстве горных предприятий. Описаны различные виды съемок, требования к точности и периодичности их проведения, применяемые при этом приборы и инструменты. Рассмотрены обязательная горная графическая документация и ее использование для решения практических задач, классификация и способы подсчета запасов, маркшейдерский контроль оперативного учета добычи, задачи маркшейдерской службы при планировании горных работ.

Четвертое издание (3-е изд.—1978) переработано с учетом новейших достижений в области геодезии и маркшейдерского дела.

Для учащихся горных и горно-металлургических техникумов.

Табл. 15, ил. 145, список лит.—21 назв.

Рецензент: *Б. И. Беляев*, проф. (Университет дружбы народов им. П. Лумумбы)

Учебник написан в соответствии с программой курса «Основы геодезии и маркшейдерского дела» для учащихся горных техникумов, обучающихся по специальностям «Строительство подземных сооружений и шахт» и «Технология и комплексная механизация подземной разработки угольных месторождений».

Первое издание учебника вышло в свет в 1955 г. Третье переработанное и дополненное издание (1978 г.) было удостоено бронзовой медали ВДНХ за 1980 г. Работая над четвертым изданием, авторы стремились к тому, чтобы в учебнике нашли отражение современные достижения в области геодезии и маркшейдерии, а также к наиболее рациональному и последовательному с методической точки зрения изложению и расположению материалов.

Так, в первом разделе учебника «Основы геодезии» описание съемок предшествует рассмотрению основных геодезических измерений (горизонтальных и вертикальных углов, расстояний) и общих частей геодезических инструментов (зрительной трубы, отсчетных устройств, уровней, систем осей, микрометрично-зажимных устройств). Такая последовательность изложения исключает дублирование учебного материала при описании инструментов применительно к съемкам.

Во втором разделе учебника «Маркшейдерское дело» дано более полное представление о теоретической части маркшейдерии и функциях маркшейдерской службы строящихся и действующих угольных шахт. Маркшейдерские работы описаны в тесной увязке с технологией строительства шахт и подземной разработкой угольных месторождений.

Учебник написан в соответствии с действующими нормативными документами по геодезии и маркшейдерии.

Авторы будут благодарны читателям за отзывы, замечания и предложения, направленные на улучшение содержания учебника.

§ 1. Значение и задачи курса. Общие сведения о геодезии и маркшейдерском деле

Изучение дисциплины «Основы геодезии и маркшейдерского дела» является важным звеном в подготовке техников-строителей горных предприятий и техников-эксплуатационников угольных месторождений. Освоение материала должно привести учащихся к пониманию роли и значения геодезии и маркшейдерии в горном деле.

В процессе изучения дисциплины учащиеся должны овладеть приемами работы с теодолитом, нивелиром и другими инструментами, получить навыки по самостоятельному ведению основных видов съемок как земной поверхности, так и горных выработок, научиться свободно читать графические материалы (топографические и гипсометрические планы, профили и разрезы), уметь получать при их помощи необходимые данные для вынесения проекта в натуру, а также наносить результаты измерений и съемок на планы, профили и разрезы.

Геодезия — наука о методах измерений на суше, море, в атмосфере и космосе с целью определения формы и размеров Земли, построения карт (планов) и решения различных инженерных задач на местности. Она стоит в одном ряду с геологией, геоморфологией, географией, геофизикой и другими науками, изучающими Землю с различных точек зрения. В геодезии изучают геометрические свойства Земли. Геодезия подразделяется на следующие основные разделы:

высшую геодезию, изучающую форму и размеры Земли, а также методы высокоточного определения координат точек земной поверхности и изображения ее на плоскости; геодезию или топографию, которая рассматривает методы производства топографических съемок для составления карт (планов) на сравнительно небольшие участки местности; фототопографию, к которой относятся методы построения карт (планов) путем фотографирования местности с последующей обработкой фотоснимков (подразделяется на наземную — фотографирование производится с точек поверхности Земли, воздушную и космическую — фотографирование производится с самолета — аэрофототопография или с искусственных спутников — космическая фототопография); прикладную геодезию, рассматривающую постановку и методы выполнения геодезических работ, необходимых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Геодезические работы подразделяются на полевые и камеральные. Полевые работы — измерения горизонтальных и

вертикальных углов, а также горизонтальных, наклонных и вертикальных расстояний, а камеральные — подсчет окончательных значений результатов полевых измерений и графические построения.

Геодезия тесно связана с математикой, физикой, астрономией, географией. Строительство горных предприятий и подъездных транспортных сооружений невозможно без применения геодезических данных и выполнения соответствующих геодезических измерений. Точные топографические планы земной поверхности необходимы на горных предприятиях для планирования ведения горных работ, только при их наличии возможна увязка подземных работ с расположением сооружений на земной поверхности.

Маркшейдерское дело — горная наука, занимающаяся измерениями на земной поверхности и в горных выработках и изображением на чертежах объектов поверхности, горных выработок, а также геологического строения месторождения, размещения качественных свойств и других данных, необходимых для полной и рациональной отработки месторождения. Маркшейдерское дело как наука тесно связано с геодезией, геологией, прикладной математикой, горными науками.

Задачами маркшейдерской службы являются: съемка земной поверхности и горных выработок; производство разбивочных работ на земной поверхности и в горных выработках; составление горной графической документации; изучение форм залежей, размещения свойств полезного ископаемого в недрах; подсчет запасов полезного ископаемого; изучение процесса сдвижения горных пород и земной поверхности под влиянием горных работ; разработка и контроль за осуществлением мероприятий по охране объектов земной поверхности; участие в планировании развития горных работ, разработка нормативной документации, регламентирующей порядок и качество отработки месторождения; контроль за соблюдением проекта при строительстве предприятия и отработки месторождения; контроль за полнотой извлечения запасов полезного ископаемого из недр.

§ 2. Краткий очерк развития геодезии и маркшейдерского дела

Геодезия — слово греческое и в переводе на русский язык означает землеразделение. Из названия следует, что геодезия как наука возникла из практических потребностей человека.

Первые упоминания о геодезических работах в России относятся к XII в. В XVI в. была впервые составлена карта Московского государства «Большой Чертеж» и описание к нему — «Книга к Большому Чертежу».

Более совершенная постановка геодезических работ была осуществлена при Петре I, когда развитие торговли, мореплавания, строительство заводов и фабрик, военные цели потребо-

вали создания более точных карт. Первые съемки в России были проведены в 1696 г. на Дону, а в 1715 г.— в Сибири на р. Иртыш. В 1739 г. был утвержден Географический департамент Российской Академии наук, который осуществлял контроль за ведением картографических работ в стране. В 1745 г. Российской Академией наук был издан «Атлас Российский», состоящий из 13 листов территории европейской части России и 6 листов — азиатской. В 1779 г. в Москве было создано Межевое училище, которое в 1835 г. было преобразовано в Межевой институт — высшее учебное заведение по подготовке межевых инженеров.

Новый этап в развитии геодезии в нашей стране наступил после Великой Октябрьской социалистической революции. В 1919 г. В. И. Ленин подписал декрет «Об учреждении высшего геодезического управления», на которое возлагалось изучение территории РСФСР в топографическом отношении в целях поднятия и развития производительных сил страны. С 1925 г. для составления топографических карт стала применяться аэрофотосъемка, которая теперь является наиболее совершенным методом картографирования.

В настоящее время в СССР выполняются сплошные и систематические съемки на всей территории страны, составлены и изданы разные карты общегосударственного и специального назначения. Закончено составление карты масштаба 1 : 100 000 на всю территорию СССР и составляется общегосударственная карта масштаба 1 : 25 000. Обширные геодезические работы, проведенные в стране, дали высокоточный материал для исследования формы и размеров Земли. В 1940 г. коллектив Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ЦНИИГАиК) под руководством Ф. Н. Красовского произвел новое, наиболее точное определение размеров земного эллипсоида. Эти размеры положены в основу всех геодезических и картографических работ в СССР, а вновь определенному эллипсоиду дано название эллипсоид Красовского.

За годы Советской власти геодезическая наука прошла большой путь развития и обеспечила удовлетворение многочисленных и разнообразных требований народного хозяйства и обороны страны. Этому в значительной мере способствовала большая и целеустремленная работа коллектива ученых МИИГАиКа, подготовившего за это время много высококвалифицированных инженеров и ученых в области геодезии, аэрофотосъемки, картографии и оптического приборостроения.

Термин «маркшейдерское дело» или «маркшейдерия» произошел от немецкого слова *Markscheidenkunst* или *Markscheidenkunde*, что означает в переводе на русский язык «искусство устанавливать марки». Под марками имеются в виду постоянные пункты с известными координатами. Маркшейдерское дело зародилось в Германии в XVI в., когда бурное развитие уголь-

ной промышленности поставило задачу о перенесении границ участков земной поверхности в горные выработки.

Первое систематизированное описание методов съемки подземных горных выработок составил Герон Александрийский примерно в I в до н. э.

В труде немецкого ученого Г. Агриколы «О горном деле и металлургии», изданном в 1556 г., одна глава была посвящена вопросам съемки выработок с помощью компаса с разделенным на 12 частей кругом. Позже были сконструированы визирное приспособление к компасу и подвесной полукруг для измерения вертикальных углов, затем — теодолит. Первым применил теодолит для съемки горных выработок русский маркшейдер П. А. Олышев в 40-х годах XIX в.

Большой вклад в развитие маркшейдерского дела внес великий русский ученый М. В. Ломоносов. В известной книге «Первые основания металлургии или рудных дел» отдельный раздел был посвящен маркшейдерскому делу. М. В. Ломоносов положил начало созданию русской маркшейдерской школы.

Учеными, внесшими большой вклад в развитие русской маркшейдерской школы, были А. И. Максимович, Г. А. Тиме, В. И. Бауман, П. М. Леонтовский.

Бурное развитие горнодобывающей промышленности в нашей стране после Великой Октябрьской социалистической революции способствовало развитию горной науки и, в частности, маркшейдерского дела. В 1921 г. был проведен Всероссийский маркшейдерский съезд, определивший функции маркшейдерской службы горных предприятий и принявший положение и инструкцию об этой службе. Начиная с 1921 г., в горных институтах различных городов страны организуется подготовка горных инженеров-маркшейдеров.

В 1932 г. в Ленинграде было создано Центральное научно-исследовательское маркшейдерское бюро (ЦНИМБ), впоследствии реорганизованное во Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ).

Советскими маркшейдерами одними из первых созданы горные гирокомпасы (гиротеодолиты) для ориентирования съемок в подземных горных выработках, впервые в мире созданы ультразвуковые приборы для съемки недоступных подземных пустот. Значителен их вклад в создание свето- и радиодальномеров, лазерных указателей направления. Существенный вклад в развитие теории маркшейдерского дела, методик и инструментов для производства съемок, методов изучения месторождений и рационального использования минеральных ресурсов вносят кафедры маркшейдерского дела горных институтов и факультетов. Большую роль в развитии советской маркшейдерской школы сыграли такие ученые, как И. М. Бахурин, П. К. Соболевский, П. А. Рыжов, Д. А. Казаковский, Д. Н. Оглоблин и др.

ГЛАВА I

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

§ 3. Понятие о форме и размерах Земли

Физическая поверхность Земли общей площадью 510 млн. км² в геометрическом отношении имеет сложную форму. Большие пространства (71 % поверхности) занимают океанические и морские впадины, достигающие глубины 11 000 м. На суше имеются горные хребты, ущелья, равнины, долины рек и оврагов. Отдельные горы, как, например, Эверест (Джомолунгма), имеет высоту почти 9000 м. Средняя высота суши над уровнем моря составляет 875 м.

Обобщенное представление о форме Земли (рис. 1) можно получить, воспользовавшись понятием «уровенная поверхность». Нить отвеса всегда занимает под действием силы тяжести отвесное положение, а поверхность воды по той же причине горизонтальна и составляет с отвесной линией (направлением силы тяжести) прямой угол.

Замкнутая поверхность, нормальная к отвесным линиям в любой своей точке, называется *уровенной поверхностью*. Таких поверхностей можно представить множество. В геодезии особое значение имеет *уровенная поверхность*, совпадающая со средним уровнем океанов в состоянии покоя. Такая замкнутая поверхность, продолженная под материками перпендикулярно к направлению отвесной линии в каждой точке, называется *основной уровенной поверхностью*. Тело, ограниченное основной уровенной поверхностью, называют *геоидом*.

Направления отвесных линий зависят от распределения плотностей горных пород, составляющих земную кору. Плотности масс в земной коре распределены неравномерно. Поэтому основная уровенная поверхность (геоид), перпендикулярная во всех точках к отвесным линиям, геометрически имеет сложную и неправильную форму.

При определении формы окружающих нас предметов мы обычно сравниваем их с геометрически правильными телами. Так же поступают в высшей геодезии при определении формы и размеров Земли. На основании теоретических соображений и экспериментальных данных установлено, что Земля в общем виде имеет форму, близкую к эллипсоиду вращения, поверх-

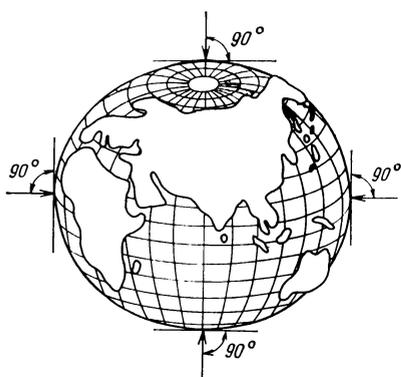


Рис. 1. Общая фигура Земли

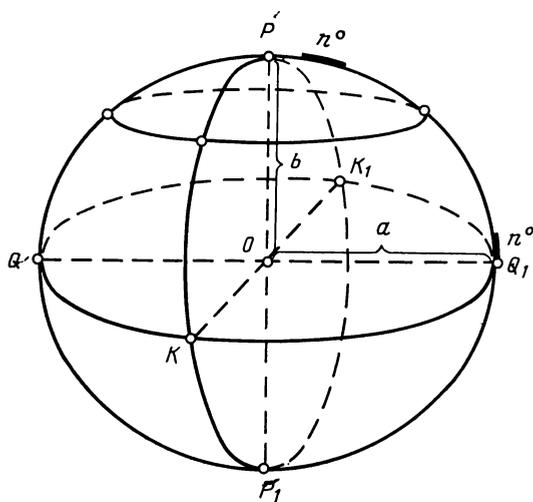


Рис. 2. Эллипсоид вращения, или сфероид

ность которого определяется простым уравнением и математически хорошо изучена.

Вращая эллипс PQ_1P_1QP вокруг малой оси PP_1 , получим тело вращения, которое и называется эллипсоидом вращения, или сфероидом (рис. 2). При пересечении поверхности сфероида плоскостями, проходящими через ось вращения PP_1 , образуются эллипсы (PKP_1K_1P), называемые меридианами. Плоские сечения, перпендикулярные к оси вращения PP_1 , образуют окружности — параллели. Параллель QKQ_1K_1Q , плоскость которой проходит через центр сфероида O , называется экватором. Радиус экватора $OQ_1=a$ и отрезок $OP=b$ образуют соответственно большую и малую полуоси сфероида.

Величина $\alpha=(a-b)/a$ называется сжатием сфероида. Форма и величина сфероида вполне определяются величинами

a и α , которые получают из градусных измерений. Измерив величину дуги меридиана в 1° или в n° вблизи экватора и около полюса, можно вычислить большую полуось a , сжатие α и малую полуось b . Если бы дуги оказались равными, то были бы равны и полуоси a и b , т. е. Земля оказалась бы шаром. Градусные измерения показывают, что длина дуги в 1° меридиана у полюса больше, чем у экватора, следовательно, Земля сжата у полюсов.

На протяжении нескольких веков ученые неоднократно определяли размеры земного сфероида. В 1940 г. советские геодезисты под руководством проф. Ф. Н. Красовского вычислили вновь размеры земного эллипсоида и получили следующие результаты: $a=6\,378\,245$ м, $b=6\,356\,863$ м, $\alpha=1:298,3$. Этот эллипсоид получил название эллипсоида Красовского.

Для того чтобы пользоваться земным сфероидом для изучения формы и размеров физической поверхности Земли, мало определить его размеры, необходимо еще расположить (ориентировать) его в теле Земли с соблюдением возможно большей близости поверхности сфероида к поверхности геоида. Сфероид, ориентированный определенным образом в теле геоида, называется референц-эллипсоидом. С 1946 г. для ведения геодезических и картографических работ в СССР и социалистических странах приняты размеры референц-эллипсоида Красовского.

Определяя отступления земной поверхности и геоида относительно референц-эллипсоида, получают возможность изучать действительную фигуру Земли. Для многих практических целей можно допускать, что эти поверхности совпадают.

На небольших участках Землю можно принимать за шар радиусом в 6371 км. В некоторых случаях, когда протяженность участков поверхности не превышает 20—30 км, можно пренебрегать и сферичностью Земли.

Точки земной поверхности имеют разные высоты над основной уровенной поверхностью. Для определения положений точек физической поверхности прибегают к следующему приему. Через точки земной поверхности A, B, C, D проводят отвесные линии до пересечения с воображаемой уровенной поверхностью U (рис. 3). Точки a, b, c, d называются горизонтальными проекциями точек A, B, C, D . Если таким способом спроектировать все точки физической поверхности, то окажется, что каждой линии и контуру земной поверхности будут соответствовать линия и контур уровенной поверхности. Таким образом, положение каждой точки земной поверхности можно определить по ее горизонтальной проекции на уровенную поверхность и по высоте точки над основной уровенной поверхностью.

Для ограниченных участков земной поверхности можно принимать отвесные линии параллельными друг другу, а уровенную поверхность — за горизонтальную плоскость. Для этих условий при определении взаимного положения горизонтальных

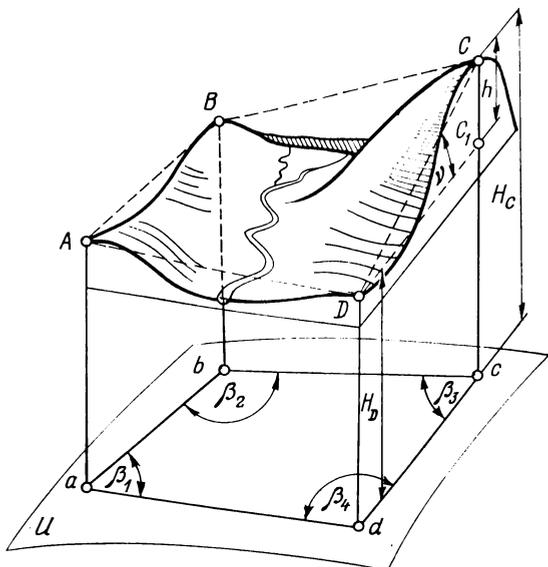


Рис. 3. Горизонтальные проекции точек, линий и углов поверхности Земли

проекций a, b, c, d необходимо знать горизонтальные проекции расстояний $DC_1 = DC \cos \nu$ (где ν — угол наклона линии DC) и горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и β_4 .

Расстояние по отвесной линии в метрах от основной уровенной поверхности до точки физической поверхности Земли называется абсолютной высотой точки и обозначается H_c . Расстояние по отвесной линии в метрах от любой другой уровенной поверхности до данной точки называется условной высотой точки. Высота одной точки (C) относительно уровенной поверхности другой точки (D) называется относительной высотой, или превышением h . Числовое значение высоты называется отметкой.

Положение средней уровенной поверхности определяют из многолетних наблюдений за уровнем океана. В СССР за начало счета абсолютных высот принимают нуль Кронштадтского футштока. Футшок представляет собой рейку с делениями, по которой периодически отсчитывается уровень моря. Нулевое деление Кронштадтского футштока почти совпадает со средним уровнем Балтийского моря в Кронштадте.

§ 4. Определение положения точек на поверхности Земли

Положения точек на поверхности Земли определяются координатами — величинами, характеризующими расположение искомым точек относительно исходных плоскостей и линий, определяющих систему координат. Общепринятой, единой системой является система географических координат. Допу-

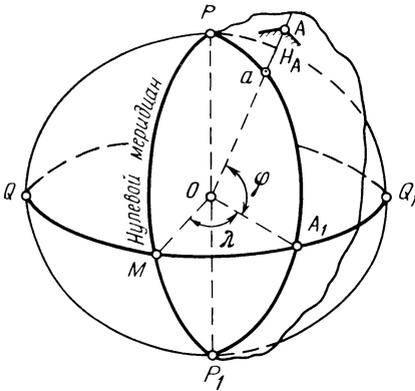


Рис. 4. Система географических координат

стим, что основная уровенная поверхность Земли совпадает с поверхностью сфероид (рис. 4), а нормали к сфероиду — с отвесными линиями. Возьмем на физической поверхности Земли точку A и проведем через нее плоскость меридиана PAP_1 , которая пересечет экватор QQ_1 в точке A_1 . Проведем отвесную линию в точке A . Положение горизонтальной проекции a точки A на меридиане PAP_1 определится углом φ между отвесной линией Aa и плоскостью QQ_1 , который называется географической широтой

точки A . Положение меридиана точки A определяется двугранным углом λ между его плоскостью и плоскостью начального (нулевого) меридиана PMP_1 . Этот угол называется географической долготой точки A . Географическая широта (угол φ) отсчитывается в обе стороны от экватора к полюсам и изменяется от 0 до 90° . Если широты отсчитываются к северу от экватора, то они называются северными, если к югу — южными. Географические долготы (λ) отсчитываются в обе стороны от нулевого меридиана на восток и запад, изменяются от 0 до 180° и соответственно называются восточными и западными. За начальный меридиан отсчета долгот принимают меридиан, проходящий через старейшую английскую обсерваторию, находящуюся в восточном округе Лондона — Гринвиче; он называется Гринвичским меридианом. Широта, долгота и абсолютная высота H_A однозначно определяют положение точки физической поверхности Земли.

Несмотря на многие достоинства системы географических координат, она неудобна для практического использования в инженерно-геодезических работах. Координаты (широта и долгота) выражаются в угловых единицах, причем линейные значения этих единиц в различных частях земного эллипсоида различны. Кроме того, вычисления координат отличаются громоздкостью, а решения даже простейших задач сложны.

Наиболее удобна для практики система плоских прямоугольных координат, однако при этом приходится предварительно проектировать точки поверхности Земного эллипсоида на некоторую плоскость, а потом на ней строить прямоугольную систему координат.

§ 5. Понятие о равноугольной поперечно-цилиндрической проекции и системе прямоугольных координат Гаусса—Крюгера

В основу системы координат положена проекция, предложенная немецким ученым К. Гауссом и разработанная для практического применения в геодезии другим немецким ученым — Л. Крюгером. Земной эллипсоид разделен меридианами на равные зоны размером по долготе 6° , простирающиеся от полюса до полюса (рис. 5). Зоны нумеруются с запада на восток от Гринвичского меридиана, который является западной границей первой зоны. Если долготы западного и восточного меридианов, ограничивающих зону, обозначить соответственно через $L_з$ и $L_в$, а долготу среднего меридиана через L_0 , то по номеру зоны n легко определить их значения по формулам

$$L_з = 6^\circ (n - 1); \quad L_в = 6^\circ n; \quad L_0 = 6^\circ n - 3^\circ. \quad (I.1)$$

Средний меридиан зоны называют осевым.

Территория СССР включает 29 зон, начиная с четвертой по тридцать вторую включительно.

Плоские изображения зон получают путем особого проектирования каждой зоны на цилиндр, который разворачивается в плоскость. Представим, что вокруг земного эллипсоида описан цилиндр, ось которого перпендикулярна к оси вращения Земли PP_1 и, следовательно, лежит в плоскости экватора QQ_1 , а касание эллипса с цилиндром происходит по среднему меридиану зоны 3 (рис. 6). Зону проектируют с поверхности эллипсоида 2 на поверхность цилиндра 1 . После этого цилиндр разрезается по образующим, на которых лежат точки P и P_1 , и полуцилиндр разворачивается в плоскость. Поворачивая цилиндр последовательно вокруг оси PP_1 на 6° , проектируют последовательно все остальные зоны.

Проектирование эллипсоида на цилиндр выполняется с соблюдением следующих трех условий:

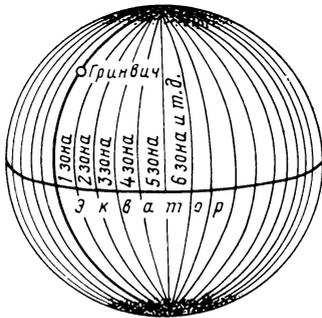


Рис. 5. Координатные зоны на земном шаре

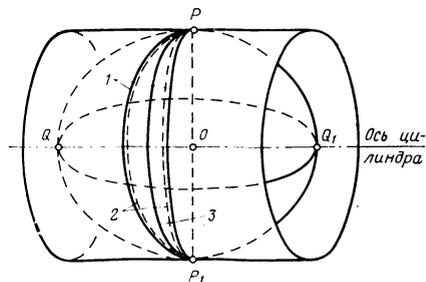


Рис. 6. К понятию о проекции Гаусса

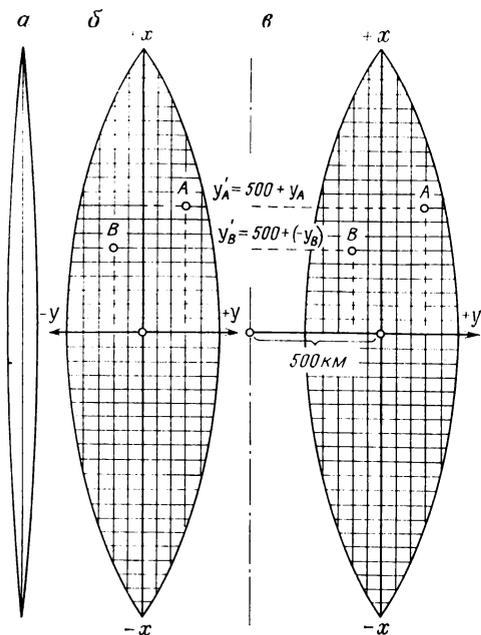


Рис. 7. Система зональных прямоугольных координат Гаусса—Крюгера

1) изображение на плоскости должно быть равноугольным (подобным), иначе говоря, углы фигур, построенных на поверхности эллипсоида, изображаются на плоскости без искажений;

2) осевой (средний) меридиан зоны и экватор изображаются взаимно перпендикулярными прямыми;

3) масштаб изображения вдоль осевого меридиана должен быть равен единице. Это означает, что длины дуг, расположенных на осевом меридиане, переносятся на плоскость без искажений. Масштаб изображения увеличивается при удалении от осевого меридиана к границам зоны. Изображение зоны на плоскости получается не-

сколько более широким, чем на эллипсоиде.

В результате проектирования получаем изображение каждой зоны в проекции на плоскость. На рис. 7, а зона изображена более правдоподобно, чем на рис. 7, б и 7, в, где ширина зоны увеличена по сравнению с длиной примерно в 8 раз. В каждой зоне (рис. 7, б) изображение осевого меридиана принимается за ось абсцисс x , а изображение экватора — за ось ординат y . Началом координат в каждой зоне служит точка пересечения осевого меридиана и экватора. Абсциссы отсчитываются от экватора к северу и югу, ординаты — от осевого меридиана к западу и востоку. К северу от экватора абсциссы положительные, к югу — отрицательные. Ординаты к востоку от осевого меридиана имеют знак плюс, к западу — минус. В северном полушарии абсциссы всегда положительны. Ординаты же могут быть положительными и отрицательными. Например, ордината точки A (см. рис. 7, б) положительна, а точки B — отрицательна. Чтобы не иметь отрицательных ординат, в практике ординату осевого меридиана принимают равной 500 км, как это показано на рис. 7, в. Исправленную указанным образом ординату называют преобразованной. Для однозначного определения положения точки на земной поверхности перед каждой ординатой ставится номер зоны. Поэтому, если ординаты относительно осевого меридиана

12 зоны равны $+36785,15$ м и $-24076,11$ м, то преобразованные ординаты тех же точек будут: $y_1=12536785,15$ м и $y_2=12475923,89$ м.

Для облегчения работы на листах карт наносится координатная сеть квадратов, образованных линиями, параллельными изображениям осевого меридиана (ось x) и экватора зоны (ось y).

ГЛАВА II

ПЛАН И КАРТА

§ 6. План, профиль и разрез

В § 3 мы видели, что горизонтальную проекцию на уровенную поверхность небольшого участка местности можно считать плоскостью (см. рис. 3), пренебрегая при этом кривизной уровенной поверхности Земли. Уменьшенное изображение такой горизонтальной проекции на бумаге будет получено без искажений, следовательно, горизонтальная проекция небольшого участка местности и ее уменьшенное изображение на бумаге подобны.

План — уменьшенное подобное изображение ортогональной проекции небольшого участка местности на бумаге. План во всех своих частях сохраняет масштаб постоянным. Совокупность контуров предметов местности называется ситуацией.

Рельеф — совокупность неровностей земной поверхности. Рельеф местности изображается горизонталями — кривыми линиями, соединяющими точки с одинаковыми высотами над уровнем моря. Имея план местности с изображенным на нем рельефом и зная степень уменьшения, можно определять расстояния между отдельными местными предметами, измерять углы между направлениями на них, вычислять отметки точек, определять углы наклона скатов, площади отдельных участков местности и решать другие задачи.

Профиль — уменьшенное изображение вертикального сечения земной поверхности по тому или иному направлению местности. Следовательно, профиль характеризует рельеф по какому-либо отрезку линии местности.

Разрез — уменьшенное изображение вертикального сечения верхнего слоя земной коры по заданному направлению или горизонтальное сечение недр на заданном горизонте. Разрез наглядно показывает взаимное расположение геометрических элементов напластования или контуры рудных тел в заданном сечении.

§ 7. Масштабы планов

Масштаб — степень уменьшения горизонтальных проекций отрезков линий местности при перенесении их на план. Различают масштабы численный, линейный и поперечный.

Численный масштаб — простая дробь, числитель которой — единица, а знаменатель показывает степень уменьшения отрезков линий местности при перенесении их на план, например, 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000 и т. д. Численный масштаб — отвлеченное число, не имеющее размерности. Поэтому, зная его, можно вести измерения на плане в любой системе линейных мер.

При помощи масштаба приходится решать две типичные задачи: 1) зная длину линии на местности, откладывать ее на плане; 2) измерив расстояние на плане, определить длину линии на местности. Например, на местности измерена линия длиной 836 м, надо определить величину отрезка, соответствующего этой линии на плане масштаба 1 : 5000. Переводим метры в сантиметры, результат делим на знаменатель численного масштаба и получаем $83600/5000 = 16,72$ см. Чтобы определить расстояние на местности по отрезку, равному 10,5 см, на плане масштаба 1 : 2000, надо знаменатель численного масштаба разделить на сто и определить число метров местности в 1 см плана, затем результат умножить на число сантиметров, измеренных на плане: $\frac{2000}{100} 10,5 = 210$ м.

Чем больше дробь, тем крупнее масштаб. На плане крупного масштаба можно показать больше подробностей, а измерения вести более точно, чем на планах мелкого масштаба.

Для упрощения работы пользуются линейным масштабом. Линейным масштабом называется графическое изображение численного масштаба в той или иной системе линейных мер. Для построения линейного масштаба на прямой линии откладывают ряд отрезков одинаковой длины, например, 2 см (рис. 8). Длина такого отрезка называется основанием линейного масштаба. Число метров местности, соответствующее основанию масштаба, называется величиной линейного масштаба. Крайний левый отрезок делят на десять равных частей. Справа от крайнего левого основания ставится 0. Слева от нуля ставится величина масштаба, а вправо проставляются числа, соответствующие одной, двум, трем (и т. д.) величинам масштаба. У крайней правой части линейного масштаба подписывается размерность.

На рис. 8 показан линейный масштаб для численного масштаба 1 : 2000. Основание принято равным 2 см. Величина линейного масштаба в данном случае равна 40 м.

Для определения расстояния при помощи линейного масштаба с плана берется отрезок раствором циркуля-измерителя. Последний прикладывается к масштабу так, чтобы правая

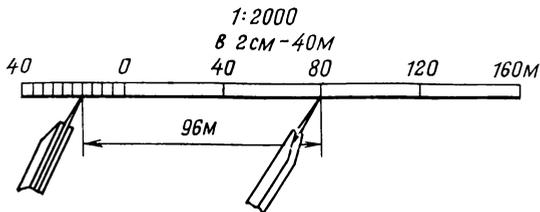


Рис. 8. Линейный масштаб

Рис. 9. Разрешающая способность глаза и предельная графическая точность нанесения точки

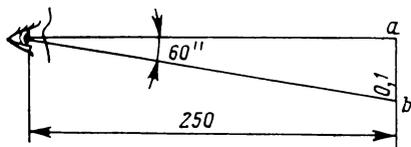
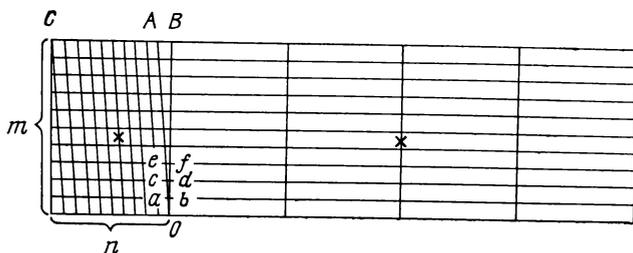


Рис. 10. Поперечный масштаб



ножка совпала с концом одного из оснований справа от нуля, а левая была в пределах крайнего левого основания, как показано на рис. 8.

При определении предельной графической точности нанесения точек на лист бумаги при построении плана следует исходить из возможностей человеческого глаза. Известно, что глаз может различать две точки отдельно, если они видны под углом, равным или большим $60''$ (рис. 9). Если же точки видны под меньшим углом, то глаз воспринимает их слившимися в одну точку. Для расстояния наилучшего зрения, равного 250 мм, дуга, соответствующая углу $60''$, равна 0,073 мм, или округленно 0,1 мм. Исходя из этого, считают, что глаз может различить на плане точку, если она не меньше 0,1 мм. Поэтому принято считать предельной графической точностью построения точки величину $\pm 0,1$ мм. Считают также, что длину отрезка можно оценить с точностью $\pm 0,2$ мм.

Величина отрезка линии местности, соответствующая в масштабе данного плана или карты предельной графической точности 0,1 мм, называется точностью масштаба карты. Для масштабов 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10 000 и 1:25 000 точности масштабов соответственно будут 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5 м.

Очевидно, что с помощью линейного масштаба невозможно делать построения на плане с предельной графической точностью, равной 0,1 мм. Построение плана с предельной графиче-

ской точностью осуществляют с помощью поперечного масштаба, который строится следующим образом (рис. 10). Выбирается основание масштаба BC , которое несколько раз откладывается на прямой. Затем на концах оснований восставляются перпендикуляры одинаковой высоты. Крайнее левое основание BC делится на n (обычно $n=10$), а перпендикуляры делятся на m (обычно $m=10$) равных частей, и через концы отрезков проводятся линии, параллельные исходной прямой.

В пределах крайнего левого основания проводят наклонные линии. Из подобия треугольников Oab , Ocd , Oef и OAB следует, что

$$\frac{ab}{AB} = \frac{Ob}{OB} = \frac{1}{m}, \quad \frac{cd}{AB} = \frac{Od}{OB} = \frac{2}{m},$$

$$\frac{ef}{AB} = \frac{Of}{OB} = \frac{3}{m}, \dots \text{ и т. д.} \quad (\text{II.1})$$

Отсюда

$$ab = \frac{1}{m} AB, \quad cd = \frac{2}{m} AB, \quad ef = \frac{3}{m} AB, \dots \text{ и т. д.}$$

Принимая во внимание, что $AB = CB/n$,

$$ab = \frac{CB}{nm}, \quad cd = \frac{2CB}{nm}, \quad ef = \frac{3CB}{nm}, \dots \text{ и т. д.} \quad (\text{II.2})$$

Величина $CB/(nm) = ab = t$ называется точностью поперечного масштаба.

Если принять $n=m=10$, то при основании $CB=20$ мм получим $ab=0,2$ мм; $cd=0,4$ мм; $ef=0,6$ мм и т. д. Поперечный масштаб с основанием 2 см и $n=m=10$ называется нормальным сотенным масштабом. Такие поперечные масштабы гравируются на металлических пластинках и используются при построении карт и планов. На рис. 10 изображен нормальный сотенный масштаб. Если принять численный масштаб равным 1:2000, то расстояние между крестиками соответствует 97,8 м на местности. При численном масштабе 1:5000 это расстояние составит 244,5 м.

§ 8. Понятие о карте

В § 3 было отмечено, что при изображении участков местности протяженностью более 20 км возникает необходимость учитывать кривизну Земли. Изображение Земли на сферической поверхности неудобно, так как глобус даже масштаба 1:1 000 000 будет иметь радиус 6,4 м. С другой стороны, развернуть сферическую поверхность в плоскость без разрывов и

складок нельзя, следовательно, проектирование сферической поверхности на плоскость возможно только с искажениями.

Изображения больших участков земной поверхности на плоскости, построенные по определенным математическим законам с учетом кривизны Земли, называются *картами*. При построении карты предполагают, что сначала поверхность Земли изображается на глобусе определенного размера, а затем с его поверхности переносится на плоскость. Перенос сводится к построению на плоскости бумаги сетки параллелей и меридианов глобуса, называемой *картографической сеткой*, внутри которой наносят контуры местных предметов и рельеф.

Математический закон построения картографической сетки на плоскости называется *картографической проекцией*.

Существенным отличием карты от плана является закономерное изменение ее масштаба от точки к точке, тогда как на плане масштаб постоянен во всех его частях. На картах имеются направления (обычно одна из параллелей или один из меридианов), по которым масштаб постоянен и равен масштабу глобуса, положенному в основу построения карты. Масштаб по таким направлениям называется *главным*. В остальных частях карты масштабы отличаются от главного и называются *частными*.

По характеру и содержанию географические карты подразделяются на *общегеографические* и *специальные*. На общегеографических картах изображают земную поверхность во всем ее многообразии. Они содержат изображения рельефа, гидрографии, растительного покрова, населенных пунктов, дорожной сети и т. д. На специальных картах наиболее подробно показывают один из элементов общегеографической карты (например, рельеф, пути сообщения и т. п.), остальные элементы даны схематично или вообще отсутствуют.

Общегеографические карты масштаба 1 : 1 000 000 и крупнее называются *топографическими*. Карты масштаба 1 : 100 000 и крупнее, как правило, получают в результате непосредственной съемки местности. Топографические карты могут составляться и камеральным путем, если для данной территории имеются топографические съемки в более крупном масштабе.

§ 9. Условные обозначения местных предметов и рельефа на планах и картах

Местные предметы и рельеф на планах и картах изображают при помощи *условных топографических обозначений*, или *условных знаков*. Отбор этих элементов местности зависит от масштаба плана или карты. Условные знаки должны давать наглядное представление о местности, изображаемых объектах и содействовать пониманию содержания плана или карты. Для

этого условным знакам придают очертания, по возможности напоминающие вид и характер изображаемых предметов местности.

Условные знаки местных предметов делятся на площадные (контурные), внемасштабные и линейные (ГОСТ 21667—76). Масштабными и контурными условными знаками изображаются объекты, занимающие большие площади, например, леса, пашни, огороды, болота, плантации, озера и т. п. Контурными они называются потому, что при уменьшении сохраняют очертания контуров, а масштабными — потому, что с помощью масштаба можно определить натуральные размеры снятого объекта. Внемасштабными условными знаками (рис. 11, поз. 4) изображаются предметы и объекты съемки, которые не могут быть показаны контурными знаками в масштабе данного плана. Они не сохраняют подобия с изображаемым предметом, а лишь указывают его местоположение. Положение предмета на карте, обозначенного внемасштабным условным знаком, определяется одной точкой этого знака. Так, положение колодца определяется центром кружка, а положение отдельного дерева, километрового столба или мельницы — вершиной прямого угла у основания знака (угол между вертикальной линией значка и подсечкой).

Условные обозначения автогужевых и железных дорог и границ занимают среднее положение между контурными и внемасштабными знаками: длина их изображена в масштабе карты, а ширина увеличена против действительных размеров, вследствие чего значение ширины подписывают в разрыве условного знака. Такие условные знаки называются линейными. Некоторые линейные условные знаки показаны на рис. 11, поз. 3).

Контурные условные знаки вычерчиваются на плане или в виде пунктиров, если этот контур недостаточно четко выделяется на местности (например, контур между лесом и кустарником, лугом и болотом и т. д.), или в виде линий, если контур имеет четкие границы (например, кварталы населенного пункта или огражденные участки местности). Внутри контуры заполняют условными знаками, например: леса — кружками, луга — вертикальными черточками и т. д. (рис. 11, поз. 1). Условные знаки на картах разных масштабов имеют, как правило, различные размеры, но одинаковое начертание. Это облегчает изучение условных знаков и чтение карт.

На топографических картах применяются также и пояснительные условные знаки (например, знаки, обозначающие породу и возраст леса — лиственный, хвойный, спелый, молодой и т. д.). Для более полной характеристики местности на картах применяют пояснительные надписи, например, около условных знаков мостов в виде простой дроби показывают в числителе длину и ширину моста в метрах, а в знаменателе его грузоподъемность в тоннах. Число под надписью названия

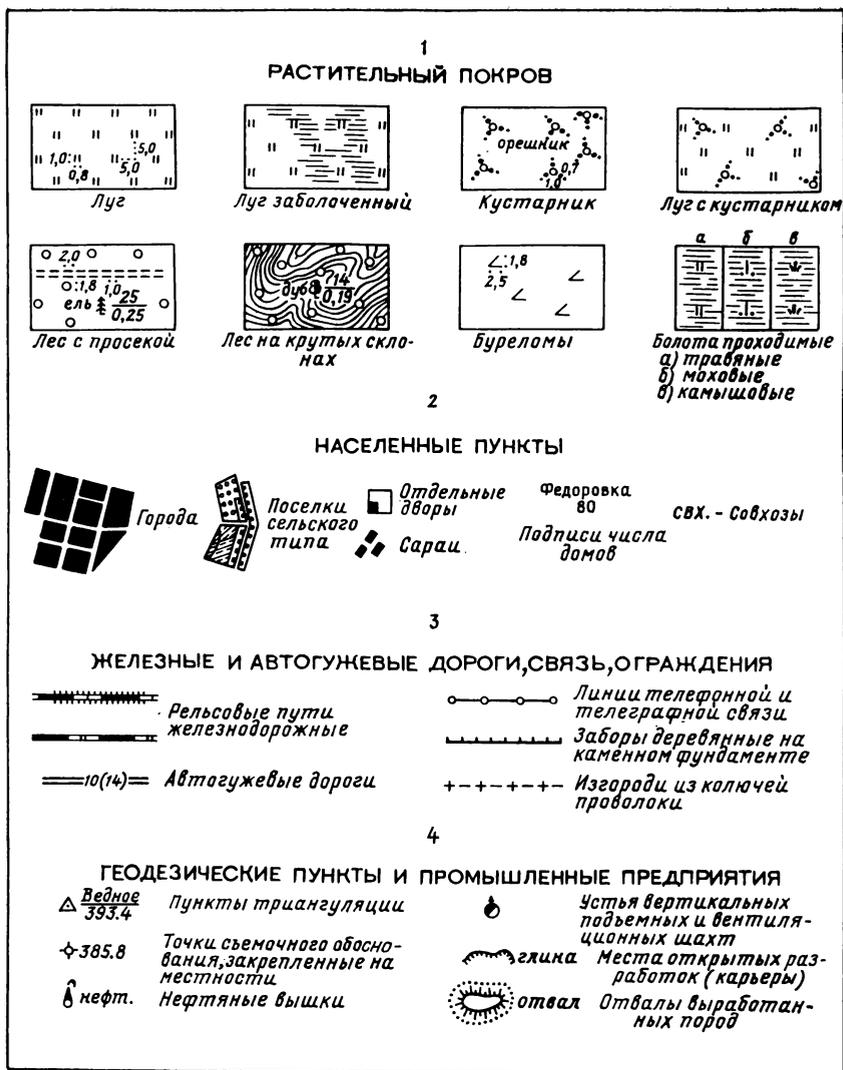


Рис. 11. Условные знаки местных предметов

населенного пункта показывает количество дворов (рис. 11, поз. 2).

Условные знаки должны вычерчиваться так, чтобы карта легко читалась. Для большей выразительности карты издаются в красках. Болота окрашиваются желто-зеленой краской, поверхности озер и рек — голубой.

В зависимости от масштаба карты или плана местные предметы показывают с различной подробностью. Например, если

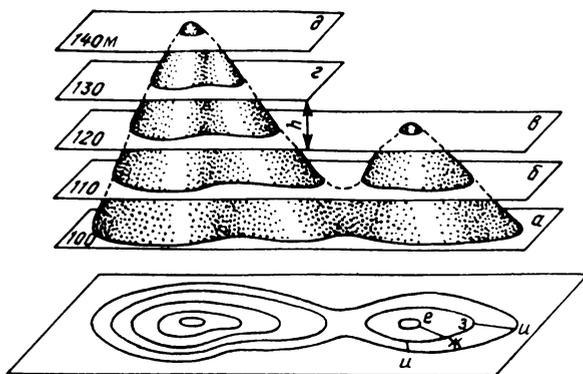


Рис. 12. Схема построения горизонталей

на плане масштаба 1 : 2000 в населенном пункте показаны не только отдельные дома, но и их форма, то на карте масштаба 1 : 50 000 — только кварталы, а на карте масштаба 1 : 1 000 000 весь населенный пункт обозначается в виде небольшого кружка. Такое обобщение элементов ситуации и рельефа при переходе от более крупных масштабов к более мелким называют их генерализацией. Оно требует хороших знаний топографии, геоморфологии и достаточного опыта в составлении карт.

Изображение рельефа на планах и картах имеет важное значение потому, что рельеф оказывает большое влияние на жизнь и деятельность человека, на проекты инженерных сооружений. Особое значение приобретает изображение рельефа на картах при решении военно-тактических задач. Большое многообразие форм рельефа местности вызывает, на первый взгляд, представление о невозможности точного изображения его на плане. Неопытный глаз не может заметить закономерностей в неровностях земной поверхности. Однако рельеф образуется и разбивается вполне закономерно.

Самым совершенным методом изображения рельефа в настоящее время является *метод горизонталей*. Для того чтобы уяснить метод изображения рельефа горизонталями, представим себе остров, который постепенно затопляется водой. Береговая линия, окаймляющая остров, является лучшей иллюстрацией понятия горизонтали. Пусть на рис. 12 уровень воды *а* соответствует абсолютной отметке 100 м. Затем уровень воды повысился на 10 м, и береговая линия *б* теперь окаймляет остров на высоте 110 м от уровня моря. Уровень воды в положениях *в*, *г* и *д* дает соответственно горизонтали, соединяющие точки с абсолютными отметками 120, 130 и 140 м. Если теперь береговые линии спроектировать на горизонтальную плоскость и уменьшить их согласно масштабу карты, то получится ряд замкнутых кривых линий, изображающих горизонтали рельефа.

Интервал по высоте, через который проводятся соседние горизонтали (в нашем случае 10 м), является высотой сечения рельефа, а расстояние между горизонталями в плане — заложением (*еж, зп*).

При изучении метода изображения рельефа горизонталями нужно помнить, что они являются линиями местности, соединяющими точки с одинаковой высотой, а также следы сечения рельефа горизонтальными плоскостями, проводимыми через один и тот же интервал по высоте, называемый высотой сечения. В тех местах, где склоны круче, горизонтали располагаются ближе друг к другу (при постоянной высоте сечения), следовательно, по заложениям между горизонталями на плане можно судить о крутизне склона. Изгибы горизонталей дают возможность определять форму рельефа.

Для облегчения чтения рельефа и определения направления ската на картах ставят скатштрихи (бергштрихи), перпендикулярные к горизонталям в направлении стока воды, а в разрывах горизонталей подписывают их отметки так, чтобы основание цифр было направлено вниз по склону. Горизонталю, их отметки и бергштрихи вычерчиваются коричневой тушью (жженой сиеной).

Выделяют шесть основных форм рельефа земной поверхности (рис. 13).

Гора, холм — выпуклые куполообразные возвышенности земной поверхности. Самая высокая часть горы или холма называется вершиной. От вершины во все стороны идут склоны или скаты. Линия перехода скатов горы в равнину называется подошвой. Гора от холма отличается размерами и крутизной скатов. Изображают горы и холмы замкнутыми горизонталями со скатштрихами, направленными от горизонтали к подошве.

Хребет — вытянутая в одном направлении возвышенность. Обычно это ответвление от горы или холма. Линия, идущая вдоль хребта, от которой в обе стороны отходят скаты и которая определяет направление стока воды, называется водоразделом. Хребет изображается выпуклыми горизонталями. Причем выпуклости их направлены к понижению.

Котловина — замкнутая чашеобразная впадина земной поверхности. Самая нижняя точка котловины называется дном. От нее во все стороны поднимаются склоны. Верхний край котловины называется бровкой. Котловина, так же как и гора, изображается замкнутыми горизонталями, но скатштрихи при этом направлены к дну котловины. Котловины с крутыми склонами называются в о р о н к а м и.

Лощина — вытянутое в одном направлении углубление земной поверхности с дном, постепенно понижающимся в этом направлении. По дну лощины проходит линия водослива, от которой в обе стороны поднимаются склоны. Широкая выположенная лощина называется долиной. Глубокие и узкие лощины в горной местности с крутыми (обычно каменистыми) склонами

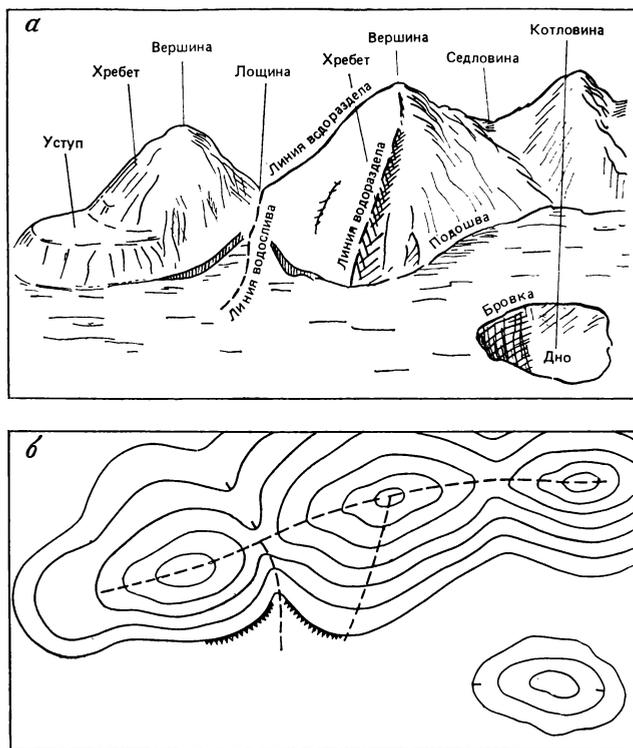


Рис. 13. Основные формы рельефа (а) и их изображение горизонталями (б)

называются ущельями. Узкие с обрывистыми незадернованными берегами лощины, образующиеся на склонах гор и долин под действием текущих вод, называются оврагами. Лощины и долины изображаются вогнутыми горизонталями, причем вогнутости направлены к понижению местности. Овраг изображается зубчиками, как это показано на рис. 13, б. Котловины и лощины относят к отрицательным формам рельефа.

Уступ или *терраса* — площадка на скате в местах резкого перехода от крутого склона к пологому. Линия, отделяющая крутой скат от пологого, называется *перегибом ската*; изображаются уступы и террасы горизонталями, как это показано на рис. 13, б; очень крутые, отвесные склоны называются *обрывами*, они изображаются зубчиками.

Седловина — участок земной поверхности, расположенной на хребте между соседними вершинами. От этого участка в обе стороны в поперечном направлении к водораздельной линии идут понижения — лощины. Изображение седловины показывается

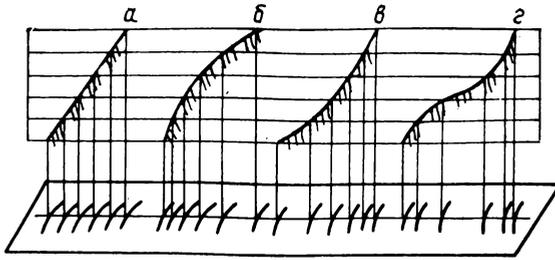


Рис. 14. Формы скатов

горизонталями, обращенными своими выпуклостями к ней (рис. 13, б). В горной местности седловины совпадают с перевалами.

Вершина горы, дно котловины и седловина называются *характерными точками рельефа*. Линии водораздела и водослива называются *характерными линиями рельефа*.

Формы рельефа образуются сочетанием наклонных поверхностей — *скатов*, которые бывают ровные, выпуклые, вогнутые и смешанные (соответственно позиции а, б, в, г на рис. 14).

Ровный скат на всем протяжении имеет одну и ту же крутизну. Выпуклый скат круче к подошве, вогнутый — к вершине. Если скат переходит из ровного в выпуклый или вогнутый (и т. д.), то скат называется *смешанным*. Линия, по которой меняется крутизна ската, называется *перегибом ската*.

Если скат ровный, то горизонтали располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга. При выпуклом скате расстояние между горизонталями у подошвы меньше, у вершины больше; при вогнутом — у подошвы больше, у вершины меньше.

Чем резче колебания высот рельефа, тем больше должна быть высота сечения. Чем крупнее масштаб карты, тем меньше выбирается высота сечения, и наоборот, чем мельче масштаб карты, тем больше берется высота сечения.

Часто при изображении рельефа некоторые его детали не могут быть выражены горизонталями установленного сечения, так как попадают между этими сечениями. В таких случаях проводят дополнительные горизонтали — *полугоризонтал*и с высотой сечения, равной половине основного. В отличие от основных горизонталей, которые изображаются сплошными тонкими линиями, полугоризонтали проводятся прерывистыми линиями. Для изображения более мелких деталей рельефа используются *вспомогательными* горизонталями, которые проводятся через четверть сечения рельефа и изображаются так же, как и полугоризонтали, прерывистыми линиями, но с более короткими черточками.

Для улучшения выразительности рельефа и облегчения чтения карты каждая пятая (иногда четвертая) основная горизонталь утолщается — такие горизонтالي называются утолщенными.

На топографических картах горизонталями изображаются формы рельефа, у которых крутизна скатов не превышает 45° . При изображении скатов с большой крутизной, когда горизонтали сливаются, пользуются особыми условными знаками рельефа — зубчиками, штрихами (см. рис. 13, б).

К числу дополнительных знаков при изображении рельефа горизонталями относятся также подписи отметок вершин, глубин оврагов и других высот, характеризующих рельеф.

ГЛАВА III

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

§ 10. Ориентирование линий и ориентирующие углы

Ориентировать линию — значит определить ее направление относительно *исходного*. За исходные в геодезии принимаются направления истинного (географического) и магнитного меридианов, а также изображение осевого (истинного) меридиана зоны. Истинным, или географическим, меридианом называется линия пересечения земной поверхности плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли (см. рис. 4); магнитным — направление оси магнитной стрелки компаса, расположенного в данной точке; осевым — средний истинный меридиан зоны.

Направление истинного меридиана определяется из астрономических наблюдений. Оно может быть определено также при помощи гиротеодолита — инструмента, состоящего из теодолита, совмещенного с точным гирокомпасом, при помощи которого нуль лимба теодолита может быть ориентирован по направлению истинного меридиана, проходящего через точку стояния гиротеодолита.

Направление магнитного меридиана определяется направлением оси магнитной стрелки. Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с истинным в данной точке (рис. 15), а образует с ним угол δ , называемый *склонением магнитной стрелки*. Если северный конец магнитной стрелки отклоняется на запад от северного конца истинного (географического) меридиана, то склонение магнитной стрелки называют западным и записывают его со знаком минус, если же стрелка отклоняется на восток, то склонение называют восточным и придают ему знак плюс (см. рис. 15). Зная направление и склонение магнитной стрелки в данной точке, можно определить направление истинного меридиана.

Положения линий относительно исходных направлений определяются *ориентирующими углами*, называемыми азимутами, дирекционными углами и румбами.

Истинным азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана в данной точке до данного направления. Истинный азимут изменяется от 0 до 360° (рис. 16, а). Возьмем на местности линию OB и через точку O проведем направление истинного меридиана (рис. 16, б). Образовавшийся угол A будет истинным азимутом линии OB . Проведем теперь истинный меридиан в точке B . Меридиан в точке B не будет параллелен истинному, проходящему через точку O . Это объясняется тем, что все меридианы из-за шарообразности Земли пересекаются у полюсов. Проведем через точку B линию, параллельную меридиану точки O . Образовавшийся между этими линиями угол γ называется сближением меридианов. Продолжим линию OB за точку B . Образовавшийся азимут A' в точке B не равен азимуту A в точке O , и разность их составляет

$$\gamma = A' - A. \quad (\text{III.1})$$

Из выражения (III.1) следует, что истинные азимуты одной и той же прямой линии в разных ее точках не равны друг другу и отличаются на величину сближения меридианов γ данных точек. Для определения величины сближения меридианов в сечках пользуются приближенной формулой

$$\gamma'' = \frac{l\rho''}{R} \operatorname{tg} \varphi, \quad (\text{III.2})$$

$$\text{или } \gamma = \Delta\lambda \sin \varphi,$$

где l — длина дуги параллели между меридианами, проходящими через конечные точки линии; R — радиус земного шара; φ — широта средней точки ориентируемой линии; $\Delta\lambda$ — разность долгот конечных точек линии; ρ — число угловых единиц в радиане, равное 57,3°, 3438' или 206265''.

На основании формулы (III.2) составлена таблица сближения меридианов на 1 км дуги параллели (табл. 1).

Угол A в точке O называется прямым, а угол A_1' в точке B обратным азимутом линии OB (рис. 16, б) и наоборот,

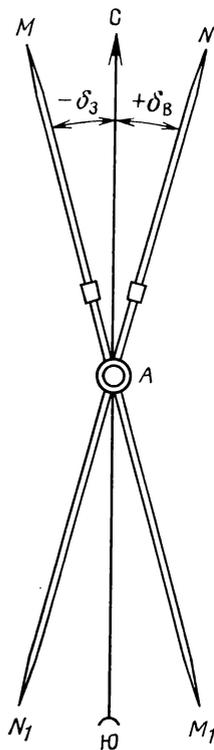


Рис. 15. Склонение магнитной стрелки

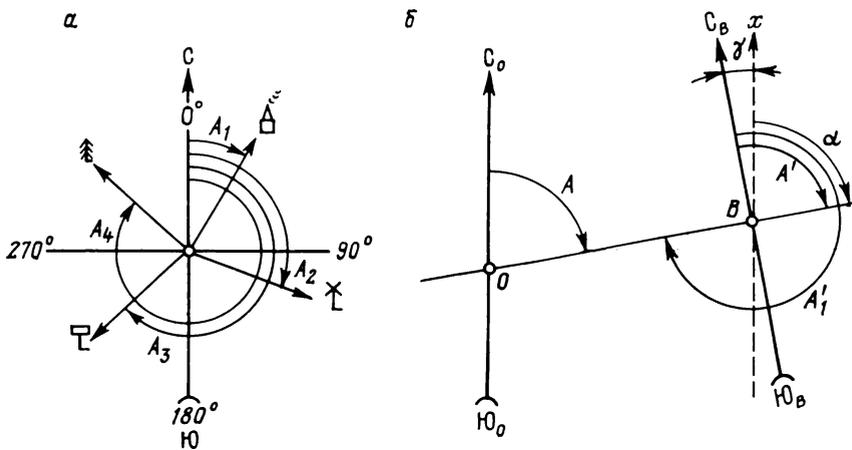


Рис. 16. Истинные азимуты

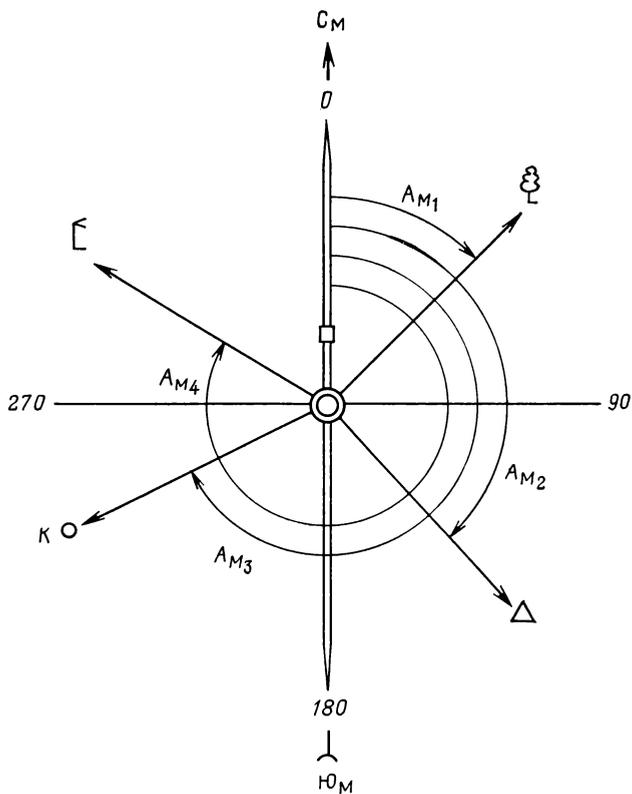


Рис. 17. Магнитные азимуты

Таблица 1

φ°	γ'	φ°	γ'	φ°	γ'
30	18,7	45	32,4	60	56,1
35	23,3	50	38,6	65	69,4
40	27,2	55	46,2	70	89

угол A_1' является прямым, а угол A обратным азимутом линии BO . Следовательно, обратный азимут линии OB

$$A_1' = A + \gamma \pm 180^\circ.$$

Магнитным азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного конца оси магнитной стрелки в данной точке до данного направления. Магнитный азимут также изменяется от 0 до 360° (рис. 17). Следовательно, он отличается от истинного только исходным направлением, т. е. началом отсчета.

Дирекционный угол — это горизонтальный угол, отсчитываемый на плоскости от северного направления осевого меридиана $COЮO$ или линии, параллельной ему (от положительного направления оси x), до данного направления (см. рис. 16, б).

В отличие от азимутов дирекционные углы α прямой линии постоянны на всем ее протяжении, что делает применение этих углов весьма удобным. Введение понятия дирекционного угла позволяет связать ориентирующие углы на поверхности Земли (истинные и магнитные азимуты) с ориентирующими углами на плоскости в проекции Гаусса — Крюгера. Иногда для ориентирования линий на местности пользуются румбами — острыми углами, отсчитываемыми от ближайшего конца (северного или южного) исходного направления до данного по ходу или против хода часовой стрелки.

§ 11. Связь между ориентирующими углами

Пусть на рис. 18 $СЮ$ — направление истинного меридиана, NN_1 — магнитного меридиана при восточном склонении $+\delta_B$ и MM_1 — направление магнитного меридиана при западном склонении $-\delta_B$. Из рисунка следует, что истинный азимут при восточном склонении равен магнитному плюс абсолютное значение склонения магнитной стрелки, т. е.

$$A = A_m + |\delta_B|.$$

При западном склонении истинный азимут равен магнитному минус абсолютное значение склонения, т. е.

$$A = A_m - |\delta_B|.$$

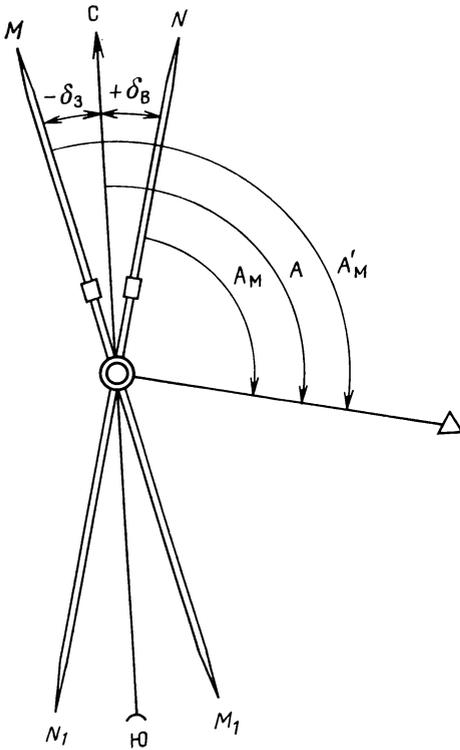
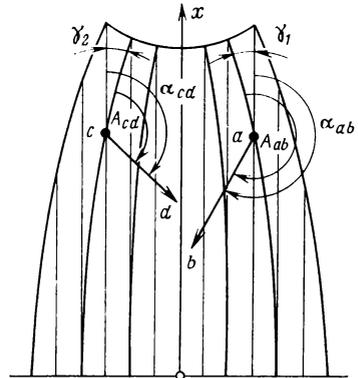


Рис. 18. Связь между истинным и магнитным азимутами

Рис. 19. Связь между истинными азимутами и дирекционными углами



Считая восточное склонение положительным, а западное отрицательным, истинный азимут будет равен алгебраической сумме магнитного азимута и склонения магнитной стрелки:

$$A = A_{\text{м}} + \delta. \quad (\text{III.3})$$

Величина склонения магнитной стрелки в различных точках земной поверхности неодинакова и меняется во времени. На территории СССР склонение может достигать 20° . В 1965 г. в Москве оно было около $10^\circ 30'$. Наличие склонения магнитной стрелки обуславливается несовпадением магнитных полюсов Земли с географическими, а также наличием местных магнитных аномалий. Величина склонения меняется во времени. Вековые изменения с периодом в 500 лет могут достигать отклонений от среднего значения до $22^\circ,5$. Изменения магнитного склонения в пределах суток -1° и более, а в среднем составляют $15'$. Поэтому ориентирование линий по магнитному меридиану выполняется с относительно малой точностью и допускается при съемках небольших площадей.

При составлении карт прибегают к ориентированию только по истинному меридиану. Установим зависи-

мость между истинным азимутом и дирекционным углом на плоскости в проекции Гаусса. Пусть на рис. 19 жирными линиями показаны изображения истинных меридианов, а тонкими — вертикальные линии координатной сетки, параллельные изображению осевого меридиана. Возьмем два направления: ab — расположенное на восток от осевого меридиана, а другое — cd — на запад. Из рисунка следует, что углы A_{ab} и A_{cd} являются истинными азимутами, а углы α_{ab} и α_{cd} — соответственно дирекционными углами этих линий. Очевидно, что истинные азимуты отличаются от дирекционных углов на величины сближений меридианов γ_1 и γ_2 . Поэтому для определения дирекционного угла α_{ab} линии, расположенной на восток от осевого меридиана, нужно из истинного азимута A_{ab} вычесть сближение меридианов γ_1 ($\alpha_{ab} = A_{ab} - \gamma_1$), а для определения дирекционного угла α_{cd} линии, расположенной на запад от осевого меридиана, следует к истинному азимуту A_{cd} прибавить сближение γ_2 ($\alpha_{cd} = A_{cd} + \gamma_2$).

Если же сближения меридианов в точках, расположенных на восток от осевого меридиана, придавать знак плюс, а сближения меридианов в точках, расположенных на запад, — знак минус, то дирекционный угол будет всегда определяться алгебраической разностью между истинным азимутом линии и сближением меридиана данной точки с осевым меридианом зоны:

$$\alpha = A - \gamma. \quad (\text{III.4})$$

Подставив значение A из выражения (III.3), получим

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma = A_m + P. \quad (\text{III.5})$$

Величина $P = \delta - \gamma$ называется поправкой за склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.

На рис. 20 показаны румбы направлений, находящихся в разных четвертях. В геодезии, в отличие от математики, ориентирующие углы отсчитываются (за исключением румбов) по ходу часовой стрелки и поэтому четверти нумеруются так же.

Так как румбы изменяются от 0 до 90° и в каждой четверти могут быть одинаковыми по величине, для однозначного определения направления необходимо перед числовым значением румба указывать четверть относительно стран света. В первой четверти ставят СВ — северо-восток, во второй ЮВ — юго-восток, в третьей ЮЗ — юго-запад и в четвертой СЗ — северо-запад. Пусть $r_1 = 30^\circ 15'$; $r_2 = 65^\circ 30'$; $r_3 = 45^\circ 00'$ и $r_4 = 45^\circ 15'$ (рис. 20), тогда эти румбы будут иметь следующую запись: СВ : $30^\circ 15'$; ЮВ : $65^\circ 30'$; ЮЗ : $45^\circ 00'$ и СЗ : $40^\circ 16'$.

В зависимости от исходного направления румбы могут быть истинными, магнитными или дирекционными. Числовые значения румбов называют табличными углами. Все тригонометрические таблицы и таблицы приращений координат построены для углов в пределах от 0 до 90° , и для работы

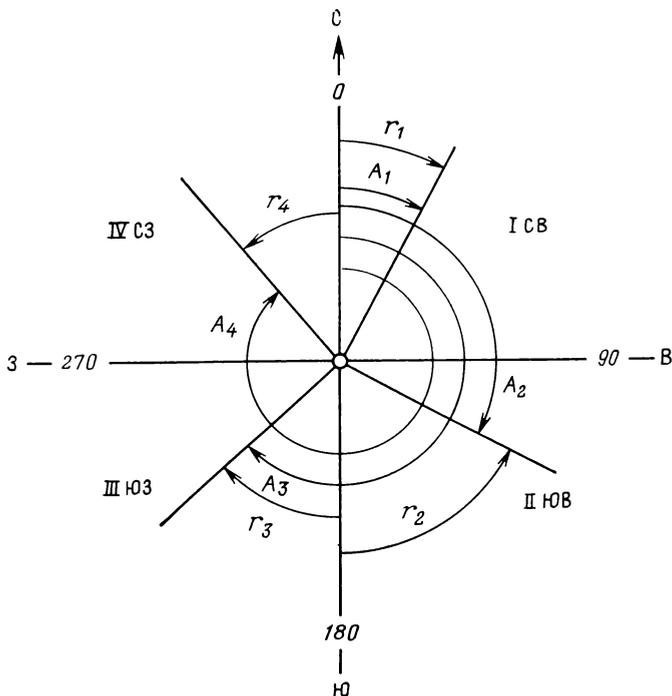


Рис. 20. Связь между азимутами и румбами

с ними приходится приводить углы, большие 90° , к первой четверти.

В табл. 2 показана связь между румбами и азимутами или дирекционными углами.

Таблица 2

Ориентирующие углы	I четверть (СВ)	II четверть (ЮВ)	III четверть (ЮЗ)	IV четверть (СЗ)
Румб или табличный угол	$r_1 = A_1$	$r_2 = 180^\circ - A_2$	$r_3 = A_3 - 180^\circ$	$r_4 = 360^\circ - A_4$
Азимут или дирекционный угол A	$A_1 = r_1$	$A_2 = 180^\circ - r_2$	$A_3 = 180^\circ + r_3$	$A_4 = 360^\circ - r_4$

§ 12. Прямая и обратная геодезические задачи

В геодезической практике встречаются две типичные задачи — прямая и обратная.

Прямая геодезическая задача. Даны координаты первой точки x_1 и y_1 , горизонтальное расстояние от первой до

второй точки d и дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ линии 1—2. Нужно определить координаты x_2 и y_2 второй точки.

Спроектируем точки 1 и 2 на оси координат (рис. 21). Проекция линии d на ось x будет равна $\Delta x_{1,2} = x_2 - x_1$, а на ось y — $\Delta y_{1,2} = y_2 - y_1$.

Из прямоугольного треугольника $1a2$ находим

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= d \cos \alpha_{1,2}; \\ \Delta y &= d \sin \alpha_{1,2}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.6})$$

И далее координаты точки 2:

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1,2}; \quad y_2 = y_1 + \Delta y_{1,2}.$$

В зависимости от величины дирекционного угла приращения координат могут иметь различные знаки. Знаки приращений определяются знаками тригонометрических функций (\sin и \cos) соответствующей четверти. В табл. 3 показана зависимость между дирекционными углами и знаками приращений координат.

Обратная геодезическая задача. Даны координаты x_1 и y_1 первой и x_2 и y_2 второй точек (см. рис. 21). Нужно определить дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ линии 1—2 и горизонтальное расстояние d . Зная координаты первой и второй точек, определим приращения координат

$$\Delta x = x_2 - x_1; \quad \Delta y = y_2 - y_1.$$

Согласно равенству (III.6) отношение Δy и Δx позволяет определить тангенс угла $\alpha_{1,2}$:

$$\text{tg } \alpha_{1,2} = \Delta y / \Delta x = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1).$$

Угол, полученный по тангенсу из таблиц натуральных значений тригонометрических функций, представляет собой табличный угол $r_{1,2}$. Для перехода от табличного угла к дирекционному необходимо учитывать знаки приращений координат, зависящие от знаков тригонометрических функций (\sin и \cos). Пусть, например, Δy имеет знак минус, а Δx — знак плюс. Тогда, очевидно, $\sin \alpha_{1,2}$ отрицательный, а $\cos \alpha_{1,2}$ положитель-

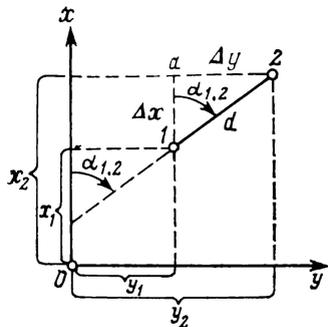


Рис. 21. Прямая и обратная геодезические задачи

Таблица 3

Приращения координат	Дирекционные углы			
	0—90° (I четверть)	90—180° (II четверть)	180—270° (III четверть)	270—360° (IV четверть)
Δx	+	—	—	+
Δy	+	+	—	—

ный. Следовательно, направление располагается в IV четверти (см. табл. 3), а дирекционный угол рассчитывается по формуле $\alpha_{1,2} = 360^\circ - r_{1,2}$ (см. табл. 2). Дирекционный или табличный угол получают из таблиц натуральных значений тригонометрических функций. Далее из этих же таблиц выбирают значения $\sin \alpha_{1,2}$ и $\cos \alpha_{1,2}$ и определяют расстояние d по формулам:

$$d = \Delta y / \sin \alpha_{1,2} = (y_2 - y_1) / \sin \alpha_{1,2};$$

$$d = \Delta x / \cos \alpha_{1,2} = (x_2 - x_1) / \cos \alpha_{1,2}.$$

Расстояние можно определить по теореме Пифагора из прямоугольного треугольника $1a2$ (см. рис. 21):

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

ГЛАВА IV

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

§ 13. Свойства случайных погрешностей измерений

Измерить величину X — значит сравнить ее с однородной ей величиной q , принятой за единицу меры. Результатом измерения является число l , показывающее, сколько раз единица меры содержится в измеряемой величине. Число l может оказаться целым и дробным. Результаты измерений подразделяют на необходимые и дополнительные (избыточные). Так, если одна и та же величина (длина линии, угол треугольника и пр.) измерена n раз, то один из результатов измерения является необходимым, а остальные $(n-1)$ — дополнительными. Дополнительные измерения имеют важное значение: их сходимость является средством контроля и позволяет судить о качестве результатов измерения. Они позволяют получить более надежное значение искомой величины по сравнению с любым отдельно взятым результатом измерения.

Все измерения сопровождаются *погрешностями*. Различают грубые, систематические и случайные погрешности.

Грубые погрешности возникают в результате просчетов, сделанных наблюдателем в процессе измерений, например, просчет в целую ленту. Эти погрешности выявляются повторными или контрольными измерениями. Правильно организованные работы, как правило, исключают появление грубых погрешностей.

Систематическими называются погрешности, входящие в результат измерения по некоторому закону и возникаю-

щие от некачественного изготовления или юстировки инструментов, влияния факторов внешней среды (изменения температуры воздуха и т. д.), личных погрешностей. Правильная организация измерений позволяет, в основном, исключить систематические погрешности.

Случайные погрешности неизбежны в процессе измерений и не могут быть исключены. Изучение свойств этих погрешностей позволяет разработать методы оценки точности результатов измерений и определить вероятнейшие значения измеряемых величин. Обозначим через X точное значение некоторой величины, а через l — результат ее измерения. Пусть результат измерения свободен от грубых и систематических погрешностей, тогда величина и знак случайной погрешности

$$\delta = l - X.$$

Исследования показывают, что *случайные погрешности обладают следующими свойствами:*

- 1) для данных условий измерений они не могут превышать по абсолютной величине известного предела;
- 2) положительные погрешности появляются так же часто, как и равные им по абсолютной величине отрицательные;
- 3) среднеарифметическое из случайных погрешностей измерений одинаковой точности одной и той же величины неограниченно стремится к нулю с увеличением числа измерений;
- 4) малые по абсолютной величине погрешности появляются чаще больших.

Третье свойство вытекает из предыдущих. Действительно, взяв достаточно большой ряд измерений одной и той же величины X , получим ряд случайных погрешностей:

$$\delta_1 = l_1 - X;$$

$$\delta_2 = l_2 - X;$$

.

$$\delta_n = l_n - X.$$

Положительные погрешности компенсируются отрицательными, вследствие чего среднее арифметическое из случайных погрешностей будет стремиться к нулю:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n}{n} = 0.$$

Если воспользоваться обозначением, предложенным Гауссом для суммы $\Sigma \delta = [\delta]$, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\delta]}{n} = 0. \tag{IV.1}$$

§ 14. Среднее арифметическое из результатов измерений

Пусть $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ — результаты одинаково точных измерений величины, истинное значение которой X . Тогда истинные погрешности:

$$\delta_1 = l_1 - X;$$

$$\delta_2 = l_2 - X;$$

.

$$\delta_n = l_n - X.$$

Сложив эти равенства, получим

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n = (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) - nX,$$

или, пользуясь обозначением суммы по Гауссу,

$$[\delta] = [l] - nX;$$

$$\text{отсюда } X = \frac{[l]}{n} - \frac{[\delta]}{n}.$$

Учитывая выражение (IV.1) и обозначая $[l]/n = x_0$, можно записать

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_0 = X$$

— среднее арифметическое, или арифметическая середина, из результатов измерений $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ при неограниченном увеличении n стремится к истинному значению измеряемой величины X . При конечном числе измерений арифметическую середину из результатов измерений называют вероятнейшим значением измеряемой величины.

15. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности

Среднее арифметическое из случайных погрешностей не может быть объективно характеризовать точность ряда измерений, так как на его величину оказывают влияние знаки случайных погрешностей (происходит компенсация), и, кроме того, оно не отражает влияния отдельных больших по абсолютной величине погрешностей. Поэтому для оценки степени точности ряда равноточных* измерений $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ одной и той же величины X , сопровождавшихся случайными погрешностями $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$,

* Измерения, произведенные в условиях, позволяющих считать все результаты одинаково надежными, называются равноточными.

δ_n , пользуются средней квадратической погрешностью

$$m = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2}{n}},$$

или $m = \sqrt{[\delta^2]/n}$. (IV.2)

Эта величина не зависит от знаков случайных погрешностей, отражает влияние больших по абсолютной величине погрешностей и хорошо согласуется по величине со средним значением ряда случайных погрешностей, для которого она вычисляется.

Пример. Пусть дан ряд случайных погрешностей измерения некоторой величины: +4; -2; 0; -4; +3. Найдем, пользуясь формулой (IV.2), среднюю квадратическую погрешность

$$m = \sqrt{\frac{16 + 4 + 0 + 16 + 9}{5}} = \pm 3.$$

Предельной погрешностью называют такое наибольшее по абсолютной величине значение случайной погрешности, которого оно может достигнуть при данных условиях измерений. Установлено, что случайная погрешность может достигнуть удвоенной средней квадратической погрешности в пяти случаях из 100 и утроенной — в трех случаях из 1000. Поэтому за предельную принимают утроенную среднюю квадратическую погрешность

$$\Delta_{\text{пр}} = 3m. \quad (\text{IV.3})$$

Относительной погрешностью называют отношение абсолютной * погрешности к измеряемой величине. Она выражается правильной дробью, числитель которой равен единице. Обычно относительной ошибкой характеризуют линейные измерения.

Пример. Пусть измерена линия длиной $l=221,16$ м с абсолютной погрешностью $\delta=0,11$ м.

$$\delta/l = 0,11/221,16 = 1/2000.$$

§ 16. Средняя квадратическая погрешность функций измеренных величин

Возьмем функцию z суммы независимо измеренных величин x и y

$$z = x + y.$$

* За абсолютную погрешность можно принять среднюю квадратическую погрешность измеряемой величины.

Случайные погрешности суммы и слагаемых обозначим соответственно Δz , Δx и Δy . С изменением слагаемых на Δx и Δy сумма изменится на величину Δz :

$$z + \Delta z = (x + \Delta x) + (y + \Delta y). \quad (\text{IV.4})$$

Отсюда $\Delta z = \Delta x + \Delta y$.

Предположим, что каждое слагаемое было измерено n раз, тогда можно написать n равенств типа (IV.4). После возведения каждого из этих равенств в квадрат получим n равенств вида

$$\Delta z_i^2 = \Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + 2\Delta x_i \Delta y_i,$$

где i принимает значения от 1 до n .

Разделив равенство почленно на n , получим

$$\frac{[\Delta z^2]}{n} = \frac{[\Delta x^2]}{n} + \frac{[\Delta y^2]}{n} + 2 \frac{[\Delta x \Delta y]}{n}. \quad (\text{IV.5})$$

Здесь $\frac{[\Delta x \Delta y]}{n}$ представляет сумму произведений случайных независимых погрешностей. Каждое из произведений обладает всеми свойствами случайных погрешностей, поэтому последний член равенства (IV.5) на основании выражения (IV.1) можно отбросить и написать

$$\frac{[\Delta z^2]}{n} = \frac{[\Delta x^2]}{n} + \frac{[\Delta y^2]}{n}.$$

Учитывая равенство (IV.2), окончательно получаем

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2. \quad (\text{IV.6})$$

Легко убедиться, что формула (IV.6) справедлива и для функции $z = x - y$, так как в этом случае в равенстве (IV.5) изменится только знак перед членом $2 \frac{[\Delta x \Delta y]}{n}$.

Рассмотрим функцию

$$z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n.$$

Обозначим средние квадратические погрешности функции и слагаемых m_z , m_1 , m_2 , ..., m_n . Легко показать, учитывая формулу (IV.6), что

$$m_z^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2. \quad (\text{IV.7})$$

Теперь рассмотрим функцию

$$z = kx,$$

где k — постоянное число.

Очевидно, соотношение между случайными погрешностями будет

$$\Delta z = k \Delta x. \quad (\text{IV.8})$$

Допустим, что величина x была измерена n раз, тогда будем иметь n равенств вида (IV.8). Возведя каждое из них в квадрат, получаем n равенств вида

$$\Delta z_i^2 = k^2 \Delta x_i^2.$$

Сложив полученные равенства и разделив обе части суммарного равенства на n , имеем:

$$\frac{[\Delta z^2]}{n} = k^2 \frac{[\Delta x^2]}{n},$$

$$\text{или } m_z = k m_x. \quad (\text{IV.9})$$

Проанализируем линейную функцию

$$z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \dots \pm k_n x_n, \quad (\text{IV.10})$$

где k_1, k_2, \dots, k_n — постоянные числа; x_1, x_2, \dots, x_n — результаты измерений со средними квадратическими погрешностями m_1, m_2, \dots, m_n .

Сопоставив выражения (IV.7), (IV.9) и (IV.10), можно написать

$$m_z^2 = k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + \dots + k_n^2 m_n^2. \quad (\text{IV.11})$$

§ 17. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины

Арифметическая середина

$$x_0 = \frac{[l]}{n} = \frac{1}{n} l_1 + \frac{1}{n} l_2 + \dots + \frac{1}{n} l_n,$$

где $\frac{1}{n}$ — постоянное число.

Если среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения обозначить через m , а среднюю квадратическую погрешность арифметической середины ряда измерений через M , то в соответствии с формулой (IV.11)

$$M^2 = \frac{1}{n^2} m^2 + \frac{1}{n^2} m^2 + \dots + \frac{1}{n^2} m^2 = \frac{n}{n^2} m^2 = \frac{m^2}{n}.$$

Отсюда

$$M = m / \sqrt{n}. \quad (\text{IV.12})$$

§ 18. Выражение средней квадратической погрешности через вероятнейшие погрешности

В большинстве случаев истинные случайные погрешности неизвестны, так как неизвестно истинное значение измеряемой величины. Поэтому для вычисления средней квадратической погрешности обычно пользуются отклонениями результатов измерений от их среднего арифметического. Эти отклонения называются вероятнейшими погрешностями.

Пусть $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ — результаты измерений величин, истинное значение которой X , а среднее арифметическое $x_0 = \frac{[l]}{n}$. Обозначив истинные случайные погрешности через δ_i , а вероятнейшие через v_i , можно написать:

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 = l_1 - X; \\ \delta_2 = l_2 - X; \\ \delta_3 = l_3 - X; \\ \dots \dots \dots \\ \delta_n = l_n - X. \end{array} \right\} \text{(а)} \quad \left. \begin{array}{l} v_1 = l_1 - x_0; \\ v_2 = l_2 - x_0; \\ v_3 = l_3 - x_0. \\ \dots \dots \dots \\ v_n = l_n - x_0; \end{array} \right\} \text{(б)}$$

$$\underline{[v] = [l] - nx_0 = 0.}$$

Вычтем выражения (б) из выражений (а):

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 - v_1 = x_0 - X = \Delta; \\ \delta_2 - v_2 = x_0 - X = \Delta; \\ \delta_3 - v_3 = x_0 - X = \Delta; \\ \dots \dots \dots \\ \delta_n - v_n = x_0 - X = \Delta. \end{array} \right\} \text{или} \quad \left. \begin{array}{l} \delta_1 = v_1 + \Delta; \\ \delta_2 = v_2 + \Delta; \\ \delta_3 = v_3 + \Delta; \\ \dots \dots \dots \\ \delta_n = v_n + \Delta. \end{array} \right\} \text{(в)},$$

где $\Delta = x_0 - X$ — случайная погрешность арифметической середины.

Возведем каждое из равенств (в) в квадрат и сложим:

$$[\delta^2] = [v^2] + n\Delta^2 + 2\Delta [v].$$

Но $[v] = [l] - nx_0 = 0$, так как $\frac{[l]}{n} = x_0$.

Поэтому $[\delta^2] = [v^2] + n\Delta^2$ или $\frac{[\delta^2]}{n} = \frac{[v^2]}{n} + \Delta^2$.

Так как случайная погрешность арифметической середины Δ неизвестна, заменим ее из равенства (IV.12) значением сред-

ней квадратической погрешности M и, учтя выражение (IV.2), получим

$$m^2 = [v^2]/n + m^2/n \quad \text{или} \quad nm^2 - m^2 = [v^2];$$

$$\text{отсюда} \quad m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}. \quad (\text{IV.13})$$

Формула (IV.13) называется формулой Бесселя. Этой формулой пользуются на практике для вычисления средней квадратической погрешности отдельного измерения. Если учесть равенство (IV.12), то для средней квадратической арифметической середины

$$M = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}}. \quad (\text{IV.14})$$

Пример. Горизонтальный угол измерен пять раз. Вычислить вероятнейшее значение угла, среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения угла, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения угла или арифметической середины.

Результаты вычислений сведем в табл. 4.

Таблица 4

Номер измерения	Значение угла	v	v^2	Оценка точности
1	36°10'20"	+10"	100	$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{250}{4}} = 7",9$ $M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{7,9}{\sqrt{5}} = 3",5$ <p>Уравненное значение угла 36°10'10" ± 3",5</p>
2	36 10 10	0	0	
3	36 10 05	-5	25	
4	36 10 00	-10	100	
5	36 10 15	+5	25	
36°10'10" [v] = 0 [v²] = 250				

ГЛАВА V

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЯХ И СЪЕМКАХ

§ 19. Принцип организации съемочных работ

Совокупность измерений на местности, производимых с целью получения плана или карты, называется *съемкой*. Съемка может быть горизонтальной (контурной) или топографической. При горизонтальной съемке на карте

изображается только ситуация местности, при топографической—еще и рельеф.

Перед съемкой заранее задаются необходимой и достаточной точностью измерений и в зависимости от этого выбирают методику производства работ и инструменты. Для ослабления влияния погрешностей на результаты измерений геодезические работы ведутся по принципу «от общего к частному». Конкретно это выражается в том, что съемка подробностей ведется с точек местности, положение (координаты) которых заранее определены. Кроме того, все геодезические действия как на местности, так и в камеральных условиях должны сопровождаться хорошо продуманным контролем. Нельзя производить последующие измерения, вычисления или графические построения, будучи неуверенным, что все предыдущее сделано правильно.

§ 20. Понятие о геодезических сетях СССР

Создание топографических карт для всей территории Советского Союза невозможно без построения единой сети опорных пунктов, определенных с высокой точностью. *Опорными пунктами* называют надежно закрепленные на местности точки, положение которых определено с необходимой точностью в единой системе координат. Система опорных пунктов, размещенных на территории страны, составляет *геодезическую опорную сеть*.

Топографические съемки ведутся в разное время, на различных частях территории страны и разными исполнителями. Из отдельных съемочных планшетов по завершении съемки всей территории должна быть получена единая топографическая карта государства, без разрывов и перекрытий и с установленной точностью. Этого можно достичь только при наличии достаточно точной геодезической опорной сети. Ее наличие исключает возможность накопления погрешностей и обеспечивает необходимую точность и удобство организации съемочных работ.

Существуют плановые геодезические сети, в которых для каждого пункта определяются плоские прямоугольные координаты в системе Гаусса—Крюгера, и высотные сети, отметки пунктов которых определяются относительно нуля Кронштадтского футштока.

По своему назначению и точности определения положения пунктов *геодезические сети делятся на классы*. Пункты высших классов располагаются на больших расстояниях друг от друга и впоследствии сгущаются путем развития между ними сетей низших классов. Геодезические сети высших классов служат также для исследований формы и размеров Земли.

Определить плановое положение (координаты) опорных пунктов можно астрономическим и геодезическим методом. Астрономический метод дает возможность получения географических координат точек независимо друг от друга,

Недостатком его является сравнительно невысокая точность (см. § 4). При геодезическом способе создания опорных сетей астрономическим методом определяются координаты только одного или нескольких исходных пунктов. Остальные пункты связывают с исходными путем построения на поверхности Земли простейших геометрических фигур, вершинами которых являются опорные пункты, и соответствующих

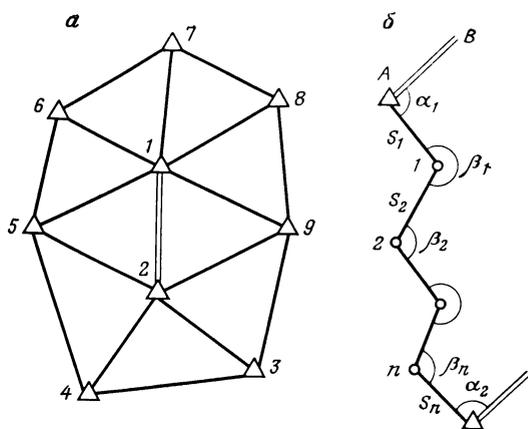


Рис. 22. Схемы триангуляции (а) и полигонометрии (б)

измерений сторон и углов этих фигур. При создании опорных сетей геодезический способ является основным, так как значительно точнее, чем астрономический. Поэтому государственные опорные сети называют геодезическими сетями.

Для определения планового положения опорных пунктов геодезическим способом применяют методы триангуляции, трилатерации и полигонометрии.

Метод триангуляции состоит в том, что на местности строят сеть примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряются все углы и, как минимум, длина одной из сторон. Стороны остальных треугольников вычисляются по формулам тригонометрии. Сторона 1—2 (рис. 22, а), являющаяся исходной для вычисления остальных сторон, называется базисной.

Если известны координаты одного пункта, дирекционный угол и длина одной стороны триангуляционной сети, то, последовательно решив прямую геодезическую задачу, можно вычислить координаты всех пунктов триангуляции.

В последнее время были разработаны новые методы высокоточных определений расстояний при помощи светодальномеров и радиальномеров. Появилась возможность непосредственного измерения линий земной поверхности значительной длины и с высокой точностью. В связи с этим появился новый метод создания опорных геодезических связей — трилатерация, а также получил дальнейшее развитие метод точной полигонометрии.

Метод трилатерации сводится к построению на местности смежных треугольников и геодезических четырехугольников с измерением в каждом из них всех сторон и диагоналей. Углы получают из тригонометрических вычислений, после чего определяют координаты опорных пунктов.

При создании сетей триангуляции и трилатерации в залесенных равнинных районах для обеспечения взаимной видимости пунктов приходится возводить высокие сооружения — сигналы, что связано с большими расходами и затруднениями. В таких случаях с успехом применяется другой метод создания геодезической опорной сети — полигонометрия. Этот метод сводится к построению на местности ломаных линий с углами, близкими к 180° . При проложении полигонометрических сетей измеряются стороны $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ (рис. 22, б), углы поворотов $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ и примычные углы α_1, α_2 . По измеренным углам и сторонам, имея координаты исходной точки (например, А) и дирекционный угол исходного направления (например, АВ), вычисляют координаты вершин полигонов, которые являются опорными пунктами.

Определение взаимного положения точек земной поверхности и построение геодезических сетей можно осуществить по результатам специально выполненных наблюдений за движением искусственных спутников Земли.

В настоящее время, согласно действующим инструкциям, геодезические сети СССР подразделяются на государственные, геодезические сети сгущения и геодезические съемочные сети.

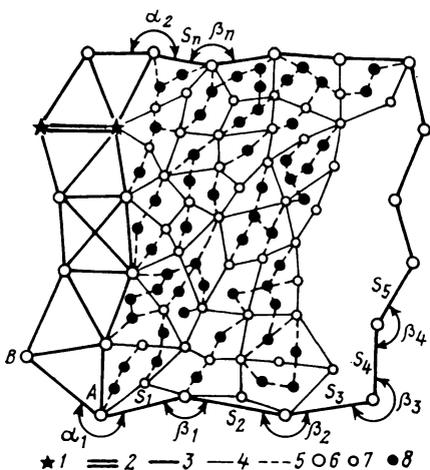
Плановая геодезическая сеть СССР является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов. Она подразделяется на сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1, 2, 3 и 4 классов. В каждом географическом районе построение геодезической сети должно вестись тем методом, который дает наибольший эффект.

Государственная геодезическая сеть 1 класса строится в виде полигонов периметром около 800—1000 км, образующихся триангуляционными или полигонометрическими звеньями длиной не более 200 км, располагаемыми по возможности вдоль меридианов и параллелей (рис. 23). Звено триангуляции 1-го класса состоит из треугольников, близких к равносторонним, или из комбинаций треугольников, геодезических четырехугольников и центральных систем. Длины сторон в звеньях триангуляции 1 класса должны быть равны, как правило, не менее 20 км. На концах звеньев измеряются базисные стороны.

Звено полигонометрии 1 класса должно быть вытянутым и состоять не более чем из 10 сторон длиной 20—25 км.

Государственная геодезическая сеть 2 класса строится в виде триангуляционных сетей, сплошь покрывающих территорию треугольниками внутри полигонов, образованных звеньями триангуляции или полигонометрии 1 класса. Построение сети 2 класса методом полигонометрии в каждом отдельном случае производится по особо разработанной программе с учетом физико-географических условий.

Пункты государственных сетей триангуляции 3 и 4 классов определяются относительно пунктов высших классов вставкой



★1 — 2 — 3 — 4 --- 5 ○ 6 ○ 7 ● 8

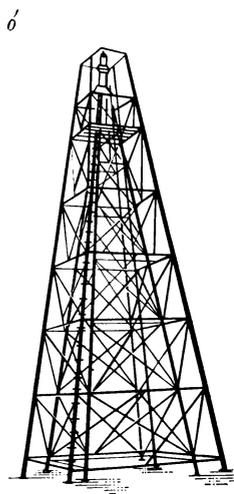
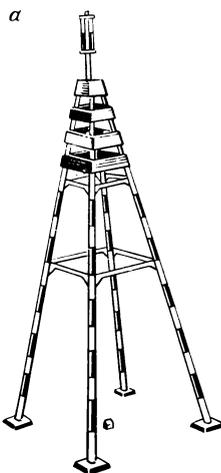


Рис. 23. Государственные геодезические сети:

1 — астропункт; 2 — базис; 3 — линия триангуляции 1 класса; 4 — то же, 2 класса; 5 — то же, 3 класса; 6 — пункт триангуляции и полигонометрии 1 класса; 7 — то же, 2 класса; 8 — то же, 3 класса

Рис. 24. Типы геодезических знаков

систем или отдельных пунктов. Сети полигонометрии 3 и 4 классов строятся в виде систем или одиночных ходов, опирающихся на пункты высшего класса (см. рис. 23).

В табл. 5 приведены основные данные, характеризующие государственные геодезические плановые сети.

Пункты государственных геодезических сетей закрепляются на местности надежными подземными сооружениями (центрами). Измерение горизонтальных углов на пунктах требует обеспечения взаимной видимости между пунктами. Видимость обеспечивается возведением над центрами наземных сооружений — пирамид (рис. 24, а) или сигналов (рис. 24, б). Работы по развитию государственных геодезических сетей СССР, как правило, ведет Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР.

Высотная геодезическая сеть СССР. Высотной основой топографических съемок всех масштабов и геодезических измерений является государственная нивелирная сеть СССР I, II, III и IV классов. Нивелирная сеть I и II классов служит главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории СССР. Она предназначена также и для проведения научных исследований. Нивелирные сети III и IV классов служат для развития высотных съемочных сетей и решения инженерных задач.

Триангуляция, аналитическая сеть	Длина сторон фигур, км	Средняя квадратиче- ская погреш- ность изме- рения угла, с	Предельная погрешность измерения угла в тре- угольниках, с	Относитель- ная погреш- ность выход- ных сторон, не более	Полигоно- метрия, тео- долитные ходы, мен- зурные ходы	Длина сторон, км	Средняя квадратиче- ская погреш- ность изме- рения угла, с	Относитель- ная погреш- ность изме- рения сторон, не более
<i>Государственная геодезическая сеть СССР</i>								
Триангуляция:								
1 класса	≥ 20	$\pm 0,7$	$\pm 3,0$	1 : 400 000	Полигоно- метрия: 1 класса	20—25	$\pm 0,4^*$	1 : 300 000
2 класса	7—20	$\pm 1,0$	$\pm 4,0$	1 : 300 000	2 класса	—	$\pm 1,0$	1 : 250 000
3 класса	5—8	$\pm 1,5$	$\pm 6,0$	1 : 200 000	3 класса	≥ 3	$\pm 1,5$	1 : 200 000
4 класса	2—5	$\pm 2,0$	$\pm 8,0$	1 : 200 000	4 класса	≥ 2	$\pm 2,0$	1 : 150 000
<i>Геодезические сети сгущения</i>								
Аналитические сети:								
1 разряда	2—5	$\pm 5,0$	$\pm 20,0$	1 : 50 000	Полигоно- метрия: 1 разряда	0,12—0,60	$\pm 5,0$	1 : 10 000
2 разряда	0,5—3	$\pm 10,0$	$\pm 40,0$	1 : 25 000	2 разряда	0,08—0,30	$\pm 10,0$	1 : 5 000
<i>Геодезические съёмочные сети</i>								
Аналитические сети:								
взамен теодолитных ходов	$\geq 0,15$	$\pm 60,0$	$\pm 110,0$	1 : 2000	Теодолит- ные ходы	0,2—0,35	$\pm 60,0$	1 : 2000
Геометрическая сеть	—	—	—	—	Мензурль- ные ходы	—	—	1 : 300
					0,10			

* Средние квадратические погрешности в этом случае подсчитываются по колебаниям значений углов в приёмах.

Таблица 6

Вид нивелирования	Длина хода или полигона, км	Средняя случайная погрешность на 1 км хода, мм	Систематическая погрешность на 1 км хода, мм	Невязка в полигоне или в ходе на 1 км, мм
<i>Высотная государственная геодезическая сеть СССР</i>				
I класса	—	$\pm 0,5$	$\pm 0,05$	± 3
II класса	500—600	$\pm 2,0$	$\pm 0,40$	± 5
III класса	150—200	$\pm 4,0$	$\pm 0,80$	± 10
IV класса	—	$\pm 10,0$	$\pm 2,0$	± 20
<i>Высотная геодезическая сеть сгущения</i>				
Техническое нивелирование	< 2 км	—	—	± 50
<i>Высотные геодезические съёмочные сети</i>				
Нивелирование горизонтальным лучом	—	—	—	± 100
Тригонометрическое нивелирование	—	—	—	± 200

В табл. 6 приведены основные данные, характеризующие государственные геодезические высотные сети.

Геодезические плановые сети сгущения. Геодезические сети сгущения являются обоснованием топографических съёмок масштабов 1 : 5000—1 : 500 и инженерных работ, выполняемых в городах, рабочих поселках, на площадках промышленного и гидроэнергетического строительства, при строительстве подземных коммуникаций, в маркшейдерском деле и т. п. Они подразделяются на аналитические сети 1 и 2 разрядов и полигонометрические — 1 и 2 разрядов.

Аналитические сети создаются методом триангуляции в виде сплошных сетей, цепочек треугольников или засечек. Сети 1 разряда опираются на пункты геодезической сети всех классов, 2 разряда — на пункты сетей высших классов и разрядов. Полигонометрические сети прокладываются между пунктами триангуляции (полигонометрии) высшего класса (разряда) или в виде самостоятельных сетей. Основные данные, характеризующие плановые геодезические сети сгущения, приведены в табл. 5.

Высотная геодезическая сеть сгущения. Для передачи высот на пункты геодезических сетей сгущения выполняется техническое (геометрическое) нивелирование (см. § 52). Техническое нивелирование производится отдельными ходами, системами ходов и замкнутыми полигонами между пунктами нивелирования высших классов. Предельная невязка хода или замкнутого полигона не должна превышать $\pm 50\sqrt{L}$ мм, или

$\pm 10\sqrt{n}$ мм, где L — число километров в ходе или полигоне, а n — число станций в ходе или полигоне.

Геодезические съемочные сети служат непосредственной основой для производства топографических съемок всех масштабов. Они подразделяются на плановые и высотные.

Плановые геодезические съемочные сети разбиваются от пунктов геодезических сетей всех классов и разрядов проложением теодолитных, тахеометрических, мензульных ходов, а также построением геометрических сетей.

Данные, характеризующие съемочное обоснование, приведены в табл. 5.

Высотные геодезические съемочные сети создаются путем проложения ходов нивелирования горизонтальным лучом (теодолитом или кипрегелем с уровнем на трубе) или тригонометрическим нивелированием (см. § 54). Невязки в ходах и полигонах при нивелировании горизонтальным лучом не должны превышать $\pm 0,1\sqrt{L}$ м, при тригонометрическом нивелировании $\pm 0,2\sqrt{L}$ м, где L — длина хода в километрах. Основные данные, характеризующие высотные съемочные сети, приведены в табл. 6.

§ 21. Общие сведения о съемках

После создания геодезической сети производится съемка подробностей (ситуации и рельефа). В зависимости от применяемых инструментов и методов различают несколько видов съемок подробностей.

Теодолитная (контурная) съемка выполняется теодолитом и стальной мерной лентой. Теодолитом измеряются горизонтальные иглы, а лентой — расстояния. Измерение расстояний можно производить и дальномерами соответствующей точности.

Тахеометрическая съемка сочетает в себе контурную и вертикальную. Производится она тахеометром, т. е. теодолитом, снабженным вертикальным кругом и дальномером для измерения расстояний. Превышения определяются в этом случае тригонометрическим нивелированием путем измерения углов наклона при помощи вертикального круга. Тахеометрическую съемку можно вести тахеометрами с номограммами, позволяющими сразу отсчитывать по рейке горизонтальные проекции длин линий до съемочных точек и превышения съемочных точек над точкой установки тахеометра.

Мензульная съемка производится при помощи мензулы и кипрегеля — инструментов, позволяющих непосредственно в поле получать план с изображением рельефа.

Наземная стереофото съемка выполняется фототеодолитом (фотокамерой, соединенной с теодолитом). План местности с рельефом получают путем специальных измерений на

снимках местности, полученных с двух концов твердой линии — базиса фотографирования. Координаты концов базиса должны быть определены геодезическими методами. Этот метод имеет большие перспективы при съемках разработок полезных ископаемых открытым способом.

Аэрофото съемка выполняется специальным фотоаппаратом, установленным на самолете. Она ведется в сочетании с геодезическими работами, необходимыми для привязки снимков к местности в плановом и высотном отношениях. Это основной и наиболее прогрессивный метод государственных съемок больших территорий.

Глазомерная съемка производится при помощи компаса, визирной линейки и карандаша на папке (планшете). Она часто сочетается с барометрическим нивелированием.

ГЛАВА VI

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

§ 22. Оптические части геодезических инструментов

Маркшейдерско-геодезические инструменты относятся к точным оптико-механическим приборам, так как при работе с ними основные измерительные операции выполняются одновременно оптическими системами и механическими устройствами.

Основными видами оптико-механических геодезических инструментов являются: а) инструменты для измерения углов — теодолиты; б) инструменты для измерения превышений — нивелиры; в) инструменты для измерения расстояний и превышений — тахеометры и кипрегели.

К оптическим системам геодезических инструментов относятся прежде всего визуальные системы: лупы и микроскопы, служащие для рассматривания мелких предметов (например, отсчетных шкал) на близких расстояниях, зрительные трубы для рассматривания удаленных предметов.

Микроскоп и зрительная труба предназначены для различных целей. Это сложные системы, состоящие из оптических систем, выполняющих аналогичные функции: объектива, окуляра и визирных приспособлений (шкал и сеток нитей).

Объективом называется линза или система линз оптического прибора, обращенная к предмету и строящая действительное его изображение.

Окуляр служит для увеличения действительного изображения, образованного объективом.

Рассмотрим основные оптические части геодезических инструментов.

Луна. При хорошей освещенности и достаточной контрастности предмета нормальный глаз может различать детали, уг-

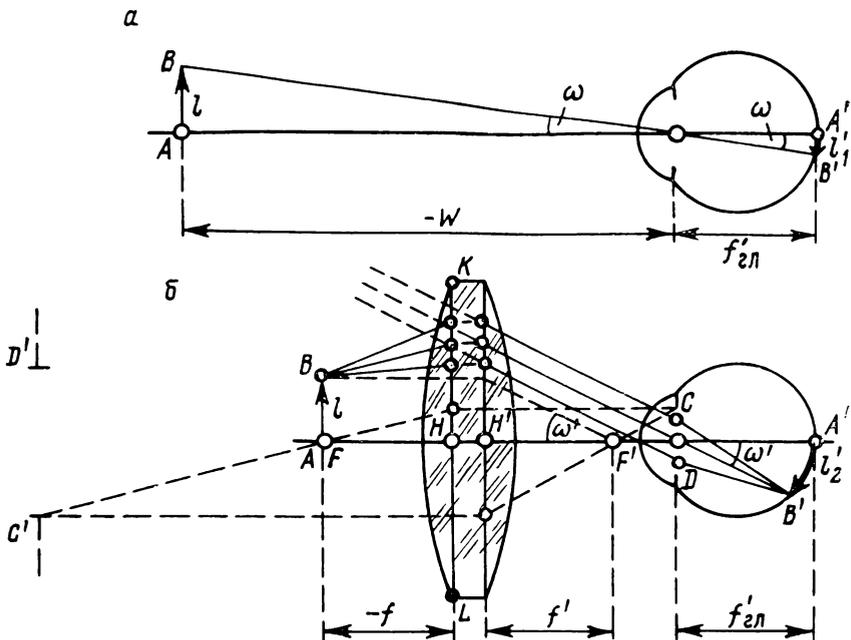


Рис. 25. Ход лучей в системе «лупа — глаз»

ловая величина которых равна или больше $60''$ (см. § 7). Наилучшей для наблюдения является угловая величина предмета $\alpha = 3'$. Наблюдение мелких предметов в таких условиях обеспечивают лупы и микроскопы.

При рассмотрении предмета $AB = l$ невооруженным глазом его помещают на расстоянии $W = -250$ мм от глаза (рис. 25, а). Величина изображения предмета на сетчатке глаза

$$l'_1 = l f'_{гн} / W, \quad (VI.1)$$

где $f'_{гн}$ — заднее фокусное расстояние глаза.

Лупа увеличивает изображение предмета так, что размеры изображения, образуемого на сетчатке глаза, оказываются достаточными для различения мелких деталей предмета.

При рассмотрении предмета $AB = l$ через лупу величина изображения $A'B' = l'_2$ на сетчатке глаза в соответствии с рис. 25, б

$$l'_2 = l f'_{гн} / f', \quad (VI.2)$$

где f' — заднее фокусное расстояние лупы.

Видимое увеличение лупы с учетом выражений (VI.1) и (VI.2)

$$\Gamma = -l'_2 / l'_1 = -W / f' \quad (VI.3)$$

Если принять $W = -250$ мм, то формула (VI.3) примет вид

$$G = 250/f'. \quad (VI.4)$$

Из сказанного следует, что увеличение лупы тем больше, чем меньше ее фокусное расстояние. Но чем короче фокусное расстояние, тем больше кривизна поверхности лупы. Вместе с тем сильнее действует сферическая и хроматическая аберрации*. Поэтому часто прибегают к сложным лупам, состоящим из двух линз (обычно плоско-выпуклых), которые располагают на таком расстоянии друг от друга, чтобы при наибольшем увеличении они исключили аберрации.

Простые и сложные лупы монтируются в металлических оправках с диафрагмами.

Микроскоп, как и лупа, служит для рассмотрения мелких предметов. Микроскопы обычно применяются в тех случаях, когда нужно получить увеличение больше 12—15^x. Микроскоп является сложной оптической системой, состоящей из объектива и окуляра.

Объектив KL (рис. 26) строит действительное обратное изображение $A'B'$ предмета AB в передней фокальной плоскости окуляра MN . В этой плоскости можно поместить плоско-параллельную пластинку со шкалой или сеткой нитей в виде штриха или биссектора. Промежуточное действительное изображение $A'B' = l'$ предмета вместе со шкалой или штрихом рассматривается через окуляр, передняя фокальная плоскость которого совмещена с плоскостью изображения, работающий как лупа. При этом в глаз поступают лучи в виде параллельных пучков, и хрусталик глаза образует на сетчатке изображение предмета $A''B'' = l''$, совмещенное с изображением сетки нитей.

В маркшейдерских и геодезических инструментах микроскопы обычно применяются в отсчетных приспособлениях.

Зрительная труба. Для рассмотрения удаленных предметов в геодезических и маркшейдерских инструментах используют зрительную трубу, через которую наблюдатель видит пространство предметов под большим углом, чем невооруженным гла-

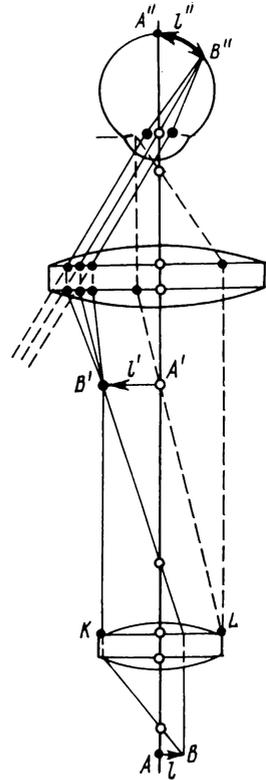


Рис. 26. Ход лучей в системе «микроскоп — глаз»

* Аберрации — искажения изображений оптических систем.

зом. Поэтому все предметы кажутся приближенными к наблюдателю, а само пространство сжатым вдоль линии визирования.

Зрительная труба состоит из следующих основных оптических частей: объектива, который строит действительное обратное изображение удаленного предмета в задней фокальной плоскости окуляра, и окуляра, как через лупу, рассматривают изображение, совмещенное с его передней фокальной плоскостью: сетки нитей — плоско-параллельной пластинки, на которой выгравированы пересекающиеся линии, расположенной в передней фокальной плоскости окуляра.

На рис. 27, а показана схема хода лучей в зрительной трубе и в глазу наблюдателя. На этой схеме: H_1H_1 , H_2H_2 и H_3H_3 — соответственно главные плоскости объектива, окуляра и зрачка глаза; F_1 и F_2 — передний и задний фокусы объектива; Φ_1 и Φ_2 — передний и задний фокусы окуляра; f_1 и f_2 — фокусные расстояния объектива и окуляра. Изображение предмета AB , расположенного на расстоянии D от главной плоскости объектива H_1H_1 , получается за задним фокусом объектива F_2 на расстоянии d от плоскости H_1H_1 .

Для того чтобы рассмотреть это изображение через окуляр, его следует расположить в передней фокальной плоскости окуляра, проходящей через фокус Φ_1 . В этом случае лучи, идущие от действительного изображения ab , находящегося в передней фокальной плоскости окуляра, пройдя через него, войдут в зрачок глаза пучками параллельных лучей и дадут изображение $A'B'$ на сетчатке глаза.

При изменении расстояния D от объектива до предмета изменяется и расстояние d от объектива до действительного изображения ab . Зависимость расстояний D , d и фокусного расстояния f_1 объектива определяется основной формулой линзы

$$1/D + 1/d = 1/f_1.$$

Если $D = \infty$, то изображение получится в задней фокальной плоскости объектива ($d = f_1$), а в остальных случаях изображение будет находиться за задней фокальной плоскостью на разных расстояниях.

Для совмещения плоскости действительного изображения, построенного объективом, с передней фокальной плоскостью окуляра необходимо перемещать окуляр относительно объектива с изменением расстояния D до рассматриваемого предмета. Поэтому зрительная труба состоит из двух металлических трубок: объективного колена T и окулярного колена T_1 несколько меньшего диаметра, которое может двигаться в первое при помощи зубчатой реечки и зубчатого колеса с головкой Z , называемой кремальерой. Окуляр непосредственно закреплен в трубке T_2 , которая может в небольших пределах перемещаться относительно окулярного колена T_1 .

Перемещение окулярного колена в объективном для получе-

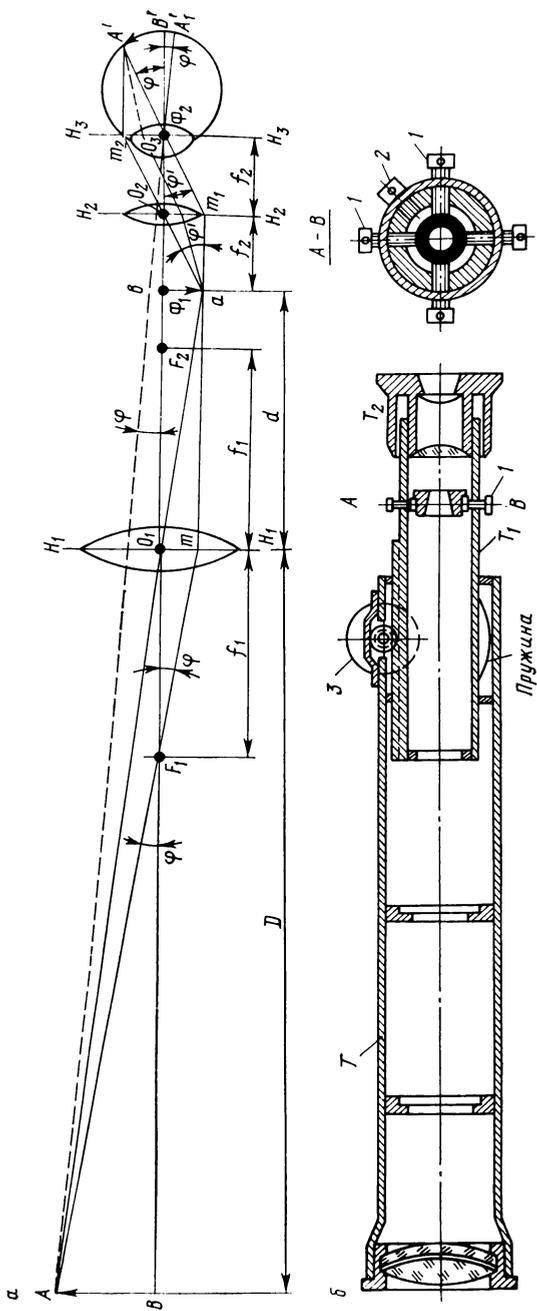


Рис. 27. Ход лучей в зрительной трубе с внешней фокусировкой (а), схема трубы с внешней фокусировкой (б)

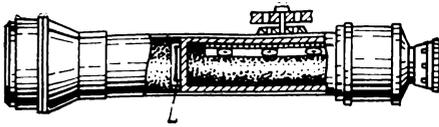


Рис. 28. Устройство трубы с внутренней фокусировкой

ния резкого изображения предмета называется **фокусировкой трубы**.

Для получения в поле зрения трубы постоянной точки в окулярном колене трубы в фокальной плоскости окуляра закрепляется сетка нитей, представляющая собой тонкую стеклянную пластинку, на которой выгравировано несколько пересекающихся прямых линий.

Пересечение средних линий сетки образует крест нитей, служащий для наведения трубы на точки местности. Прямая, соединяющая крест сетки нитей с оптическим центром объектива, называется **визирной осью**.

Плоскость, образуемая визирной осью при вращении зрительной трубы вокруг ее горизонтальной оси вращения, называется **коллимационной плоскостью**.

Сетка нитей закрепляется в окулярном колене так, как показано на рис. 27, б. Ее можно перемещать в плоскости, перпендикулярной к визирной оси, при помощи исправительных винтов 1 сетки. Кроме того, сетку нитей можно в некоторых пределах поворачивать вокруг визирной оси. В заданном положении сетка фиксируется винтом 2 (см. рис. 27, б).

Для получения резкого изображения сетки нитей окулярную трубку перемещают в окулярном колене. Это действие называется **установкой окуляра по глазу**.

$$\Gamma = f_1/f_2,$$

где f_1 и f_2 — фокусное расстояние соответственно объектива и окуляра.

Трубы, в которых фокусирование достигается перемещением окулярного колена относительно объективного, называют **трубами с внешней фокусировкой**.

В настоящее время геодезические инструменты имеют зрительные трубы постоянной длины, т. е. зрительные трубы с **внутренней фокусировкой** (рис. 28). Действительное изображение предмета, которое строит объектив такой трубы, всегда получается в одной и той же плоскости, и поэтому нет необходимости в перемещении окулярной части трубы.

Кроме объектива и окуляра, здесь имеется рассеивающая линза, которая при помощи кремальеры может перемещаться вдоль главной оптической оси трубы. Из формулы $1/D + 1/d = 1/f$ видно, что при постоянном фокусном расстоянии объектива f с изменением расстояния D до предмета должно меняться расстояние d до действительного изображения предмета. Если допустить, что d постоянно, то с изменением D должно меняться фокусное расстояние f .

Сочетание неподвижного объектива с подвижной отрицательной линзой L образует так называемый телеобъектив с изменяющимся фокусным расстоянием.

Трубы с внутренней фокусировкой более совершенны. При меньшей длине они дают большее увеличение. Кроме того, эти трубы более герметичны — внутрь их не проникают влага и грязь.

Погрешность визирования (погрешность наведения крестиней на визирную цель) составляет в среднем $\pm 4''$.

§ 23. Уровни

Уровни служат для ориентирования осей и плоскостей инструмента относительно отвесной линии. Основными частями уровня являются: чувствительный элемент — стеклянная ампула с жидкостью и оправа для установки уровня на инструменте и защиты ампулы от внешних воздействий.

Уровни подразделяются на *цилиндрические* и *круглые*. Ампулы цилиндрических уровней представляют собой стеклянную трубку, внутренняя рабочая поверхность которой (или часть ее) имеет форму поверхности вращения дуги окружности вокруг стягивающей ее хорды.

Рабочая часть внутренней поверхности круглого уровня представляет собой сферическую поверхность.

Для изготовления ампул используется жаропрочное стекло. Ампулы заполняются прозрачной маловязкой жидкостью с низкой температурой замерзания. Лучшим наполнителем является серный наркозный эфир.

После заполнения горячей жидкостью ампула запаивается. При остывании жидкости объем ее уменьшается. Образующееся пространство, заполненное парами, называется *пузырьком уровня*.

Простые ампулы (рис. 29, *a*) неудобны тем, что с изменением температуры воздуха резко меняется длина пузырька из-за изменения объема наполнителя. Чтобы сохранить длину пузырька при разных температурах, применяют компенсированные ампулы (рис. 29, *д*). Принцип устройства такой ампулы основан на сокращении объема наполнителя, для чего в ампулу помещают стеклянную трубку с запаянными концами.

Для получения уровня с регулируемой длиной пузырька используют ампулу с запасной камерой (рис. 29, *e*), которая отделяется от рабочей стеклянной перегородкой с отверстием внизу. Наклоняя концы уровня, можно перемещать часть паров наполнителя из одной камеры в другую и тем самым регулировать длину пузырька.

На ампулах нанесены равномерные шкалы. Интервал между штрихами шкалы равен 2 мм.

Штрихи могут быть пронумерованы через каждые 5 или 10 делений от среднего нулевого штриха (нуль-пункта) в обе сто-

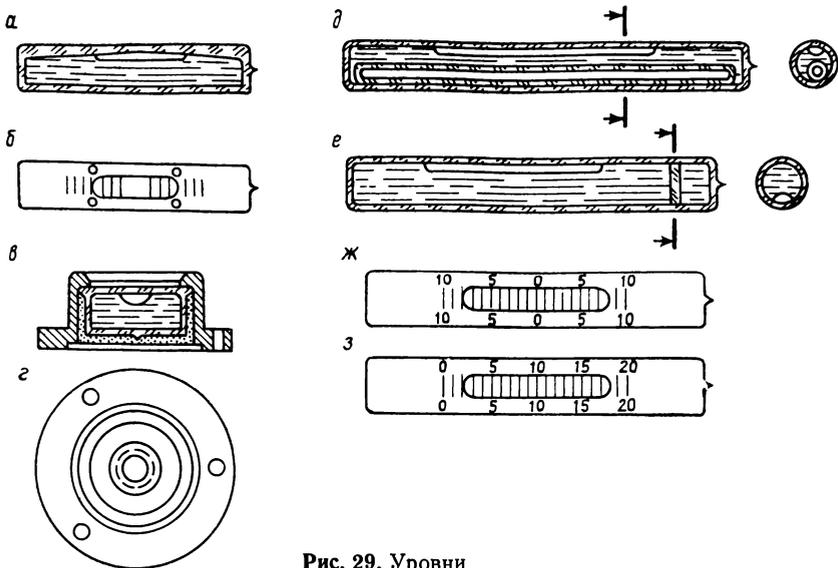


Рис. 29. Уровни

роны или от одного из крайних штрихов в одну сторону (рис. 29, ж, з). На ампулах установочных уровней (рис. 29, б) штрихи не нумеруются и в средних частях не наносятся. Снаружи на рабочей поверхности ампулы круглых уровней (рис. 29, в, г) штрихи наносят в виде концентрических окружностей, радиусы которых отличаются один от другого на 2 мм.

В последнее время в геодезических инструментах широкое применение получили контактные уровни, которые снабжены объективом и системой призм, сводящих изображения половинок противоположных концов пузырька уровня в переднюю фокальную плоскость окуляра зрительной трубы. Такие приспособления основаны на свойстве глаза оценивать с большой точностью совмещение двух штрихов (одного на продолжении другого). При наклонном положении оси уровня изображения концов половинок пузырьков расходятся, а при горизонтальном — совмещаются.

Круглые уровни применяются для ориентирования частей приборов относительно отвесной линии, не требующего особой точности. Осью круглого уровня (см. рис. 29, в) является радиус шаровой поверхности, проходящей через ее центр. В тот момент, когда пузырек расположится симметрично относительно выгравированных окружностей — делений, ось круглого уровня будет отвесна.

Средняя точка O' дуги ab (рис. 30) рабочей поверхности уровня, ограниченной концами пузырька, называется серединой пузырька. Касательная к середине пузырька всегда горизонтальна. Средняя точка O шкалы, нанесенной на ампуле,

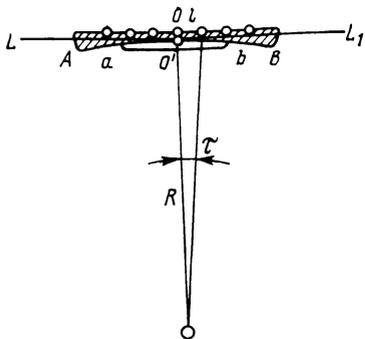
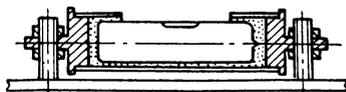


Рис. 30. К расчету цены деления уровня

Рис. 31. Оправа цилиндрического уровня



называется нуль-пунктом. Касательная LL_1 к дуге AB в точке, соответствующей нуль-пункту, называется осью уровня.

Если середина пузырька совпадает с нуль-пунктом, то ось уровня горизонтальна, если не совпадает, то наклонна. Угол наклона оси уровня при смещении пузырька на одно деление называется ценой деления уровня. Цена деления уровня

$$\tau = \frac{l}{R} \rho = \frac{2}{R} \rho,$$

где $l = 2$ мм — длина 1 деления шкалы ампулы; R — радиус дуги AB , мм; ρ — число угловых единиц в радиане, равное $57,3^\circ$ или $3438'$ или $206265''$.

Для предохранения ампулы уровня от повреждений и крепления уровня к инструменту ее помещают в металлическую оправу. В зависимости от назначения уровня его оправа имеет конструктивные особенности. Если уровень крепится на горизонтальной плоскости, то его оправа может иметь конструкцию, показанную на рис. 31. Каждый конец оправы закрепляется на шпильках двумя гайками. Вращая гайки, можно один из концов оправы перемещать по высоте и тем самым наклонять ось уровня.

§ 24. Отсчетные устройства

Лимб. Рабочим эталоном для измерения углов являются лимбы. Окружность лимба разделена на равные части. Лимбы бывают металлические и стеклянные. В современных инструментах они обычно изготавливаются из оптического стекла. На металлические лимбы штрихи и оцифровку наносят стальными резцами. Штрихи нарезают на делительной машине, а цифры наносят при помощи специального пантографа. Штрихи и цифры заполняют краской.

Стеклянные лимбы представляют собой кольца из плоскопараллельной пластинки толщиной 3—5 мм. При нанесении деле-

ний на стеклянный лимб резцом прорезают тонкий слой воска, которым покрывают лимбы. Затем обнаженные места штрихов и цифр травят парами плавиковой кислоты. После удаления воска штрихи и цифры затирают черной краской или лаком.

Шкалы лимба имеют оцифровку, увеличивающуюся по ходу часовой стрелки от 0 до 360°.

При определении цены деления лимба подсчитывают число всех делений, содержащихся между оцифрованными штрихами, и делят число градусов между ними на это число. Например, оцифровка идет через 10° и между ближайшими оцифрованными штрихами оказалось 20 делений, тогда цена деления лимба

$$\lambda = 10^\circ / 20 = 1^\circ / 2 = 30'.$$

Для фиксации того или иного положения коллимационной плоскости в теодолите используется *алидада*. Алидадой (алидадной частью) называется подвижная часть угломерного инструмента, которую можно вращать относительно лимба. Она несет на себе отсчетные устройства, подставки со зрительной трубой и другие сопутствующие им детали. Индексы алидады могут быть нанесены в виде шкал верньеров на двух секторах алидады или в виде штрихов и шкал на сетках нитей микроскопов, укрепленных на алидадной части теодолита. В первом случае один из диаметров алидады принимается за нулевой и обозначается нулями. От нулей по ходу часовой стрелки нанесены шкалы-верньеры.

Измерения углов сопровождаются отсчетами. Отсчетом называется величина дуги между нулевым штрихом шкалы лимба и индексом (нулем алидады). Штрихи лимба, между которыми оказывается индекс, соответственно называются младшим a и старшим b штрихами (рис. 32).

Полный отсчет складывается из величин интервала N между нулевым и младшим штрихами лимба и интервала x между младшим штрихом и индексом I в долях деления лимба:

$$S = N\lambda + x\lambda,$$

где λ — цена деления лимба.

Для определения интервала $x\lambda$ между младшим штрихом и индексом I служат отсчетные устройства, которые различаются по способам измерения интервала $x\lambda$. В современных технических угломерных инструментах применяются следующие виды отсчетных устройств: верньеры, в которых используются свойства глаза с высокой точностью фиксировать совпадение одного штриха с продолжением другого; микроскопы-оценщики, в которых используется способность глаза оценивать десятые доли интервала между штрихами; шкаловые микроскопы, в которых для определения интервала используются специальные шкалы, размещенные в плоскости промежуточного изображения микроскопа.

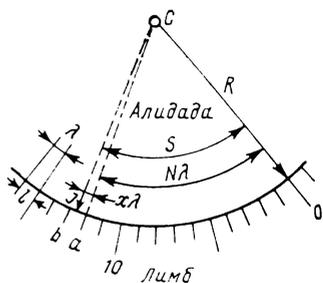


Рис. 32. Отсчет по лимбу

Рис. 33. К теории верньера

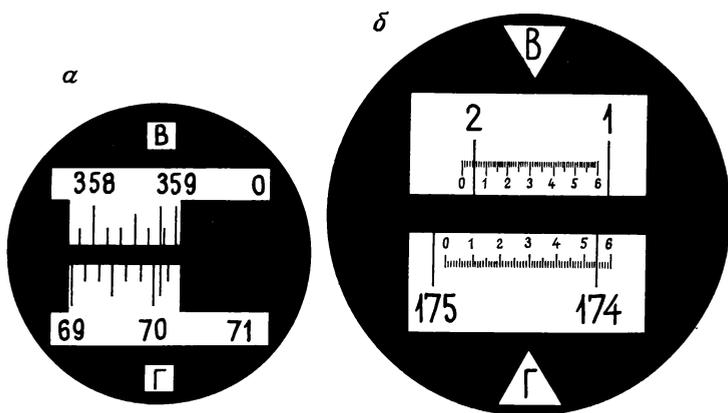
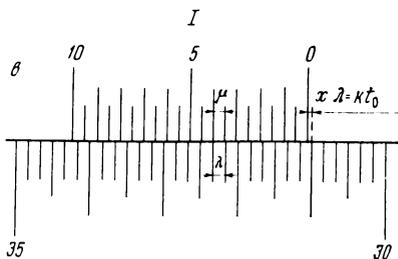
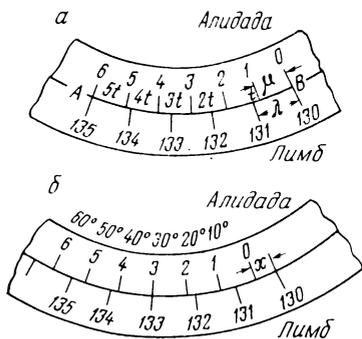


Рис. 34. Поле зрения микроскопа-оценщика теодолита Т30 (а) и поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т10 (б)

При применении двух последних отсчетных устройств легко осуществляется перенос изображения их шкал в поле зрения микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы, а иногда и в поле зрения трубы. Это значительно облегчает работу наблюдателя.

Верньер. Пусть общая для лимба и верньера дуга равна AB (рис. 33, *a*). На лимбе дуга AB разделена на $n-1$ частей, и цена деления лимба равна λ . Эта же дуга AB на алидаде разделена на n частей, и цена деления алидады равна μ . Разность между ценой деления лимба λ и ценой деления алидады μ называется точностью верньера и обозначается буквой t :

$$t = \lambda - \mu. \quad (\text{VI.5})$$

Величину дуги \widehat{AB} можно выразить через цену деления лимба $\widehat{AB} = \lambda(n-1)$ или алидады $\widehat{AB} = \mu n$, тогда

$$\lambda(n-1) = \mu n.$$

$$\text{Отсюда } \mu = \lambda(n-1)/n. \quad (\text{VI.6})$$

Подставив из выражения (V.6) значение μ в выражение (VI.5), получим

$$t = \lambda - \mu = \lambda - \lambda(n-1)/n = \lambda/n, \quad (\text{VI.7})$$

т. е. точность верньера t равна цене деления лимба λ , разделенной на число делений верньера n .

На рис. 33, *a* цена деления лимба $\lambda = 1^\circ$, число делений верньера $n = 6$. Отсюда согласно выражению (V.7)

$$t = \lambda/n = 60'/6 = 10'.$$

Нулевой штрих верньера на рис. 33, *a* совмещен точно со штрихом 130 (отсчет равен $130^\circ 00'$), поэтому первый штрих верньера не дошел до 132-го штриха лимба на величину t , т. е. на $10'$, второй штрих верньера не дошел до 132-го на $2t$, т. е. на $20'$, и т. д.

Интервал между младшим штрихом лимба и нулем верньера

$$x\lambda = kt,$$

где k — номер совпадающего штриха шкалы верньера.

На рис. 33, *b* третий штрих верньера совмещен со 133-м штрихом лимба. Поэтому отсчет равен $130^\circ 30'$.

На рис. 33, *в* изображен верньер теодолита, точность которого

$$t\lambda/n = 10'/20 = 30''.$$

Отсчет равен $31^\circ 04'$.

Микроскоп-оценщик (штриховой микроскоп) — это отсчетное устройство, в котором интервал $x\lambda$ между младшим штрихом и индексом оценивается на глаз до десятых долей деления лимба.

Объектив микроскопа, укрепленный на алидадной части теодолита, строит увеличенные действительные изображения шкал лимбов в плоскости индекса-штриха, выгравированного

на плоскопараллельной пластинке. Изображения шкал и индекса рассматривают через окуляр микроскопа.

В современных теодолитах в поле зрения микроскопа-оценщика строятся одновременно изображения шкал горизонтального и вертикального кругов так, что отсчетывание интервалов $x\lambda$ производится по одному индексу-штриху на обоих кругах. Отсчеты берут по одной стороне кругов, при этом точность отсчитывания обычно составляет $\pm 1'$.

На рис. 34, а показано поле зрения микроскопа-оценщика теодолита Т30. Отсчет по горизонтальному кругу равен $70^{\circ}05'$, по вертикальному кругу — $358^{\circ}48'$.

Шкаловой микроскоп — наиболее распространенное отсчетное приспособление в инструментах точных и технической точности. Интервал между младшим штрихом и индексом определяется при помощи шкалы, расположенной в плоскости промежуточного изображения штрихов лимба. Размер шкалы и увеличение микроскопа выбираются с таким расчетом, чтобы в поле зрения последнего длина отсчетной шкалы точно равнялась 1 делению лимба.

В современных инструментах в поле зрения шкалового микроскопа, как правило, видны одновременно штрихи горизонтального и вертикального кругов (рис. 34, б). Отсчеты по кругам теодолита Т15: по горизонтальному $174^{\circ}55'$; по вертикальному $2^{\circ}05',1$. Высокая точность нанесения делений лимбов и изготовления осей в современных оптических теодолитах средней точности позволяют ограничиваться взятием отсчетов по одной стороне кругов.

Эксцентриситет алидады. Несовпадение центров вращения лимба и алидады называется эксцентриситетом алидады. Для исключения погрешностей в отчетах по верньеру из-за эксцентриситета в теодолитах используются не одним, а двумя верньерами, расположенными на диаметрально противоположных концах алидады.

Предположим, что центр лимба C (рис. 35) не совпадает с центром вращения алидады C_1 , тогда отсчет по первому верньеру N_1 меньше истинного N на величину x , а отсчет по второму верньеру M_1 больше истинного M на величину x . Так как отсчет N отличается от отсчета M на 180° , то для получения отсчета, свободного от влияния эксцентриситета, следует пользоваться формулой

$$N_{\text{ср}} = \frac{M + N + 180^{\circ}}{2} = \frac{(N_1 + x) + (M_1 - x) + 180^{\circ}}{2} = \\ = \frac{N_1 + M_1 + 180^{\circ}}{2}.$$

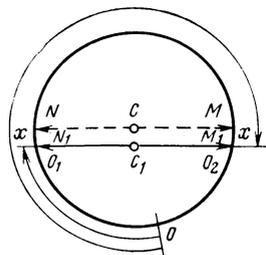


Рис. 35. Эксцентриситет алидады

Для исключения влияния эксцентриситета алидады на отсчеты необходимо брать среднеарифметическое из отсчетов по двум верньерам, при этом по одному верньеру берут отсчеты градусов и минут, а по второму — только минут. Например, пусть отсчет по первому верньеру равен $139^{\circ}39'$, а по второму — $41'$. Тогда среднее из отсчетов по обоим верньерам составит

$$139^{\circ} + (39' + 41')/2 = 139^{\circ}40'.$$

§ 25. Осевые устройства и механические части инструментов

Осевые устройства определяют принципиальную схему прибора и в сочетании с другими механическими частями обеспечивают сохранение необходимых сопряжений герметрических осей инструмента в процессе измерений. Механические части инструментов должны быть конструктивно и технологически выполнены так, чтобы можно было достичь заданной точности измерений и высокой производительности труда при широком интервале изменений температуры (от -40 до $+50$ °С).

К механическим частям инструментов относятся *вертикальные осевые устройства, микрометрично-зажимные устройства, подставки-треножки, подставки труб и горизонтальные оси, элевационные винты и системы бесконечного наводящего винта в нивелирах, исправительные винты, штативы.*

В современных теодолитах применяются две системы вертикальных осей: повторительные оси и оси с поворотным лимбом. На рис. 36, а приведена схема повторительной системы вертикальных осей с подвижной втулкой оси алидады. Ось лимба 2 вращается во втулке треножника 3 и является втулкой оси алидады 1. Недостаток системы — возможность увлечения лимба при вращении алидады, так как их оси соприкасаются. Такая система осей встречается в теодолитах технической точности с металлическими и стеклянными лимбами, а также в угломерах пониженной точности.

На рис. 36, б показана схема вертикальных осей с неподвижной втулкой 3 алидады, в которой поверхности осей алидады 1 и лимба 2 не соприкасаются, что исключает возмож-

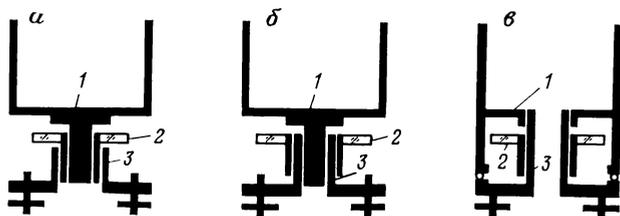


Рис. 36. Схемы вертикальных осей теодолитов

ность увлечения алидадой лимба. Такие системы применяются в точных и повышенной точности оптических теодолитах и могут быть повторительными или с поворотным лимбом. Эта система требует высокой точности изготовления для исключения эксцентриситета алидады.

На рис. 36, в показана схема вертикальных осей, упрощающая центрирование осей алидады 1 и лимба 2. Эти осевтулки вращаются вокруг одной и той же внешней поверхности неподвижной втулки 3 треножника. В результате того, что давление алидады передается на треножник по периферии, увеличивается стабильность осей. Обычно это оси с поворотным лимбом.

Осевые системы бывают конические и цилиндрические. В настоящее время используются только цилиндрические осевые системы, изготовление которых требует высокой точности. Цилиндрические осевые системы с неподвижной втулкой алидады широко применяются в точных и повышенной точности оптических теодолитах. Как правило, это системы с поворотными лимбами. Цилиндрические оси используются и в оптических повторительных теодолитах технической точности.

Одной из основных операций при измерении угла является визирование, которое должно выполняться с точностью, соответствующей разрешающей способности зрительной трубы. Для достижения такой точности используются микрометрично-зажимными устройствами, конструкции которых различаются по способу закрепления. В теодолитах повторительного типа применяются повторительные устройства, обеспечивающие совместное движение (грубое и микрометричное) лимба с алидадой и алидады относительно лимба. В осевых системах с подвижной втулкой алидады это достигается применением двух микрометрично-зажимных устройств лимба относительно треножника и алидады относительно лимба. Такие системы применены в теодолите Т30. Другая система, получившая широкое распространение в оптических теодолитах с неподвижной втулкой алидады, состоит из одного микрометрично-зажимного устройства алидады, тонкого металлического диска, укрепленного на осевтулке лимба, и клеммы или защелки, укрепленных на алидаде.

Алидадная часть несет на себе зрительную трубу, ее горизонтальную ось, вертикальный круг, отсчетные приспособления, уровни и др. Нагрузка от массы этих деталей передается на вертикальную осевую систему через подставки зрительной трубы. Для уменьшения массы и вместе с тем для сохранения жесткости, подставки современных инструментов делают коробчатой формы из легких сплавов и внутри них располагают вертикальные круги, детали отсчетных приспособлений, микрометрично-зажимные устройства и пр. Цилиндрические горизонтальные оси являются полыми трубками с переменным диа-

метром. Этим достигаются уменьшение массы и возможность передачи изображений шкал кругов в микроскоп у окуляра зрительной трубы.

Подставка (треножник) является несущей частью инструмента и служит для приведения его оси вращения в отвесное, а плоскости лимба в горизонтальное положение. Подставка состоит из треугольного корпуса, в углах которого расположены подъемные винты.

Треножник соединяется со штативом при помощи полого станového винта, ввинчивающегося в плоскую пружину, плотно прижимающую подъемные винты к головке штатива. В большинстве случаев теодолиты могут легко отделяться от подставок.

Штатив предназначен для установки инструмента в рабочее положение над (или под) точкой — станцией. Он состоит из металлической головки, на которую устанавливается инструмент; трех ножек, шарнирно соединенных с головкой; станového винта, при помощи которого подставка инструмента крепится к головке штатива.

ГЛАВА VII

УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 26. Угловые и линейные измерения

Измерения на земной поверхности производятся с целью установления связи между отдельными точками и, в частности, для определения их координат. Эти измерения позволяют получить данные для решения разнообразных инженерных задач, однако сами по себе измерительные работы выполняются несколькими установившимися приемами и способами, которые в той или иной последовательности используются в каждом конкретном случае.

Для съемки многоугольника или ломаной линии необходимо измерить прямые линии и углы поворота линий, составляющих многоугольник или ломаную линию. Если участок местности, подлежащий съемке, имеет наклон, то надо измерить также углы наклона прямых линий, с тем чтобы в дальнейшем получить их горизонтальные проекции.

Чтобы изобразить рельеф местности, необходимо определить высоты точек над уровнем моря. Для достижения этой цели измеряют отрезки вертикальных линий или вертикальные углы. Таким образом, основными измерениями являются линейные и угловые.

§ 27. Закрепление и обозначение точек и линий на местности

При выполнении геодезических работ необходимо закреплять и обозначать на местности точки. Простейший способ закрепления точки заключается в том, что вровень с землей забивают колышек длиной около 30 см и толщиной 4—6 см. Если нужно точку отметить точнее, то в центр колышка забивают гвоздь. Для того чтобы на местности было легче отыскивать точки, рядом с основным колышком забивают другой (рис. 37, а), который выступает над землей на 15—20 см и называется сторожкой. Обращенную к точке сторону сторожка затесывают и на ней подписывают номер точки.

Точки, которые должны сохраниться не только в процессе съемки, но и во время строительства сооружений или для будущих геодезических работ, закрепляются более прочно, например при помощи столба с крестовиной в нижней части. В верхнюю часть столба забивают кованый гвоздь (рис. 37, б) с крестом или углублением (кern), определяющим центр геодезической точки. Вокруг столба вырывают канаву в виде квадрата. Точки хорошо закрепляют также отрезком рельса длиной около 2 м с приваренной в нижней части перекладиной. Рельс зарывают в землю, оставляя над поверхностью 20—30 см, и на верхнем торце наносят kern, определяющий положение геодезической точки (рис. 37, в).

Для обозначения точек на местности при измерениях над геодезическими пунктами устанавливают переносные, постоянные вехи или специальные сооружения в виде пирамид и сигналов. Переносная веха представляет собой круглый шест длиной 2—3 м и диаметром 4—5 см. Веха окрашивается в белый и черный или красный цвета. Прямая линия определяется двумя точками, поэтому и на местности линии закрепляют двумя точками. Вертикальная плоскость, проходящая через конечные точки линии, называется створом.

§ 28. Сущность измерения горизонтального угла

Пусть на поверхности Земли имеются три точки A , B и C , расположенные на разных высотах над уровнем моря (рис. 38), причем плоскость ABC наклонная. Требуется определить горизонтальную проекцию угла ABC . Спроектировав точки A , B

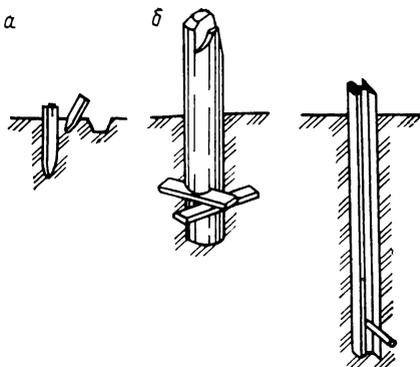


Рис. 37. Способы закрепления точек на местности

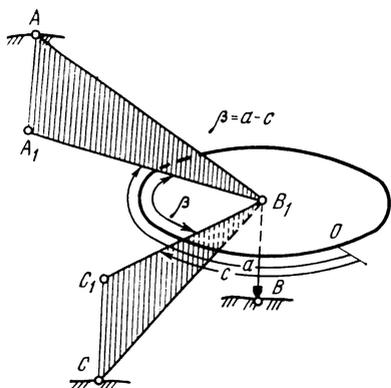


Рис. 38. Принцип измерения горизонтального угла

и C на произвольную горизонтальную плоскость, получим их горизонтальные проекции A_1 , B_1 и C_1 . Линии B_1A_1 и B_1C_1 являются горизонтальными проекциями BA и BC , а угол $A_1B_1C_1 = \beta$ — горизонтальной проекцией угла ABC . Угол β — линейный угол двугранного угла, составленного вертикальными плоскостями AA_1B_1 и CC_1B_1 . Для определения его значения в градусной мере расположим круг с градусными делениями над точкой B так, чтобы его центр B_1 оказался на отвесной линии BB_1 . Допустим, что имеется воз-

можность вращать вертикальную плоскость, проходящую через точку B , вокруг отвесной линии BB_1 , последовательно совмещая ее сначала с точкой C , а затем с точкой A , и фиксировать следы сечения этой плоскости на горизонтальном круге. Величина угла β будет равна разности дуг $a-c$, выраженной в градусной мере.

На основании изложенного можно сделать вывод, что инструмент, предназначенный для измерения горизонтальных проекций углов, должен иметь: неподвижный горизонтальный круг с нанесенными по окружности градусными делениями (лимб), подвижную часть, определяющую вертикальную (коллимационную) плоскость, которую можно совмещать со створами линий местности и тем самым проектировать эти линии на плоскость лимба, и приспособление для отсчетов по лимбу.

Для измерения горизонтального угла необходимо установить угломерный инструмент так, чтобы центр лимба оказался на отвесной линии, проходящей через вершину угла, а плоскость лимба была горизонтальной. Это достигается при помощи штатива, на котором устанавливается и закрепляется угломерный инструмент, отвеса и уровней. Установка инструмента при помощи отвеса над точкой местности называется центрированием.

Самым распространенным угломерным инструментом является теодолит. Его основные части: горизонтальный круг (лимб), разделенный на равные части и вращающийся в подставке; алидада, на которой укреплены зрительная труба и вертикальный круг. Коллимационная плоскость реализуется вращением зрительной трубы в вертикальной плоскости. На алидадных частях горизонтального и вертикального кругов имеются отсчетные устройства. Приведение вертикальной оси вращения теодолита в отвесное, а горизонтального круга в горизонтальное положения осуществляется при помощи уров-

ней. Широко применяются оптические теодолиты, в которых используются стеклянные лимбы, позволяющие применять более совершенные отсчетные устройства.

§ 29. Технические оптические теодолиты

Теодолиты технической точности (Т15, Т30, Т60) предназначены для проложения теодолитных и тахеометрических ходов, маркшейдерских работ на земной поверхности и под землей и позволяют вести измерения углов со средними квадратическими погрешностями соответственно 15, 30 и 60". Теодолиты этой группы имеют наиболее широкое применение в народном хозяйстве.

На рис. 39 показан теодолит Т15, который предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах со средней квадратической погрешностью, не превышающей 15". Теодолит может применяться для работы с оптическими дальномерными насадками. Система вертикальных осей повторительная. На рисунке видны зажимные винты алидады 8 и трубы 11, а также соответствующие им наводящие винты алидады 9 и трубы 12, исправительный винт уровня 10. Ось вращения инструмента приводится в отвесное положение при помощи цилиндрического уровня 4. Теодолит имеет зрительную трубу с внутренней фокусировкой, осуществляемой кремальерой 2. Для центрирования над точкой теодолит снабжен оптическим центриром 7, а для центрирования под точкой — верхним центром 14. Окуляр 13 шкалового микроскопа расположен рядом с окуляром 3 зрительной трубы.

Теодолит крепится к подставке 5 закрепительным винтом 6. Прибор может быть снабжен электрической подсветкой 1 отсчетного микроскопа, выполненной во взрывобезопасном исполнении.

§ 30. Вертикальный круг

Для измерения углов наклона линий теодолитом служит вертикальный круг. Лимб вертикального круга центрирован относительно горизонтальной оси вращения трубы и наглухо скреплен с трубой, поэтому при вращении трубы вращается и лимб. Вертикальный круг скреплен с трубой так, чтобы диа-

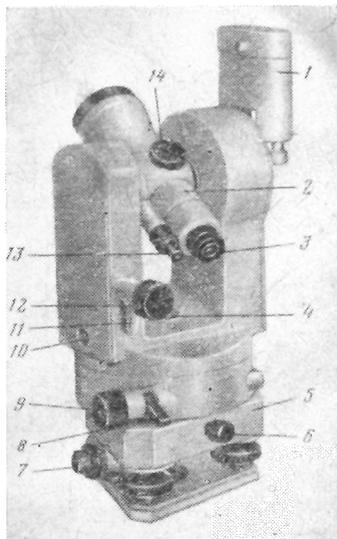


Рис. 39. Теодолит Т15

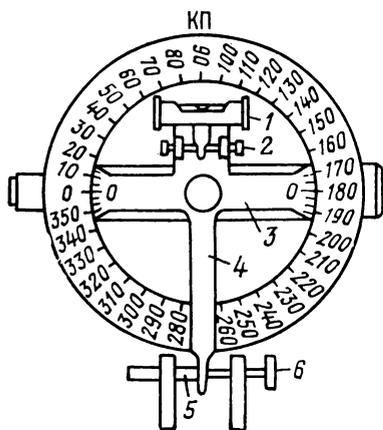


Рис. 40. Схема конструкции вертикального круга

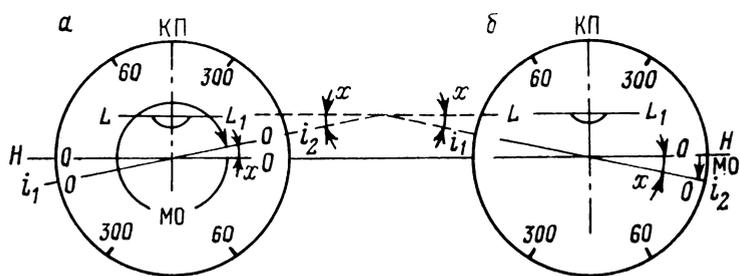


Рис. 41. К теории вертикального круга

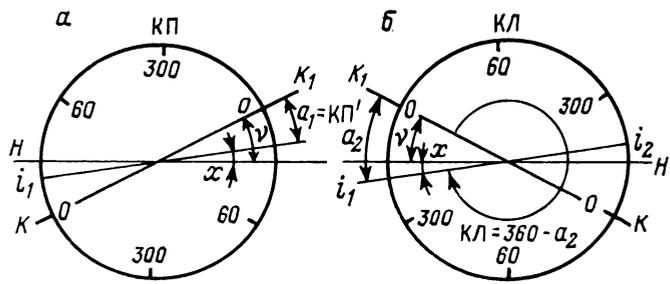


Рис. 42. К выводу формулы места нуля и угла наклона

метр круга (0—180°) был параллелен визирной оси трубы (рис. 40). Вертикальный угол измеряется между горизонтальной плоскостью и направлением визирной оси на точку местности.

Для фиксирования горизонтального направления служит алидада 3 вертикального круга с отсчетными устройствами. Для приведения линии нулей алидады в горизонтальное положение служит уровень 1, укрепленный на ней и имеющий ис-

правительные винты 2. Чтобы алидада была неподвижна при вращении трубы вокруг горизонтальной оси, имеется рычаг 4, нижний конец которого зажат между пружиной 5 и микрометренным винтом 6 на подставке трубы.

Уровень позволяет контролировать неподвижность алидады, а микрометрический винт — выводить линию нулей алидады в горизонтальное положение. Уровень крепится на алидаде так, чтобы его ось была параллельна линии нулей алидады. Если это условие соблюдено, то при выводе пузырька уровня на середину ампулы и совмещении нуля лимба с нулем верньера визирная ось трубы должна быть горизонтальна. Если же ось уровня не будет параллельна линии нулей алидады, то, приведя пузырек уровня на середину ампулы, а ось визирования в горизонтальное положение, обнаруживаем, что нуль лимба не совпал с нулем верньера и, следовательно, отсчет по вертикальному кругу не равен нулю.

Отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси трубы, когда пузырек уровня алидады вертикального круга находится на середине ампулы, называется местом нуля вертикального круга и обозначается через MO .

Место нуля непосредственно зависит от угла x между осью уровня и линией нулей алидады вертикального круга. Если линия нулей алидады отклонилась от горизонтального направления HN и при этом смещение произошло по ходу часовой стрелки, то место нуля будет равно углу x между осью уровня и линией нулей алидады, т. е. $MO = x$ (рис. 41). Если же линия нулей алидады отклонилась от горизонта на угол x против часовой стрелки, то согласно определению места нуля

$$MO = 360^\circ - x. \quad (VII.1)$$

Важно, чтобы величина MO во время работы оставалась постоянной. Для этого необходимо, чтобы вертикальный круг был жестко скреплен со зрительной трубой и исправительные винты 2 (см. рис. 40) уровня были затянуты, т. е. чтобы ось уровня была неподвижна относительно линии нулей алидады.

Различают два положения теодолита с вертикальным кругом — кругом справа и кругом слева. Кругом справа (КП) называют такое положение, при котором вертикальный круг оказывается с правой стороны трубы (по линии визирования), а кругом слева (КЛ) — с левой.

Для перехода от круга слева к кругу справа или наоборот необходимо перевести трубу через зенит, т. е. повернуть ее во круг горизонтальной оси вращения на 180° так, чтобы окуляр занял положение объектива.

Пусть (рис. 42) HN — горизонтальная линия; i_1i_2 — линия нулей алидады; KK_1 — визирная ось трубы, направленная в точку A ; x — угол между линией нулей алидады и горизон-

тальной линией HN или горизонтальной осью уровня. Тогда угол наклона при круге справа

$$v = a_1 + x. \quad (\text{VII.2})$$

Учитывая, что угол a_1 одновременно является и отсчетом по вертикальному кругу $KП'$, который соответствует углу наклона v визирной оси, а также согласно формуле (VII.1), перепишем формулу (VII.2) в следующем виде:

$$v = KП' - MO + 360^\circ. \quad (\text{VII.3})$$

Если трубу перевести через зенит и направить вновь на точку A , то значение угла наклона v при круге слева

$$v = a_2 - x. \quad (\text{VII.4})$$

Учитывая, что отсчет по вертикальному кругу $KЛ = 360^\circ - a_2$, формулу (VII.4) можно переписать так:

$$v = 360^\circ - KЛ - (360^\circ - MO) = MO - KЛ. \quad (\text{VII.5})$$

В формулах (VII.3) и (VII.5) угол наклона определяется через значение места нуля, которое неизвестно. Для определения MO вычтем из выражения (VII.3) выражение (VII.5), т. е.

$$MO = (KП' + KЛ + 360^\circ)/2. \quad (\text{VII.6})$$

Если теперь сложить равенства (VII.3) и (VII.5), то получим выражение для угла наклона

$$v = (KП' - KЛ + 360^\circ)/2. \quad (\text{VII.7})$$

В формулах (VII.3), (VII.6) и (VII.7) слагаемое 360° в числителе говорит о том, что прежде чем подставлять отсчеты в формулы, нужно к отсчетам, значения которых заключены в пределах от 0 до 60° , предварительно прибавить 360° , т. е. считать, что $KП = KП' + 360^\circ$. Тогда формулы примут вид:

$$MO = \frac{KП + KЛ}{2}; \quad (\text{VII.8}) \quad v = \frac{KП - KЛ}{2}; \quad (\text{VII.9})$$

$$v = KП - MO; \quad (\text{VII.10}) \quad v = MO - KЛ. \quad (\text{VII.11})$$

§ 31. Понятие о поверхках теодолита

К основным геометрическим осям теодолита относятся:

- 1) вертикальная ось вращения инструмента;
- 2) ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга;
- 3) горизонтальная ось вращения зрительной трубы;
- 4) визирная ось зрительной трубы,

Каждый теодолит в рабочем положении (в момент измерения на станции) должен иметь следующие взаимные положения осей:

1) ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга перпендикулярна к оси вращения инструмента;

2) ось вращения инструмента совпадает с отвесной линией Z точки стояния, а плоскость лимба горизонтального круга горизонтальна;

3) визирная ось трубы перпендикулярна к оси вращения трубы;

4) горизонтальная ось вращения трубы перпендикулярна к оси вращения инструмента.

Для приведения осей в нужные взаимные положения геодезические инструменты снабжаются исправительными винтами. Действия по установлению правильности указанных геометрических условий и исправлению в случае их нарушения называются поверками.

Первая поверка состоит в установлении 1 и 2 условий и производится в такой последовательности:

1. Уровень алидады горизонтального круга устанавливают параллельно двум подъемным винтам, пузырек выводят на середину, затем теодолит поворачивают на 90° и выводят пузырек на середину третьим подъемным винтом.

2. Поворачивают алидадную часть теодолита на 180° . Если пузырек сошел с середины, то условие нарушено.

3. Исправительными винтами уровня перемещают пузырек к середине на половину дуги смещения.

4. С помощью подъемных винтов пузырек приводят окончательно на середину.

Исправление достигается в два-три приема.

Вторая поверка теодолита заключается в установлении перпендикулярности визирной оси к горизонтальной оси вращения трубы.

Для выявления нарушения этого условия следует навести крест сетки нитей трубы на одну и ту же удаленную точку A при двух положениях вертикального круга и взять отсчеты по горизонтальному лимбу N и M . Если разность $M - N = 180^\circ$, то условие выполнено; если же $M - N = 180^\circ \pm 2c$, то коллимационная ошибка равна c .

Для устранения коллимационной ошибки нужно вычислить средний отсчет

$$M_{\text{ср}} = (N + 180^\circ + M)/2,$$

Установить алидаду на отсчет, равный $M_{\text{ср}}$. В поле зрения трубы будет видно, что крест нитей не совмещен с точкой A . Действуя горизонтальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают крест нитей с изображением точки A .

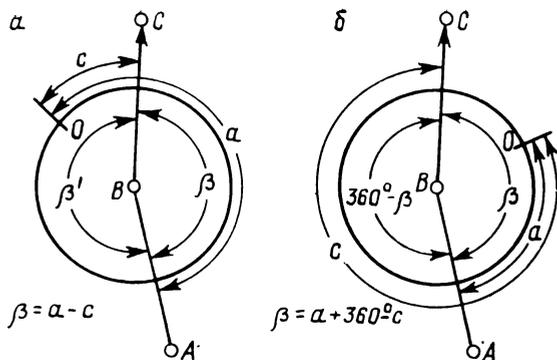


Рис. 43. Схема измерения горизонтального угла способом приемов

Третья поверка устанавливает соблюдение условия 4. Поверка производится в следующем порядке. Крест сетки нитей трубы наводят на верх отвесного угла здания или на верхнюю часть нити отвеса. Затем трубу наклоняют и следят за движением креста сетки нитей. Если крест сетки нитей будет двигаться вдоль отвесной линии, то условие выполнено, если будет сходиться с нее, то нарушено. В современных технических теодолитах соблюдение этого условия гарантирует завод-изготовитель.

§ 32. Измерение горизонтальных углов

Перед началом измерений нужно над точками местности установить теодолит и вехи. При установке теодолита в рабочее положение над вершиной измеряемого угла производят центрирование и нивелирование. При центрировании центр лимба теодолита устанавливают над точкой вершины угла при помощи отвеса с точностью $\pm (5-10)$ мм. Затем при помощи цилиндрического уровня горизонтального круга и подъемных винтов приводят ось вращения теодолита в отвесное положение.

Вехи устанавливают обычно за точками в створе измеряемых направлений с точностью $\pm (5-10)$ мм. Крест сетки нитей трубы при измерении горизонтальных углов наводят на основание вехи, чтобы избежать погрешностей за ее наклон.

Способ приемов. Измерение производится в следующей последовательности. После установки теодолита в точке *B* (направление хода *ABC* показано стрелкой) закрепляют неподвижно лимб горизонтального круга, открепляют алидаду. Вращая ее, наводят трубу на заднюю точку *A* (рис. 43, *a*) и берут отсчет. Затем повторяют наведение на точку *A* и по-

вторно берут отсчет. Первый раз отсчитывают градусы, минуты и секунды, второй — только минуты и секунды. Отсчеты заносят в полевой журнал (табл. 7). Из этих отсчетов выводят средний. Открепив алидаду, вращают ее и наводят дважды трубу на переднюю вежу, стоящую в точке С. Сделав отсчеты по горизонтальному кругу, получим средний отсчет $45^{\circ}47'$, обозначенный дугой с. Значение угла получается по правилу: старшее направление минус младшее, т. е.

$$\beta = a - c$$

или в нашем случае

$$\beta_{п} = 225^{\circ}39' - 45^{\circ}47' = 179^{\circ}52'$$

При измерении левых по ходу углов старшим направлением будет переднее, а младшим заднее направление. Формула вычисления угла остается прежней.

На рис. 43, б показан случай, когда при измерении угла нуль лимба оказался между старшим и младшим направлениями. В этом случае старший отсчет окажется меньшим по величине, чем младший. Для вычисления значения угла пользуются той же формулой, только к старшему отсчету прибавляют 360° :

$$360^{\circ} - \beta = c - a, \quad \text{или} \quad \beta = a + 360^{\circ} - c.$$

Для случая, показанного на рис. 43, б, имеем:

$$\beta_{п} = 31^{\circ}18',5 + 360^{\circ} - 211^{\circ}26' = 179^{\circ}52',5.$$

Наведение микрометренным винтом алидады креста сетки нитей на вежи следует оканчивать ввинчиванием винта, для того чтобы исключить возможную погрешность за счет последнего действия пружины микрометренного винта.

Для исключения влияния коллимационной ошибки и осуществления контроля повторяют измерения при другом круге,

Таблица 7

Точка		Отсчеты по горизонтальному кругу		Среднее из отсчетов	Углы в полуприемах	Среднее из углов	
стояния	визирования	I	II				
В	<i>Круг справа</i>						
	А	225°38'	40'	225°39'	179°52'	179°50',25	
	С	45 46	48	45°47'			
	<i>Круг слева</i>						
	А	31 18	19	31°18',5	179°52',5		
	С	211 25	29	211°26'			

переведя трубу через зенит. Лимб открепляют, поворачивают примерно на 90° и вновь закрепляют, чтобы отсчеты второго полуприема (при другом круге) брать на других частях лимба. Совокупность измерения при круге справа и круге слева называется полным приемом.

Расхождение результатов измерения между первым и вторым полуприемами не должно превышать двойной точности отсчетного устройства. В противном случае измерения повторяют. Если же это условие выполнено, то за окончательное значение угла принимается среднеарифметическое из результатов полуприемов. Все вычисления в полевом журнале вплоть до вывода «среднего из углов» выполняются до снятия инструмента со станции. Наиболее благоприятным временем для измерения углов являются периоды спокойных изображений (утром до 10 ч и с 15 ч до наступления сумерек).

Погрешности измерения углов складываются из погрешностей за центрирование теодолита, за установку визирных знаков, из погрешностей взятия отсчета и погрешностей визирования. Погрешность отсчета по кругу принимается равной половине точности отсчетного устройства. Например, для одномоментного теодолита она будет равна $\pm 30''$. Погрешность визирования (погрешность наведения креста сетки нитей на точки местности) равна в среднем для технических теодолитов $\pm 4''$. Теория погрешностей и практика показывают, что в среднем погрешность измерения угла способом приемов равна $1,5t$, где t — точность отсчетного устройства.

§ 33. Измерение вертикального угла

При измерении вертикальных углов, так же как и горизонтальных, приходится наводить крест сетки нитей на визирные знаки. Обычно эти знаки представляют собой переносные или постоянные вехи, на которых отмечена точка визирования. После установки теодолита и визирных знаков приступают к измерениям.

Допустим, что измерения начинают вести при круге справа. Вначале открепляют зажимные винты трубы и алидады горизонтального круга, наблюдая поверх трубы, наводят трубу на визирный знак. Убедившись, что визирный знак оказался в поле зрения трубы, действуя микрометренными винтами зрительной трубы и алидады, наводят дважды крест сетки нитей на точку визирования A и берут отсчеты по вертикальному кругу. Перед каждым отсчетом устанавливают пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину ампулы при помощи микрометренного винта алидады. При первом отсчете берут градусы и минуты, при втором — только минуты. Результаты записывают в полевой журнал (табл. 8) и выводят среднее из отсчетов ($3^\circ 45'$). Затем при этом же круге наводят крест сетки нитей на точку C и выполняют те же действия.

Таблица 8

Точка		КП, КЛ	Отсчеты по вертикальному кругу		Среднее из отсчетов $\frac{I + II}{2}$	МО, v
стояния	визи- рования		I	II		
B	A	КП	3°44'	46'	3°45'	0°01'
	C	КЛ	356 16	18	356 17	+3 44
		КП	355 11	13	355 12	0 01
		КЛ	4 50	50	4 50	-4 49

В нашем примере средний отсчет на точку *C* получился равным $355^{\circ}12'$. Переводят трубу через зенит и повторяют наблюдения на точки *A* и *C* при круге слева (КЛ). Пусть средние отсчеты при КЛ соответственно оказались $356^{\circ}17'$ и $4^{\circ}50'$. Прежде всего вычисляют место нуля из наблюдений на обе точки (формула V.15) и вносят их в графу МО против соответствующих точек в строки круга справа (КП). Убедившись, что место нуля остается постоянным в пределах двойной точности верньера, вычисляют углы наклона по формуле (V.16) и записывают результаты вычислений в графу МО в строках, соответствующих отсчетам при визировании при круге слева.

Контролем измерения вертикальных углов на станции служит постоянство места нуля. Изменение величины места нуля может происходить от неточного выведения пузырька уровня на середину, неточного наведения горизонтальной нити на визирный знак и от погрешностей в отсчетах. Непостоянство места нуля вызывается также тем, что исправительные винты уровня или сетки нитей недостаточно затянуты или лимб не жестко скреплен с осью вращения трубы. Эти причины должны быть устранены тщательной подготовкой инструмента к измерениям.

ГЛАВА VIII

ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 34. Общие сведения

Расстояния между точками местности можно измерять непосредственно и косвенно. В обоих случаях нужно получить горизонтальное проложение (проекцию) линии местности.

К непосредственным относятся такие измерения, при которых мерный инструмент непосредственно откладывают на измеряемой линии.

Пусть на рис. 44, *a* линия *AB* измерялась мерной лентой длиной *l*. На ней уложилось семь целых лент и остался оста-

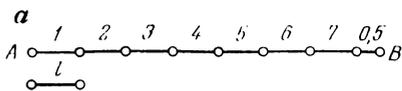


Рис. 44. Схемы непосредственного (а) и посредственного (б) измерения линий

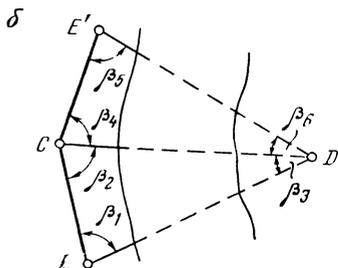
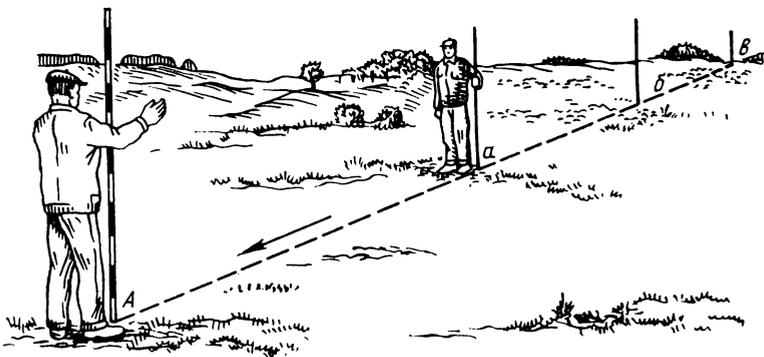


Рис. 45. Вешение линий



ток, равный $0,5l$. Тогда длина линии AB , очевидно, равна $7,5l$. Допустим теперь, что возникла необходимость определить расстояние между точками C и D , однако непосредственному измерению линии мешает река (рис. 44, б). В этом случае приходится прибегать к косвенным или посредственным измерениям. Чтобы определить расстояние CD , можно, например, построить треугольник CDE и, измерив непосредственно на местности сторону $CE = b$ и углы β_1 , β_2 и β_3 , вычислить по теореме синусов расстояние CD :

$$CD = b \sin \beta_1 / \sin \beta_3.$$

Для исключения возможных погрешностей линейные измерения организуют так, чтобы их можно было проконтролировать. При непосредственных измерениях контролем служит повторное измерение линии AB в обратном направлении от B к A . Чтобы проконтролировать посредственные измерения, можно изменить вспомогательную фигуру, например, вместо треугольника CDE построить треугольник CDE' .

§ 35. Вешение линий

При измерении расстояний мерные приборы укладывают в створе линий. Чтобы облегчить эти действия при измерении длинных линий и особенно при измерении линий со сложным профилем, в створе линий устанавливают ряд дополнительных вех. Совокупность действий, связанных с установкой вех в створе линий, называется вешением линий.

Вешение может проводиться на глаз или инструментально. Сравнительно короткие линии (от 150 до 200 м) обычно провешивают на глаз. Для этого на конечных точках линий устанавливают вехи. Наблюдатель становится на одном конце линии в точке *A* (рис. 45) и направляет рабочего с вехами к другому концу линии (точка *B*), указав ему приблизительно точки (*a*, *b*), в которых следует установить вехи. Рабочий, подойдя к дальней точке, устанавливает веху по указанию наблюдателя, который подает ему сигналы руками или флажками о перестановке вехи вправо или влево, пока она не закроет веху, установленную в дальнем конце линии. При вешении визируют на основания вех и стараются устанавливать последние отвесно. Так, постепенно приближаясь к наблюдателю, рабочий устанавливает все вехи.

При больших расстояниях, а также в тех случаях, когда вешение должно быть особенно точным, прибегают к инструментальному вешению. Для этого в точке *A* устанавливают угломерный инструмент (теодолит), зрительную трубу которого наводят на основание вехи в точке *B*, а затем в том же порядке устанавливают промежуточные вехи по кресту сетки нитей трубы. Если возникает необходимость установить вехи за пределами (продолжить линию), то это осуществляет один человек, устанавливая, например, веху *A* в одной плоскости с вехами *a* и *b*.

§ 36. Мерные приборы

Для измерения линий в геодезии используют стальные мерные ленты, которые имеют длину 20; 24; 50 и 100 м. В инженерно-геодезических работах наиболее часто применяют стальные 20-метровые мерные ленты шириной 15—25 мм, толщиной 0,3—0,4 мм. Длина лент определяется расстоянием между конечными штрихами, нанесенными против специальных вырезов для шпилек (рис. 46, *a*). Мерные ленты разделены на метры, отмеченные латунными пластинками с номером метра от начального штриха. Для удобства пользования с одной стороны ленты номера метров на пластинках возрастают в одну сторону, а с другой — в другую. Полуметры отмечены на лентах заклепками, а дециметры — отверстиями диаметром 3—4 мм (рис. 46, *б*).

При перевозках и хранении ленты наматываются на специальное кольцо и закрепляются винтом (рис. 46, *в*). В комплект

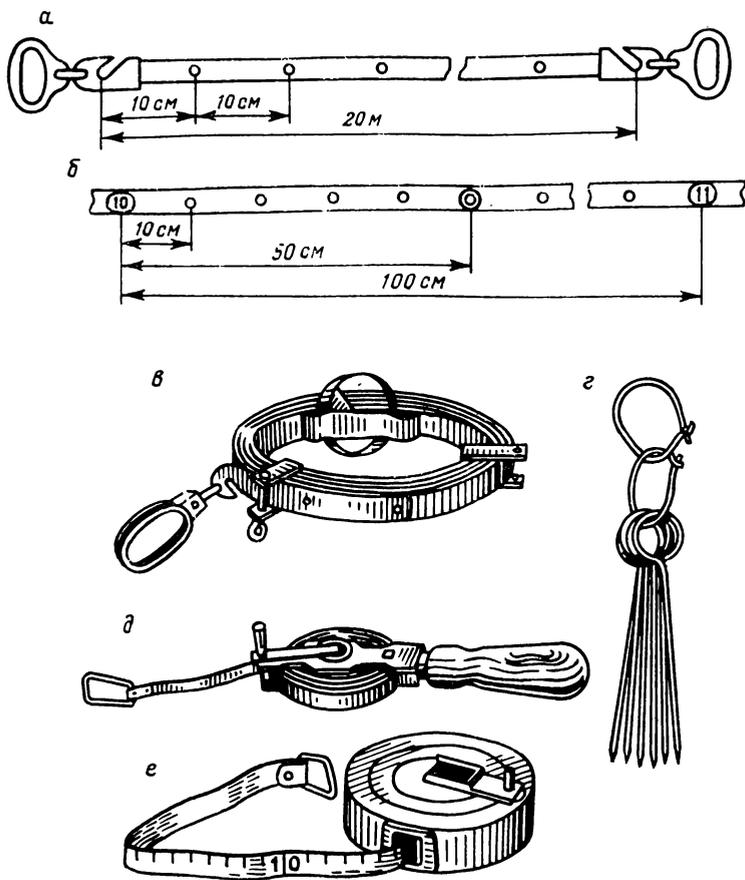


Рис. 46. Мерная лента (а), устройство полотна ленты (б), кольцо ленты (в), шпильки (г), стальная рулетка (д), тесьмяная рулетка (е)

ленты входит 11 шпилек (рис. 46, г), которые надевают на проволочное кольцо. Для измерения длин линий применяются также стальные и тесьмяные рулетки длиной 10 и 20 м. На рис. 46, д показана стальная рулетка длиной 20 м, которая наматывается на специальную вилку с рукояткой и ручкой. Рулетки относятся к шкаловым мерным инструментам. На полотне рулетки наносят сантиметровые деления, а на концах в пределах 10 см — миллиметровые шкалы. Тесьмяные рулетки (рис. 46, е) применяются при вспомогательных измерениях.

Для особо точных работ, например для измерения базисов в триангуляции и для измерения сторон в точной полигонометрии, применяются проволоки длиной 24 м.

§ 37. Компарирование мерных приборов

Перед измерением линий лентой или рулеткой необходимо определить их фактическую длину. Для этого мерный прибор (рабочую меру) сравнивают с другим прибором, длина которого точно известна (нормальной или образцовой мерой). Нормальные меры служат только для сравнения с ними рабочих мер. Их бережно хранят, чтобы они не изменили своей длины. Длина нормальной меры дается в паспорте в виде так называемого «уравнения ленты», определяющего ее длину при данной температуре.

Процесс сравнения рабочей ленты с нормальной называется компарированием. При компарировании на ровную поверхность укладываются рядом нормальная и рабочая меры так, чтобы нулевые штрихи их находились друг против друга. В таком положении концы закрепляются. К другим концам лент прикрепляют динамометры, при помощи которых ленты натягивают с одинаковой силой. Если конечные штрихи лент не совпадают, то расстояние между ними измеряют миллиметровой линейкой. Таким образом определяется длина рабочей меры.

Чаще компарирование производят на специальном приборе — компараторе. Простейший компаратор можно сделать так. На плоской поверхности укрепляют две шкалы с миллиметровыми делениями, нули которых расположены примерно на расстоянии 20 м. При помощи нормальной ленты точно определяют расстояние между нулями шкал. Длину рабочей меры определяют путем сравнения ее с компаратором при определенной температуре.

При измерении линии местности рабочей лентой, длина которой отличается от номинальной (например, от 20 м) на величину Δl , каждое откладывание ленты вносит погрешность, равную Δl . Если длина рабочей ленты больше длины номинальной на Δl , то результат измерения следует увеличить на величину $n\Delta l$, т. е. ввести поправку за компарирование на всю длину линии (n — число отложений ленты в измеряемой линии). Если, наоборот, длина рабочей ленты меньше номинальной, то результат измерения уменьшают на величину $n\Delta l$.

Пример. Вычислить действительную длину линии, которая при измерении рабочей лентой с уравнением $l_1 = 20 \text{ м} + 0,0034 \text{ м}$ оказалась равной 216,75 м.

Так как длина рабочей меры больше номинальной на $\Delta l = 0,0034 \text{ м}$, а число уложенных лент $n = 216,75/20 = 10,8375$, то $n\Delta l = 10,8375 \cdot 0,0034 = 0,034 \text{ м}$. Следовательно, длина измеряемой линии $216,75 + 0,034 = 216,78 \text{ м}$.

Для проверки длин рулеток и других мерных приборов следует иметь полевой стационарный (постоянный) компаратор. Он представляет собой закрепленную на местности линию, длина которой точно измерена и которая предназначается для эталонирования мерных приборов длиной 10; 20; 24; 30 и 50 м. Поэтому его длина должна быть кратна указанным

величинам. Достигается это тем, что компаратор общей длиной 120 м закрепляется тремя центрами, причем третий центр делит его длину на два отрезка: 20 и 100 м.

§ 38. Измерение расстояний стальной лентой

Линию на местности можно измерять лентой с комплектом из шести или одиннадцати шпилек. Измерение ведется двумя рабочими. Передний по ходу движения рабочий берет пять или десять шпилек в зависимости от длины измеряемых линий, последняя шпилька остается у заднего рабочего. Задний рабочий втыкает свою шпильку в землю против центра колышка *A* (см. рис. 44, *a*), обозначающего начало линии, надевает на нее конец ленты и направляет переднего рабочего в створ линии. Передний рабочий, встряхнув ленту, натягивает ее и, вставив шпильку в прорезь против переднего штриха, вкалывает ее в землю. Аналогичным образом лента укладывается от точки *1* к точке *2*. После этого задний рабочий вытаскивает первую шпильку из земли, и оба движутся вдоль линии, пока задний рабочий не окажется рядом со второй шпилькой. В таком порядке измерения продолжают до тех пор, пока передний рабочий не использует последнюю шпильку. В этот момент у заднего рабочего окажется десять шпилек — девять в руках и одна в земле. Это значит, что измерена линия длиной 200 м. Задний рабочий вынимает десятую шпильку, оставляет свой конец ленты на земле и передает переднему рабочему 10 шпилек. Воткнутая в землю шпилька (одиннадцатая) остается на месте и в счете отложенных лент не участвует. В журнале отмечается передача шпилек. Затем процесс измерения продолжится в том же порядке.

При измерении линий ленту следует укладывать так, чтобы кверху была обращена та сторона полотна, на которой числа метров увеличиваются по направлению измерения.

Как правило, длины линий не кратны длине ленты, поэтому ленты укладываются не целое число раз. Отрезок линии между шпилькой, обозначающей конец последней полной ленты, и концом линии *B* называется остатком. Остаток измеряется по ленте, уложенной от последней шпильки к концу линии. Отсчеты делаются с точностью до сантиметров, которые в пределах дециметра оцениваются на глаз или при помощи сантиметровой линейки. При измерении остатка следует проверить, правильно ли лежит лента, т. е. увеличивается ли номера метров по ходу измерения, так как возможна погрешность, если отсчет сделать по обратной стороне ленты.

Для контроля линию измеряют в обратном направлении от точки *B* к точке *A*. Окончательная длина линии получается как среднеарифметическое из прямого и обратного измерений. Затем ленту насухо протирают тряпкой и аккуратно наматывают на кольцо.

Рис. 47. Схема приведения линий к горизонту

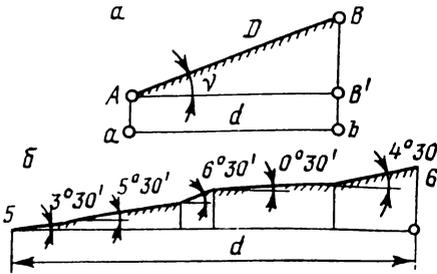
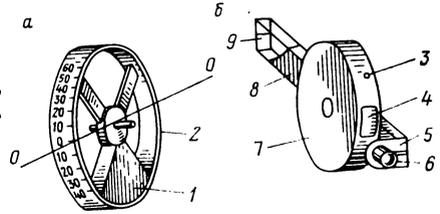


Рис. 48. Эклиметр с маятниковым кругом



§ 39. Приведение длин линий к горизонту

В практике линейных измерений сталкиваются, как правило, с измерениями наклонных линий. Поэтому от непосредственно измеренных длин линий переходят к их горизонтальным проекциям, или, как их называют, к горизонтальным проложениям.

Пусть измерены длина наклонной линии $AB = D$ и угол наклона линии к горизонту ν (рис. 47, а). При этом проекция линии AB на горизонтальную плоскость $ab = AB' = d$. Из прямоугольного треугольника ABB'

$$d = D \cos \nu. \quad (\text{VIII.1})$$

Иногда горизонтальное проложение d вычисляют через поправку к наклонному расстоянию D

$$\Delta D = D - d.$$

Так как $d = D \cos \nu$, то

$$\Delta D = D - D \cos \nu = D(1 - \cos \nu), \text{ или}$$

$$\Delta D = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}. \quad (\text{VIII.2})$$

Пользуясь формулой (VIII.2), составляют таблицы поправок для приведения длин линий к горизонту. Выписка из них приведена в табл. 9. При углах наклона до 2° поправку за наклон можно не вводить.

Пример. Пользуясь табл. 9, решаем следующую задачу. Пусть измерена длина наклонной линии $D = 189,45$ м. Определить горизонтальное проложение линии d , если угол наклона $\nu = 6^\circ 30'$. Разложим измеренную линию (189,45 м) на сотни, десятки, единицы, десятые и сотые доли метра и выберем из табл. 9 соответствующие поправки:

Длины отрезков, м	100	80	9	0,4	0,05
Поправки, м	0,643	0,514	0,058	0,003	0,000
Сумма поправок $\Delta D =$	1,218 м.				

Таблица 9

Углы наклона	Поправки (мм) при расстоянии, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1°00'	2	3	5	6	8	9	11	12	14	19
1 30	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
2 00	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2 30	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3 00	14	27	41	55	69	82	96	110	124	137
3 30	19	37	56	75	94	112	131	149	168	187
4 00	24	49	73	98	122	146	171	195	220	244
4 30	31	62	92	123	154	185	216	246	277	308
5 00	38	76	114	152	190	229	267	305	343	381
5 30	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460
6 00	55	110	164	219	274	329	384	438	493	548
6 30	64	129	193	257	322	386	450	514	579	643
7 00	74	149	224	298	373	447	522	596	671	745

Горизонтальная проекция всегда меньше наклонной линии, поэтому поправка ΔD вычитается. Следовательно, округлив поправку до сантиметров, получим

$$d = D - \Delta D = 189,45 - 1,22 = 188,23 \text{ м.}$$

В практике часто приходится встречаться с линиями, на протяжении которых углы наклона могут менять величину и направление (рис. 47, б). В таких случаях линию разбивают на отрезки, имеющие один и тот же угол наклона, и каждый отрезок отдельно проектируют на горизонтальную плоскость. Общее горизонтальное проложение получают как сумму горизонтальных проекций отрезков.

Следовательно, при измерении линий необходимо вести измерения вертикальных углов. Для определения углов наклона отдельных частей измеряемого расстояния пользуются эклиметром. Наиболее распространен эклиметр с маятниковым кругом (рис. 48, а). В круглой металлической коробочке 7 на горизонтальной оси вращается кольцо 2 с четырьмя спицами. Между двумя спицами укреплен груз-сектор 1, который под действием силы тяжести приводит один диаметр круга в вертикальное, а перпендикулярный к нему диаметр 0—0 в горизонтальное положение. Диаметр 0—0 на внешней стороне кольца отмечен нулем. От нуля по обе стороны нанесены градусные деления до 60°. Деления, идущие вниз от нуля, имеют знак плюс, а идущие вверх — минус.

В коробочке имеется окно 4 (рис. 48, б), через которое можно наблюдать поверхность кольца. Сбоку к коробочке прикреплена визирная трубка 8 прямоугольного сечения, ось которой пересекает ось вращения кольца. Задняя часть трубки закрыта стенкой с горизонтальной щелью 5, а сбоку, против окна в коробке, к трубке прикреплена лупа 6. В передней части трубки находится горизонтальная проволочка (нить) 9, ле-

жащая, как и прорезь, на оси трубки. Прорезь и нить позволяют наводить ось трубки на нужные точки.

На коробке укреплена кнопка 3, нажатием которой круг с грузом освобождается и, свободно вращаясь под действием силы тяжести, приводит нулевой диаметр в горизонтальное положение. Если теперь ось трубки установить параллельно линии ската (для этого на противоположном конце линии ската устанавливают вежу, на которой отмечен уровень глаз наблюдателя) и, отпустив кнопку, зафиксировать взаимное положение коробки и круга, то между осью трубки и нулевым диаметром образуется угол, равный углу наклона ската. Рассматривая через прорезь в лупу 6 деления круга (рис. 48, б), можно видеть горизонтальную нить, против которой и отсчитывается соответствующий угол наклона. На свободной стороне коробки помещена таблица горизонтальных положений и разностей отметок концов ската для углов от 0 до 30° при длине ската 20 м.

Эклиметр с маятниковым кругом позволяет определять углы наклона с точностью $\pm 15'$.

Для того чтобы убедиться в правильности работы эклиметра, измеряют угол наклона одного и того же ската в прямом и обратном направлениях. Если абсолютные значения углов прямого и обратного наблюдений расходятся не больше чем на $\pm 30'$, то эклиметр считают исправным. Если расхождение больше, то эклиметр исправляют, изменяя положение груза. Однако можно и не перемещая груза получать правильные углы наклона, вычисляя среднее из прямого и обратного измерений.

§ 40. Точность измерения расстояний стальной лентой

Линейные измерения, как и всякие другие, сопровождаются погрешностями. Большое влияние на точность измерения линий оказывает характер местности и почвенного покрова. Ровная поверхность и твердый грунт способствуют увеличению точности измерений, а неровная, кочкообразная, заросшая мелким кустарником, песчаная или заболоченная поверхность, наоборот, уменьшают. Исходя из этого, местность разделяют на три класса трудности:

I — местность, благоприятная для измерений, если они ведутся по твердой и ровной поверхности;

II — местность со средними условиями, поверхность земли слегка волнистая со слабым грунтом;

III — местность, неблагоприятная для измерений, почва песчаная или заболоченная, покрытая кочками или кустарником.

Точность измерений линий принято характеризовать относительными погрешностями. Если разность результатов измерения линии вперед и назад обозначить через ΔD , то отношение ΔD к длине линии D называется относительной по-

грешностью. Относительная погрешность $\frac{\Delta D}{D}$ в зависимости от характера местности должна быть: для местности I класса не более 1/3000; для II класса — не более 1/2000; для местности III класса не более 1/1000. С увеличением измеряемого расстояния относительная погрешность результата уменьшается, так как происходит компенсация случайных погрешностей откладывания отдельных лент.

§ 41. Нитяной дальномер

Расстояние от станции до съемочных точек определяют дальномером, что значительно упрощает и ускоряет процесс полевых измерений. В геодезии применяются дальномеры, принципы работы которых основаны на геометрических и физических методах. В основе физических методов лежит измерение времени прохождения света между конечными точками измеряемого расстояния.

Расстояние

$$D = v\tau/2,$$

где v — скорость распространения света в атмосфере; τ — время, за которое свет проходит расстояние $2D$.

В одной точке устанавливается светодальномер, а в другой — отражатель. Светодальномеры позволяют измерять расстояния с высокой точностью.

В основе оптических дальномеров лежит решение треугольника ACD , в котором определяемое расстояние AB служит высотой (рис. 49), а измеряемыми элементами являются базис CD или противолежащий ему угол β . В этом случае другой элемент — угол или базис CD соответственно должен быть постоянным.

Из рис. 49, *a* видно, что

$$AB = \frac{CD}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \quad \text{и} \quad AB' = \frac{C'D'}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2},$$

а из рис. 49, *б*

$$AB = \frac{CD}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \quad \text{и} \quad AB' = \frac{CD}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta'}{2}.$$

Следовательно, существуют дальномеры с постоянным углом β (рис. 49, *a*) и с постоянным базисом CD (рис. 49, *б*). Наибольшее распространение из-за конструктивной простоты и достаточной для целей съемки точности имеет нитяной дальномер, который представляет собой две дополнительные горизонтальные нити сетки зрительной трубы k и m (рис. 50, *б*).

Пусть в точке A (рис. 50, *a*) установлен теодолит так, что ось вращения инструмента совпала с отвесной линией точки A .

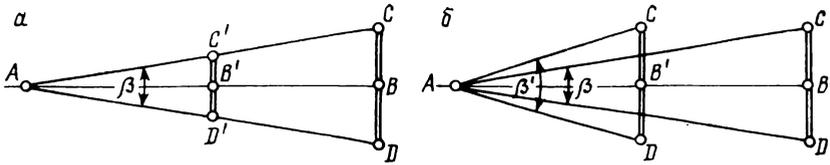


Рис. 49. Принцип действия оптического дальномера

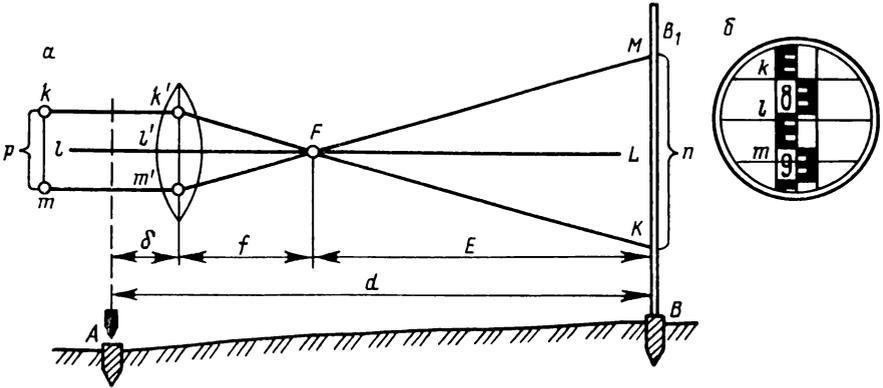


Рис. 50. К теории нитяного дальномера

В точке B вертикально установлена рейка BB_1 . Обозначим: $p = km$ — расстояние между дальномерными нитями; f — фокусное расстояние объектива; F — передний фокус объектива; d — расстояние от оси вращения инструмента до рейки BB_1 . Допустим, что визирная ось трубы горизонтальна, тогда лучи, параллельные визирной оси, идущие от нитей k и m , пройдя через объектив, пересекутся в переднем фокусе F и, пройдя его, пересекут рейку в точках K и M . Через окуляр трубы можно увидеть рейку, на которую проектируются нити K и M .

Пусть на рейке нанесены сантиметровые деления и отрезок MK рейки, выраженный в метрах и его долях, равен n . Тогда из подобия треугольников $k'Fm'$ и KFM

$$E/n = f/p,$$

отсюда

$$E = \frac{f}{p} n. \tag{VIII.3}$$

Величины f и p для данной зрительной трубы постоянны, поэтому их отношение тоже постоянно и называется коэффициентом дальномера f/p .

Формула (VIII.3) примет вид

$$E = Kn. \tag{VIII.4}$$

Расстояние от оси вращения инструмента до рейки

$$d = E + f + \delta, \quad (\text{VIII.5})$$

где E — расстояние от рейки до переднего фокуса объектива; f — фокусное расстояние объектива трубы; δ — расстояние от оси вращения инструмента до центра объектива.

Величина f приближенно определяется длиной зрительной трубы при фокусировке на удаленный предмет (если труба с внешней фокусировкой), а расстояние δ равно половине длины трубы. Следовательно, сумма $f + \delta$, которую обычно обозначают буквой c , равна полутора длинам зрительной трубы. Эту величину называют постоянной слагаемой дальномера. Учтя введенные обозначения, формулу (VIII.5) можно переписать в виде:

$$d = Kn + c. \quad (\text{VIII.6})$$

Величина c не превышает 0,1 м, поэтому при мелкомасштабных съемках, начиная с масштаба 1:2000 и мельче, ею пренебрегают и расстояние d определяют по формуле

$$d = Kn. \quad (\text{VIII.7})$$

Нитяной дальномер дает возможность определять расстояния с относительными погрешностями $1/300 \div 1/200$, что достаточно для съемки ситуации и рельефа.

§ 42. Определение горизонтальных проекций наклонных расстояний при измерении длин дальномером с вертикальной рейкой

При выводе формулы (VI.6) предполагалось, что в момент определения расстояния луч визирования горизонтален, а рейка вертикальна. В практике, как правило, при определении расстояний по вертикальной рейке производят визирование наклонным лучом. Поэтому возникает необходимость в определении горизонтального проложения.

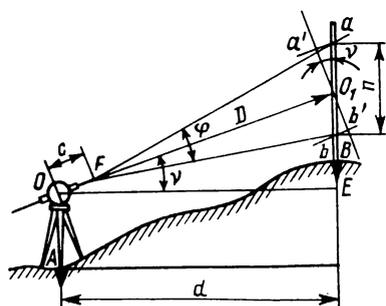


Рис. 51. К определению горизонтального проложения линии, измеренной нитяным дальномером с вертикальной рейкой

Пусть на рис. 51 в точке A установлен тахеометр, ось визирования которого направлена параллельно линии AB , а в точке B установлена вертикально рейка. Для того чтобы определить расстояние FO_1 , когда рейка установлена не перпендикулярно к линии OO_1 , отсчет $n = ab$ необходимо привести к отсчету $n' = a'b'$. Углы $a'O_1a$ и $b'O_1b$ равны ν как углы со взаимно перпендикулярными сторонами.

Учитывая малое значение угла при точке F , можно допустить, что треугольники $a'O_1a$ и $b'O_1b$ прямоугольные. Тогда

$$a'b' = ab \cos \nu = n \cos \nu.$$

Следовательно, расстояние $D = OO_1$ определится по формуле

$$D = Kn \cos \nu + c.$$

Но из рис. 51 следует, что горизонтальное проложение $d = D \cos \nu$, поэтому

$$d = Kn \cos^2 \nu + c \cos \nu. \quad (\text{VIII.8})$$

Эту формулу можно привести к виду

$$d = L \cos^2 \nu,$$

где $L = Kn + c. \quad (\text{VIII.9})$

ГЛАВА IX

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 43. Назначение и область применения теодолитной съемки

Получение контурного плана местности при помощи теодолита и мерной ленты или рулетки называется теодолитной съемкой. При этом на плане местности рельеф не изображается, поэтому теодолитную съемку называют также горизонтальной.

Как правило, теодолитная съемка применяется в равнинной местности. При этом съемочная сеть строится в виде теодолитных ходов, представляющих собой системы ломаных линий, в которых углы измеряются теодолитом, а стороны — стальной лентой. Вместо ленты можно применять дальномеры, дающие необходимую точность.

§ 44. Теодолитные ходы

Теодолитные ходы могут быть замкнутыми (ход имеет вид замкнутого многоугольника — полигона) или разомкнутыми (в виде разомкнутой ломаной линии). Разомкнутые ходы должны опираться в начале и конце на твердые точки, имеющие координаты.

Порядок производства работ при проложении теодолитных ходов следующий:

1) камеральная подготовка, состоящая в изучении задания, подборе имеющихся картографических материалов — карт, планов, профилей, каталогов плановой и высотной опоры,

географических описаний района съемки и составлении предварительного проекта работ;

2) рекогносцировка, в процессе которой отыскивают сохранившиеся на местности пункты геодезической плановой и высотной сетей, окончательно устанавливают места вершин углов поворота теодолитных ходов. Результаты рекогносцировки наносят на карту крупного масштаба или на схему, составленную в процессе работы;

3) проложение теодолитных ходов. В состав работ по проложению ходов входят:

закрепление точек поворота теодолитных ходов колышками со сторожками, на которых указывают номер точки, название организации, ведущей работы, и год (см. рис. 37);

измерение углов при помощи теодолита. Горизонтальный угол измеряют одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами на 90° . Теодолит центрируют над точками стояния с погрешностью $\pm (5-10)$ мм. При визировании трубу наводят на самую нижнюю видимую часть веши. Горизонтальные проложения вычисляют для сторон, имеющих углы наклона $\nu \geq \pm 2^\circ$;

измерение длин линий стальной 20-метровой мерной лентой или рулеткой осуществляют в прямом и обратном направлениях; оба результата измерения и среднее из них записывают в журнал установленного образца.

§ 45. Съемка подробностей

Съемка подробностей производится с пунктов теодолитных ходов. Она заключается в измерениях, определяющих положение каждого контура и всех других точек ситуации, которые в соответствии с масштабом и заданием должны быть изображены на плане.

Метод ординат. Съемка ситуации ведется относительно линий теодолитного хода. Положение точек местности определяют прямоугольными координатами. При этом ось абсцисс является направлением линии хода, а осью ординат — направление, перпендикулярное к этой линии.

На рис. 52 за оси абсцисс приняты линии 2—3 и 3—4. Для определения положения точек d , e , f из этих точек восставляют перпендикуляры на линию 2—3. Принимая точку 2 за начало координат, от нее измеряют отрезки: абсциссы — до оснований перпендикуляров и ординаты — сами перпендикуляры. Аналогично определяют положения точки g относительно линии 3—4.

Точки, снятые методом ординат, наносят на план, откладывая вдоль соответствующих линий теодолитного хода в масштабе плана абсциссы, а в их концах — ординаты при помощи поперечного масштаба и геодезического транспорта.

При применении метода ординат перпендикуляры строят при помощи экера, который состоит из двух зеркал, помещен-

Рис. 52. Методы геодезической съемки подробностей

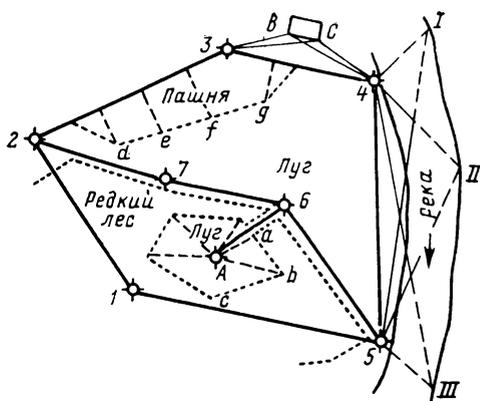
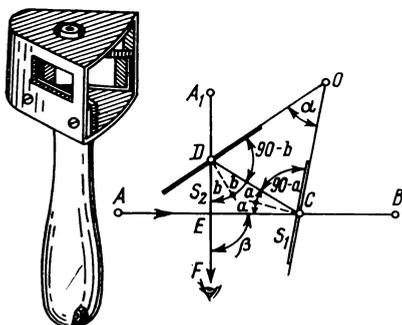


Рис. 53. К теории двухзеркального экера



ных в трехгранную металлическую оправу, имеющую ручку с отверстием для отвеса (рис. 53). В нижних частях двух стенок (с внутренней стороны) оправы расположены два зеркала — S_1 и S_2 , а в верхних частях этих же стенок вырезаны два окна, третья грань оправы открыта.

Пусть S_1 и S_2 — зеркала экера, угол между которыми равен α . Если луч AB попадет в точку C зеркала S_1 , то, отразившись, он пойдет по направлению CD и при этом образует с перпендикуляром к зеркалу S_1 в точке C углы, равные a . Отраженный луч, упав на зеркало S_2 , отразится от него и пойдет по направлению DF , составив при этом с перпендикуляром в точке D углы, равные b . Поместив глаз на пути луча DF , видим точку A в точке A_1 .

Точку пересечения лучей AB и A_1F обозначим через E , а угол между ними буквой β . Рассмотрим треугольник COD . Так как сумма углов треугольника равна 180° , то

$$\alpha + (90^\circ - a) + (90^\circ - b) = 180^\circ.$$

Раскрыв скобки, получим

$$\alpha + 90^\circ - a + 90^\circ - b - 180^\circ = \alpha - a - b = 0; \quad \text{отсюда}$$

$$\alpha = a + b.$$

(IX.1)

Рассмотрим треугольник CDE . Согласно теореме о равенстве внешнего угла треугольника сумме двух не смежных с ним углов, можно написать

$$\beta = 2(a + b). \quad (\text{IX.2})$$

Сопоставляя выражения (IX.1) и (IX.2), приходим к выводу, что

$$\beta = 2\alpha. \quad (\text{IX.3})$$

Отсюда следует, что при $\alpha = 45^\circ$ угол $\beta = 90^\circ$.

В двухзеркальных экерах угол между зеркалами S_1 и S_2 равен 45° . При этом угол β не зависит от поворота экера вокруг вертикальной оси.

Практика показала, что точность построения прямых углов при помощи двухзеркального экера составляет в среднем $\pm 5'$.

Метод линейных засечек. Положение точки определяется как вершина треугольника, стороны которого измерены. На рис. 52 точки B и C определены относительно линии $3-4$ промерами лентой расстояний $3-B$, $3-C$, $4-B$, $4-C$.

При нанесении изображений точек B и C на план строят соответствующие треугольники $3B4$ и $3C4$ по измеренным сторонам, откладываясь циркулем в масштабе съемки.

Метод угловых засечек применяется, как правило, для съемки труднодоступных точек (например, точек, находящихся за рекой). Для определения точек I , II , III левого берега реки (см. рис. 52), на точках 4 и 5 измеряют горизонтальные углы между линией теодолитного хода $4-5$ и направлениями $4-I$, $4-II$, $4-III$ и $5-I$, $5-II$, $5-III$. При построении изображений точек I , II , III на плане от линии $4-5$ при помощи транспортира откладывают направления $4-I$, $5-I$, при пересечении которых получается соответствующая точка.

Полярный метод. При этом способе съемка ведется также относительно твердой линии, один конец которой принимается за полюс. Положение съемочной точки определяется двумя координатами — горизонтальным углом, отсчитываемым от твердой линии до направления на данную точку, и расстоянием от плюса до этой точки. Углы измеряют теодолитом, установленным в полюсе, а расстояния — мерной лентой, рулеткой или дальномером.

На рис. 52 положения точек a , b , c определяются углами $6Aa$, $6Ab$, $6Ac$ и расстояниями Aa , Ab и Ac . На план наносят эти точки при помощи транспортира и поперечного масштаба.

§ 46. Камеральная обработка результатов полевых измерений

После окончания полевых работ приступают к камеральной обработке и составлению плана теодолитной съемки. Камеральная обработка начинается с тщательной проверки всех записей и вычислений в полевых журналах.

Результаты, полученные из этих вычислений: значения горизонтальных углов и горизонтальных проложений сторон теодолитных ходов содержат в себе погрешности, суммы измеренных углов теодолитного хода (практические суммы) отличаются от теоретических сумм этих углов, а суммы вычисленных приращений координат отличаются от теоретических сумм этих приращений координат.

Разность между практической и теоретической суммами называется *невязкой* и обозначается буквой f , т. е.

$$f = \Sigma_{\text{пр}} - \Sigma_{\text{теор}}. \quad (\text{IX.4})$$

Камеральная обработка теодолитных измерений заключается в определении невязок в суммах углов полигонов и в суммах вычисленных приращений координат, в увязке углов и приращений, т. е. придании частей невязок с обратным знаком измеренным величинам, с тем чтобы найти их вероятнейшие значения; вычислении координат теодолитных точек и точек ситуации; построении плана теодолитной съемки.

Все вычисления следует делать в две руки и сопровождать контрольными вычислениями.

Для облегчения геодезических вычислений созданы специальные таблицы, а также применяются различные вычислительные машины.

Вычисление дирекционных углов. Из решения прямой геодезической задачи следует, что для вычисления координат точки нужно знать координаты x_1 и y_1 предыдущей по ходу точки, горизонтальное проложение $d_{1,2}$ и дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ линии, соединяющей эти точки. Если все эти величины известны, то можно найти координаты искомой точки по формулам

$$x_2 = x_1 + d_{1,2} \cos \alpha_{1,2};$$

$$y_2 = y_1 + d_{1,2} \sin \alpha_{1,2}.$$

Для вычисления дирекционных углов сторон теодолитного хода нужно определить дирекционный угол хотя бы одной из сторон. Это достигается путем привязки теодолитных ходов к опорным сетям или измерениями магнитного азимута с последующим переходом от магнитного азимута к дирекционному углу введением поправок за магнитное склонение δ и сближение меридианов γ .

Если известен дирекционный угол исходной стороны α_n и первый правый по ходу лежащий угол β_1 , то можно вычислить дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ стороны $I-2$ (рис. 54, б). Для этого продолжим начальное направление за точку I .

Из рис. 54, б следует, что

$$\alpha_{1,2} = \alpha_{1,11} - \beta_1, \quad \text{но} \quad \alpha_{1,11} = \alpha_n + 180^\circ, \quad \text{поэтому}$$

$$\alpha_{1,2} = \alpha_n + 180^\circ - \beta_1.$$

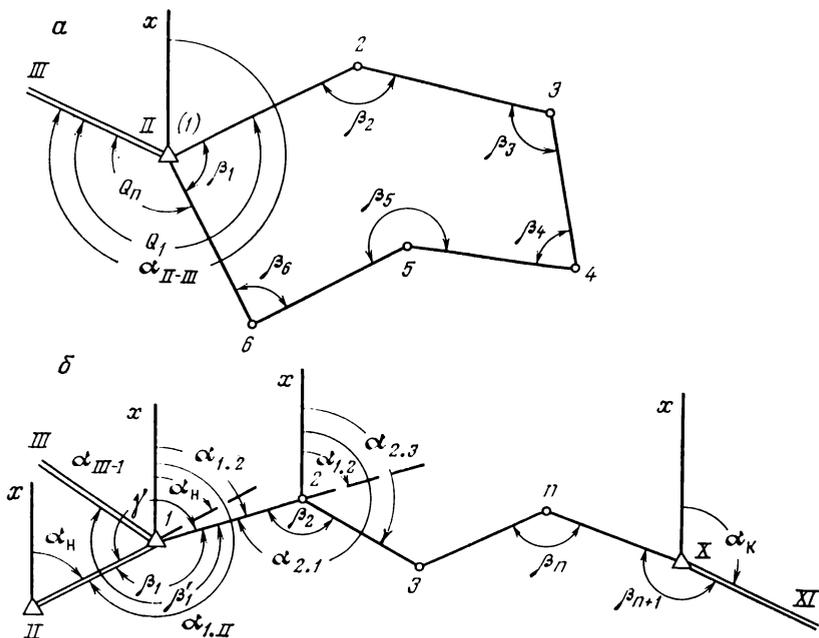


Рис. 54. Теодолитные ходы:
 а — замкнутый; б — разомкнутый

Определим дирекционный угол $\alpha_{2,3}$ стороны 2—3, предварительно продолжив линию 1—2 за точку 2:

$$\alpha_{2,3} = \alpha_{1,2} + 180^\circ - \beta_2, \text{ но } \alpha_{1,2} = \alpha_n + 180^\circ - \beta_1, \text{ следовательно,}$$

$$\alpha_{2,3} = \alpha_n + 2 \cdot 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2).$$

Продолжив аналогичные рассуждения, получим формулы общего вида:

$$\alpha_{i, i+1} = \alpha_{i-1, i} \pm 180^\circ - \beta_i; \quad (\text{IX.5})$$

$$\alpha_k = \alpha_n + (n+1) 180^\circ - \sum_1^{n+1} \beta, \quad (\text{IX.6})$$

где i — номер угла, через который передается дирекционный угол; α_n, α_k — дирекционные углы соответственно исходной и конечной сторон; $(n+1)$ — число всех углов хода.

Следует помнить, что в разомкнутом ходе n сторон, а число углов (включая два примычных) равно $n+1$.

При измерении левых по ходу лежащих углов формулы (IX.5) и (IX.6) примут вид:

$$\alpha_{i, i+1} = \alpha_{i-1, i} \pm 180^\circ + \gamma_i; \quad (\text{IX.7})$$

$$\alpha_k = \alpha_n + (n+1) 180^\circ + \sum_1^{n+1} \gamma, \quad (\text{IX.8})$$

так как каждый правый угол является дополнением левого до 360° .

Следовательно, для вычисления дирекционного угла последующей стороны нужно к дирекционному углу предыдущей стороны прибавить 180° и вычесть правый по ходу угол между этими линиями или от дирекционного угла предыдущей стороны отнять 180° и прибавить левый по ходу лежащий угол между этими сторонами.

Правильность вычисления дирекционных углов замкнутого теодолитного хода (рис. 54, а) можно проконтролировать так. После вычисления дирекционного угла последней стороны можно через угол β_1 найти дирекционный угол первой стороны и, если значение вычисленного дирекционного угла совпадает с $\alpha_{1,2}$, то вычисления следует считать проведенными правильно.

В разомкнутом теодолитном ходе, опирающемся на две твердые стороны, контроль за вычислением дирекционных углов осуществляется по формуле (IX.6).

Обработка угловых измерений. При измерении углов возникают погрешности, которые необходимо обнаружить и по возможности устранить. Величиной, характеризующей точность угловых измерений теодолитного хода, является невязка угловых измерений, которая не должна превышать определенного предела.

Предельная погрешность одного угла, измеренного полным приемом, равна $\pm 1,5t$, предельная погрешность в сумме n углов

$$f_{\beta_d} = \pm 1,5t \sqrt{n}. \quad (\text{IX.9})$$

где f_{β_d} — предельная невязка суммы углов; t — точность отсчетного приспособления; n — число измеренных углов.

Для замкнутого хода теоретическая сумма внутренних углов

$$\sum_1^n \beta_{\tau} = 180^\circ (n-2). \quad (\text{IX.10})$$

Отсюда формула угловой невязки будет иметь вид:

$$f_{\beta} = \Sigma \beta_n - \Sigma \beta_{\tau} = \Sigma \beta_n - (n-2) 180^\circ, \quad (\text{IX.11})$$

где $\Sigma \beta_n$ — сумма измеренных правых углов в замкнутом ходе; $\Sigma \beta_{\tau}$ — теоретическая сумма углов полигона; n — число углов в полигоне.

Таблица 10

Номер точки	Измеренный угол β	Исправленный угол β'	Дирекционный угол α	Табличный угол γ	Горизонтальное проложение, м	Приращения	
						вычисл	
						\pm	Δx
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+0',5 135°22',5	135°23'	333°25'	26°35'	187,30	+	+0,06 167,50
2	+0',5 81°13',5	81°14'	72°11'	72°14'	225,84	+	+0,07 69,10
3	+0',5 142°33',5	142°34'	109°37'	70°23'	156,65	+	+0,05 52,59
4	+0',5 103°51',5	143°52'	185°45'	5°45'	271,37	-	+0,10 270,01
5	76°57'	76°57'	288°48'	71°12'	265,73	+	+0,09 85,63
					$P = 1106,89$	$\Sigma \Delta x_+ = + 322,23$	
							$\Sigma \Delta x_- = -322,60$
							$f_x = -0,37$
							$f_{\beta_d} = \pm 1,5t \sqrt{n} = 1,5 \cdot 1' \sqrt{5} = 1,5 \cdot 1'2,2 = \pm 0^{\circ}03',3$

Для разомкнутого хода угловые невязки подсчитываются по формулам:

для правых углов

$$f_{\beta} = \sum_1^{n+1} \beta_n - [\alpha_n - \alpha_k + (n+1) 180^{\circ}]; \quad (\text{IX.12})$$

для левых углов

$$f_{\beta} = \sum_1^{n+1} \beta_n - [\alpha_k - \alpha_n + (n+1) 180^{\circ}]. \quad (\text{IX.13})$$

Угловые невязки следует подсчитывать в поле после окончания измерений горизонтальных углов. Если угловая невязка не выходит за пределы, определяемые формулой (IX.9), то

координат, м						x, м	y, м	Номер точки
исправленные		исправленные						
±	Δy	±	Δx	±	Δy			
9	10	11	12	13	14	15	16	17
—	83,82	+	167,56	—	83,82	6 271 172,13	4 428 728,07	1
						339,69	644,25	2
+	215,01	+	69,17	+	215,01	408,86	859,26	3
						147,55		
+	147,55	—	52,54	+		356,32	4 429 006,81	4
						27,19		
—	27,19	—	269,91	—		86,41	4 428 979,62	5
						251,55		
—	251,55	+	85,72	—				
		+						
		—				6 271 172,13	4 428 728,07	1
			0		0			

$$\Sigma \Delta y_+ = +362,56 \quad \Sigma \Delta y_- = -362,56 \quad f_y = 0,00$$

$$f_s = \pm \sqrt{0,37^2 + 0,00^2} = \pm 0,37 \text{ м}$$

$$\frac{f_s}{P} = \frac{0,37}{1106,89} = \frac{1}{3000}$$

измерения правильные и можно проводить увязку углов. Увязка углов теодолитного хода сводится к приданию каждому измеренному углу поправки, равной невязке f_β , деленной на число измеренных углов с обратным знаком — f_β/n .

Вычисление координат замкнутого теодолитного хода. Рассмотрим вычисление и увязку координат замкнутого теодолитного хода (см. рис. 52), которые ведутся в специальной ведомости (табл. 10). В графу 1 выписываются номера точек теодолитного хода. Из полевого журнала измерения горизонтальных углов против соответствующих номеров точек в графу 2 вписывают значения внутренних углов полигона. В нашем случае эти углы будут правыми. Затем подсчитывают сумму измеренных углов и получают практическую сумму, которую записывают под чертой в графе 2 (в табл. 10 $\Sigma \beta_n = 539^\circ 58'$).

По формуле (IX.10) вычисляют теоретическую сумму $\Sigma\beta_{\tau} = 180^{\circ}(5-2) = 540^{\circ}00'$. Пользуясь выражением (IX.11), определяют угловую невязку

$$f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{п}} - \Sigma\beta_{\tau} = 539^{\circ}58' - 540^{\circ}00' = -0^{\circ}02'.$$

Подсчитывают по формуле (IX.9) допустимую угловую невязку $f_{\beta_{\text{д}}} = \pm 1,5' \sqrt{5} = \pm 0^{\circ}03'$ и, убедившись, что она больше практической, приступают к увязыванию измеренных углов. Отрицательный знак невязки говорит о том, что практическая сумма меньше теоретической и, следовательно, ее нужно увеличить на $2'$. Для этого к каждому измеренному углу можно прибавить невязку, деленную на число измеренных углов. В нашем случае углы измерялись с точностью до $\pm 1'$ и не имеет смысла вводить поправки с точностью до $0,1'$. Поэтому введем поправку только в первые четыре угла по $0,5'$.

Поправки к измеренным углам со знаком, обратным невязке, выписываются красными чернилами над минутами в графе 2. Полученные исправленные углы вписывают против соответствующих измеренных углов в графе 3. Для контроля подсчитывают их сумму, она должна быть равна $540^{\circ}00'$.

Увязав углы, приступают к вычислениям дирекционных углов. Выписывают в графу 4 между точками 1 и 2 дирекционный угол линии 1—2, равный $333^{\circ}25'$. Вычисления делают по формуле (IX.5). Например, дирекционный угол линии 2—3 $\alpha_{2,3} = 333^{\circ}25' + 180^{\circ} - 81^{\circ}14' = 432^{\circ}11'$. Вычитая 360° , получаем: $\alpha_{2,3} = 432^{\circ}11' - 360^{\circ} = 72^{\circ}11'$. Далее к дирекционному углу линии 2—3 прибавляют 180° и вычитают исправленный угол в точке 3: $\alpha_{3,4} = 72^{\circ}11' + 180^{\circ} - 142^{\circ}34' = 109^{\circ}37'$. Так, последовательно вычисляя дирекционные углы, получают дирекционный угол стороны 5—1, равный $288^{\circ}48'$.

Чтобы убедиться, что вычисления дирекционных углов произведены правильно, определяют через исправленный угол точки 1 дирекционный угол линии 1—2: $\alpha_{1,2} = 288^{\circ}48' + 180^{\circ} - 135^{\circ}23' = 333^{\circ}25'$. Сравнив его с исходным, можно убедиться, что вычисления сделаны правильно.

Теперь приступают к вычислению табличных углов, которые выписывают в графу 5. Вычисления ведут по формулам перехода от дирекционных углов к табличным (см. табл. 2).

Вычислив табличные углы, выписывают в графу 6 значения горизонтальных проложений линий теодолитного хода. Подсчитывают периметр хода, равный сумме горизонтальных проложений $P = 1106,89$ м, и выписывают его под чертой графы 6. Далее приступают к вычислению приращений координат. Предварительно определяют знаки приращений, сообразуясь с дирекционными углами линий (см. табл. 3). Знаки приращений Δx вписывают в графы 7 и 11, а знаки Δy — в графы 9 и 13 [см. формулы (III.6)]. Вычисления производят или по формулам (III.6) или при помощи специальных таблиц. Значения вычис-

ленных приращений координат Δx выписывают в графу 8, а Δy — в графу 10. Учитывая, что суммы приращений координат замкнутого полигона должны быть равны нулю, производят суммирование положительных и отрицательных приращений и выписывают эти суммы под чертой граф 8 и 10. В нашем случае суммы положительных приращений $\Sigma \Delta x = +322,23$ м, а отрицательных $\Sigma \Delta x = -322,60$ м; сумма положительных приращений $\Sigma \Delta y = +362,56$ м и отрицательных $\Sigma \Delta y = -362,56$ м. Следовательно, общая сумма $\Sigma \Delta x$, равная невязке f_x , составит 0,37 м, а общая сумма $\Sigma \Delta y$, равная невязке f_y , будет равна 0.

Графически невязка приращений координат представляет собой проекцию невязки f_s в периметре хода на оси координат. Увязка приращений производится путем введения в них поправку. Поправки в приращении координат вводятся пропорционально длинам сторон хода с знаком, обратным невязке. Сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком.

Прежде чем производить увязку приращений координат, нужно убедиться, что невязки допустимые. Допустимость невязок определяется следующим способом. Общая невязка в периметре хода

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}.$$

Допустимыми для средних условий измерений невязки считаются в том случае, если отношение невязки f_s к периметру хода P отвечает следующему условию:

$$f_s/P \leq 1/2000.$$

Это отношение называется относительной погрешностью теодолитного хода. Невязка в периметре хода в нашем примере оказалась равной $f_s = \pm 0,37$ м, а относительная погрешность $f_s/P = 1/3000$.

Поправки в приращении координат Δx введены пропорционально длинам линий, а так как невязка $f_y = 0$, то и поправки равны нулю. Поправки в приращении координат

$$v_{x_i} = - \frac{f_x}{P} d_{1,2}; \quad v_{y_i} = - \frac{f_y}{P} d_{1,2},$$

где v — поправка в приращение координат; d — длина соответствующей стороны хода.

Для стороны $d_{1,2}$ по оси x (см. табл. 10):

$$v_{d_{1,2}} = \frac{-0,37}{1106,89} 187,30 = +0,062 \approx +0,06 \text{ м.}$$

Исправленные приращения выписывают в графы 12 и 14, их суммы должны быть равны нулю. Зная координаты точки 1, вычисляют окончательные координаты всех точек:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_{i-1}, i; \quad y_i = y_{i-1} + \Delta y_{i-1}, i.$$

§ 47. Вычисление координат разомкнутого (диагонального) хода

Обработку результатов измерений разомкнутого (диагонального) хода рассмотрим на примере хода между точками 5 и 2 (см. рис. 52). Вычисления координат приведены в табл. 11. В графе 1 выписаны номера точек хода, а в графе 2 — соответствующий этим точкам правые по ходу измеренные углы. Под чертой в графе 2 выписана практическая сумма измеренных углов $\Sigma\beta_{\text{пр}}=473^{\circ}36'$. Для вычисления теоретической суммы углов диагонального хода следует воспользоваться формулой (IX.6):

$$\sum_1^{n+1} \beta_{\tau} = \alpha_n - \alpha_k + (n+1) 180^{\circ}.$$

Для нашего случая из табл. 10 выпишем дирекционные углы сторон $\alpha_{4,5}=185^{\circ}45'$ и $\alpha_{2,3}=72^{\circ}11'$, число измеренных углов $(n+1)=4$, поэтому теоретическая сумма углов хода $\Sigma\beta_{\tau} = 473^{\circ}34'$. Следовательно, угловая невязка

$$f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{пр}} - \Sigma\beta_{\tau} = 473^{\circ}36' - 473^{\circ}34' = +2'.$$

Т а б л и ц а 11

Номер точки	Измеренный угол β	Исправленные углы β_1	Дирекционные углы α	Табличные углы γ	Горизонтальные проложения d , м	Приращение	
						вычис	
						\pm	Δx
1	2	3	4	5	6	7	8
4	—0',5		185°45',0				
5	33°49'	33°48',5					0,07
6	—0',5 223°16'	223°15',5	331°56',5	28°3',5	175,24	+	154,64
7	—0',5 175°01'	175°00',5	288°41',0	71°19',0	127,28		
2	—0',5 41°30'	41°29',5	293°40',5	66°19',0	144,55	+	—0,04 40,77
			72°11',0		$P = 447,07$	+	—0,06 58,04

$$\Sigma\beta_{\text{пр}} = 473^{\circ}36' \quad 473^{\circ}34'$$

$$\Sigma\Delta x_{\text{пр}} = +253,45$$

$$\Sigma\beta_{\tau} = \alpha_n - \alpha_k + 360^{\circ} = 473^{\circ}34'$$

$$\Sigma\Delta x_{\tau} = +253,28$$

$$f_{\beta} = 473^{\circ}36' - 473^{\circ}34' = +0^{\circ}02'$$

$$f_x = +0,17$$

$$f_{\beta_d} = \pm 1,5t \sqrt{n+1} \pm 1,5 : 1',2 = \pm 3',0$$

Подсчитываем допустимую невязку по формуле

$$f_{\beta_d} = 1,5t \sqrt{n+1} = 1,5' \sqrt{4} = \pm 3'$$

и, убедившись, что невязка допустима, распределяем ее с обратным знаком на четыре угла, т. е. по $-0',5$. Исправленные углы вписываем в графу 3, их сумма должна быть равна теоретической сумме $473^\circ 34'$. Далее приступаем к вычислению дирекционных углов по формуле

$$\alpha_{i, i+1} = \alpha_{i-1, i} + 180^\circ - \beta_i.$$

Значения дирекционных углов вписывают в графу 4. По дирекционным углам вычисляют табличные углы и заносят их в графу 5. После этого в графу 6 вносят горизонтальные продолжения линий диагонального хода и, вычислив периметр хода $P=447,07$ м, записывают результат под чертой. По дирекционным углам определяют знаки приращений координат и вписывают их в графы 7, 9, 11 и 13. Вычислив далее приращения координат, можно определить их суммы $\Sigma \Delta x_{\text{п}} = +253,45$ м и $\Sigma \Delta y_{\text{п}} = 335,32$ м и занести их под чертой в графах 8 и 10. Теоретические суммы приращений координат по-

щения координат, м						x, м	y, м	Номер точки
ленные		исправленные						
\pm	Δy	\pm	Δx	\pm	Δy			
9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-0,02					6 271 086,41	4 428 979,62	5
-	82,42	+	154,57	-	82,44	240,98	897,18	6
-	-0,01 120,52	+	40,73	-	120,53	281,71	776,65	7
-	-0,02 132,38	+	57,98	-	132,40	6 271 339,69	4 428 644,25	2

$$\Sigma \Delta y_{\text{п}} = 335,32 \quad \Sigma \Delta x = +253,28 \quad \Sigma \Delta y = -335,37$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{т}} = -335,37$$

$$f_y = +0,05 \quad x_2 - x_5 = +253,28 \quad y_2 - y_5 = -335,37$$

$$f_s = \sqrt{0,17^2 + 0,05^2} = +0,18 \text{ м}$$

$$\frac{f_s}{P} = \frac{0,18}{474,06} = \frac{1}{2500}$$

лучают как разности координат точек 2 и 5, которые в данном случае принимаются твердыми. Эти суммы в нашем случае $\Sigma \Delta x_T = 6271339,69 - 6271086,41 = +253,28$ м; $\Sigma \Delta y_T = 4428644,25 - 4428979,62 = -335,37$ м.

Разности практических и теоретических сумм определяют невязки:

$$f_x = \Sigma \Delta x_n - \Sigma \Delta x_T = +0,17 \text{ м};$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_n - \Sigma \Delta y_T = +0,05 \text{ м}.$$

После этого определяют невязку периметра хода $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ и относительную погрешность f_s/P . Убедившись, что относительная погрешность $f_s/P \leq 1/1500$, приступают к увязке приращений координат, распределяя невязку с обратным знаком пропорционально длинам сторон хода. Исправленные приращения вписывают в графы 12 и 14. Их суммы должны быть равны теоретическим:

$$\Sigma \Delta x = +253,28 \text{ м} \quad \text{и} \quad \Sigma \Delta y = -335,37 \text{ м}.$$

В заключение вычисляют окончательные координаты пунктов хода

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x_{i-1}, i; \quad y_i = y_{i-1} + \Delta y_{i-1}, i$$

и вписывают их в графы 15 и 16.

§ 48. Построение плана теодолитной съемки

При построении плана теодолитной съемки предварительно строится координатная сетка со стороной квадрата, равной 10 см. От точности построения координатной сетки во многом зависит точность будущего плана, поэтому ее нанесение должно производиться с большой тщательностью.

Построение координатной сетки при помощи линейки Дробышева. Линейка Дробышева (рис. 55) представляет собой металлическую полосу шириной 50 мм и толщиной 5 мм. Один край линейки и одна торцовая часть ее скошены. Линейка имеет шесть прямоугольных отверстий 1 и две ручки 3 для удобства работы с ней.

В каждом прямоугольном отверстии одна сторона скошена. Расстояние между скошенными краями отверстий равно 100 мм. Середины скошенных плоскостей отмечены штрихами 2. Скошенные края отверстий, начиная со второго и кончая торцом, являются дугами окружностей, радиусы которых соответственно равны: $r_1 = 100,00$ мм; $r_2 = 200,00$ мм, $r_3 = 300,00$ мм; $r_4 = 400,00$ мм; $r_5 = 500,00$ мм и $R = 707,11$ мм (равен диагонали квадрата со стороной 500 мм).

Линейка рассчитана на построение координатных сеток размером 50×50 см, она позволяет также вычерчивать и ко-

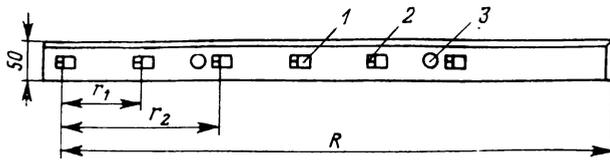


Рис. 55. Линейка Дробышева

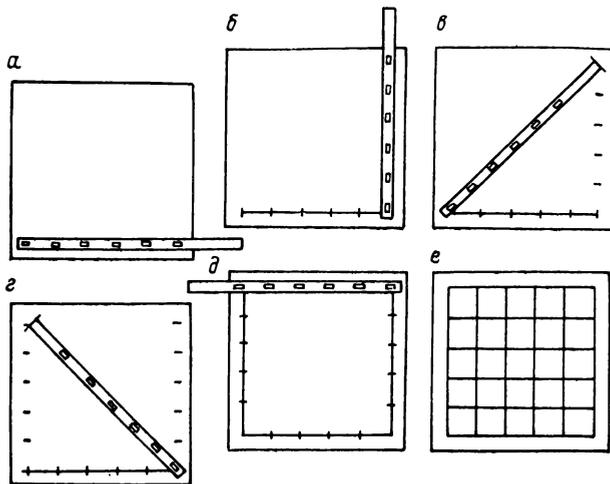


Рис. 56. Построение координатной сетки при помощи линейки Дробышева

ординатную сетку в виде прямоугольника со сторонами 40×30 см, так как

$$50 = \sqrt{40^2 + 30^2}.$$

Координатная сетка строится в следующем порядке. Приложив линейку Дробышева к обрезу листа по скошенному краю, проводят остро отточенным карандашом прямую линию на расстоянии 50 мм от обреза листа. Затем линейку располагают так, чтобы прочерченная линия проходила через середины (штрихи) скошенных краев отверстий (рис. 56, а). Остро отточенным карандашом проводят по скошенным краям отверстий дуги, которые разделят прямую линию на отрезки, равные 100 мм. После этого линейку располагают на листе так, чтобы штрих скошенного края первого отверстия совпал с пятой другой (крайней справа, рис. 56, б), а линейка расположилась под прямым углом к горизонтальной линии. После того, так же как и в первом случае, делают засечки по скошенным краям от-

верстий. Те же действия производят на левом конце горизонтальной линии.

Далее укладывают линейку по диагонали так, чтобы штрих скошенного края первого отверстия совпал с левым концом горизонтальной линии, а скошенный торец линейки пересек последнюю засечку правого перпендикуляра. По скошенному краю торца проводят карандашом дугу (рис. 56, в). Пересечение этой дуги с засечкой даст верхний правый угол квадрата. Приложив линейку по другой диагонали, аналогично получим вершину верхнего левого угла квадрата (рис. 56, г).

Теперь линейку располагают так, чтобы правая верхняя вершина квадрата оказалась на штрихе скошенного края первого отверстия, а левая верхняя вершина — на дуге скошенного края шестого отверстия. Если расстояние между этими вершинами отличается от расстояния между скошенными краями отверстий не более чем на 0,3 мм, то карандашом делают засечки по скошенным краям промежуточных отверстий (рис. 56, д). После этого, пользуясь скошенным краем линейки, соединяют вершины квадратов и соответствующие засечки прямыми линиями и получают координатную сетку (рис. 56, е).

Проверку построения сетки проводят так: прикладывают скошенный край линейки к диагонали квадрата, и если соответствующие вершины малых квадратов окажутся на этой диагонали, то построение можно считать правильным. Кроме того, циркулем-измерителем проверяют диагонали малых квадратов, которые не должны отличаться друг от друга более чем на 0,2 мм.

Нанесение на план точек геодезического хода. После построения координатной сетки подписывают координаты ее линий: абсциссы — слева и справа от координатной сетки, а ординаты — снизу и сверху (рис. 57). Полные значения координат пишут в углах координатной сетки и в точках со значением координат, равным целым тысячам метров, в остальных точках сетка подписывается сотнями метров.

При нанесении на план точки по ее прямоугольным координатам прежде всего определяют квадрат, в котором она находится. Затем от координат точки вычитают координаты юго-западного угла квадрата. Разность абсцисс, выраженную в масштабе плана, откладывают от южной стороны квадрата на вертикальных сторонах. Через концы этих отрезков проводят линию и вдоль нее от западной стороны квадрата на восток откладывают разность ординат, также выраженную в масштабе плана. Конец этого отрезка и определит положение точки.

Пример. Требуется нанести на план точку 2, координаты которой $x_2 = 6271339,69$ м; $y_2 = 4428644,25$ м. Прежде всего устанавливаем, что точка находится в квадрате, координаты юго-западного угла которого $x_0 = 6271300$ и $y_0 = 4428600$. Составляем разности $\Delta x = x_2 - x_0 = 6271339,69 - 6271300,00 = 39,69$ м и $\Delta y = y_2 - y_0 = 4428644,25 - 4428600,00 = 44,25$ м. В масштабе плана 1 : 1000 эти разности будут равны: $x = 39,7$ мм и $y = 44,2$ мм. Эти величины следует брать сразу с поперечного масштаба циркулем-измерителем.

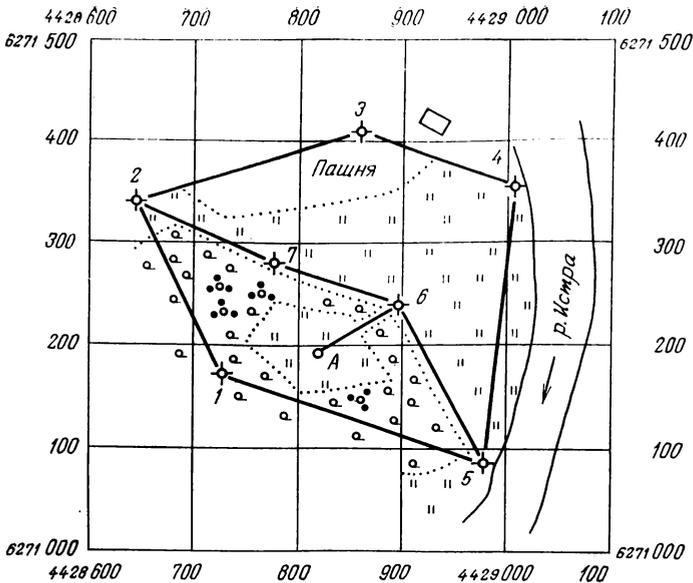


Рис. 57. План теодолитной съемки

Откладываем по вертикальным сторонам квадрата вверх по 39,7 мм и соединяем концы отрезков горизонтальной линией. Вдоль этой линии от западной стороны квадрата откладываем отрезок 44,2 мм. Конец этого отрезка соответствует положению точки 2 на плане.

Точно в таком же порядке наносятся все точки теодолитных ходов (см. рис. 57). Прежде чем наносить следующую точку, нужно убедиться, что предыдущие нанесены правильно. Для этого берут раствором циркуля-измерителя с поперечного масштаба горизонтальное проложение между нанесенными точками и сравнивают его с расстоянием между этими точками на плане. Если это расстояние отличается не более чем на $\pm 0,2$ мм в масштабе плана, то считают, что точки нанесены правильно. После нанесения всех точек съемочной сети приступают к нанесению подробностей.

Порядок нанесения точек съемки подробностей рассмотрим на примере плана, изображенного на рис. 52.

Левый берег реки наносится откладыванием от линии 4—5 в точках 4 и 5 углов при помощи транспортира. В пересечении одноименных направлений получают точки контура левого берега I, II, III. Контур пашни наносится путем откладывания по линиям 2—3 и 3—4 расстояний от начала линий до оснований перпендикуляров (ординат) в масштабе плана и перпендикуляров, вершины которых дадут точки *d*, *e*, *f*, *g* контура пашни. Контур луга наносят по полярным координатам. Для этого относительно линии *A*—6 по ходу часовой стрелки откладывают полярные углы *6Aa*, *6Ab* (и т. д.) и по этим направлениям откладывают отрезки *Aa*, *Ab* и т. д. Концы этих отрезков дадут контур луга.

Углы здания *B* и *C* получаются в пересечении направлений 3—*B*, 4—*B* и 3—*C*, 4—*C*, отложенных при помощи циркуля-измерителя от точек 3 и 4.

После составления плана в карандаше его тщательно проверяют и приступают к вычерчиванию в туши, применяя топографические условные знаки, установленные для плана данного масштаба (см. рис. 57).

ГЛАВА X

НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 49. Геометрическое нивелирование

Нивелирование производится для определения высот точек земной поверхности, необходимых для изучения рельефа местности и изображения его на планах и картах.

Геометрическое нивелирование производится при помощи нивелира и реек. Главными частями нивелира являются зрительная труба и цилиндрический уровень, при помощи которого визирная ось трубы приводится в горизонтальное положение.

Рейки, используемые при геометрическом нивелировании, представляют собой деревянные бруски, на которые нанесены шашечные сантиметровые деления.

Основным методом нивелирования является *нивелирование из середины*. При нивелировании из середины инструмент устанавливают посредине между точками A и B , а на точки устанавливают одинаковые рейки. На рис. 58 R_a и R_b — рейки; J — нивелир; линия AB_1 — уровенная поверхность точки A ; H_A — абсолютная отметка точки A (т. е. высота ее над средней уровенной поверхностью, соответствующей среднему уровню Балтийского моря); h — превышение точки B над точкой A ; a и b — соответственно взгляд (отсчет) на заднюю рейку — «назад» и на переднюю — «вперед».

Из рис. 58 следует, что

$$b + h = a, \quad \text{отсюда}$$

$$h = a - b,$$

т. е. при нивелировании из середины превышение равно «отсчёту назад» минус «отсчёт вперед». Если при этом «отсчет назад» больше «отсчета вперед» ($a > b$), то превышение h положительно, т. е. точка B выше точки A , если же «отсчет назад» меньше «отсчета вперед» ($a < b$), то превышение h отрицательно, т. е. точка B ниже точки A .

Зная отметку H_A точки A и превышение h , определяем отметку точки B :

$$H_B = H_A + h, \quad (\text{X.1})$$

т. е. отметка передней точки равна отметке задней точки плюс превышение h между ними.

Высота визирного луча нивелира над уровнем моря называется горизонтом инструмента и обозначается через ГИ:

$$ГИ = H_A + a = H_B + b. \quad (X.2)$$

Если установить рейку в какой-нибудь точке C и взять по ней отсчет c , то

$$H_C = ГИ - c, \quad (X.3)$$

т. е. отметка любой точки равна горизонту инструмента ГИ минус отсчет по рейке, стоящей в данной точке.

Последовательное нивелирование. В тех случаях, когда с одной установки инструмента нельзя определять превышение между конечными точками, прибегают к последовательному нивелированию, т. е. расстояние между конечными точками разбивают на ряд равных отрезков, допускающих простое нивелирование их концов. Определяя последовательно превышения между этими связующими точками и суммируя их, получают превышение между начальной A и конечной B точками как алгебраическую сумму превышений между связующими точками (рис. 59). Связующими называют точки, общие для двух смежных установок нивелира.

Следовательно, превышение h_{AB} между конечными точками A и B

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + (a_3 - b_3) + \dots + (a_n - b_n);$$

$$h_{AB} = \sum_1^n h = \sum_1^n a - \sum_1^n b. \quad (X.4)$$

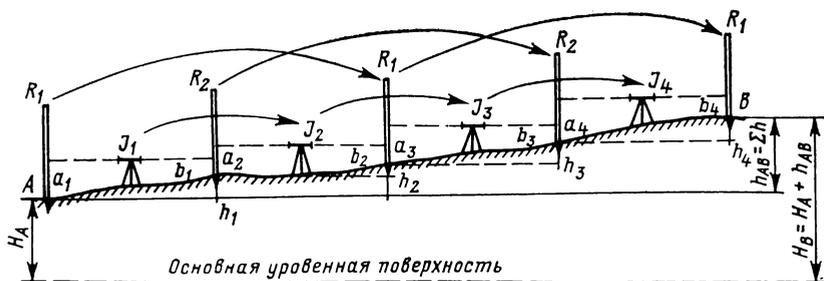


Рис. 59. Схема сложного нивелирования

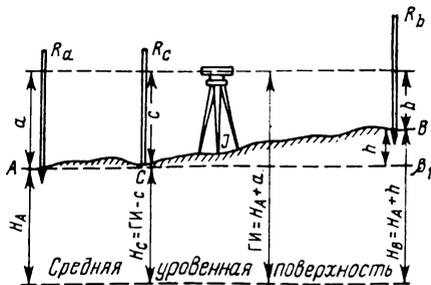


Рис. 58. Схема геометрического нивелирования

Вычисляя превышение h_{AB} между конечными точками A и B и зная отметку начальной точки H_A , находят отметку конечной точки

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum_1^n a - \sum_1^n b. \quad (\text{X.5})$$

Итак, при последовательном нивелировании превышение между конечными точками равно сумме «отсчетов назад» $\left(\sum_1^n a\right)$ минус сумма «отсчетов вперед» $\left(\sum_1^n b\right)$.

Последовательное нивелирование по линии местности между удаленными точками с целью передачи отметки называется продольным нивелированием, или нивелирным ходом.

§ 50. Нивелиры и их поверки

Промышленность выпускает нивелиры следующих типов.

Нивелир Н-05 — высокоточный, с оптическим микрометром для определения превышения со средней квадратической погрешностью более 0,5 мм на 1 км двойного хода. Применяется при нивелировании I и II классов в государственных геодезических сетях, на геодинамических полигонах, при ведении инженерно-геодезических работ.

Нивелир Н-3 — точный, используется для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода. Применяется при нивелировании III и IV классов и инженерно-геодезических изысканиях.

Нивелир Н-10 — технический, для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода. Применяется для высотного обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

В зависимости от применяемого устройства для приведения визирной оси в горизонтальное положение нивелиры всех типов должны выпускаться в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона визирной оси. При наличии компенсатора в шифр нивелира добавляется буква К. Нивелиры типов Н-3 и Н-10 допускается изготавливать с лимбом для измерения горизонтальных углов. При наличии лимба в шифре нивелира добавляется буква Л.

Нивелир с цилиндрическим уровнем 2Н-10Л (рис. 60) предназначен для определения превышений при выполнении технического нивелирования, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

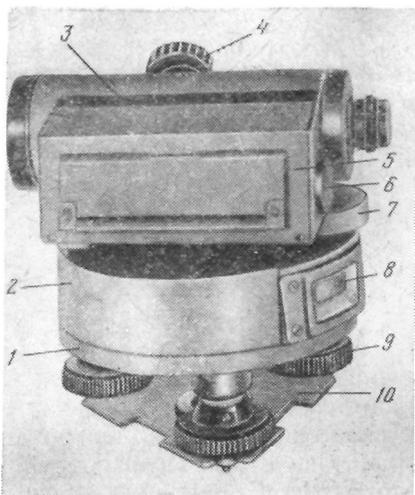
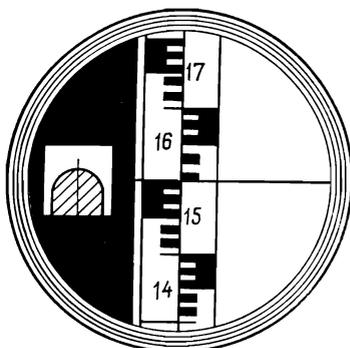


Рис. 60. Нивелир 2Н-10Л

Рис. 61. Поле зрения нивелира



Прибор состоит из неподвижной нижней части 1 и верхней 2, имеющей возможность вращаться относительно нижней. Нижняя часть представляет собой подставку цилиндрической формы с подъемными винтами 9, на которой укреплен горизонтальный лимб. Верхняя часть нивелира имеет зрительную трубу 3 с внутренней фокусировкой, осуществляемой головкой 4, контактный уровень при трубе, помещенный в коробку 5, установочный уровень и элевационный винт 7, которым осуществляется точная установка пузырька уровня на середину. Верхняя и нижняя части нивелира соединены плоскими шайбами осевой системы. Наведение трубы нивелира на рейку осуществляется от руки поворотом его верхней части относительно нижней. Отсчеты по горизонтальному лимбу производятся при помощи верньеров.

Труба нивелира имеет увеличение $23\times$. Подставка-треножник соединяется со штативом станковым винтом, ввинчиваемым в плоскую пружину 10. Под позициями 6 и 8 показаны крышка исправительных винтов и верньер лимба.

Оптическая система, помещенная в коробке уровня, передает изображение концов пузырька непосредственно в поле зрения трубы (рис. 61), что создает удобство работы, так как позволяет одновременно наблюдать за рейкой и за уровнем.

В поле зрения трубы пузырек уровня кажется разрезанным вдоль пополам. Если обе половины совмещены, то это значит, что пузырек выведен на середину. Совмещение концов пузырька можно осуществить точнее, чем совмещение его с делениями на ампуле (как у уровней теодолита). Такая система уровней называется контактной.

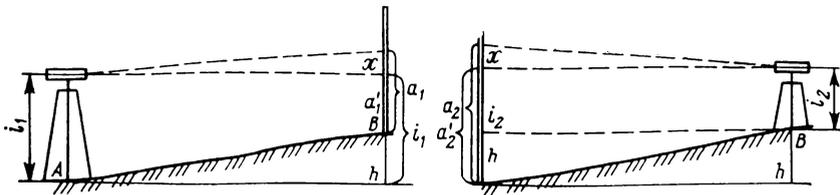


Рис. 62. Схема двойного нивелирования

Поверки нивелира 2Н-10Л

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Эта поверка выполняется аналогично такой же поверке теодолита: уровень располагают параллельно двум подъемным винтам и при помощи последних пузырек уровня выводят на середину. После этого трубу поворачивают на 90° и пузырек выводят на середину третьим винтом. Затем трубу поворачивают на 180° . Если пузырек сместился с середины, то его передвигают на половину дуги смещения с помощью исправительных винтов уровня, а на другую половину пузырек перемещают подъемными винтами подставки.

2. При нивелировании необходимо, чтобы горизонтальная нить сетки нитей была перпендикулярна к оси вращения инструмента. Поверка производится в следующем порядке.

На расстоянии 20—30 м от нивелира на забитый в землю кол устанавливают нивелирную рейку. Наводят трубу нивелира на рейку так, чтобы изображение рейки оказалось с края поля зрения трубы. Берут отсчет по рейке и затем поворачивают трубу в горизонтальной плоскости до тех пор, пока изображение рейки не перейдет на другую сторону поля зрения. Берут еще один отсчет. Если отсчеты окажутся равными, то условие выполнено; если отсчеты будут различными, то условие не соблюдено.

Исправление осуществляется поворотом сетки нитей до тех пор, пока отсчеты по концам горизонтальной нити не будут равны.

3. Основным условием нивелира является параллельность визирной оси трубы и оси уровня. Это условие проверяется двойным нивелированием следующим образом. На местности на расстоянии 30—40 м друг от друга забивают в землю два колышка *A* и *B* (рис. 62). Над точкой *A* устанавливают нивелир, а над точкой *B* — рейку. При помощи миллиметровой рулетки измеряют высоту инструмента i_1 и берут отсчет по рейке a_1 , который равен сумме истинного отсчета a'_1 и погрешности x за счет непараллельности оси визирования нивелира и оси уровня.

После этого аналогичные действия проводят, когда нивелир установлен над точкой *B*, а рейка — над точкой *A*. Получают

значения i_2 и a_2 . Выражают превышение h точек A и B через эти данные:

$$h = i_1 + x - a_1;$$

$$h = a_2 - i_2 - x,$$

отсюда $i_1 + x - a_1 = a_2 - i_2 - x$

$$\text{и } x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (\text{X.6})$$

Теперь, зная x , определяем истинный отсчет $a_2' = a_2 - x$, когда визирная ось нивелира горизонтальна.

Исправления производят, если $x > \pm 4$ мм. Действуя элевационным винтом, устанавливают горизонтальную нить на этот отсчет. После этого вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня добиваются совмещения изображений концов пузырька.

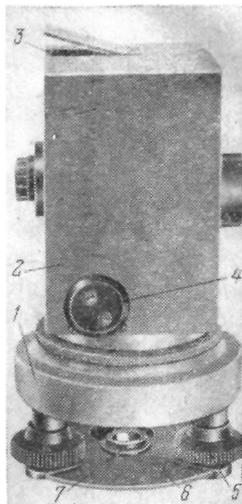


Рис. 63. Нивелир Н-10КЛ

Нивелир с компенсатором Н-10КЛ. В настоящее время используются нивелиры с самоустанавливающимися в горизонтальное положение визирными осями. Эти нивелиры удобно применять на неустойчивых грунтах.

Нивелир Н-10КЛ (рис. 63) предназначен для определения превышений при выполнении технического нивелирования. Применяется для обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических измерениях, в строительстве. Нивелир состоит из нижней неподвижной 1 и верхней части 2, имеющей возможность вращаться относительно нижней.

Нижняя часть — подставка с тремя подъемными винтами 5 и пластинкой 6 с втулкой 7, служащей для закрепления нивелира на штативе при помощи станкового винта.

На подставке имеется горизонтальный лимб. В верхнюю часть вмонтирована зрительная ломаная труба с встроенным компенсатором углов наклона. Верхняя часть имеет, кроме того, вертикальную ось вращения и несет на себе установочный уровень 3.

Компенсатором является прямоугольная призма, подвешенная на подшипниках. Фокусировка зрительной трубы, имеющей увеличение $20\times$, осуществляется перемещением призмы компенсатора вдоль оптической оси зрительной трубы при помощи головки 4.

Наведение трубы на рейку производится поворотом от руки верхней части нивелира. Диапазон работы компенсатора $\pm 20'$.

Проверки нивелира Н-10КЛ

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

Эти две поверки производятся так же, как первые две поверки нивелира 2Н-10Л.

3. Линия визирования должна быть горизонтальна в пределах рабочих углов компенсатора ($\pm 20'$).

Прежде чем производить эту поверку, необходимо исследовать правильность работы компенсатора. Для этого нивелир по круглому уровню подъемными винтами выводят в рабочее положение. На расстоянии 70—80 м по направлению одного из подъемных винтов на забитый в землю кол устанавливают рейку. Вращением подъемного винта вначале в одном, а затем в противоположном направлении наклоняют трубу в пределах $+20'$ и берут отсчеты по рейке. Все отсчеты должны быть одинаковыми. Если отсчеты меняются, то исправление может быть выполнено опытным механиком в условиях мастерской.

После этого поверку третьего условия производят в следующем порядке. Устанавливают две рейки на расстоянии 100 м друг от друга и несколько раз определяют превышение между ними нивелированием из середины. Находят среднее значение превышения. Затем устанавливают нивелир на расстоянии около 10 м от одной из реек и снова определяют превышение. Если оно будет отличаться от превышения, полученного из середины, не более чем на 1—2 мм, то можно считать, что линия визирования занимает горизонтальное положение с достаточной точностью. В противном случае необходимо перемещением сетки нитей исправить отсчет на рейке, находящейся на далеком расстоянии, так, чтобы получилось такое же превышение, какое было получено при нивелировании из середины.

§ 51. Нивелирные рейки

Для технического нивелирования применяют деревянные рейки, представляющие собой бруски длиной 3—4 м, шириной 10 см и толщиной 2—3 см. Для изготовления нивелирных реек применяется выдержанная древесина. Бруски окрашиваются белой масляной краской и на них наносятся сантиметровые шашечные деления (рис. 64, б). Каждый дециметр подписывается, а сантиметровые деления для облегчения отсчета объединяют в группы по 5 см. Величина наименьшего деления рейки называется ценой деления рейки. Наибольшая длина цельной рейки (из одного бруска) равна 3 м.

Для увеличения длины реек их делают раздвижными (рис. 64, а), складными (рис. 64, г) или раздвижными телескопическими (рис. 64, е). На нижнюю часть рейки набивается стальная пластинка-пятка, предохраняющая рейку от быстрого изнашивания.

Рейки могут быть односторонними или двусторонними. В последнем случае одна сторона имеет черные деления, другая —

красные. Соответственно стороны рейки называются черной и красной. На черной стороне отсчет, соответствующий нулю, совпадает с пяткой рейки, а на красной стороне отсчет, соответствующий пятке, не равен нулю.

Перед началом работ рейки следует проверить. Для этого рейку укладывают горизонтально и, положив на нее контрольный метр, измеряют отдельные дециметры и метры. Случайные погрешности в дециметровых делениях не должны превышать ± 1 мм, а погрешность в длине всей рейки должна быть не более ± 2 мм.

§ 52. Инженерно-техническое нивелирование

Для проектирования железных и шоссейных дорог, каналов, тоннелей, трубопроводов, осушительных и оросительных систем, сооружения водопроводов, канализации производится инженерно-техническое нивелирование.

Выбор и закрепление трассы на местности. Проект магистрали (трассы) перед началом полевых работ составляется по карте. После этого производят рекогносцировку и выбор направлений магистрали на местности. Вся магистраль, начиная от начальной точки, разделяется на отрезки длиной 100 м. Концы отрезков закрепляют кольшками, называемыми пикетами, забитыми в землю так, чтобы их торцы были выше поверхности земли на 1 см. Рядом забивают сторожок, на котором указывают номер пикета. Начало трассы отмечают пикетом с номером 0.

Таким образом, номер любого пикета обозначает расстояние от начала трассы до данного пикета в сотнях метров. На перегибах местности между пикетами забивают кольшки промежуточных точек, на которых надписывают расстояния от ближайшего заднего пикета в метрах. Например, если на точке написано ПК7+35, то это значит, что она находится между 7-м и 8-м пикетами на расстоянии 35 м от 7-го пикета. В вершинах углов поворота трассы устанавливают столбы с крестовиной и полочкой, которая обращена внутрь угла. На вертикальной стенке над полочкой пишут номер точки.

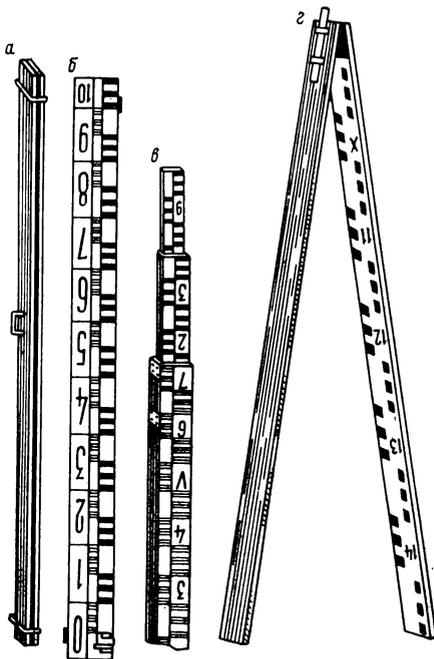


Рис. 64. Нивелирные рейки

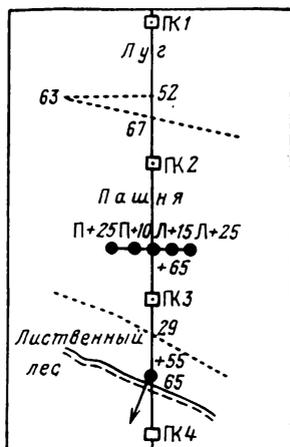


Рис. 65. Страница пикетажной книжки

Когда магистраль прокладывается для съемки и нивелирования полосы земли, одновременно производится закрепление поперечников, для чего в нужных местах строят (обычно при помощи экера) линии, пересекающие ось трассы под прямым углом. На линиях поперечников в точках перегиба поверхности земли забивают колышки, на которых надписывают расстояния от оси трассы с буквой Л или П в зависимости от того, с какой стороны от оси трассы находится точка относительно наблюдателя, смотрящего по направлению хода трассы. Помимо с разбивкой пикетажа ведется съемка полосы местности по 50 м в обе стороны от оси трассы. В пределах 25 м по обе стороны ведется инструментальная съемка (обычно методом перпендикуляров), а от 25 до 50 м — глазомерная.

Одновременно с разбивкой пикетажа и съемкой полосы ведется абрис в особой тетради с твердой обложкой, называемой пикетажной книжкой (рис. 65). В пикетажную книжку заносят результаты съемки полосы местности, результаты соответствующих промеров с целью съемки, все точки пересечения трассы дорогами, ручьями и другими контурами.

На страницах пикетажной книжки стрелками отмечают углы поворотов трассы, которую показывают прямой линией. При переходе на следующую страницу ее начинают с того пикета, которым была закончена предыдущая страница.

Нивелирование трассы. Нивелирование начинают с привязки трассы к реперу или марке государственной высотной сети. Если трасса в каком-либо месте проходит мимо государственного репера или марки, то она в этом месте должна быть привязана. Для осуществления надежного контроля конечную точку трассы привязывают к опорной точке одним из возможных способов. Если же трасса опирается на государственную нивелирную сеть только одним концом, то нивелирование проводят в два нивелира или прямым и обратным ходом.

Для контроля на каждой станции берется по две пары отсчетов. Вторая пара отсчетов берется после изменения высоты инструмента и выведения его в горизонтальное положение, если рейки односторонние. При нивелировании с двусторонними рейками вторая пара отсчетов берется по красным сторонам реек при том же горизонте инструмента.

В табл. 12 приведен образец журнала нивелирования трассы при применении двусторонних реек.

Рассмотрим подробнее порядок работы на станции при нивелировании трассы инженерного сооружения (рис. 66). При-

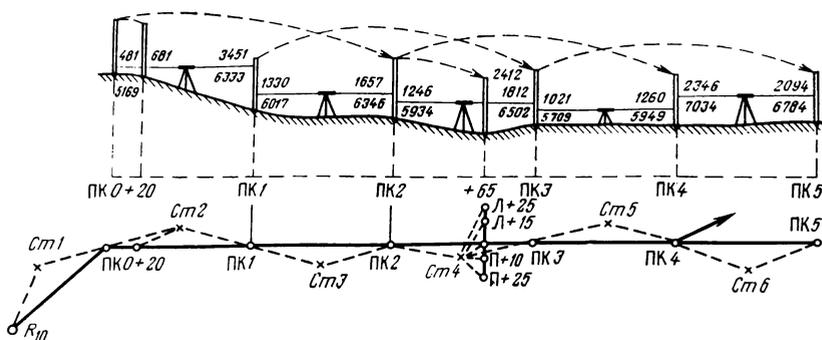


Рис. 66. Схема нивелирования трассы

мерно на одинаковых расстояниях от связующих точек R_{10} и пикера № 0 устанавливают нивелир, а на связующих точках — рейки (двусторонние). Инструмент приводят в рабочее положение, наводят трубу на заднюю точку и по черной стороне берут отсчет 615 (1) (табл. 12), наводят трубу на переднюю точку и берут по черной стороне отсчет 1645 (2). Записи отсчетов заносят в журнал нивелирования. После этого реечник поворачивает рейку красными сторонами к наблюдателю, и он делает отсчеты 6333 (3) и 5304 (4). Разности черных $615 - 1645 = -1030$ (5) и красных отсчетов $5304 - 6333 = -1029$ (6) не должны расходиться более чем на ± 4 мм. В графу 7 вписывается среднее из превышений — 1030 мм с округлением до 1 мм.

Затем задний реечник переходит на пикет № 1, а техник-наблюдатель на Ст 2, а реечник, стоящий на пикете № 0, поворачивает рейку черной стороной к нивелиру. После приведения нивелира в горизонтальное положение берут отсчеты по черным сторонам рейки: назад 481 (7) и вперед 3451 (8). Рейки поворачивают красными сторонами к наблюдателю, и он берет отсчеты 8138 (9) и 5169 (10). После этого вычисляют превышение по черным $481 - 3451 = -2970$ и по красным отсчетам $5169 - 8138 = -2969$ и, убедившись, что расхождение не превышает ± 4 мм, выводят среднее превышение — 2970, которое записывают в графу 7. Далее реечник, стоящий на пикете № 0, переходит на плюсовую точку +20 и устанавливает на ней рейку черной стороной к нивелиру, по которой наблюдатель делает отсчет 681 (11). Реечник с промежуточной точки +20 переходит на пикет № 2, наблюдатель переносит нивелир на Ст 3, а реечник на пикете № 1 поворачивает черную сторону рейки к наблюдателю и т. д.

Работа на каждой станции заканчивается вычислением превышений и занесением их в графу 7 табл. 12. Наблюдатель покидает станцию, убедившись в правильности отсчетов и вычислений,

Т а б л и ц а 12

Номер станции	Номер пикета и плюсовой точки	Отсчеты по рейкам, мм			Превышение, мм	Среднее превышение, мм	Горизонт инструмента, м	Абсолютная отметка, м	Условная профильная отметка, м
		задние	передние	промежуточные					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	R ₁₀	615 (1) 5 304 (4)			-1 030 (5)	-1030		153,611	53,61
2	0	481 (7) 5 169 (10)	1 645 (2) 6 333 (3)		-1 029 (5) -2 970		153,062	152,581	52,58
3	+20		3 451 (8) 8 138 (9)	681 (11)	-2 969 -327	-2970		152,581	52,58
4	1	1 330 6 017	1 657 6 346		-329 -566	-328		149,611	52,38 49,61
5	2	1 246 5 934		2412			150,529	149,283	49,28
6	+65		1 812 6 502		-568	-567		149,283	49,28
	3	1 021 5 709						148,117 148,716	48,12 48,72
	3		1 260 5 949		-239 -240	-240		148,716	48,72
	4	2 346 7 034						148,476	48,48
	4		2 094 6 784					148,476	48,48
	5	42 206	51 971		+252 +250 -10 267 +502	+251 -5135 +251		148,727	48,73
		42 206-51 971 = -9765 -9765 : 2 = -4882			-9765 : 2 = = -4882	4884		-4884	

При нивелировании на крутых скатах может оказаться, что превышения между пикетами настолько велики, что с одной установки нивелира не могут быть измерены. В таких случаях кроме пикетов приходится вводить дополнительные связующие точки, которые не являются характерными с точки зрения рельефа, и поэтому нет необходимости знать их плановое положение на трассе. Они необходимы лишь для определения превышения между пикетами трассы, их обычно называют иксowymi точками.

Для иксовой точки можно использовать устойчивый местный предмет или кол, временно забиваемый в землю. В этих случаях превышение определяется с двух установок инструмента, как сумма превышений, например, между пикетом № 16 и № 16+x и пикетом № 17. В некоторых случаях на особенно крутых скатах между соседними пикетами приходится делать более двух установок нивелира, в соответствии с чем делают несколько иксовых точек.

Нивелирование поперечников. Нивелирование поперечников может производиться отдельно от нивелирования оси трассы (если поперечников много) или совместно с ним.

Пусть в точке ПК 2+65 разбит поперечник. Устанавливают нивелир на Ст. 4 при одном положении трубы, если рейки односторонние, или по одной черной стороне рейки, если они двусторонние, берут отсчеты по рейке, устанавливаемой на все точки поперечника, в том числе и на промежуточную точку ПК 2+65, которая явится задней для вычисления отметок точек поперечника.

В табл. 13 приведен порядок записей в журнале при нивелировании поперечников.

При сложном рельефе нивелирование вдоль поперечника может осуществляться с нескольких установок нивелира.

Нивелирование площадей. На ровной открытой местности при помощи нивелирования можно быстро и точно снять рельеф данного участка. Нивелирование, выполняемое для

Таблица 13

Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейке					Превышение, м	Горизонт инструмента, м	Абсолютная отметка	Условные профильные отметки		
		читанный		средний								
		задний	передний	промежуточные	задний	передний						
4	Поперечник на пикете			2+65			150,435	149,478				
	Л+25			957						149,170		
	Л+15			1265							148,117	
	ПК2+65	2318										148,282
	П+10			2153								
П-25			2322									

съемки рельефа на всей площади участка местности, называется нивелированием площади.

Наиболее распространенным видом нивелирования площадей является нивелирование по сетке квадратов. Для этого при помощи теодолита участок разбивают на квадраты со сторонами 100 м. Углы квадратов закрепляют прочными кольями. Затем стороны квадратов разбивают на отрезки по 10—20 м. Провешивая линии, соединяющие концы отрезков на противоположных сторонах квадратов, разбивают большие квадраты на меньшие со сторонами 10—20 м. Углы малых квадратов закрепляют колышками и подписывают номер колышка по вертикальному и горизонтальному рядам в виде дроби, например $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{3}$ и т. д. Передав при помощи продольного нивелирования высотную отметку на одну из вершин квадратов, устанавливают нивелир и, взяв задний отсчет на эту точку, ставят рейку поочередно на все углы квадратов и берут отсчеты.

Вычисленные отметки обычно записывают на плане сетки квадратов. По полученным отметкам проводят горизонтали и получают рельеф участка в горизонталях. Промерами от вершин квадратов можно снять и ситуацию участка. Нивелирование по сетке квадратов широко применяется на открытых горных разработках для определения объема выемки, при строительстве — для планирования строительной площадки и др.

§ 53. Камеральная обработка полевых измерений

Вычислительные работы. Камеральная обработка нивелирования начинается с тщательного просмотра всех записей, вычислений в полевых журналах и с постраничного контроля в две руки. После того как постраничный контроль сделан, приступают к вычислению невязки хода.

Постраничный контроль (см. табл. 12) заключается в том, что на каждой странице подсчитывают суммы отсчетов граф 3, 4 и алгебраические суммы граф 6 и 7. Очевидно, что полуразность сумм $\Sigma_3 - \Sigma_4$ должна равняться полусумме Σ_6 и одновременно должна равняться алгебраической сумме Σ_7 :

$$(\Sigma_3 - \Sigma_4)/2 = \Sigma_6/2 = \Sigma_7.$$

После выполнения постраничного контроля приступают к вычислению невязки хода. Если нивелирный ход проложен между твердыми высотными геодезическими точками — реперами, то сумма превышений Σh , полученная из нивелирования, должна быть равна разности отметок $H_n - H_1$ конечного R_n и начального R_1 реперов

$$\Sigma h = H_n - H_1. \quad (X.7)$$

Невязка в этом случае

$$f_n = \Sigma h - (H_n - H_1). \quad (X.8)$$

Если нивелирование хода проводилось двумя нивелирами, то сумма превышений Σh_1 , полученных первым нивелиром, должна равняться сумме превышений Σh_2 второго нивелира, т. е. $\Sigma h_1 = \Sigma h_2$ и, следовательно, невязка

$$f_h = \Sigma h_1 - \Sigma h_2.$$

Если нивелирование проводилось прямым и обратным ходами, то сумма превышений прямого хода $\Sigma_{\text{пр}} h$ должна равняться сумме превышений обратного $\Sigma_{\text{обр}} h$ по абсолютной величине, но с обратным знаком, т. е.

$$\Sigma_{\text{пр}} h = -\Sigma_{\text{обр}} h.$$

При замкнутом нивелирном ходе сумма превышений должна равняться нулю ($\Sigma h = 0$) и, следовательно, невязка хода

$$f_h = \Sigma h.$$

Невязки f_h во всех случаях должны быть подсчитаны непосредственно по окончании полевых работ, с тем чтобы сразу же выяснить, допустимы они или нет, и если окажутся недопустимыми, то необходимо переделать работу.

При техническом нивелировании допустимая невязка (мм) не должна превышать

$$\Delta h = \pm 50\sqrt{L}, \quad (\text{X.9})$$

где L — длина хода, км.

Увязка нивелирного хода и вычисление отметок. Увязка нивелирного хода состоит в распределении допустимой невязки на все превышения поровну с обратным знаком. Если нивелирование было проведено в прямом и обратном направлениях или в два нивелира, то допустимая невязка делится пополам и ее половина равномерно распределяется на все превышения прямого хода с обратным знаком и округлением до миллиметров.

При увязке нивелирных ходов, пройденных между твердыми точками, и увязке замкнутых ходов невязку с обратным знаком распределяют поровну на каждое превышение хода с округлением до 1 мм.

В тех случаях, когда поправки на превышение оказываются меньше 1 мм, их вводят через одно или через два в третье превышение, но с таким условием, чтобы сумма поправок равнялась невязке с обратным знаком.

После того как превышения увязаны, приступают к вычислению отметок связующих (пикетных и иксовых) точек по формуле

$$H_i = H_{i-1} + h,$$

где H_i — вычисляемая отметка; H_{i-1} — отметка предыдущей точки; h — увязанное превышение между точками.

Проверка правильности вычисления отметок осуществляется по выражению

$$H_n - H_0 = \Sigma h_{\text{увяз}},$$

т. е. на каждой странице разность между отметкой последнего на странице пикета и первого должна быть равна сумме увязанных превышений. В табл. 12 сумма средних превышений равна -4884 и разность $H_5 - H_{10} = -4884$.

После определения высот всех связующих точек приступают к вычислению горизонтов инструмента только для тех станций, на которых имеются промежуточные (плюсовые) точки и поперечники. В табл. 12 такими станциями являются 2 и 4. Горизонт инструмента находят по формуле

$$\text{ГИ} = H_A + a,$$

где a — отсчет по черной стороне задней рейки.

Например, горизонт инструмента станции 2 $\text{ГИ}_2 = 152,581 + 0,481 = 153,062$, а станции 4 $\text{ГИ}_4 = 149,283 + 1,246 = 150,529$ м. Зная горизонт инструмента, легко вычислить отметки промежуточных точек:

$$H_{\text{пр}} = \text{ГИ} - c.$$

Аналогично через горизонт инструмента вычислялись отметки точек поперечника ПК 2+65 (см. табл. 13).

Составление продольного профиля. Работа по составлению продольного профиля трассы состоит из построения черного профиля и построения красной линии. Черным профилем называется профиль трассы, построенный по отметкам точек, полученным непосредственно в поле, и поэтому отражающий положение в момент нивелирования. Все линии и подписи черного профиля выполняются черной тушью.

Проектной или красной линией называется тот профиль оси трассы, который она должна приобрести после производства земляных работ. Все линии и записи, относящиеся к проектной линии, выполняются красной тушью.

Построение черного профиля начинается с выбора горизонтального и вертикального масштабов и отметки условного горизонта. Горизонтальный масштаб профиля выбирается с учетом рельефа местности в зависимости от точности проектирования. При дорожных изысканиях в равнинной местности горизонтальный масштаб принимают равным 1 : 10000, в холмистой — 1 : 5000, а в гористой — 1 : 2000. Чтобы изменения рельефа были видны отчетливее, при построении профиля вертикальный масштаб берется в 10 раз крупнее горизонтального.

Условный горизонт должен быть выбран так, чтобы линия профиля нигде его не пересекала и чтобы в среднем профиль был расположен выше над линией горизонта на 8—10 см. Отметка условного горизонта должна быть кратна 10 м. В нашем

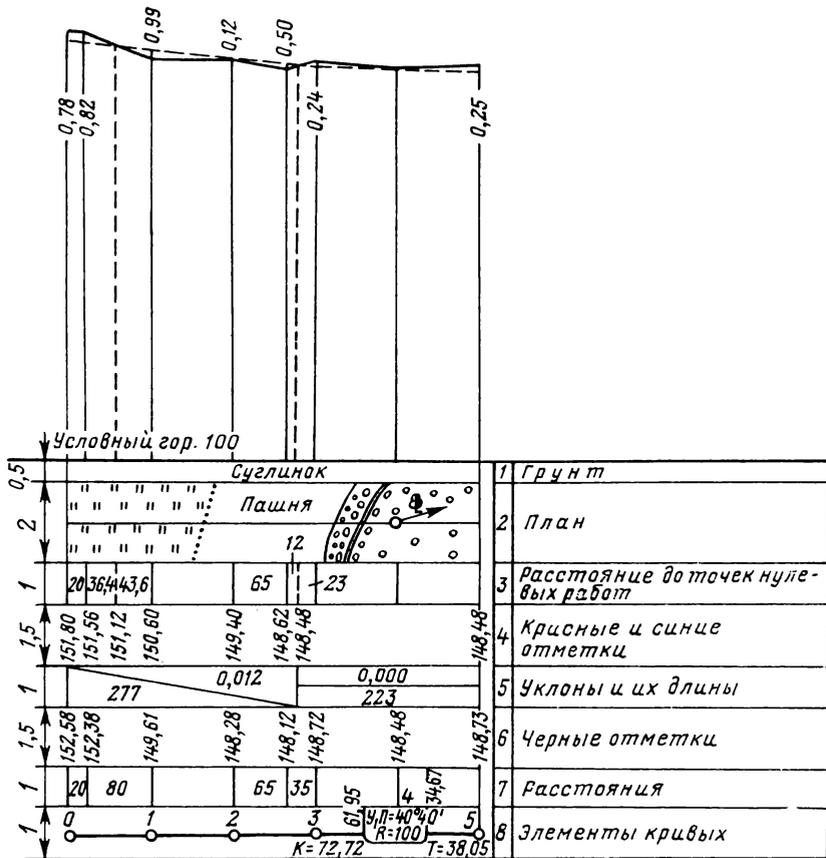


Рис. 67. Профиль трассы (размеры показаны в метрах)

примере (рис. 67) за условный горизонт принята линия с отметкой 100 м.

Профиль вычерчивают на миллиметровой бумаге. Линию условного горизонта проводят с таким расчетом, чтобы под ней можно было расположить те построения, которые показаны на рис. 67. Эти построения называются сеткой профиля. Назначение линий и полос сетки профиля определяется подписями, расположенными справа. Вертикальные размеры полос сетки показаны в сантиметрах слева.

После проведения линии горизонта и всех линий сетки профиля на линии горизонта в масштабе 1 : 5000 откладывают пикеты и промежуточные точки. В каждой из полученных точек восстанавливают перпендикуляр к линии условного горизонта, на котором откладывают в вертикальном масштабе (1 : 500) про-

фильную отметку, равную разности отметки точки и условного горизонта с округлением до сантиметров. Перпендикуляры и соответствующие им вертикальные линии в полосах сетки 3 и 7 проводят черной тушью. В полосе 7 в тех местах, где имеются промежуточные точки, делают записи расстояний от заднего и от переднего пикетов до данной промежуточной точки в метрах.

Например, в интервале от нулевого пикета до пикета № 1 такими расстояниями будут 20 и 80 м, а от № 2 до № 3 — 65 и 35 м. Сумма таких расстояний должна равняться 100 м, т. е. расстоянию между связующими точками. Под полосой 7 подписывают номера пикетов. В полосе 6 подписывают абсолютные отметки, округленные до 1 см. Все эти линии и надписи делаются черной тушью. Концы перпендикуляров, равных профильным отметкам в масштабе 1 : 500, восставляем к линии условного горизонта и соединяем прямыми черными линиями. Образовавшаяся ломаная линия будет черным профилем.

После этого в полосе 2 сетки в соответствии с пикетажной книжкой составляется план трассы в горизонтальном масштабе профиля (1 : 5000). При этом спрямленная ось трассы наносится красной линией, а все контуры — черной. На оси трассы пикеты и промежуточные точки не показывают.

Контуры на плане трассы изображают общепринятыми для данного масштаба условными топографическими знаками. В полосе 1 сетки профиля делают черной тушью надписи, указывающие характер грунта.

При проектировании красной линии рассматривается несколько вариантов и выбирается наиболее целесообразный. Поэтому проектирование ведется карандашом на вычерченном тушью черном профиле. После того как выбран вариант проектной линии, она вычерчивается красной тушью. На рис. 67 красная линия, в отличие от черной, показана пунктиром. При проектировании красной линии на профиле приходится решать такие задачи, как определения уклонов и отметок красной линии; расстояний до точек пересечения красной линии с черной и отметок этих точек.

Рассмотрим порядок решения этих задач и последовательность проектирования красной линии.

Определение уклона красной линии. Определив графически по профилю разность отметок h начала и конца данного уклона в метрах, разделив ее на горизонтальное проложение d этого уклона в метрах, снятое с профиля, получим уклон

$$i = \operatorname{tg} \nu = h/d.$$

В нашем примере (см. рис. 67) $h=3,3$ м, $d=277$ м, поэтому

$$i = \operatorname{tg} \nu = h/d = 3,3/277 = 0,012. \quad (\text{X.10})$$

Концы отдельных уклонов и горизонтальных площадок проектируются красной тушью в полосе 5 сетки и на соответствующую

щем участке полосы проводится или диагональ, показывающая направление падения (восстания) уклона, или горизонтальная линия, показывающая горизонтальную площадку. Над диагональю выписывается уклон до тысячных долей, а под ней — длина уклона в метрах. Все эти линии и надписи делаются красной тушью.

Вычисление красных отметок. Для каждого пикета и каждой плюсовой точки кроме отметок черного профиля нужно знать отметку красной линии. В соответствии с выражением (X.10) разность отметок красной линии $h = id$.

Зная красную отметку начальной точки H^0_k , получаем

$$H^n_k = H^0_k + id_n,$$

где H^n_k — красная отметка n -й точки; d_n — горизонтальное проложение от начальной до n -й точки.

В нашем примере $i = 0,012$, а горизонтальные проложения d соответственно 20; 100; 200; 265 и 277 м и поэтому превышения будут:

$$h_{0-20} = 0,012 \cdot 20 = 0,24; \quad h_{N_1} = 0,012 \cdot 100 = 1,20;$$

$$h_{N_2} = 0,012 \cdot 200 = 2,40; \quad h_{N_{2+65}} = 0,012 \cdot 265 = 3,18;$$

$$h_{N_{2+77}} = 0,012 \cdot 277 = 3,32.$$

Вычитая эти превышения из красной отметки нулевого пикета $H^0_k = 151,80$, получаем красные отметки всех точек. Очевидно, что отметки горизонтального участка красной линии будут везде равны отметке начала этого участка, т. е. 148,48 м. Красные отметки выписываются в полосу 4 против соответствующих черных отметок.

Рабочими отметками называются разности черных и красных отметок одной и той же точки. Они определяют глубину выемки или высоту насыпи в данной точке. Это наиболее важные цифры для производителя земляных работ. Рабочие отметки выписывают красной тушью с точностью до 1 см. Если рабочая отметка характеризует выемку, то она записывается под профильной линией, например: 0,78; 0,82; 0,24 и 0,25. Если же рабочая отметка относится к насыпи, то она записывается над профильной линией, например: 0,99; 0,12 и 0,50.

Синие отметки. Пересечения красной линии с черной называются точками нулевых работ. В этих точках не надо производить земляных работ, так как рабочие отметки в них равны нулю. Положение их на трассе нужно знать с точностью до десятой доли метра, так как именно от них начинают вести земляные работы. Отметки точек нулевых работ выписывают в полосу красных отметок синей тушью.

ПОНЯТИЯ О ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ, МЕНЗУЛЬНОЙ И ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКАХ

§ 54. Тахеометрическая съемка

Топографическими называются такие съемки, в которых одновременно с контурной частью плана снимают рельеф. Типичными топографическими съемками являются тахеометрическая и мензурная. Тахеометрия в переводе на русский язык дословно означает «скороизмерение». При тахеометрической съемке горизонтальная и вертикальная съемки выполняются одновременно круговым тахеометром—техническим теодолитом с вертикальным кругом.

Плановое положение точек определяется измерением горизонтального угла и расстояния (рис. 68), а отметки — тригонометрическим нивелированием, т. е. измерением при помощи вертикального круга вертикального угла v . Расстояние при тахеометрической съемке измеряется дальномером. По специальным тахеометрическим таблицам, используя результаты измерений, вычисляют горизонтальное проложение и превышение точки и по полученным данным наносят точку полярным способом. Тахеометрическую съемку применяют на местности с хорошо выраженными формами рельефа и со средней сложностью контуров.

Тригонометрическое нивелирование. Определение превышения $h=BC$ между точками A и B тригонометрическим или геодезическим нивелированием производится на основании следующих соображений (рис. 69).

Над точкой A установлен круговой тахеометр, а в точке B — рейка BE . Высота оси вращения трубы AO над точкой A называется высотой инструмента и обозначается буквой i , а длина рейки обозначается через v . Измеряя при помощи вертикального круга тахеометра угол наклона v линии OE и зная горизонтальное проложение d линии OE , получаем, что

$$DE = d \operatorname{tg} v.$$

Из рис. 69 следует, что $h + v = dtg v + i$; отсюда превышение $h = d \operatorname{tg} v + i - v$. (XI.1)

Первый член этого равенства $dtg v$ может быть найден по таблицам высот. Если $i = v$, то выражение (XI.1) принимает вид

$$h = d \operatorname{tg} v. \quad (XI.2)$$

Так как формула (XI.2) проще, чем формула (XI.1), при съемке на рейке заранее отмечают высоту инструмента тесемкой или шнурком и при измерении вертикального угла наводят горизонтальную нить не на верх рейки, а на высоту инструмента.

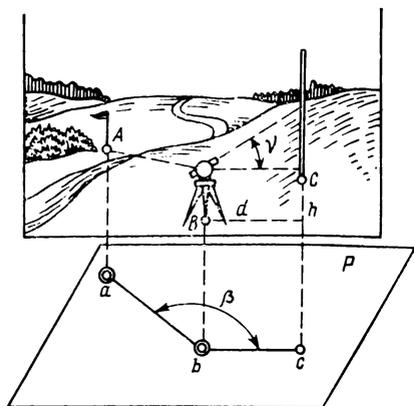


Рис. 68. Схема тахеометрической съемки

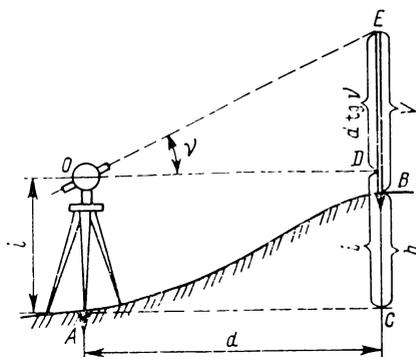


Рис. 69. Схема тригонометрического нивелирования

При производстве тахеометрической съемки приходится вычислять много превышений точек, расстояния до которых измерены при помощи дальномера. Поэтому применение формулы тригонометрического нивелирования $h = dtg v$ неудобно, так как требует знания горизонтального проложения. Подставляя в это выражение значение d из формулы (VIII.9), получаем формулу, определяющую превышение через расстояние, измеренное дальномером, и угол наклона v :

$$h = L \cos^2 v \operatorname{tg} v = L \sin v \cos v = \frac{L}{2} \sin 2v, \quad (\text{XI.3})$$

где L — расстояние, измеренное дальномером, полученное наклонным лучом визирования непосредственно через отсчет по вертикальной рейке.

Вычисление превышений по формулам (XI.2) и (XI.3) ведется при помощи специальных таблиц превышений, из которых превышения выбираются по углу наклона и горизонтальному (дальномерному) расстоянию. Эти таблицы построены по типу таблиц приращений координат. Среди них наиболее распространенными являются таблицы М. А. Савицкого, Г. Г. Егорова, составленные по формуле (XI.2), и таблицы Г. Г. Егорова, В. А. Тугулова и Д. Н. Оглоблина, составленные по формуле (XI.3). Во всех перечисленных таблицах даны подробные объяснения порядка вычислений и приведены примеры пользования ими.

В последнее время при производстве тахеометрической съемки все чаще применяют тахеометры — автоматы, позволяющие отсчитывать по вертикальной рейке горизонтальные проложения линий и превышения. К этим типам тахеометров относятся отечественный тахеометр ТА-2 и тахеометр производства ГДР — Дальта 020.

Таблица 14

Наблюдательная точка	Отсчет по горизонтальному кругу	Расстояние L	Отсчеты по вертикальному кругу	Угол наклона $\pm v$	$d = L \cos^2 v$, м	$\pm h$, м	Отметка H , м	Примечание
<i>Станция № 1</i>								
Лимб ориентирован на точку A при круге справа по дирекционному углу $A = 241^\circ 13'$, $i = 1,38$, $H = 176,16$ м, $MO = 0^\circ 00',5$								
A	$61^\circ 14'$		$358^\circ 38'$	$0^\circ 00',5$				
П	318 50		0 35	0 00 ,5				
			КП					
A	$241^\circ 13'$	139,2	$1^\circ 23'$	$+1^\circ 22',5$	139,2	+3,31	—	
П	138 51	105,6	359 26	$-0,34,5$	105,6	-1,05	—	
1	17 05	53,1	359 35	$-0,25,5$	53,1	-0,38	175,78	Тропинка
2	42 15	72,0	357 00	$-3 00,5$	71,9	-3,76	172,40	Граница огорода
3	103 26	39,1	356 56	$-3 04,5$	39,0	-2,08	174,08	То же
4	144 11	53,9	356 59	$-3 01,5$	53,8	-2,83	173,33	»
5	198 35	26,2	0 53	$+0 52,5$	26,2	+0,39	176,55	Тропинка
6	206 30	47,8	0 31	$+0 30,5$	47,8	+0,42	176,58	То же
7	284 19	45,0	1 36	$+1 35,5$	45,0	+1,25	177,41	»

Применение этих приборов значительно облегчает полевые и камеральные работы, так как отпадает необходимость измерять вертикальные углы и вычислять превышения и горизонтальные проложения.

Производство тахеометрической съемки подробностей. Съемка ведется с точек съёмочного обоснования в следующей последовательности. Над точкой центрируется тахеометр. Лимб его ориентируется так, чтобы при наведении зрительной трубы на вторую твердую точку при круге справа отсчет по горизонтальному кругу равнялся дирекционному углу этой твердой линии. Для этого алидада горизонтального круга устанавливается на отсчет, равный этому дирекционному углу. Движением лимба визирная ось трубы наводится на вторую твердую точку. В этом случае нуль лимба будет ориентирован по оси x . Поэтому, если съемка подробностей ведется при круге справа, то отсчеты по горизонтальному кругу сразу дают дирекционные углы направлений на съёмочные точки.

В тех случаях, когда съемка подробностей ведется с точек теодолитных ходов, иногда лимб ориентируют не относительно оси x , а по направлению линии теодолитного хода (обычно по линии на заднюю точку). Тогда отсчеты по первому верньеру горизонтального круга дают угол между твердым направлением (линией теодолитного хода) и направлением на данную съёмочную точку. Перед началом съемки необходимо определить место нуля.

Для съемки подробностей рейку устанавливают на характерных точках контуров и рельефа местности. Съемка точки сводится к наведению вертикальной нити на середину рейки, установленной на съемочной точке, отсчету по дальномерным нитям расстояния, наведению микрометрическим винтом средней горизонтальной нити на высоту инструмента, отсчитыванию по горизонтальному и вертикальному кругам.

В табл. 14 приведен образец журнала тахеометрической съемки. Точки, на которые устанавливают рейку для съемки подробностей, называются пикетами. Нужно стремиться выбирать пикеты с таким расчетом, чтобы набрать минимальное, но достаточное для полной характеристики местности число пикетов. Пикеты при однообразных скатах и ясно выраженном рельефе местности выбираются не реже чем через 30 м при съемке в масштабе 1 : 1000 и через 50 м при съемке в масштабе 1 : 2000.

При съемке подробностей следует руководствоваться допустимыми предельными расстояниями от станции до пикетов, которые зависят от масштаба съемки и не должны превышать пределов, указанных в табл. 15.

В процессе съемки одновременно с полевым журналом ведутся кроки (абрис). Так как составление плана тахеометрической съемки производится в камеральных условиях, т. е. когда исполнитель не видит перед собой местности, ведение кроки (абриса) имеет важное значение. Кроки должны давать исчерпывающее представление о снимаемом участке местности как с точки зрения ситуации, так и с точки зрения рельефа. На них наносятся все пикетные точки и по ним контуры угодий, местных предметов. Стрелками указывают направления скатов, а условными горизонталями — отдельные ярко выраженные формы рельефа. Лучше всего кроки вести для каждой станции по специальным круговым диаграммам (рис. 70), сброшюрованным в тетрадь с твердой обложкой.

Диаграмма представляет собой ряд concentрических окружностей, определяющих удаление от станции пикетных точек, и ряд радиусов, проведенных через 10° , позволяющих откладывать дирекционные углы линий, или углы, составленные данными линиями с твердой линией. Центр concentрических окружностей определяет положение станции. На кроки наносят все пикетные точки по их полярным координатам: азимуту α и расстоянию d от станции до пикета.

Составление плана тахеометрической съемки начинается с разбивки координатной сетки и нанесения по координатам точек геодезической основы и рабочего обоснования. После про-

Т а б л и ц а 15

Масштаб съемки	Расстояние до пикетов, м	
	высот- ных	контурных и высотно- контурных
1 : 5000	250	150
1 : 2000	200	100
1 : 1000	150	80

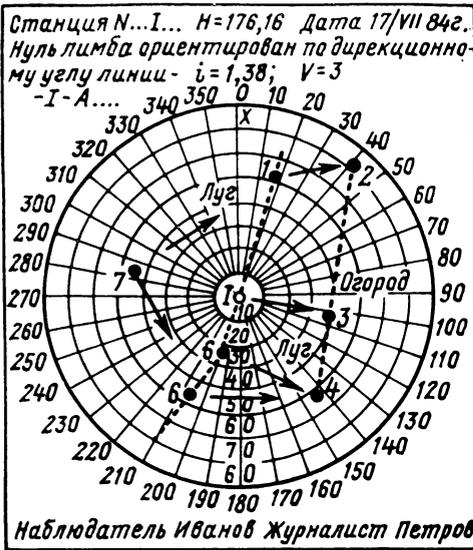
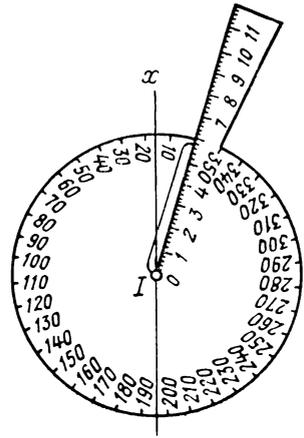


Рис. 70. Кроки

Рис. 71. Транспортир-квадрант



верки по горизонтальным проложениям правильности нанесения опорных точек приступают к нанесению на план точек съемок подробностей.

Точки ситуации и рельефа наносят при помощи металлического транспорта или транспорта-квадранта (рис. 71). Для этого транспортир-квадрант укрепляют на станции и располагают так, чтобы отсчет, соответствующий дирекционному углу линии, совпал с направлением оси x , заранее проведенной через станцию. Затем вдоль шкалы нулевого радиуса откладывают горизонтальное проложение и накальвают точку пикета. Около пикета подписывают карандашом в знаменателе его номер, а в числителе — отметку с точностью до 0,1 м данного пикета. На рис. 71 показан пример нанесения первого пикета из табл. 14.

Если лимб тахеометра ориентирован по твердой линии, то транспортир-квадрант устанавливают так, чтобы отсчет на круговом транспорте против твердой линии соответствовал отсчету по первому верньеру горизонтального круга при наблюдении данного пикета.

После нанесения всех пикетов данной станции, руководствуясь кроки и примечаниями полевого журнала, строят контуры, а затем путем интерполирования по отметкам пикетов проводят горизонтали.

После построения плана в карандаше и тщательной его корректуры приступают к вычерчиванию тушью. Вначале вычерчивают все подписи, находящиеся в пределах координатной рамки, затем все контуры и условные знаки и жженой сиеной — горизонтали и другие условные знаки рельефа.

§ 55. Мензуральная съемка

Основным отличием мензуральной съемки от остальных инструментальных съемок является то, что в процессе производства измерений непосредственно в поле получается полный топографический план, вычерченный карандашом. Достигается это при помощи мензулы и кипрегеля. Кипрегель отличается от кругового тахеометра тем, что отсутствует горизонтальный круг и вместо алидады имеется линейка, являющаяся его основанием.

Основной частью мензулы служит квадратная доска размером $60 \times 60 \times 3$ см, называемая планшетом. На бумаге, наклеенной на планшет, производится построение плана. Планшет прикреплен к подставке, устроенной аналогично теодолитной, но большего размера. Подставка с помощью винта прикреплена к штативу.

На рис. 72 изображен кипрегель-автомат КН, позволяющий определять по вертикальной рейке горизонтальные проложения до пикетов и превышения пикетов над станцией без измерения вертикальных углов.

Кипрегелем нельзя измерять горизонтальные углы, но можно строить их графически на плоскости планшета. Поэтому в отличие от теодолита кипрегель называют не угломерным, а углоначертательным прибором. Для построения угла мензулу нужно центрировать над точкой местности *B* при помощи центрировочной вилки (рис. 73), последовательно наводить трубу кипрегеля на точки *A* и *C* и прочерчивать на планшете 2 по линейке кипрегеля прямые *bc* и *ba*. Недостатком мензуральной съемки является то, что она в большой степени зависит от погоды и что план составляется только в одном масштабе. Все действия по установке мензулы выполняются в следующем порядке. После грубой ориентировки планшета берутся за середины двух ножек штатива и устанавливают приблизительно точку планшета над соответствующей точкой местности на глаз или при помощи центрировочной (специальной) вилки 1. Одновременно добиваются, чтобы планшет был по возможности горизонтален. Затем устанавливают кипрегель на планшет и, действуя подъемными винтами подставки, приводят планшет в горизонтальное положение по уровню кипрегеля. Устанавливают линейку кипрегеля вдоль линии, соединяющей точку стояния на планшете с любой другой видимой твердой точкой, и движением планшета вокруг вертикальной оси наводят микрометренным винтом крест нитей кипрегеля на эту точку.

Прямая и обратная мензуральная засечка. При мензуральной съемке часто возникает необходимость нанесения точки прямой засечкой. Сущность задачи состоит в следующем. Пусть на местности имеются две взаимовидимые точки *A* и *B*, а на планшете — их изображения. Требуется определить на планшете положение изображения *c* точки *C* местности. Устанавливают мензулу в точке *A*, приводят ее в рабочее положение,

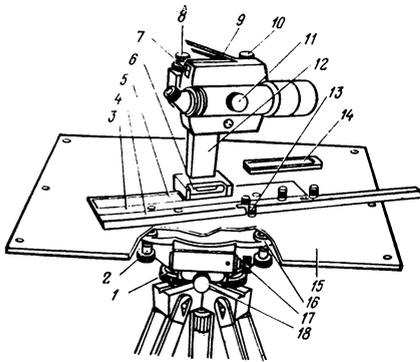


Рис. 72. Кипрегель КН:

1 — подъемные винты; 2 — винт крепления планшета; 3 — основная линейка; 4 — дополнительная линейка; 5 — поперечный масштаб; 6 — уровень; 7 — крышка исправительных винтов уровня; 8 — наводящий винт трубы; 9 — зеркало уровня нониуса; 10 — микрометрический винт уровня нониуса; 11 — маховичок фокусировки; 12 — колонка; 13 — наколочный штифт; 14 — ориентир-буссоль; 15 — мензурная доска; 16 — диск подставки; 17 — наводящий винт мензулы; 18 — закрепительный винт

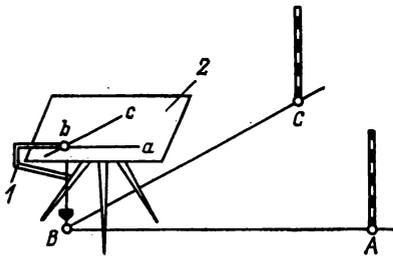
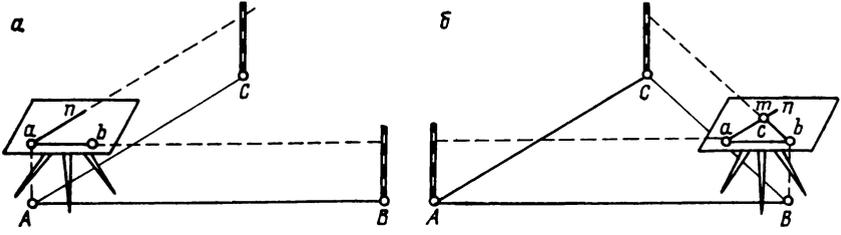


Рис. 73. Построение угла на планшете

Рис. 74. Прямая графическая засечка



ориентируя по линии AB (рис. 74, а). Прикладывая линейку кипрегеля к точке a , наводят крест нитей трубы кипрегеля при неподвижном планшете на точку C и вдоль скошенного края линейки проводят линию an .

После этого переходят в точку B , приводят мензулу в рабочее положение, ориентируясь по линии BA (рис. 74, б). Прикладывая линейку кипрегеля к точке b , наводят крест нитей кипрегеля на точку C и проводят линию bm . В пересечении линий an и bm получится изображение c точки C . Наиболее точно положение точки C определяется в том случае, когда угол acb равен 90° . Нужно следить, чтобы этот угол не был меньше 30° и больше 150° , в противном случае засечка будет неточной.

В процессе съемки может возникнуть необходимость определить положение точки стояния инструмента на планшете по

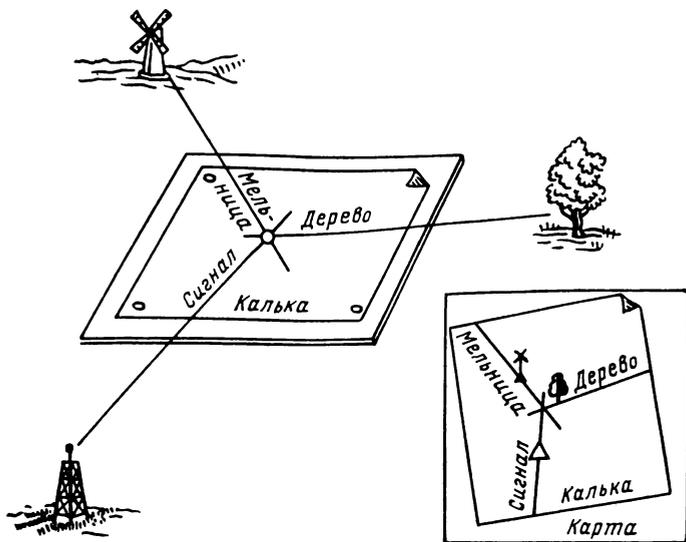


Рис. 75. Обратная графическая засечка проф. А. П. Болотова

трем твердым точкам. Такая задача называется обратной засечкой. Наиболее надежный и простой в исполнении способ графического решения этой задачи предложил проф. А. П. Болотов. На планшет накальвуют лист восковки и в середине листа намечают карандашом произвольную точку. На местности находят три хорошо видимых предмета, которые ранее изображены на плане. После укрепления планшета в горизонтальном положении проводят через намеченную точку (при помощи линейки кипрегеля) три направления на выбранные предметы (рис. 75). Затем восковку располагают на планшете так, чтобы все три направления одновременно прошли через соответствующие изображения местных предметов, при этом точка на восковке окажется в точке стояния мензулы на планшете. Переколов эту точку, получим точку стояния мензулы на планшете.

Производство мензульной крупномасштабной съемки. Мензульная съемка производится на листе ватманской бумаги, наклеенной на планшет. Ватман покрывается «рубашкой» — листом александрийской бумаги, который приклеивается к торцам и нижней поверхности планшета клеем и временно закрепляется кнопками. На поверхности рубашки при помощи линейки Дробышева разбивают координатную сетку размером 50×50 см со сторонами квадратов 10 см. Пользуясь циркулем-измерителем и поперечным масштабом, по координатам наносят все опорные точки.

Углы рамок планшета, точки внешних сторон координатной сетки и все опорные точки аккуратно перекальвуют с рубашки

на основной лист, а над ними вырезают в рубашке отверстия диаметром около 10 мм. Кроме того, заготавливают две кальки: кальку высот и кальку контуров. На кальку высот наносят все опорные пункты, пикетные точки и подписывают их номера и отметки, а на кальку контуров — все контуры и отдельные местные предметы. Кальки высот и контуров необходимы для того, чтобы при окончательном вычерчивании планшета иметь возможность восстановить стершиеся пикеты и контуры.

После подготовки планшета в журнале мензульной съемки на специально отведенных страницах чернилами выписывают координаты и высоты всех опорных пунктов, а также вычисленные координаты ориентировочных точек.

После центрирования, ориентирования и нивелирования планшета на станции вокруг нее в рубашке лезвием вырезают отверстие. При переходе на следующие станции и во время работы на них заснятые части планшета закрывают плотной бумагой, подsunутой под остатки рубашки, для предохранения планшета от загрязнения в процессе съемки и от выгорания под лучами солнца.

Для съемки рельефа пикетные точки берут на вершинах водоразделов, на перегибах скатов, на тальвегах в местах их поворота, у вершин и устьев лощин, в котловинах, у берегов рек и озер, прудов с таким расчетом, чтобы пикетные точки ограничивали ровные скаты, что позволяет легко интерполировать горизонтالي.

При съемке рельефа набор пикетных точек следует чередовать с рисовкой рельефа, что позволяет осуществить изображение рельефа по минимальному числу пикетов, так как в процессе рисовки рельефа выявляется необходимое и достаточное число пикетных точек.

Горизонтали и контуры проводят в поле, не сходя с точки стояния и не нарушая ориентировки планшета, корректируя их путем сличения с натурой. Для выявления деталей рельефа допускается проведение полугоризонталей, которые в отличие от горизонталей проводятся пунктиром.

Пикеты при спокойном скате и ясно выраженном рельефе местности выбираются не реже чем через 30 м при съемке в масштабе 1 : 1000 и через 50 м при съемке в масштабе 1 : 2000.

В местах с неопределенными скатами и изрезанным рельефом число пикетных точек должно быть увеличено, но при этом необходимо иметь в виду, что излишнее число взятых пикетов затрудняет проведение горизонталей.

Порядок вычерчивания планшета тушью следующий. Сначала делают подписи населенных пунктов, рек, озер, пашен, огородов, отметок опорных точек, урезов воды и др. Затем вычерчивают контуры и условные знаки местных предметов. Так как горизонтали не должны пересекать условные знаки, то они вычерчиваются после ситуации. В последнюю очередь вычерчивается рамка и делается зарамочное оформление.

§ 56. Фототопографическая съемка

Фототопографическая съемка основана на использовании фотографических снимков местности. Так как фотоснимки не представляют собой точных планов местности, они подвергаются обработке по законам соответствия объектов съемки и их изображений. Наука, рассматривающая методы обработки снимков для получения точных планов местности и определения пространственного положения объектов, называется *фотограмметрией* (измерительной фотографией).

Преимущество фототопографической съемки заключается в полной объективности и документальности, так как на фотоснимках точно фиксируется расположение контуров и предметов на местности в момент съемки, в то время как качество обычных наземных съемок в большой мере зависит от квалификации съемщика.

Фототопографические методы съемок позволяют большую часть операций по созданию карты перенести в камеральные условия. Кроме того, помимо карты, как конечного результата этих работ, получают фотоснимки местности, которые позволяют вести всестороннее изучение снятой территории.

Фотографирование может производиться с точек поверхности земли, координаты которых определены заранее геодезическими методами (наземная фотограмметрическая или фототеодолитная съемка), и с воздуха при помощи специального фотоаппарата, установленного на самолете (аэрофото съемка). В настоящее время фототопография получила широкое развитие и большинство топографических съемок выполняется этим методом. Мензульные и тахеометрические съемки применяются лишь для крупномасштабных съемок небольших участков.

ГЛАВА XII

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

§ 57. Определение высот точек по горизонталям

Если точка расположена на горизонтали, то ее отметка равна отметке горизонтали. Если же точка расположена между горизонталями, то отметку ее определяют, исходя из следующих соображений. Пусть на рис. 76 линия ската AB пересечена горизонтальными плоскостями, проходящими через точки A и B . Допустим, что отметка плоскости, проходящей через точку A , равна 110 м, а плоскости, проходящей через точку B , 111 м. Тогда высота сечения равна 1 м.

Точки a , m и b являются проекциями точек A , M и B на горизонтальную плоскость; кривые, проходящие через точки a и b ,

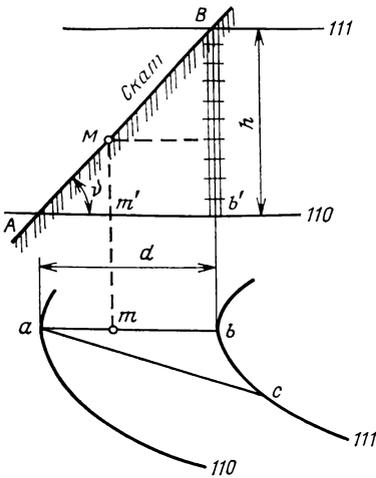


Рис. 76. К определению отметок точек по отметкам горизонталей

— проекциями горизонталей на ту же плоскость. Отрезок ab , являющийся проекцией ската AB , называется заложением. Из подобных треугольников ABb' и AMm' следует:

$$m'M = \frac{b'B}{Ab'} Am' \quad \text{или}$$

$$m'M = \frac{am}{ab} b'B.$$

На рис. 76 $am/ab=0,4$; $b'B=1$ м, поэтому отметка точки M $H_M = 110 + 0,4 = 110,4$ м.

Таким образом, для определения отметки точки, расположенной в промежутке между горизонталями, необходимо:

- 1) провести через точку заложение по кратчайшему расстоянию;
- 2) знать высоту сечения рельефа $b'B=h$;
- 3) определить на глаз отношение отрезков am и ab ;
- 4) умножить на это отношение высоту сечения рельефа;
- 5) полученное превышение точки M над нижней горизонталью прибавить к отметке нижней горизонтали.

§ 58. Определение крутизны скатов и уклонов по горизонталям. Графики заложения

Угол наклона ν (см. рис. 76) называют крутизной ската. Из рисунка следует, что

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{b'B}{Ab'} = \frac{h}{d} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \nu_1 = \frac{h}{ac},$$

где h — высота сечения рельефа; d и ac — заложения.

В инженерном деле обычно пользуются не углом наклона, а тангенсом этого угла, который называют уклоном и обозначают i :

$$i = \operatorname{tg} \nu = h/d. \quad (\text{XII.1})$$

Если d принять равным единице, то $i=h$, т. е. уклон представляет собой превышение на единицу длины. Например, если $i=0,05$, то это значит, что на 1 м длины превышение равно 5 см, а на 100 м оно составит 5 м. При небольших углах уклоны

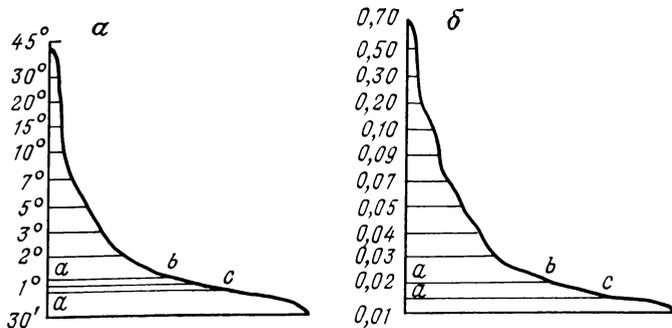


Рис. 77. Графики заложений для определения крутизны (а), уклонов скатов (б)

выражают в тысячных долях и записывают целыми числами, например, уклон 0,015 записывают как 15.

Определение по горизонталям крутизны и уклонов производится обычно по особым графикам, носящим название графиков заложений. Для построения графика заложений проводят вертикальную линию (рис. 77), делят ее на равные отрезки произвольной длины и против концов этих отрезков подписывают значения углов наклона (обычно от 30' до 45°). Пределы углов выбирают в зависимости от крутизны скатов, изображенных на плане. Затем вычисляют заложения, соответствующие каждому значению углов наклона

$$d = h/\operatorname{tg} \nu. \quad (\text{XII.2})$$

Подставляя в формулу (XII.2) постоянную для данной карты высоту сечения h и значения тангенсов для углов 30', 1°, 3°, ..., 45°, определяют ряд соответствующих заложений d , которые выражаются в масштабе плана и откладываются на перпендикулярах против соответствующих им надписей углов наклона. Через концы отложенных на графике заложений проводят плавную кривую и получают масштаб заложения.

Для определения крутизны ската берут в раствор циркуля измерителя соответствующее заложение, например ab или ac (см. рис. 77), и переносят его на масштаб заложения так, чтобы прямая, соединяющая ножки измерителя, стала параллельной линиям заложений. При этом одна ножка должна быть на вертикальной линии, а другая — на кривой. Угол наклона определяют по надписям у вертикальной линии масштаба заложений. Из рис. 77, а следует, что угол наклона по линии ab равен 1°12', а по ac — 50'.

Аналогично строят масштаб заложения для определения уклонов (рис. 77, б), но задаются не углом наклона, а его танген-

сом, и на графике надписывают значение уклонов. На рисунке показаны уклоны по линиям ab и ac , соответственно равные $i_{ab}=0,020$ и $i_{ac}=0,015$.

§ 59. Проектирование направления с заданным уклоном и построение профиля по заданному направлению

Строительство путей сообщения, судоходных, оросительных и осушительных каналов требует умения правильно намечать трассы этих сооружений на плане или карте. Трасса прокладывается с соблюдением основных технических условий: сохранения уклона в заданных пределах, достижения наименьшей длины трассы и минимума земляных работ.

На рис. 78 изображен рельеф топографической поверхности, масштаб плана 1 : 2000. Требуется проложить участок шоссейной дороги между точками A и B с предельным уклоном 0,05. Для этого определяют заложение, соответствующее уклону $i=0,05$, в масштабе плана при помощи масштаба заложения (см. рис. 77) или по формуле

$$d = \frac{h}{iM} = \frac{1000}{0,05 \cdot 2000} = 10 \text{ мм},$$

где h — высота сечения рельефа; M — знаменатель численного масштаба.

Величину заложения берут в раствор измерителя и последовательно откладывают («шагают») от точки A к точке B таким



Рис. 78. Схема прокладки трассы с заданным уклоном

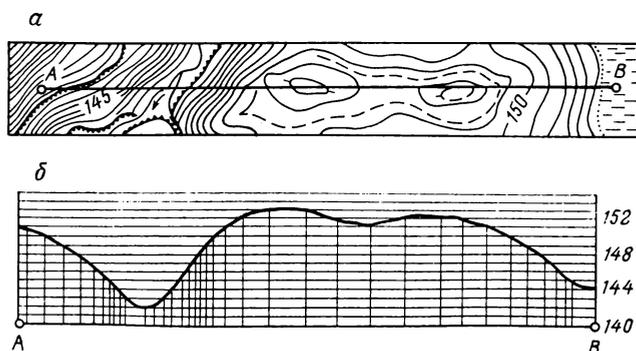


Рис. 79. Профиль по линии AB :

a — положение профиля в плане; b — построение профиля

образом, чтобы ножки измерителя не перемещались по высоте (относительно горизонталей плана) больше чем на величину высоты сечения рельефа. По отмеченным точкам проводят трассу.

При предварительном проектировании железных и шоссейных дорог, а также при прокладке водопроводов, нефтепроводов, газопроводов необходимо строить профиль местности, т. е. вертикальный разрез поверхности Земли по заданному направлению. Профиль необходим для проектирования земляных работ.

Пусть требуется построить профиль по линии AB (рис. 79). На листе бумаги откладывают отрезок прямой и на нем отмечают точки пересечения линии с горизонталями. Выбирают условный горизонт с таким расчетом, чтобы профиль его не пересекал. На рисунке взят условный горизонт 140 м. Из отметок горизонталей вычитают значение условного горизонта и отрезки, равные этим разностям в заданном масштабе (обычно в десять раз крупнее, чем масштаб плана), откладывают на перпендикулярах, восставленных к линии AB в точках пересечения горизонталей. Намеченные точки соединяют плавной кривой и получают профиль местности по заданному направлению.

§ 60. Определение площадей участков по планам

Различают геометрические и механические способы определения площадей по планам. Основными способами являются:

1. Определение площадей путем разбивки на простейшие геометрические фигуры и вычисление площадей последних по формулам геометрии (рис. 80, *а*).

2. Определение площадей фигур при помощи палетки.

3. Определение площадей планиметром.

Для определения площадей, имеющих криволинейные фигуры, которые нельзя разбить на простые геометрические фигуры, пользуются палеткой или полярным планиметром.

Палетка представляет собой сеть квадратов (рис. 80, *б*), выгравированную на стекле, пластике или вычерченную на восковке.

При вычислении площади криволинейной фигуры на нее накладывают палетку и подсчитывают число целых квадратов и оставшихся долей, составляя из них целые квадраты. Общая площадь фигуры

$$S = f_0 n,$$

где f_0 — площадь одного квадрата; n — число квадратов в контуре фигуры.

Планиметр (рис. 81) состоит из двух рычагов: полюсного и обводного, соединенных между собой шарниром. На конце полюсного рычага имеется грузик с острием (полюс), который при работе планиметра накалывается на план и остается скреплен-

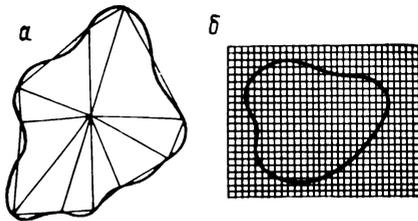


Рис. 80. Определение площадей:

a — геометрическим способом; *b* — палеткой

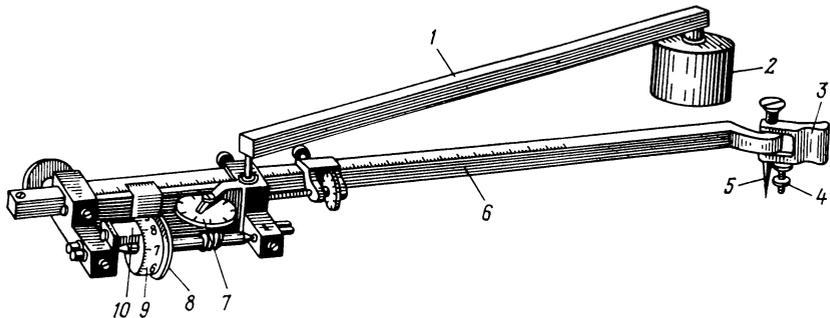


Рис. 81. Планиметр:

1 — полюсный рычаг; *2* — полюс; *3* — ручка для обводки; *4* — упор; *5* — обводное острие; *6* — обводный рычаг; *7* — счетчик оборотов; *8* — счетное колесико; *9* — шкала колесика; *10* — нониус

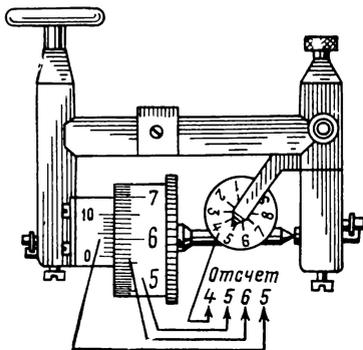


Рис. 82. Счетный механизм планиметра

ным с ним в одной точке. На одном конце обводного рычага имеется острие, которым обводится контур фигуры, на другом размещается счетный механизм, состоящий из счетного колесика с нониусом при нем и диска счетчика оборотов, соединенного с колесом червячной передачи.

На циферблате счетчика оборотов (рис. 82) нанесены десять делений с цифрами от 0 до 9, поворот циферблата на одно деление соответствует полному обороту колесика. Счетное колесико по ободку разделено на 100 частей, каждое деление подписано цифрами от 0 до 9. Нониус позволяет отсчитывать десятые доли наименьшего деления на колесике. Отсчет на счетном механизме состоит из четырех цифр: числа целых оборотов колесика (на циферблате счетчика оборотов), десятых и сотых до-

лей оборота (по ободку колесика) и тысячных долей оборота (по нониусу). На рис. 82 отсчет равен 4565.

Измерения криволинейной фигуры планиметром производятся в следующем порядке. Прибор устанавливают на плане так, чтобы полюс (см. рис. 81) располагался вне контура фигуры, площадь которой определяется, а обводное острие устанавливают на какую-либо точку контура фигуры, которая отмечается как начальная. В этом положении берут отсчет n_1 , затем плавно обводят контур фигуры острием b до возвращения в начальную точку.

Взяв отсчет n_2 после обвода контура, вычисляют площадь фигуры по формуле

$$S = \mu(n_2 - n_1),$$

где n_2 и n_1 — отсчеты планиметра при установке обводного острия в начальной точке до и после обвода контура; μ — цена деления планиметра при данной длине обводного рычага.

Контур фигуры обводят по ходу часовой стрелки. Цена деления определяется опытным путем. Для этого используют квадрат (10×10 см) координатной сетки и определяют его площадь S_0 с учетом масштаба плана. Затем 2 раза обводят контур построенной фигуры по ходу часовой стрелки и по счетному механизму берут отсчеты n_1, n_2, n'_1, n'_2 . Цена деления планиметра

$$\mu = S_0/N,$$

$$\text{где } N = \frac{(n_2 - n_1) + (n'_2 - n'_1)}{2}.$$

При обычных условиях работы точность измерения площадей планиметром составляет около $1/200$.

Для исключения погрешности площадь измеряется два раза: при положении полюса слева и справа отсчетного обводного рычага. За окончательный результат принимают среднеарифметическое из двух измерений.

§ 61. Отграничение границы водосборной площади и определение объемов земляных тел по топографической карте

При проектировании насыпей инженерных сооружений, перекрывающих ручьи и водотоки для расчета мостов и водопроводных труб, необходимо определять водосборные площади, оконтуривание которых проводится по карте с горизонталями.

Пусть требуется оконтурить водосборную площадь, вода которой будет проходить под мостом шоссеиной дороги (рис. 83). Контур водосборной площади, показанный пунктиром, образуется линиями водоразделов. Этот контур всегда пересекает

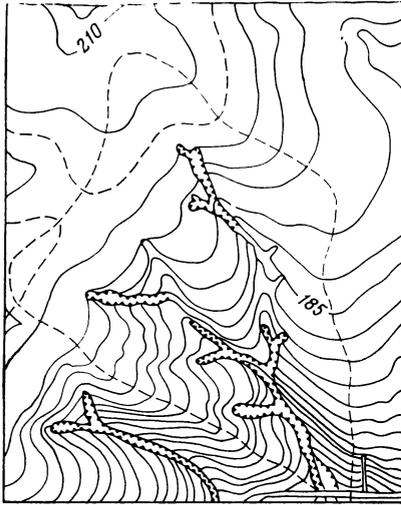


Рис. 83. Водосборная площадь

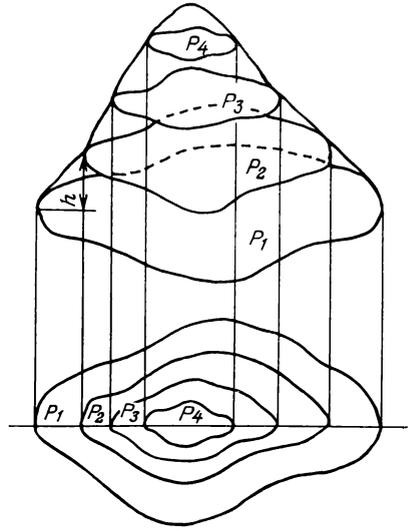


Рис. 84. К определению объемов

горизонтали под прямыми углами. Водосборную площадь обычно определяют планиметром.

Определение объемов земляных тел. Объем тела, изображенного горизонталями (рис. 84), получают, суммируя объемы поясов, заключенные между соседними горизонталями. Объемы таких поясов обычно определяют по формуле объема цилиндра, площадь основания которого получается как среднееарифметическое между площадями P_i и P_{i+1} , образованными нижней и верхней горизонталями, а высота h равна высоте сечения рельефа:

$$V_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} h.$$

Если верхний слой тела — конус, то его объем вычисляют по формуле

$$V_{n+1} = \frac{1}{3} P_n h,$$

если он имеет вид купола, — то по формуле

$$V_{n+1} = \frac{1}{2} P_n h.$$

Площади контуров, ограниченные горизонталями, определяют планиметром, а высота сечения берется по карте.

ГЛАВА XIII

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЕТИ И СЪЕМКИ
НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

§ 62. Маркшейдерские сети на земной поверхности

Из геодезии известно, что для производства любой съемки нужно иметь съемочное обоснование, которое представляет собой сеть пунктов, закрепленных на местности временно или постоянно.

Маркшейдерские съемки производятся в более крупных масштабах и охватывают меньшие территории, чем геодезические. Территории эти бывают, как правило, застроены промышленными зданиями и сооружениями. Поэтому сеть маркшейдерских пунктов должна быть более густой; пункты должны располагаться в местах, обеспечивающих их длительную сохранность и удобство пользования. Основой для создания и последующего развития (сгущения) маркшейдерских сетей являются геодезические сети. Маркшейдерские сети на земной поверхности делаются на опорные и съемочные.

Маркшейдерской опорной сетью является сеть геодезических пунктов (всех классов и разрядов), находящихся на территории экономической заинтересованности горного предприятия. Плотность пунктов опорной сети должна быть не менее четырех на 1 км² на застроенных территориях и одного пункта на 1 км² на незастроенных территориях. Поскольку геодезические сети не обеспечивают такой плотности, производят их сгущение. Маркшейдерская служба горного предприятия имеет право создавать и развивать государственные сети 4 класса, сети сгущения и съемочные сети (см. табл. 5). Геодезические сети более высоких классов точности развивают специализированные организации. Закрепление пунктов опорных сетей и определение их координат производят в соответствии с требованиями, предъявляемыми к соответствующему классу или разряду геодезических сетей.

Маркшейдерскую съемочную сеть создают на основе опорной сети вставкой отдельных пунктов или цепочек треугольников, прокладыванием ходов. Пункты сети служат съемочным обоснованием при производстве маркшейдерских съемок на земной поверхности. Съемочная сеть состоит из основных пунктов, закрепляемых постоянно, и временных съемочных точек. На пункты опорной и съемочной сети тригонометрическим или геометрическим нивелированием передают высотную отметку.

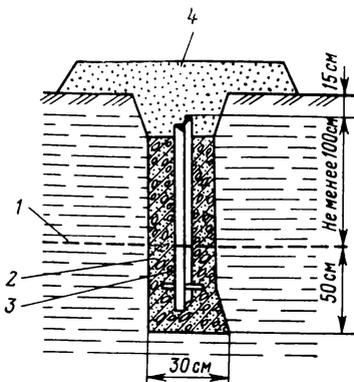


Рис. 85. Конструкция подходного пункта:

1 — уровень наибольшего сезонного промерзания (оттаивания) грунта; 2 — бетонный монолит; 3 — рельс с отверстием 1,5–2 мм в верхней полусферной части; 4 — засыпка

Не далее 300 м от проектного положения устьев шахтных стволов закладывают подходный пункт (рис. 85), положение которого определяют прокладыванием полигонометрического хода 1 разряда (см. табл. 5).

На территории шахтной поверхности в грунте или в стенах зданий закладывают не менее трех высотных реперов. В качестве одного из реперов может служить подходный пункт.

§ 63. Съёмка земной поверхности

Съёмку земной поверхности производят с целью создания топоосновы для детальной разведки месторождения, проектирования и строительства горных, обогатительных предприятий и населенных пунктов.

Маркшейдерская служба производит съёмку мензульным или тахеометрическим способами в масштабах 1 : 1000—1 : 5000 с высотой сечения рельефа от 0,5 до 2 м.

Погрешности положения на плане любой точки относительно ближайшего пункта съёмочной сети не превышают: $\pm 0,5$ мм в равнинной незастроенной местности; $\pm 0,7$ мм в гористой местности; $\pm 0,4$ мм на территории с капитальной и многоэтажной застройкой.

Пополнение или обновление планов земной поверхности производят по мере изменения застроенности и рельефа, но не реже одного раза в пять лет.

§ 64. Съёмка склада полезного ископаемого

Отвалы (штабели) полезного ископаемого делят на три категории. Отвалы I категории представляют собой фигуры, которые без большой ошибки можно уподобить правильным геометрическим фигурам — конусам, пирамидам, призмам и т. д. Отвалы II категории представляют собой налегающие друг на друга отвалы I категории. Отвалы III категории имеют весьма сложную и неправильную форму, большую высоту.

Съёмку отвалов I категории, а также отвалов II категории высотой менее 5 м производят рулеточным обмером. Длину измеряют тесьмянной рулеткой, высоту — нивелирной рейкой с использованием известных высот расположенных поблизости зданий и сооружений. Длину округляют до дециметров, высоту — до полудециметров. Объем отвалов вычисляют по формулам

геометрии как объем конусов, пирамид, призм и т. д.

Для определения объемов отвалов II категории высотой более 5 м и отвалов III категории производят *профильную, тахеометрическую* или *мензурную* съемки.

Профильную съемку производят на отвалах вытянутой формы. Перпендикулярно к направлению вытянутости отвала разбивают через 5—10 м параллельные профильные линии и закрепляют их пунктами съёмочной сети (рис. 86).

Съемка состоит в измерении рулеткой горизонтальных расстояний и определении техническим нивелированием высот пикетных точек, предварительно закрепленных в характерных местах поверхности отвала. По каждой профильной линии строят вертикальное сечение отвала. Площади сечений S определяют планиметром. Объем, заключенный между сечениями,

$$V_{1-2} = \frac{S_1 + S_2}{2} l_{1-2}, \quad (\text{XIII.1})$$

где l_{1-2} — расстояние между сечениями.

Объем, заключенный между крайней профильной линией и контуром, определяют, принимая в расчет половину сечения и расстояние от линии до контура.

Тахеометрическую и мензурную съемку производят на больших отвалах сложной формы с пунктов съёмочной сети, закрепленных вокруг отвала. Рейку ставят в наиболее характерных местах поверхности отвала через 6—15 м. По результатам съемки составляют план отвала в масштабе 1:1000—1:200 с высотой сечения 0,5 или 0,25 м.

Объем отвала находят способом горизонтальных сечений. Планиметром определяют площади, заключенные внутри одноименных горизонталей. Объем, заключенный между плоскостями соседних горизонталей, вычисляют по формуле (XIII.1). При этом под S_1 и S_2 понимают площади, находящиеся внутри соседних горизонталей, под l — высоту сечения.

Объем отвалов полезного ископаемого на складах определяют со следующими погрешностями:

Значение погрешности при объеме отвала, тыс. м ³			
< 20	20—50	50—200	> 200

Допустимая относительная погрешность определения объема отвала, %	8	5	3	2
---	---	---	---	---

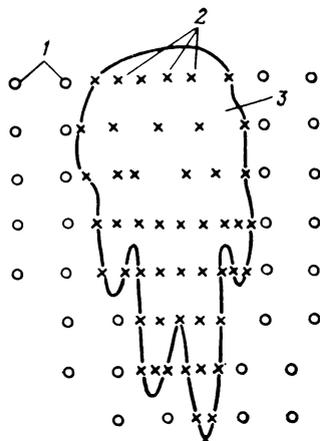


Рис. 86. Схема профильной съемки отвала:
1 — пункты съёмочной сети;
2 — пикетные точки; 3 — отвал полезного ископаемого

Допустимая разность двух независимых
определений объема, % 12 8 4 3

При двукратном определении за окончательный результат принимают среднеарифметическое из двух определений.

§ 65. Маркшейдерские съемки при разработке месторождений открытым способом

Съемочные сети при разработке месторождений открытым способом создают с таким расчетом, чтобы их пункты равномерно покрывали территорию карьера (разреза) и прилегающие площади. Создание сетей осуществляют вставкой отдельных пунктов и систем пунктов, прокладыванием полигометрических ходов, закреплением створных линий, прямоугольных или квадратных сетей. Высоты на пункты передают техническим или тригонометрическим нивелированием.

Маркшейдерские съемки производят при ведении буровзрывных работ, устройстве транспортного, дренажного и отвального хозяйств, при проведении траншей.

Пополнительную съемку уступов при производстве вскрышных и добычных работ производят тахеометрическим, мензульным, стереофотограмметрическим или ординатным способом с пунктов съемочных сетей. При тахеометрической съемке используют теодолиты 30-секундной точности или специальные тахеометры.

При стереофотограмметрической съемке время, затрачиваемое на полевые работы, меньше, чем при других видах съемки, поэтому она находит все большее применение.

Объектами съемки являются верхняя и нижняя бровки и откос уступа, устье разведочных, взрывных и дренажных выработок, элементы геологического строения месторождения, инженерные коммуникации, временные сооружения.

Результаты съемки используют для пополнения маркшейдерской графической документации и определения объемов выполненных вскрышных, добычных работ и объемов переэкскавации.

При разработке с применением транспортно-отвальных мостов к перечисленным объектам съемки добавляются еще элементы конструкций мостов. Съемку производят таким образом, чтобы по ее результатам можно было определить горизонтальную, вертикальную и угловую подвижность моста и остаточные деформации металлоконструкций пролетного строения моста.

При ведении буровзрывных работ производят съемку площадки уступа, подлежащей взрыванию. По результатам съемки составляют план площадки и профили откоса уступа. По этим графическим материалам составляют проект взрыва, в котором указывают проектное положение всех взрывных скважин.

Маркшейдерская служба выносит в натуру устья скважин, контролирует соблюдение их положения и глубину скважин. По окончании бурения производят исполнительную съемку для того, чтобы определить фактическое положение скважин. После взрыва производят съемку поверхности развала взорванной породы или полезного ископаемого.

При проведении траншей по проектной оси их прокладывают теодолитный ход и закрепляют в натуре кольями ось траншеи, углы ее поворота, разбивают закругления.

В процессе проведения задают уклон траншеи, контролируют соблюдение направления, уклона и ее проектного сечения. Периодически определяют фактический объем выполненных горных работ. После завершения горных работ проводят исполнительную съемку и по ее результатам составляют план траншеи, продольный профиль и поперечные сечения.

При строительстве и эксплуатации транспортных путей характер маркшейдерских работ во многом зависит от того, какой вид транспорта применяется — автомобильный, железнодорожный, конвейерный, трубопроводный или воздушно-канатный.

Трассирование путей производят так же, как и трассирование траншей. Автомобильным дорогам, железнодорожным путям и трубопроводам задают уклоны, для опор конвейерных эстакад и подвесных канатных дорог разбивают в натуре котлованы, выносят проектные отметки. В процессе строительства путей осуществляют контроль за соблюдением всех проектных геометрических соотношений и определяют объемы выполненных горных и строительных работ (см. § 71). После завершения строительства проводят исполнительную съемку и нанесение путей на графическую документацию.

Съемку отвалов производят для того, чтобы определять объемы отвалов, контролировать соблюдение проектных углов заоткоски, проектной ширины берм, высоты ярусов, фронта разгрузочных работ.

Отвалы подвержены оползневым явлениям, поэтому периодически производят техническое нивелирование железнодорожных путей на отвалах, наблюдают за неподвижностью откосов. По результатам съемок пополняют планы отвалов, разрабатывают меры по устранению деформаций транспортных путей.

Дренажные выработки на карьере могут быть представлены нагорными канавами, скважинами и подземными выработками.

Трассирование и контроль за соблюдением проекта при проведении нагорных канав осуществляют так же, как при проведении траншей. Маркшейдерские работы, выполняемые при проведении дренажных стволов и горизонтальных подземных дренажных выработок, аналогичны работам, описанным в главах XVI и XIX.

Определение объема вынутых и взорванных пород вскрыши и полезного ископаемого производят по результатам маркшейдерских съемок способами среднеарифметического, горизонтальных или вертикальных сечений (см. § 64) и др.

Если объем пород вскрыши или полезного ископаемого определяют по маркшейдерской съемке уступа, то допустимая погрешность m_V определения объема должна быть:

при объеме до 20 тыс. м³ — не более 10 %,

при объеме более 2000 тыс. м³ — не более 1 %,

при объеме от 20 до 2000 тыс. м³ — не более величины, определяемой по формуле

$$m_V = 1500/\sqrt{V}, \quad (\text{XIII.2})$$

где V — объем пород или полезного ископаемого в целике, м³.

Если объем пород вскрыши или полезного ископаемого определяют в разрыхленном состоянии и затем перевычисляют его в объем в целике через коэффициент разрыхления, то допустимая погрешность m_V должна быть:

при объеме до 45 тыс. м³ — не более 10 %,

при объеме более 2200 тыс. м³ — не более 1,5 %,

при объеме от 45 до 2200 тыс. м³ — не более величины, вычисляемой по формуле

$$m_V = 2200/\sqrt{V}, \quad (\text{XIII.3})$$

где V — объем пород или полезного ископаемого, приведенный к объему в целике, м³.

ГЛАВА XIV

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

§ 66. Работа с проектной документацией

Проектная организация к началу строительства передает руководству строящегося предприятия следующую техническую и проектную документацию:

технический отчет о топографо-геодезических работах с топографическими планами застраиваемой территории;

строительные генеральные планы (стройгенпланы) промышленной площадки в масштабах 1:500 или 1:1000 с нанесенными на них плановым положением и отметками зданий, сооружений, пунктов разбивочной сети; генеральный план (генплан) постоянных и временных подземных инженерных коммуникаций;

план земляных работ и вертикальной планировки участка строительства с распределением земляных масс;

рабочие чертежи сооружений нулевого цикла;

проектную документацию на шахтные стволы и другие горные выработки;

план расположения проходческого оборудования на поверхности или проект организации работ по проходке и т. д.

Работа с проектной документацией состоит в проверке топоосновы, проектных чертежей, вычислении координат характерных точек, вычислении разбивочных элементов (углов и длин) для вынесения геометрических элементов из проекта в натуру.

Для проверки топоосновы определяют плановое и высотное положения отдельных точек на местности и сравнивают с плановым и высотным положениями этих точек на прилагаемых к проекту топографических планах. Одновременно проверяют в натуре наличие пунктов геодезических и других сетей.

Проверка проектных чертежей включает в себя проверку стройгенплана, рабочих чертежей отдельных сооружений. Разбивочный план сопоставляют с рабочими чертежами отдельных зданий, контролируют взаимную привязку различных зданий, сооружений, коммуникаций друг к другу в плане и по высоте, проверяют соответствие этой привязки проектному технологическому циклу.

По рабочим чертежам каждого отдельного здания или сооружения сумму расстояний между строительными осями сопоставляют с общими его основными размерами, которые в свою очередь сравнивают с размерами размещаемого в них оборудования.

На стройгенплане все объекты строительства привязаны к главным осям промышленной площадки, т. е. даны в некоторой условной системе координат x' и y' , началом которой является центр ствола. Осями системы являются оси ствола, а началом отсчета высот (± 0 м) — устье шейки ствола.

Для производства разбивочных работ необходимо вычислить в истинной системе координаты всех характерных точек: центров, точек пересечения строительных осей, осевых пунктов и т. д. По вычисленным таким образом истинным координатам решением обратной геодезической задачи (см. § 12) вычисляют разбивочные углы и длины (см. § 67) для всех точек.

§ 67. Перенесение в натуру направления, горизонтального угла, расстояния, точки, отметки

Перенесение в натуру направления, имеющего дирекционный угол α , производят с помощью предварительно вычисленного разбивочного угла β .

Разбивочным углом β точки C называется угол с вершиной в точке A (рис. 87, *a*), определяемый как разность дирекционных углов α направления AC и α_0 твердого направления AB , т. е.

$$\beta = \alpha - \alpha_0.$$

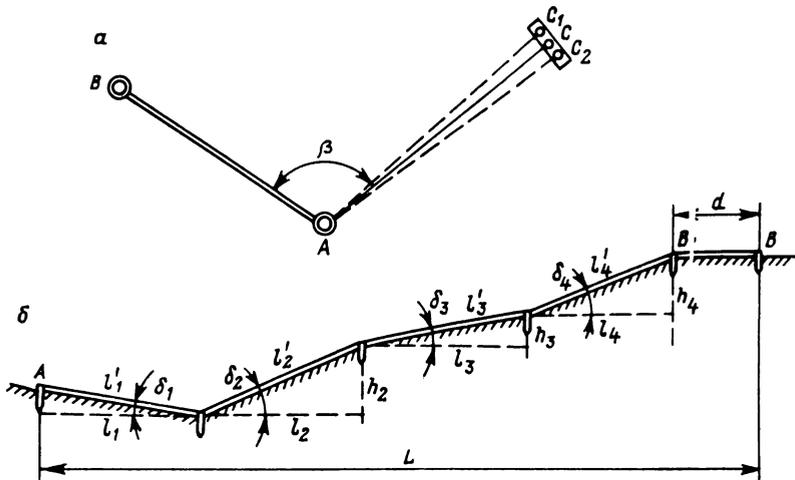


Рис. 87. Перенесение в натуру:
 а — заданного направления; б — заданного горизонтального расстояния

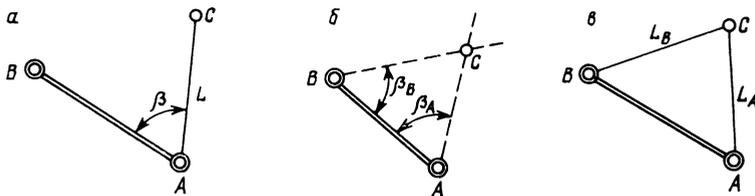


Рис. 88. Перенесение в натуру точки, заданной координатами

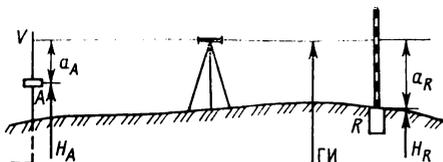
Для перенесения в натуру направления AC на точке A устанавливают теодолит и от направления AB откладывают по ходу часовой стрелки разбивочный угол β . Если при круге справа и круге слева получают не совпадающие между собой направления AC_1 и AC_2 , то за окончательное принимают среднее направление AC . После закрепления направления AC измеряют угол BAC , убеждаясь в том, что он равен разбивочному углу β .

Перенесение в натуру горизонтального угла γ представляет собой перенесение двух направлений с углом γ между ними.

Перенесение в натуру горизонтального расстояния L при небольшой его величине и спокойном рельефе производят так. Теодолитом переносят в натуру направление, закрепляют его, измеряют угол δ наклона местности, вычисляют наклонное расстояние

$$L' = L / \cos \delta. \quad (\text{XIV.1})$$

Рис. 89. Перенесение в природу проектной отметки



Затем откладывают на местности рулеткой или лентой расстояние L' . Горизонтальное проложение расстояния L' будет равняться проектному горизонтальному расстоянию L .

Если проектное расстояние больше длины рулетки, а рельеф имеет сложное строение, то по среднему углу δ наклона местности вычисляют по формуле (XIV.1) расстояние L' , закрепляя на местности точку B_1 . Затем разбивают длину L' на звенья так, чтобы длина каждого звена была меньше длины рулетки, а угол наклона каждого звена — постоянным. Измеряют длину звеньев и углы наклона, вычисляют горизонтальные проложения и сумму их сравнивают с проектной длиной L (рис. 87, б), определяя домер d . Затем, отложив домер d , закрепляют точку B .

Перенесение в природу точек, заданных координатами, осуществляют с использованием двух пунктов.

Пусть в природе имеются пункты с известными координатами $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ и дирекционным углом (AB) . Необходимо вынести в природу точку $C(x_C, y_C)$.

Полярный способ (рис. 88, а). Решением обратной геодезической задачи (§ 13) вычисляют дирекционный угол (AC) и расстояние L . По разности дирекционных углов определяют разбивочный угол

$$\beta = (AC) - (AB).$$

По разбивочным элементам β и L с помощью теодолита и рулетки выносят точку C .

Способ угловой засечки (рис. 88, б). Вычислив дирекционные углы, определяют разбивочные углы β_A и β_B :

$$\beta_A = (AC) - (AB); \quad \beta_B = (BA) - (BC).$$

Отложив теодолитами, установленными на пунктах A и B , разбивочные углы, в точке пересечения проектных направлений закрепляют точку C .

Способ линейных засечек (рис. 88, в). Вычислив разбивочные расстояния L_A и L_B , из пунктов A и B , как из центров, прочерчивают дуги радиусами L_A и L_B . Точка пересечения дуг представляет собой искомую точку C .

Перенесение в природу проектной отметки производят при помощи нивелира (рис. 89). Имеется репер R с отметкой H_R . Необходимо закрепить репер A на проектной отметке H_A . На

репере R устанавливают рейку, между реперами — нивелир, берут отсчет a_R , вычисляют горизонт инструмента

$$\text{ГИ} = H_R + a_R. \quad (\text{XIV.2})$$

$$\text{Разность } a_A = \text{ГИ} - H_A \quad (\text{XIV.3})$$

представляет собой домер, который нужно отложить металлической рулеткой от проекции V визирного луча, чтобы получить репер A на проектной отметке H_A .

Аналогично выносят проектные отметки при строительных и монтажных работах: устанавливают нивелир, определяют по формуле (XIV.2) горизонт инструмента, по формуле (XIV.3) вычисляют домеры или отсчеты по рейке a_i для разных проектных отметок H_i . Проектную отметку выносят при помощи рейки, которую опускают или поднимают до тех пор, пока отсчет по ней не окажется равным вычисленному значению a_i .

§ 68. Перенесение в природу центра и осей ствола. Разбивочные сети

Осями вертикального ствола называются две взаимно перпендикулярные горизонтальные прямые, одна из которых параллельна несущим основным расстрелам ствола.

Перенесение в природу центра и осей ствола производят с пунктов опорной сети проложением полигонометрического хода 2 разряда или угловыми засечками не менее чем два раза. Расстояние между полученными центрами не должно быть более 0,5 м, для вновь закладываемого ствола на действующем предприятии — не более 0,1 м. Центр закрепляют трубой или толстым колом, устанавливают над ним теодолит и по разбивочным углам разбивают главную и перпендикулярную к ней оси ствола. Направление главной оси не должно отличаться от проектного более чем на $\pm 3'$, для действующего предприятия $\pm 1'30''$; погрешность положения второй оси относительно главной — не более $\pm 45''$.

Каждую ось закрепляют не менее чем шестью постоянными осевыми пунктами — грунтовыми или стенными (по три пункта в каждую сторону от ствола). Осевые пункты закладывают в местах, обеспечивающих их сохранность в течение всего срока работы предприятия.

Разбивочная сеть представляет собой прямоугольную или квадратную сеть постоянных или временных пунктов, заложенных на застраиваемой территории для производства разбивочных работ, т. е. для перенесения элементов проекта в природу.

Постоянные пункты закладывают в местах, обеспечивающих их сохранность в течение всего срока строительства. Вынесение их в природу производят при помощи разбивочных элементов, вычисленных по координатам. *Временные пункты* за-

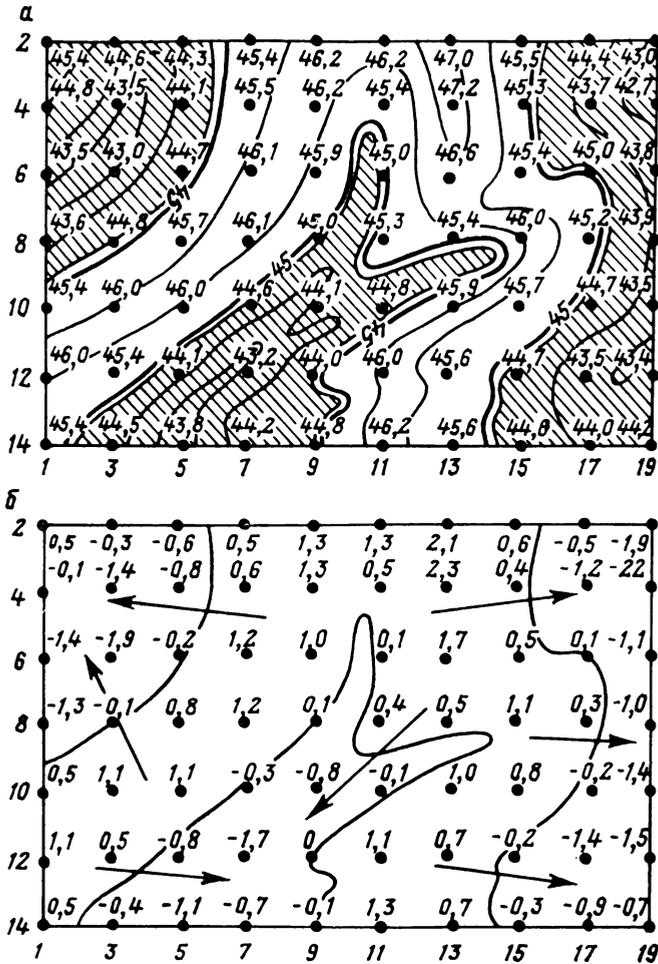


Рис. 90. Участок плана вертикальной планировки:
 а — план поверхности со строительной сеткой; б — план перемещения земляных масс

кладывают в створах между постоянными с плотностью, обеспечивающей удобство разбивочных работ. Вынесение в натуру временного пункта производят при помощи двух теодолитов, установленных в двух взаимно перпендикулярных створах.

§ 69. Вертикальная планировка земной поверхности

Вертикальная планировка земной поверхности представляет собой производство земляных работ, имеющее целью придать этой поверхности запроектированную форму.

На территории, подлежащей планировке, разбивают строительную сетку, вершины которой закрепляют кольшками. Форма сетки и расстояние между кольшками могут быть различными — в зависимости от сложности рельефа местности и застроенности территории.

Нивелированием определяют фактические отметки $H_{\text{ф}}$ вершин строительной сетки. Вычитая из них проектные отметки $H_{\text{п}}$, находят рабочие отметки

$$H_{\text{р}} = H_{\text{ф}} - H_{\text{п}}$$

На вершинах с положительными рабочими отметками производят впоследствии выемку (срезку) грунта, с отрицательными — отсыпку.

На плане вертикальной планировки определяют и затем выносят в натуру и закрепляют кольшками линию нулевых работ, т. е. линию пересечения фактической поверхности с проектной поверхностью или плоскостью.

По плану определяют проектные объемы земляных работ отдельно по выемке и отсыпке. При правильной форме строительной сетки объем вычисляют отдельно для каждой ячейки и затем суммируют; при неправильной форме — с помощью точечной палетки или методом вертикальных сечений (см. § 64).

После планировки вершины строительной сетки восстанавливают, нивелированием определяют их фактические отметки и сопоставляют с проектными.

На рис. 90, а показан участок плана вертикальной планировки в масштабе 1:1000, на котором даны горизонтали рельефа земной поверхности сечением через 1 м. Кружочками обозначены вершины строительной сетки размерами 10×10 м. Необходимо произвести вертикальную планировку и в результате получить горизонтальную плоскость. Чтобы объем выемки равнялся объему отсыпки, надо найти среднюю отметку участка. Для этого из высот всех 70 вершин сетки определяют среднее значение. Вычисления приведены в табл. 15, где для простоты

Т а б л и ц а 15

Линии сетки	Отметки вершин строительной сетки										Σ
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
2	5,4	4,6	4,3	5,4	6,2	6,2	7,0	5,5	4,4	3,0	52,0
4	4,8	3,5	4,1	5,5	6,2	5,4	7,2	5,3	3,7	2,7	48,4
6	3,5	3,0	4,7	6,1	5,9	5,0	6,8	5,4	5,0	3,8	49,2
8	3,6	4,8	5,7	6,1	5,0	5,3	5,4	6,0	5,2	3,9	51,0
10	5,4	6,0	6,0	4,6	4,1	4,8	5,9	5,7	4,7	3,5	50,7
12	6,0	5,4	4,1	3,2	4,9	6,0	5,6	4,7	3,5	3,4	46,8
14	5,4	4,5	2,8	4,2	4,8	6,2	5,6	4,6	4,0	4,2	46,3
Σ	34,1	31,8	31,7	35,1	37,1	38,9	43,5	37,2	30,5	24,5	344,4

расчетов десятки метров в абсолютных отметках опущены. Сумма всех отметок равна 344,4 м. Средняя отметка участка $344,4/70=4,9$ м или с учетом десятков метров $H_{cp}=44,9$ м.

На рис. 90, б показаны линии нулевых работ, т. е. линии, проходящие через точки с отметкой 44,9 м, а также рабочие отметки в каждой вершине строительной сетки. Незаштрихованные участки — это участки выемки, заштрихованные — участки отсыпки. Стрелками показаны направления перемещения грунта.

После перемещения земляных масс на величину, равную рабочим отметкам, поверхность будет представлять собой горизонтальную плоскость с отметкой $H=44,9$ м.

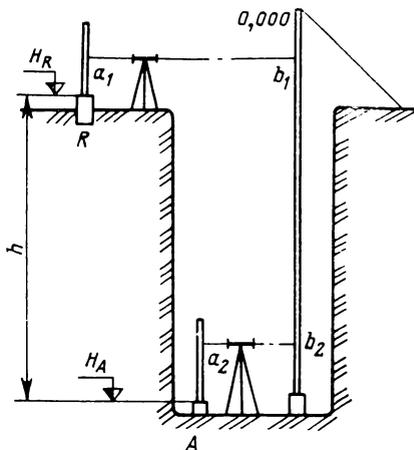


Рис. 91. Схема передачи отметки на дно котлована с вертикальными стенками или траншеями

§ 70. Маркшейдерские работы при строительстве зданий и сооружений

С пункта разбивочной сети выносят центр здания. После установки в центре теодолита разбивают оси здания и отмечают точки пересечения этих осей с остальными осями здания и осями стен. Затем, устанавливая теодолит в точках пересечения осей, разбивают последовательно все оси. Основные оси здания закрепляют пунктами, рассчитанными на сохранность в течение всего срока строительства. Оси стен закрепляют створными знаками, а также специальными марками на обноске.

Вблизи строящегося здания или сооружения закладывают один — два высотных репера.

При значительной глубине котлована или траншеи отметку на дно передают при помощи двух нивелиров и металлической рулетки (рис. 91). Один нивелир устанавливают на поверхности, другой — на дне котлована. К подвешенной нулем вверх рулетке прикрепляют груз. Берут отсчеты a_1 и a_2 по рейкам, установленным на репере R на земной поверхности и репере A в котловане, а также отсчеты b_1 и b_2 по рулетке. Превышение h между реперами A и R вычисляют по формуле

$$h = H_A - H_R = (a_1 - a_2) + (b_1 - b_2).$$

В котлован, отрываемый с разноской бортов, отметку передают продолжением хода технического нивелирования.

Для устройства щебеночной, песчаной или бетонной подготовки на дне отрытого котлована задают маяки, т. е. забивают металлические штыри так, чтобы отметка их верхних торцов равнялась проектной отметке верхней плоскости подготовки.

Бетон в фундамент укладывают после монтажа металлоконструкций и закладных деталей под колонны, перегородки, стационарное и монтажное оборудование. Закладные детали устанавливают в плане с точностью ± 5 мм, а по высоте — от 0 до 20 мм в сторону занижения.

На фундаментную плиту здания и затем по мере его строительства на каждый монтажный горизонт (этаж) выносят оси колонн, смещая их параллельно на величину, которая на 20—25 мм больше половины ширины колонны. Оси образуют монтажную сетку. На фундаментной плите монтажную сетку разбивают теодолитом с осевых пунктов. Створы монтажной сетки на монтажные горизонты передают специальным оптическим центрировочным прибором или теодолитом. Передачу отметки с репера, закрепленного на фундаментной плите, на репер, закрепленный на монтажном горизонте, производят при помощи двух нивелиров и металлической рулетки.

Нижний торец каждой колонны устанавливают так, чтобы осевые риски колонны совпадали с осевыми рисками, нанесенными со створов монтажной сетки на основание колонны (стакан, закладную деталь). Вертикальность колонны контролируют при помощи отвесов или двух теодолитов, установленных на двух взаимно перпендикулярных осях здания, или зенит-прибором.

По результатам исполнительной съемки, которую производят после завершения монтажа колонн, составляют план фактического положения нижних оснований колонн и схемы вертикальности колонн.

§ 71. Маркшейдерские работы при строительстве инженерных коммуникаций

Инженерные коммуникации современного горного предприятия представлены железными, автомобильными и подвесными дорогами, воздушными и подземными силовыми, осветительными и телефонными линиями, конвейерными галереями, наземными, надземными и подземными трубопроводами и т. д. При строительстве этих коммуникаций выполняют следующие маркшейдерские работы.

Проверяют в натуре наличие осевых пунктов, точек поворота трасс и высотных реперов. Если для строительства коммуникаций необходимо производить земляные работы, то в этом случае осевые пункты и пункты поворота трасс выносят за пределы зоны земляных работ. Детальную разбивку земляных работ, т. е. закрепление в натуре кольями контурных точек насыпей и выемок, осевых пунктов котлованов под опоры

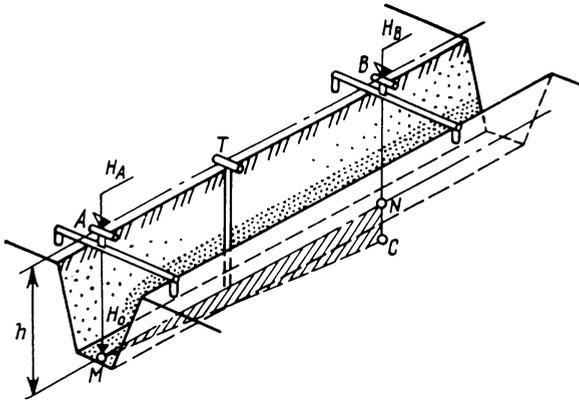


Рис. 92. Трассировка продольной оси траншеи

или сгущение осевых пунктов трасс, производят способами, описанными в § 67.

Для задания проектного уклона i дну траншеи (рис. 92) закрепляют на расстоянии l друг от друга опорные визирки A и B с таким расчетом, чтобы высоты H_A и H_B визирок удовлетворяли условию

$$i = (H_B - H_A) / l.$$

При рытье траншеи используют ходовую визирку T , высота h которой равняется расстоянию от верхней кромки визирок A и B (от створа AB) до дна траншеи. Земляные работы в любой точке траншеи выполнены верно, если верхняя кромка визирки T , установленной в этой точке, совпадает со створом AB .

По мере завершения отдельных видов работ проводят дополнительную съемку, по результатам которой составляют графическую документацию — планы и профили коммуникаций. С особой тщательностью составляют планы скрытых (подземных) коммуникаций, чтобы облегчить в будущем их вскрытие в случае повреждений.

ГЛАВА XV

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ

ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ШАХТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА

§ 72. Основные геометрические элементы шахтного подъемного комплекса

В шахтный подъемный комплекс (рис. 93), служащий для опускания и поднимания по стволу транспортных сосудов, входят: копер с направляющими шкивами, подъемная машина, канаты, подъемные сосуды (клетки, скипы). Геометрические элементы конструкций и механизмов шахтного подъемного комплекса жестко связаны друг с другом и с геометрическими элементами ствола.

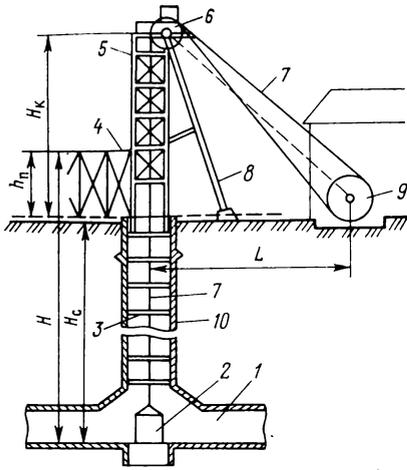


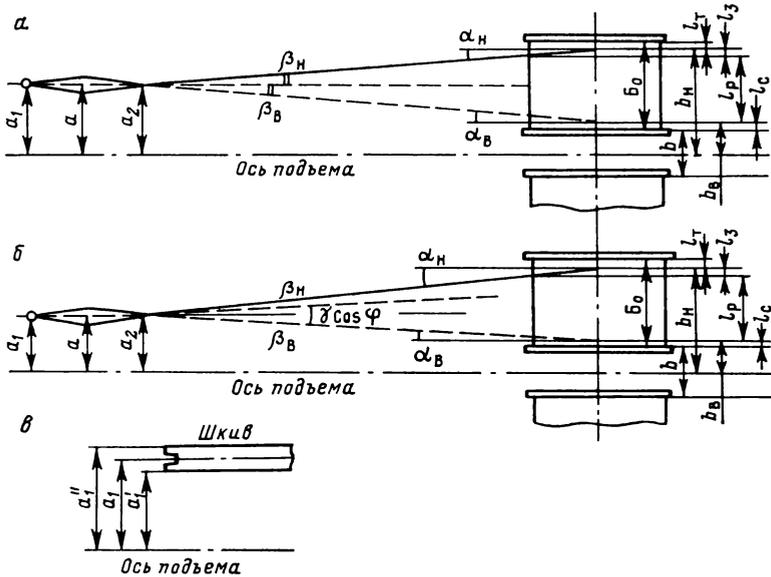
Рис. 93. Схема подъемного комплекса с металлическим укосным копром:

1 — околоствольный двор; 2 — подъемный сосуд; 3 — расстрелы; 4 — приемная площадка; 5 — станок копра; 6 — шквы; 7 — канат; 8 — укосина; 9 — барабан подъемной машины; 10 — ствол



Рис. 94. Схема к определению углов девиации:

a — ось симметрии шкива параллельна оси подъема; b — ось симметрии шкива не параллельна оси подъема; v — измеряемые расстояния до граней реборд шкива



Центр подъема вертикального ствола — это точка, лежащая на середине между осями канатов, идущих в ствол.

Ось подъема вертикального ствола — это прямая, проходящая через центр подъема и перпендикулярная к оси главного вала подъемной машины.

Ось симметрии шкива—это прямая, проходящая посередине между ребрами шкива и перпендикулярная к оси вала шкива.

Углы девиации каната на шкиве—это лежащие в наклонной плоскости углы β_n и β_v , образованные канатом и его проекцией на осевую плоскость шкива (рис. 94), т. е. на вертикальную плоскость, проходящую через ось симметрии шкива.

Углы девиации каната на барабанае подъемной машины—это лежащие в наклонной плоскости углы α_n и α_v , образованные канатом и его проекцией на вертикальную плоскость, перпендикулярную к оси главного вала подъемной машины.

§ 73. Маркшейдерские работы при возведении шахтного подъемного комплекса с металлическим укосным копром

До начала проходки ствола сооружают временный (проходческий) металлический или деревянный копер. После проходки нескольких (десятков) метров ствола и возведения постоянной крепи временный проходческий копер заменяют постоянным. Постоянный копер может быть металлическим укосным или башенным. Возведение их существенно отличается друг от друга.

Монтаж подкопровой рамы производят, используя проемы в шейке ствола, оставленные для этого при бетонировании. Раму собирают и сваривают на поверхности. На готовой раме кернят осевые точки. Затем готовую раму заводят в проемы шейки ствола. Между осевыми пунктами ствола натягивают проволоки, на которые вешают отвесы.

Отклонение осевых точек рамы от осей ствола не должно быть более ± 5 мм для металлических копров и ± 20 мм для деревянных; отклонение фактической отметки рамы от проектной не должно быть более ± 30 мм; разность отметок углов рамы должна быть в пределах ± 5 мм для металлических копров и ± 20 мм для деревянных.

Контроль за вертикальностью станка копра осуществляют в процессе монтажа копра. Для этого применяют два теодолита, устанавливаемых в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 95, а). По результатам профильной съемки вычерчивают исполнительную схему—профили стоек (рис. 95, б), применяя горизонтальный масштаб, в 2—10 раз крупнее вертикального.

Перенесение осей на подшивную площадку производят при помощи отвесов или двух теодолитов. На подшивной площадке до ее монтажа на копре размечают рисками оси. При использовании отвесов оси ствола закрепляют проволоками, натягиваемыми между осевыми скобами в шейке ствола. Отвесы с грузами не менее 20 кг опускают с рисков подшивной

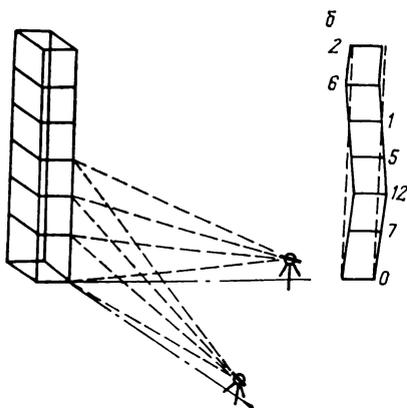


Рис. 95. Схема контроля за вертикальностью станка копра:

a — проверка положения станка теодолитом; *б* — профили стоек станка копра

тального диаметра шкива измеряют расстояния от отвесов до внутренней a'_1, a'_2 и внешней a''_1, a''_2 граней реборды шкива (см. рис. 94). Расстояние между осью подъема и осью симметрии шкива на каждом конце его горизонтального диаметра определяют по формулам

$$a_1 = \frac{a'_1 + a''_1}{2}; \quad a_2 = \frac{a'_2 + a''_2}{2}. \quad (\text{XV.1})$$

Каждое из расстояний a_1 и a_2 вычисляют повторно, измеряя заново расстояния a'_1, a''_1, a'_2, a''_2 после поворота шкива на 180° . За окончательный результат принимают средние значения a_1 и a_2 .

Расстояние между осью симметрии шкива и осью подъема не должно отличаться от проектного более чем на ± 10 мм для шкивов диаметром до 6 мм и ± 15 мм для шкивов диаметром более 6 м. Контроль за горизонтальностью вала шкива осуществляют при помощи уровня.

Контроль за положением разгрузочных кривых на копре, снабженном опрокидными устройствами, производят после монтажа копра. На приемную площадку передают ось ствола, от нее на проектное расстояние проволокой закрепляют осевую линию разгрузочных кривых. На проволоку вешают легкие нитяные отвесы, от которых измеряют через каждые 0,3—0,5 м расстояния до внутренних граней разгрузочных кривых. Эти расстояния не должны отличаться от проектных значений более чем на ± 10 мм.

Установка подъемной машины. При помощи теодолита и рулетки находят на местности и закрепляют временным пунк-

площадки в шейку ствола. Площадку рихтуют, добиваясь совмещения ее осей с осями ствола.

Применение теодолитов, устанавливаемых на осевых пунктах ствола, упрощает задачу. Каждую ось передают на подшивную площадку не менее двух раз. Расхождение не должно быть более 15 мм.

Контроль за установкой направляющих шкивов производят для определения положения оси симметрии каждого шкива относительно оси подъема. На подшивной площадке проволоками закрепляют оси подъема. На проволоки вешают легкие нитяные отвесы и на концах горизон-

том точку пересечения оси подъема и оси вала подъемной машины. После установки теодолита над этой точкой разбивают и закрепляют ось вала, оси фундамента машины, оси фундамента здания.

В процессе возведения здания в стены его закладывают осевые скобы на двух уровнях — на высоте 1—1,5 м и 3—4 м над полом здания. На скобах рисками отмечают ось подъема и ось вала. Строительство фундамента, разметку анкерных болтов, монтаж рамы подъемной машины, ее вала производят с использованием закрепленных на скобах осей. Между скобами по осевым рискам натягивают проволоки, на них вешают легкие нитяные отвесы.

Раму подъемной машины устанавливают с погрешностью не более: в плане ± 10 мм, по высоте ± 100 мм; разность отметок углов рамы не должна быть более ± 15 мм. Фактическое направление оси вала подъемной машины не должно отличаться от проектного более чем на $\pm 2'$. Фактическая отметка вала не должна отличаться от проектной более чем на ± 100 мм. Высотный контроль при монтаже производят при помощи нивелира и уровней.

Определение углов девиации производят после завершения монтажа всего подъемного комплекса с целью проверки соответствия проекту фактической геометрической схемы подъемного комплекса.

Для вычисления углов девиации необходимо знать следующие величины: $a = (a_1 + a_2)/2$ — расстояние вдоль оси вала шкива от оси подъема до оси симметрии шкива [величины a_1 и a_2 определяют по формулам (XV.1)]; b_v , b_n — расстояния от оси подъема соответственно до внутренней и наружной границ рабочей зоны (зоны рабочих витков и витков запаса) барабана подъемной машины. Эти расстояния измеряют рулеткой или вычисляют по формулам (см. рис. 94):

$$b_v = b/2 + l_c;$$

$$b_n = b/2 + B_0 - l_\tau = b/2 + l_c + l_p + l_s,$$

где b — расстояние между внутренними гранями реборд барабанов машины; B_0 — строительная ширина барабана; l_c — ширина свободной части барабана; l_s , l_p , l_τ — ширина зон запасных витков, рабочих витков и витков трения.

Если ось симметрии шкива параллельна оси подъема (см. рис. 94, а), то внутренние и наружные углы девиации на барабане и шкиве попарно равны друг другу. Их вычисляют по формулам

$$\alpha_v = \beta_v = \frac{a - b_v}{L_S} \rho; \tag{XV.2}$$

$$\alpha_n = \beta_n = \frac{b_n - a}{L_S} \rho,$$

где L_S — наклонная длина каната от точки схода со шкива до точки навивки на барабан.

Если ось симметрии шкива не параллельна оси подъема (см. рис. 94, б) то углы девиации на барабане вычисляют по формулам (XV.2), а углы девиации на шкиве — по формулам

$$\beta_B = \alpha_B + \gamma \cos \varphi;$$

$$\beta_H = \alpha_H - \gamma \cos \varphi,$$

где $\gamma = (a_2 - a_1) / D_{ш}$ — горизонтальный угол, составленный осевой плоскостью шкива с осью подъема; $D_{ш}$ — диаметр шкива; φ — угол наклона каната.

Правила технической эксплуатации шахт требуют, чтобы значения углов девиации на шкивах и цилиндрических барабанах не превышали $1^\circ 30'$. Если в результате проверки установлено, что этот допуск превышен, то геометрию подъема медленно исправляют.

§ 74. Маркшейдерские работы при возведении шахтного подъемного комплекса с башенным копром

Копры сборно-каркасной конструкции возводят так же, как сборно-каркасные здания жилого или производственного назначения. Вертикальность колонн каждого яруса контролируют теодолитом в двух взаимно перпендикулярных направлениях (см. § 70). По результатам контрольной профильной съемки составляют исполнительную графическую документацию.

Копры монолитной конструкции, возводимые в скользящей опалубке, требуют строгого, специфического контроля вертикальности.

После завершения работ нулевого цикла монтируют скользящую опалубку. Смещение ее щитов в плане не должно быть более ± 10 мм, по вертикали — не более ± 15 мм.

После возведения стен на высоту 1,5—2,0 м оси ствола закрепляют на скобах, забетонированных в стенах копра с внутренней и внешней сторон. Монтируют лебедки с отвесами и шкалы-координатометры (рис. 96), при помощи ко-

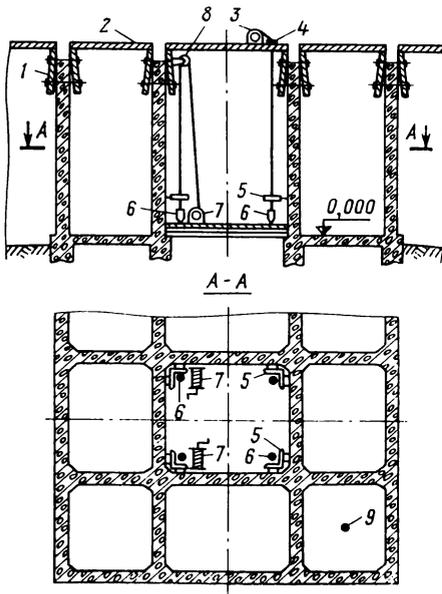


Рис. 96. Схема контроля за вертикальностью башенного копра тяжелыми отвесами:

1 — опалубка; 2 — рабочий стол опалубки; 3 — лебедка на рабочем полу; 4 — центрировочная пластинка; 5 — координатометр; 6 — отвес; 7 — лебедка на нулевой площадке; 8 — блок; 9 — отвес в лифтовом отделении

торых осуществляется контроль за вертикальностью стен копра. Если опалубка при очередном ее подвигании смещается в горизонтальной плоскости, то смещаются и отвесы и, следовательно, изменяются отсчеты по шкалам. Это свидетельствует о необходимости изменить положение опалубки. Допускается отклонение стен копра от вертикали на 0,002 его высоты, но не более 100 мм; отклонение плоскости перекрытия от горизонтального положения — не более 20 мм на всю плоскость и не более 5 мм на 1 м плоскости в любом направлении.

Монтаж подъемной машины производят после передачи отметки и осей ствола на горизонт машинного зала. Отметку передают компарированной рулеткой не менее двух раз с расхождением не более 20 мм. Оси ствола переносят отвесами или зенит-прибором и затем контролируют теодолитом, устанавливая его с каждой стороны башни. Расхождение не должно быть более 30 мм.

Монтаж многоканатной подъемной машины ведут с соблюдением следующих условий: параллельности и горизонтальности осей главного вала машины и вала отклоняющих шкивов; равенства диаметров и расположения в одной вертикальной плоскости соответствующих ведущих и отклоняющих шкивов; вертикальности осей головных подъемных канатов и др. Контроль за соблюдением этих условий осуществляют посредством съемки шкивов и канатов на горизонте отклоняющих шкивов и на нулевом горизонте.

ГЛАВА XVI

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ И ПРОВЕДЕНИИ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 75. Маркшейдерские работы при проходке вертикального шахтного ствола

Для проходки и крепления устья ствола устанавливают проходческую раму-шаблон. Рама считается установленной, если ее осевые риски совпадают с осями ствола. Несовпадение допускается до ± 20 мм. На центр рамы-шаблона теодолитом с осевых пунктов выносят центр ствола и закрепляют его центрировочной пластинкой или отверстием. При проходке устья и возведении постоянной крепи измеряют рулеткой радиусы от отвеса, опущенного из закрепленного центра ствола. Вертикальный контроль осуществляет, измеряя расстояния h от рамы-шаблона до элементов опалубки.

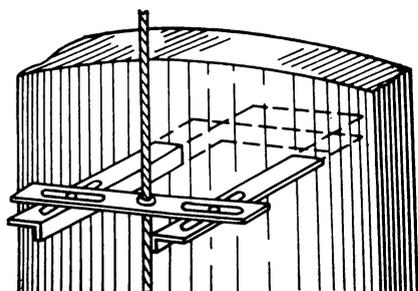
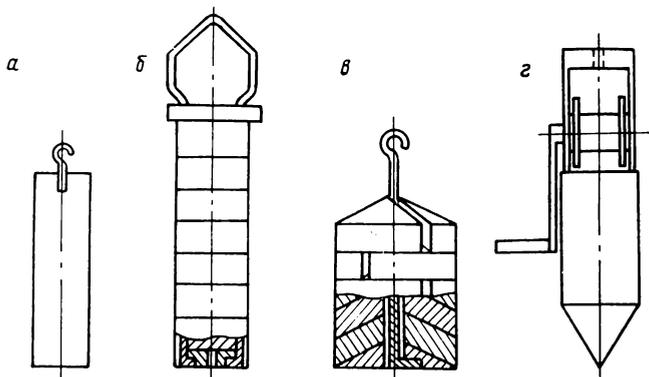


Рис. 97. Схема закрепления бокового отвеса в вертикальном стволе

Рис. 98. Конструкция проходческих отвесов:

а — монолитный отвес; *б* — составной с двухстоечной штангой; *в* — составной с одностоечной штангой; *г* — барабанный отвес



После бетонирования устья ствола проходческую раму-шаблон заменяют постоянной проходческой рамой, на которой закрепляют центр ствола и направление его осей. В устье ствола в постоянной крепи закрепляют осевые скобы (рис. 97) с таким расчетом, чтобы проволоки закрепленных на скобах отвесов находились на расстоянии не менее 200 мм от стенок ствола. На осевые скобы отвесами с постоянной проходческой рамы передают оси ствола. Погрешность передачи не должна быть более 5 мм. Осевые скобы используют при проходке ствола для разметки проемов, для ориентирования геологических разрезов и задания направления околоствольным выработкам. При небольшой глубине ствола боковые отвесы опускают на всю глубину, при большой — скобы переносят вниз по мере проходки.

Грузы отвесов могут быть монолитными (рис. 98, *а*), составными (рис. 98, *б*, *в*) и барабанными (рис. 98, *г*). Груз подвешивают на стальном тросе диаметром от 2 до 5 мм.

Контроль за соблюдением вертикальности и проектного сечения ствола в процессе проходки осуществляют измерением расстояний до стенок ствола от центрального отвеса при круглом сечении ствола или от боковых отвесов при прямоугольном сечении. Маркшейдерская служба производит такие изме-

рения выборочно — через три-четыре технологических цикла, представители сменного надзора — не реже чем через один-два цикла.

В процессе строительства ствола маркшейдерская и геологическая службы заполняют журнал проходки ствола, который снабжают фактическим вертикальным разрезом по стволу в масштабе 1 : 100 и горизонтальными сечениями через 10 м.

После возведения постоянной крепи ствола производят профильную съемку (профилирование) его стенок. Для этого в ствол на всю его глубину опускают два отвеса — центральный и боковой. От центрального отвеса через интервал по глубине, равный шагу армировки, измеряют радиусы с точностью 0,5 см. Боковой отвес служит для ориентирования измерений.

§ 76. Маркшейдерские работы при армировании вертикального шахтного ствола

Армированием ствола называется монтаж в стволе расстрелов, проводников подъемных сосудов, перекрытий лестничного отделения, трубопроводов и других инженерных коммуникаций. Наиболее точно выполняют монтаж расстрелов и проводников.

Вначале расстрелы монтируют на контрольном ярусе, расположенном несколько ниже нулевой площадки. Положение расстрелов этого яруса не должно отличаться от проектного более чем на 3 мм, превышение концов расстрела не должно быть более 5 мм. На расстрелах контрольного яруса крепят армировочные отвесы. Через каждые 30—100 м на специально смонтированных балках устанавливают ограничители колебаний отвесов.

Расстрелы на каждом ярусе монтируют при помощи армировочных отвесов и специальных шаблонов. Шаблоны изготавливают заранее в соответствии с проектным расположением расстрелов. Они бывают различными по своему назначению: для разметки лунок (рис. 99, *а*), для установки расстрелов относительно отвесов (рис. 99, *б*), для установки одного расстрела относительно другого (рис. 99, *в*), для установки расстрелов по вертикали (рис. 99, *г*).

После окончания армирования производят профильную съемку (профилирование) расстрелов и проводников. Для этого в ствол на всю его глубину опускают отвесы из расчета один отвес на каждый проводник или на два проводника, прикрепленных к одному расстрелу. Через каждые 200 м устанавливают ограничители колебаний отвесов. На каждом ярусе измеряют следующие расстояния (рис. 100): *а* — от отвеса до боковой грани проводника; *б* — от отвеса до расстрела; *с* — от отвеса до лицевой грани проводника; *д* — между проводниками. Станция СИ-4 позволяет производить профилирование автоматически.

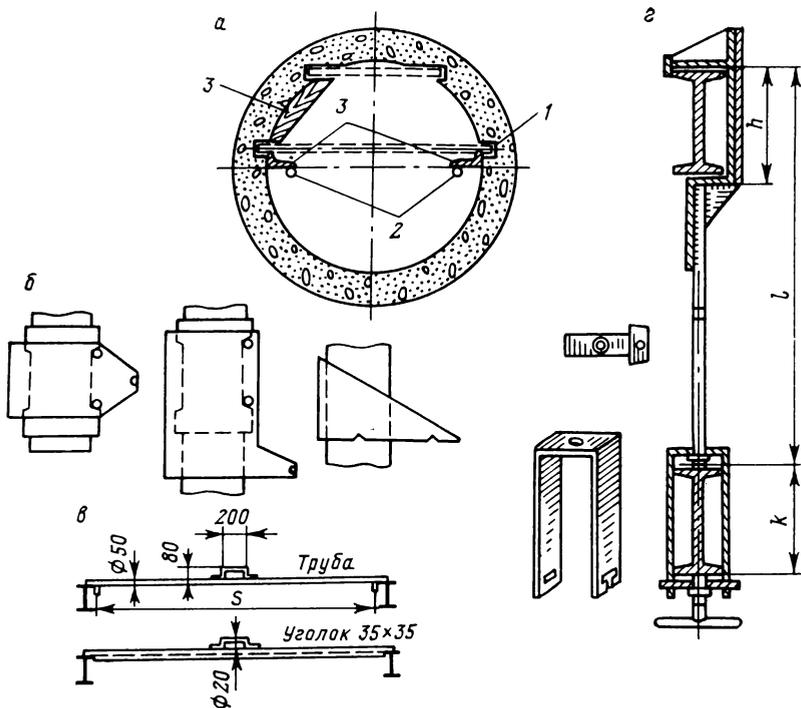


Рис. 99. Виды шаблонов различного назначения:

1 — лунки; 2 — осевые отвесы; 3 — шаблоны

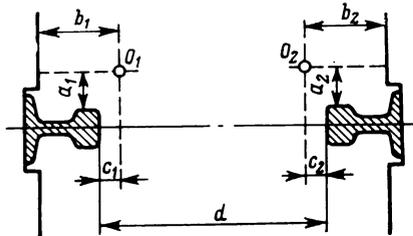


Рис. 100. Измерения при профилировании проводников и расстрелов с помощью отвесов

По результатам профильной съемки строят профиль каждого проводника в двух взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, а также показывают ширину колеи между соответствующими проводниками.

§ 77. Маркшейдерские работы при реконструкции и углубке вертикального шахтного ствола

Перед началом реконструкции или углубки ствола определяют фактическое положение его центра. В ствол прямоугольного сечения опускают четыре отвеса, в ствол круглого сечения — три; определяют их координаты и измеряют расстояния от отвесов до стенок ствола. Центр ствола прямоугольного сечения на каждом ярусе определяют как точку пересечения диа-

гоналей, а центр ствола круглого сечения — как центр окружности, описанной вокруг треугольника. Треугольник образуется тремя точками измерения на стенках ствола на каждом ярусе. За фактическое положение центра ствола принимают среднее из значений координат центра, полученных на различных ярусах. За направление оси ствола принимают направление оси главного центрального расстрела.

Углубка ствола может проводиться сверху вниз или снизу вверх. При углубке сверху вниз проходку и крепление ствола производят под естественным породным или искусственным целиком, отделяющим зумпф существующего ствола от углубляемой его части. При углубке снизу вверх существующий ствол связывают с начальным горизонтом углубки системой горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок.

В обоих случаях в углубляемую часть ствола различными способами передают центр и направление осей ствола с таким расчетом, чтобы расхождение в положении центров существующей и углубляемой частей не было более 20 мм. Расхождение в направлении осей не должно быть более 5'.

Маркшейдерская служба контролирует вертикальность и соблюдение проектного сечения через 5 м при проходке углубляемой части ствола неполным сечением и через 3 м при проходке полным сечением.

§ 78. Маркшейдерские работы при проходке вертикального шахтного ствола специальными способами

При проходке способом замораживания горных пород вокруг ствола бурят замораживающие скважины, в которые подают замораживающий рассол. Вокруг скважин образуются ледопородные цилиндры. Они, увеличиваясь в диаметре, образуют ледопородное ограждение вокруг ствола. Центры устьев скважин выносят в натуру с погрешностью не более ± 5 см.

Съемку осей скважин производят при помощи инклинометра. Через каждые 2—10 м по длине скважины определяют ее дирекционный угол с погрешностью не более $\pm 5^\circ$ и зенитный угол с погрешностью не более $\pm 3'$. Зенитным углом скважины называется угол, образуемый осью скважины с отвесной линией.

По результатам инклинометрических измерений вычисляют координаты точек оси каждой скважины и затем через каждые 20 м для скважин глубиной менее 200 м или через 50 м для скважин глубиной более 200 м строят погоризонтные планы ледопородного ограждения. Если в ограждении имеется «окно» или толщина ограждения меньше проектной, то в соответствующих местах бурят дополнительные скважины.

При проходке способом бурения контроль за вертикальностью ствола осуществляют оптическим или геометрическим способом.

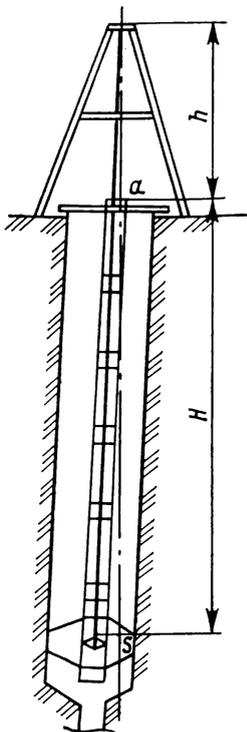


Рис. 101. Геометрический способ контроля за вертикальностью ствола

При геометрическом способе контроля в буровую колонну на тросе опускают груз особой конструкции. По отклонению a троса на поверхности (рис. 101), высоте h кран-блочной балки и глубине H ствола вычисляют смещение центра ствола

$$s = a \frac{H + h}{h},$$

которое относительно проектного положения не должно быть более 0,1 м.

§ 79. Маркшейдерские работы при проходке наклонного шахтного ствола

Оси наклонного ствола — это две взаимно перпендикулярные линии, одна из которых (главная ось) имеет направление по падению ствола и соединяет центры его горизонтальных сечений, вторая (горизонтальная) перпендикулярна к первой и проходит через заданный проектный центр ствола.

Ось подъема наклонного ствола — это линия, параллельная главной оси ствола и совпадающая с осью одноколейного пути (осью конвейера) или делящая пополам расстояние между осями двухколейного пути.

До начала проходки наклонного ствола в натуре выносят его центр и оси, которые закрепляют постоянными пунктами в местах, обеспечивающих их сохранность.

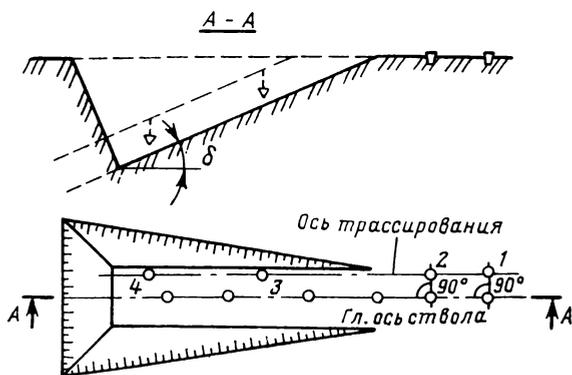


Рис. 102. Схема устья наклонного ствола

Проходческую раму-шаблон при крутом падении устанавливают горизонтально или перпендикулярно к главной оси ствола. Оси рамы-шаблона должны совпадать с осями ствола. При пологом падении вначале отрывают котлован, в нем возводят постоянную крепь устья ствола, затем котлован засыпают. В котловане постоянными пунктами закрепляют главную ось ствола и параллельную ей ось трассирования (рис. 102).

По мере проходки ствола по оси трассирования закладывают новые постоянные пункты, используя створ этой оси для задания направления стволу. Расстояние между осью трассирования и осью ствола выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить удобство работы с теодолитом на пунктах оси трассирования. После окончания проходки в стволе разбивают и закрепляют ось подъема. Разбивку производят рулеточными промерами от оси трассирования.

§ 80. Маркшейдерские работы при проведении выработок околоствольного двора

Основой для производства маркшейдерских работ являются проектный план околоствольного двора в масштабе 1:200 или 1:500, рабочие чертежи сопряжений выработок, сечения выработок, проектные профили откаточных путей.

Рассечка околоствольного двора. При проходке вертикального ствола для определения места рассечки выработок околоствольного двора в ствол передают отметку одним из способов, описанных в § 83. На 15—20 м выше рассечки закладывают репер, который затем используют для точного определения места рассечки. Задание направления рассечке в плане осуществляют по створу осевых отвесов ствола, опущенных с осевых скоб, закрепленных в устье ствола. После того как выработку проведут по такому направлению на 35—40 м, выполняют ориентирно-соединительную съемку одним из способов, описываемых в § 82.

При проходке наклонного ствола место рассечки определяют по разности отметки H_A ближайшей к рассечке точки A и проектной отметки H_0 горизонта рассечки. Направление рассечке задают двумя отвесами, закрепленными в точках, находящихся, так же как точки A и B , на оси трассирования наклонного ствола.

Разбивка оси вертикального ствола в околоствольной выработке производится от пунктов C' и D' опорной сети, координаты которых определены в результате ориентирно-соединительной съемки (рис. 103). На расстояниях l_1 и l_2 от центра ствола проектируют осевые пункты 1 и 2, координаты их вычисляют по известному дирекционному углу оси ствола и выбранными расстояниям l_2 и l_1 . По координатам пунктов 1, C' , D_1 , 2 решением обратной геодезической задачи вычисляют ди-

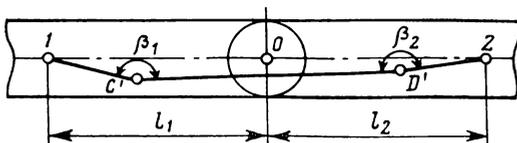


Рис. 103. Разбивка оси ствола в околовольной выработке

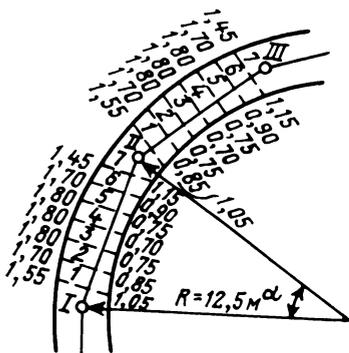


Рис. 104. Задание направления способом перпендикуляров

рекциянные углы ($C'-1$) и ($D'-2$) и расстояния $C'-1$ и $D'-2$. Затем вычисляют разбивочные углы β_1 и β_2 . По найденным разбивочным элементам закрепляют в натуре постоянными знаками осевые пункты 1 и 2.

Задание направления выработкам в горизонтальной плоскости производят теодолитом в соответствии с проектными дирекционными углами осей выработок. Направление закрепляют шнуровыми или светящимися отвесами, световыми (типа МСУ, УНС) или лазерными (типа ЛУН) указателями направления по оси трассирования.

Для каждого криволинейного участка строят план в масштабе 1:20—1:50. Затем разбивают хорду на метровые или двухметровые интервалы. В каждой точке строят либо перпендикуляр к хорде (способ перпендикуляров, рис. 104), либо радиус (способ радиусов). Длину перпендикуляров или радиусов, т. е. расстояния от хорды до стенок выработки, определяют графически с точностью до 1 см и выписывают на плане. Один экземпляр плана дают проходческой бригаде.

Маркшейдер выносит в натуре и закрепляет направление хорды, а проходчики проводят выработку так, чтобы соблюдалась проектная длина «скоб», т. е. перпендикуляров или радиусов.

При способе радиусов вычисляют и контролируют в натуре расстояния между осями соседних стоек по внутренней и наружной (относительно центра закругления) стенкам выработки.

Отклонение прямолинейной или криволинейной выработки от заданного направления не должно быть более 5 см. Если оно превышает эту величину, то маркшейдерская служба бра-

кует выработку на соответствующем участке. В этом случае оплату работ по проведению и креплению выработки производят после ее перекрепления в соответствии с заданным направлением.

Задание направления выработкам в вертикальной плоскости производят: в горизонтальных выработках — нивелиром, в наклонных — теодолитом. Горизонтальными считаются выработки с углом наклона до $5-8^\circ$.

В рядовых откаточных выработках фактический уклон не должен отличаться от проектного более чем на $\pm 0,002$, на специальных участках (стопоров, толкателей, опрокидывающих устройств и т. п.) — на $\pm 0,001$. Систематические отклонения от проектного уклона с постоянным знаком и обратные уклоны недопустимы.

Исполнительные съемки выработок околоствольного двора в плане и по высоте служат основой для построения исполнительной графической документации — планов, профилей, сечений. Плановые съемки производят проложением теодолитных ходов, высотные — геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

ГЛАВА XVII

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ПОДЗЕМНЫЕ ОПОРНЫЕ И СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

§ 81. Общие сведения о маркшейдерских подземных сетях

По точности угловых и линейных измерений подземные маркшейдерские сети делятся на опорные сети, съемочные сети 1 разряда и съемочные сети 2 разряда. Основой для развития съемочных сетей являются опорные сети, основой для развития опорных подземных сетей — опорные маркшейдерские сети на земной поверхности. Первые пункты опорной сети закладывают в выработках околоствольного двора, затем — во всех вскрывающих и основных подготовительных выработках по мере их проведения.

Съемки земной поверхности и съемки подземных горных выработок выполняют в одной системе координат. Это позволяет по планам и разрезам, на которых нанесены поверхность и выработки, решать различные инженерные задачи.

Для того чтобы съемка подземных выработок производилась в системе координат, принятой на поверхности, необходимо на исходные пункты подземной опорной сети, заложенные в выработках околоствольного двора, передать с пунктов поверхности координаты и дирекционный угол. Съемка, в результате которой определяют координаты хотя бы одного

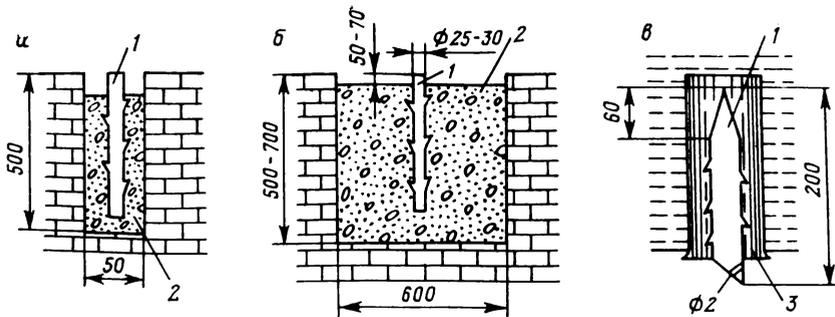


Рис. 105. Постоянные пункты подземной опорной сети:

a — в крепких породах почвы; *б* — в слабых породах почвы; *в* — в крепких породах кровли; 1 — металлический штырь; 2 — бетон; 3 — деревянная пробка

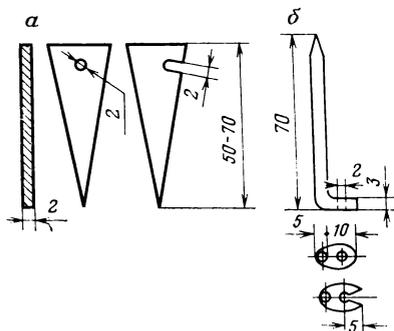


Рис. 106. Маркшейдерский гвоздь:

a — из листового металла; *б* — из катанки

пункта и дирекционный угол хотя бы одной стороны подземной опорной сети, называется ориентирно-соединительной съемкой, или ориентировкой. Передача координат называется центрированием, а передача дирекционного угла — ориентированием подземной опорной сети.

Опорная сеть состоит из постоянных и временных пунктов. Постоянные пункты закладывают в устойчивых вмещающих породах группами (не менее трех пунктов в группе). Расстояние между группами 300—500 м. Конструкция постоянных пунктов показана на рис. 105.

Передачу координат от пунктов одной группы к пунктам другой производят прокладыванием полигонометрических ходов. Вершины ходов закрепляют временными пунктами. Временный пункт представляет собой маркшейдерский гвоздь (рис. 106), забитый в деревянную крепь, или насечку, сделанную на элементах металлической крепи.

Углы в опорных сетях измеряются со средней квадратической погрешностью $\pm 20''$, длина сторон полигонометрических ходов — с относительной погрешностью не более 1 : 3000.

Для того чтобы не накапливались угловые погрешности, примерно каждую двадцатую сторону полигонов ориентируют гирскопическим способом.

Высотную отметку на пункты, закрепленные в околоствольном дворе, передают с земной поверхности через ствол специальными способами (см. § 83). На другие пункты опорной сети отметку передают с пунктов, закрепленных в околоствольном дворе, техническим или тригонометрическим нивелированием. Невязки нивелирных ходов не должны быть более величин: $\pm 50 \text{ мм } \sqrt{L}$, где L — длина хода (км) технического нивелирования; $\pm 10 \text{ мм } \sqrt{n_1 + n_2}$, где n_1 и n_2 — число сторон в прямом и обратном ходах тригонометрического нивелирования.

Съемочная сеть 1 разряда представляет собой сеть пунктов теодолитных ходов, прокладываемых для съемки подготовительных горных выработок. Погрешности измерения углов и длин соответственно $\pm 45''$ и $1 : 1000$.

Съемочная сеть 2 разряда представляет собой сеть пунктов теодолитных и угломерных ходов пониженной точности, служащих для съемки нарезных и очистных горных выработок. Погрешности измерения углов и длин соответственно $\pm 3'$ и $1 : 200$.

Передачу высот на пункты съемочных сетей производят тригонометрическим нивелированием одновременно с прокладыванием теодолитных и угломерных ходов. Невязки в ходах нивелирования не должны быть более величин: $\pm 25 \text{ мм } \sqrt{n}$ — в сетях 1 разряда и $\pm 50 \text{ мм } \sqrt{n}$ — в сетях 2-го разряда, где n — число сторон хода.

§ 82. Ориентирно-соединительные съемки

Передача плановых координат при *геометрических* способах ориентирования производится совместно с передачей дирекционного угла, при *физических* способах — раздельно.

Геометрическое ориентирование может выполняться через штольню или наклонный ствол прокладыванием полигонометрического хода с земной поверхности на ориентируемый горизонт в прямом и обратном направлениях, через один вертикальный ствол и через два вертикальных ствола.

Физическими способами выполняют ориентирование магнитное, оптическое и гироскопическое. Наиболее широкое применение среди физических способов имеет гироскопический способ ориентирования.

Геометрическое ориентирование

Ориентирование через один вертикальный ствол. Одновременно решают задачи передачи дирекционного угла и плановых координат.

Ствол перекрывают предохранительным полком (рис. 107, а) и опускают до ориентируемого горизонта два отвеса A и B

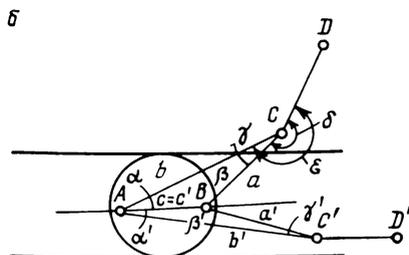
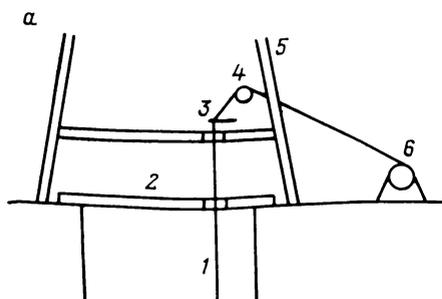


Рис. 107. Схема ориентирования через один вертикальный ствол с примыканием способом соединительного треугольника

a — закрепление отвеса; b — схема примыкания; 1 — проволока отвеса; 2 — предохранительный полок; 3 — центрировочная пластинка; 4 — направляющий блок; 5 — надшахтное сооружение; 6 — лебедка

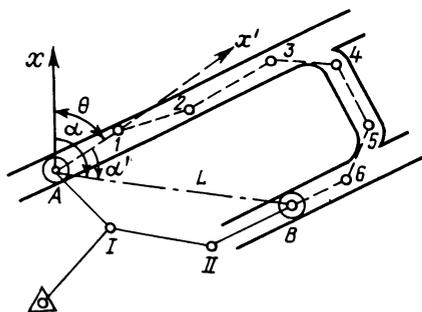


Рис. 108. Схема ориентирования через два вертикальных ствола

(рис. 107, б) так, чтобы они не касались элементов армировки ствола и образовывали с подходным пунктом C треугольник по возможности вытянутой формы ($\alpha \leq 2^\circ$; $\beta \geq 178^\circ$; $a/c \leq 3$). На ориентируемом горизонте отвесы A и B также должны образовывать с выходным пунктом C' треугольник вытянутой формы.

Для уменьшения амплитуды колебаний отвесов их грузы опускают в емкости с вязкой жидкостью. Можно считать, что координаты каждого отвеса на ориентируемом горизонте равны его координатам на поверхности, т. е. точка проектируется отвесом с достаточной точностью.

Идея передачи дирекционного угла состоит в следующем. Поскольку проектирование каждым отвесом происходит практически безошибочно, дирекционный угол створа отвесов с глубиной также не меняется. Поэтому необходимо примкнуть к створу отвесов на поверхности, чтобы передать на него дирекционный угол, затем примкнуть на ориентируемом горизонте, чтобы передать дирекционный угол со створа отвесов на выходную сторону.

В описываемой схеме (рис. 107, б) примыкание производится способом треугольника. В натуре измеряют три стороны a , b , c треугольника, угол γ , примычный угол δ , а также (для контроля) угол ϵ . Аналогичные измерения производят на ориентируемом горизонте — a' , b' , c' , γ' , δ' , ϵ' .

Углы при отвесах вычисляют по формулам

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \gamma; \quad \sin \beta = \frac{b}{c} \sin \gamma;$$

$$\sin \alpha' = \frac{a'}{c'} \sin \gamma'; \quad \sin \beta' = \frac{b'}{c'} \sin \gamma'.$$

Теперь в полигонах $D-C-B-A-C'-D'$ и $D-C-A-B-C'-D'$ имеются координаты точки C , дирекционный угол (DC), все углы и длины, необходимые для вычисления координат точки C' и дирекционного угла ($C'D'$). Вычисляют оба указанных полигона (один — для контроля). Из двух полученных значений за окончательный результат принимают среднеарифметическое.

Ориентирование через два вертикальных ствола более надежно, чем через один ствол. В каждый ствол опускают по одному отвесу, между ними прокладывают полигоны $A-I-II-B$ на поверхности и $A-1-2-3-4-5-6-B$ в горных выработках (рис. 108). Из полигона на поверхности определяют координаты отвесов. По ним решением обратной геодезической задачи вычисляют дирекционный угол створа отвесов (AB).

Для подземного полигона принимают условную систему координат [$x_A' = 0$; $y_A' = 0$; $(A-1)' = 0$]. Вычислив условные координаты отвеса B , находят решением обратной геодезической задачи значение $(AB)'$. Разность $(AB) - (AB)' = \theta$ дает угловую поправку, которую надо ввести в условные дирекционные углы всех сторон подземного полигона, чтобы получить их истинные дирекционные углы.

Перевычисляя теперь подземный полигон в истинной системе, получают истинные координаты всех его пунктов. Задача решена.

Гироскопическое ориентирование. Этот способ ориентирования является наиболее перспективным, так как работы производятся не в стволе и ориентировать можно любую сторону подземного полигона, независимо от удаленности ее от стволов.

Ориентирование производят гиротеодолитом (гироскопом) — инструментом, соединяющим в своей конструкции угломерное приспособление теодолита с гироскопом. Гироскоп позволяет ориентировать угломерное приспособление по направлению географического (истинного) меридиана.

Ориентирование любой стороны $1-2$ подземного полигона производят таким образом. Выбирают на поверхности какое-либо направление $I-II$ с известным дирекционным углом α_0 . После установки гиротеодолита на пункте I определяют гироскопический азимут A_0 направления $I-II$. Разность $\alpha_0 - A_0 = \theta$ используют как угловую поправку. После установки гиротеодолита на точке I определяют гироскопический азимут A направления $1-2$. Введя в него поправку θ , вычисляют дирекци-

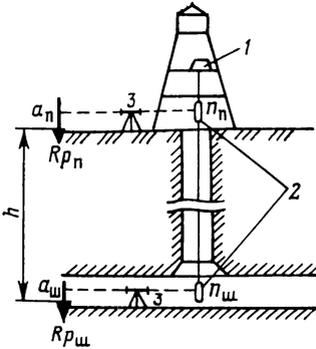


Рис. 109. Схема передачи высот дальномером ДА-2:

1 — дальномер; 2 — груз-рейка; 3 — нивелир

ченными из двух независимых ориентирований, не должна быть более $3'$.

§ 83. Передача высот в подземные горные выработки

Через горизонтальные горные выработки высоты передают геометрическим нивелированием, через наклонные — тригонометрическим нивелированием, производимым совместно с прокладыванием полигонометрического хода.

Через вертикальные горные выработки высоты передают при помощи дальномера, длинной шахтной ленты или проволоки. Наиболее прогрессивным является первый способ, как наиболее производительный.

Дальномер ДА-2 представляет собой смонтированные на одной оси, но независимо вращающиеся лебедку и мерный диск с окружностью длиной 1 м. Мерный диск снабжен счетчиком оборотов. Проволока с лебедки передается на диск системой блоков, охватывая диск на 270° . К концу проволоки прикреплен массивная рейка-груз с сантиметровыми делениями.

Дальномер устанавливают над стволом (рис. 109), берут отсчеты a_n и $a_{ш}$ по рейкам, установленным на реперах на поверхности и в шахте. После опускания рейки-груза на уровень визирного луча нивелира на поверхности берут отсчеты n_n по рейке-грузу и N_n по счетчику оборотов, а после опускания рейки-груза на горизонт визирной оси нивелира в горной выработке берут отсчеты $n_{ш}$ и $N_{ш}$. Превышение между реперами $Rr_{ш}$ и Rr_n

$$h = (N_n - N_{ш}) + (n_n - n_{ш}) - (a_n - a_{ш}) + \Delta,$$

где Δ — суммарная поправка за диаметр проволоки, температуру проволоки и диска, компарирование диска.

Отметка репера в шахте

$$H_{Rpш} = H_{Rpп} + h.$$

Длинную шахтную ленту используют при отсутствии дальномера ДА-2. К нижнему концу ленты прикрепляют груз и опускают его ниже визирного луча нивелира, установленного в шахте. Берут отсчеты $a_п$ и $a_ш$ по рейкам, отсчеты $N_п$ и $N_ш$ по ленте и затем вычисляют превышение по формуле

$$h = (N_ш - N_п) - (a_п - a_ш) + \Delta,$$

где Δ — суммарная поправка за удлинение ленты от собственной массы и массы груза, за температуру и компарирование ленты.

Передачу отметки (независимо от способа) производят не менее двух раз. Расхождение между результатами не должно быть более $\Delta h = 10 + 0,0002H$, мм, где H — глубина ствола, мм. Так, для ствола глубиной 326 м имеем $\Delta h = 10 + 0,0002 \cdot 326000 = 75$ мм.

Передачу высот на поэтажные горизонты (на пункты съемочной сети) производят рулеткой. Поправок за удлинение и температуру не вводят. Расхождение между двумя измерениями не должно быть более 5 см.

§ 84. Полигонометрический ход в подземной горной выработке

Полигонометрический ход представляет собой теодолитный ход определенной точности. Наиболее существенными отличиями подземной полигонометрии от наземной являются: преобладающее закрепление пунктов в кровле выработок (теодолит в таких случаях центрируют не над, а под точкой); запыленность и загазованность шахтной атмосферы, плохая освещенность; стесненность рабочего пространства, помехи во время работы транспорта и выполнения различных технологических процессов (взрывания, проветривания, погрузки и т. д.); повышенные требования к надежности съемки, так как на основании ее результатов решают различные горнотехнические задачи, планируют развитие горных работ, разрабатывают мероприятия по обеспечению безопасности.

Рекогносцировку производят с целью получения общего представления о системе выработок, по которым предстоит провести полигонометрический ход, выбора мест заложения постоянных и временных пунктов.

Закрепление пунктов производят в соответствии с § 81.

Углы измеряют теодолитом технической точности (см. § 29). Горизонтальные левые по ходу углы измеряют способом повторений.

Прежде чем измерить новый угол, устанавливают теодолит в вершине последнего измеренного ранее угла и измеряют его вновь, чтобы убедиться в неизменности положения закрепленных ранее пунктов.

Центрирование нитяным или оптическим отвесом производят с точностью 0,5—1,0 мм. Для центрирования нитяным отвесом под точкой у горных теодолитов на трубе имеется керн в виде конического углубления.

Если пункты хода закреплять нецелесообразно или длина сторон оказывается меньше 10 м, то ход прокладывают с автоматическим центрированием. Для этого используют три металлических консоли, вкручивающиеся в деревянные стойки или прикрепляемые к железобетонным или металлическим элементам крепи.

Измерение угла способом повторений состоит в следующем. После установки теодолита в вершине измеряемого угла совмещают нуль лимба с нулем алидады. Открепляя лимб, визируют на заднюю точку, в журнал записывают начальный отсчет a_1 , равный нулю или незначительно отличающийся от нуля. После открепления алидады визируют на переднюю точку, берут отсчет a_2 . Разность $\beta' = a_2 - a_1$ представляет собой контрольное значение измеряемого угла. Переводят трубу через зенит, открепляют лимб, визируют на заднюю точку. Отсчет не берут, так как он равен отсчету a_2 . Открепив алидаду, визируют на переднюю точку, берут отсчет a_3 . Измеренный угол вычисляют по формуле

$$\beta = (a_3 - a_1)/2.$$

Если измерение производят не одним, а n повторениями, то угол β определяют по формуле

$$\beta = \frac{a_3 - a_1 + k360^\circ}{2n},$$

где k — число полных кругов лимба, пройденных нулевым штрихом алидады в процессе измерений угла.

Угол считается измеренным, если значение β отличается от контрольного значения β' не более чем на 45" для угла с горизонтальными сторонами и не более чем на 90" для угла с одной наклонной стороной.

Измерение длины линий производят металлической 30-метровой или 50-метровой рулеткой с динамометром в ручке на весу, с натяжением от руки, натяжение примерно равно натяжению при компарировании рулетки.

Если измеряемая длина больше длины рулетки, то ее предварительно провешивают промежуточными отвесами. Каждый интервал измеряют дважды со смещением рулетки на 5—10 см. Всю линию измеряют в прямом и обратном направлениях. Угол наклона каждой стороны хода измеряют теодолитом дважды — снизу вверх и сверху вниз.

Съемка подробностей состоит в том, что измеряют расстояния от теодолита вправо и влево до стенок выработки, расстояния от пункта хода до мест сопряжения данной выработки с другими, до мест изменения сечения или вида крепи выработки,

Часть страницы отсутствует (подрезана «читателем»)

книжке и снабжают их

Камеральная обработка хода производится так же, как и для наземного хода в геодезии (см. § 46). Поскольку измерены левые по ходу углы, то дирекционный угол последующей стороны α_n вычисляют по дирекционному углу предыдущей стороны α_{n-1} и углу поворота β по формуле

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \beta \pm 180^\circ.$$

Пополнение графической документации производят в такой последовательности: по координатам наносят на план пункты полигонометрического хода; откладывая от каждого пункта вправо и влево измеренные расстояния, намечают стенки выработки; соединяя эти точки, чертят выработку; наносят подробности, используя схемы и привязки.

§ 85. Ход тригонометрического нивелирования в горной выработке

Тригонометрическое нивелирование в горной выработке состоит в измерении вертикального угла δ и наклонного расстояния между двумя пунктами (рис. 110).

Нивелирование производят совместно с прокладыванием полигонометрического хода.

Расстояние L разбивают на несколько интервалов длиной L_1, L_2, L_3 так, чтобы каждый интервал был короче длины рулетки. На точке A и промежуточных точках вешают отвесы. На отвесе, висящем на точке A , отмечают точку a , визируя на которую измеряют вертикальный угол δ . На промежуточных отвесах в створе с точкой a также обозначают точки, например, завязывают узелок. Измеряют длины L_1, L_2, L_3 , а также расстояния v и i от центров пунктов A и B соответственно до точки a и до оси вращения теодолита.

Часть страницы отсутствует
(подрезана «читателем»)

Отличие подземного тригонометрического нивелирования от наземного состоит в том, что пункты могут быть в почве и в кровле. Если оба пункта закреплены в почве, то верна формула наземного нивелирования

$$h = L \sin \delta + i - v, \quad (\text{XVII.1})$$

где h — превышение; L — наклонная длина; δ — угол наклона.

Формулу (XVII.1) можно применять и при подземном нивелировании, но при этом нужно изменить знак v , если в кровле находится станция, т. е. тот пункт, с которого передается отметка, и изменить знак i , если в кровле находится пункт, на который передается отметка. Висячие ходы тригонометрического нивелирования прокладываются дважды — в прямом и обратном направлениях.

§ 86. Ход геометрического нивелирования в горной выработке

Как уже отмечалось, в отличие от наземного нивелирования при нивелировании в горной выработке пункты могут быть закреплены в кровле. Рейку подставляют к центру нулем вверх. Классическая формула «превышение равно отсчету на заднюю точку минус отсчет на переднюю ($h = a - b$)» претерпевает здесь изменения:

1) задний A и передний B пункты находятся в почве (рис. 111, a)

$$h = a - b; \quad (\text{XVII.2})$$

2) оба пункта — в кровле (рис. 111, b)

$$h = b - a = -a + b;$$

3) пункт A — в почве, пункт B — в кровле (рис. 111, a)

$$h = a + b;$$

4) пункт A — в кровле, пункт B — в почве (рис. 111, z)

$$h = -(a + b).$$

Если отсчеты по рейкам, установленным в кровле выработки нулем вверх, считать отрицательными, то все четыре формулы приводятся к одной, классической (XVII.2).

ГЛАВА XVIII

ПОДЗЕМНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЪЕМКИ

§ 87. Общие сведения о подземных маркшейдерских съемках

Подземные маркшейдерские съемки производят для того, чтобы установить пространственное положение объектов съемки и нанести их на планы, профили, разрезы.

Объектами съемки являются: все горные выработки (вскрышающие, подготовительные, нарезные, очистные, скважины, камеры, подземные пустоты), транспортные пути, различные устройства (кроссинги, перемычки и т. д.), элементы геологического строения месторождения (дизъюнктивные и пликативные нарушения, раздувы, утонения и размывы пласта, места водопритоков, места отбора проб, видимые границы залежей полезного ископаемого различных сортов и т. д.), элементы проявления горного давления (трещины, ложная кровля, вывалы и т. д.), бутовые полосы и т. д.

Не все объекты снимают с одинаковой точностью, поэтому и инструменты для съемки применяют разные. Наиболее точной плановой съемкой является теодолитная. Ее применяют для съемки подготовительных выработок.

Для съемки нарезных и очистных выработок применяют менее точные инструменты — угломер, буссоль, подвесной полукруг. Съемку некоторых объектов производят рулеточным обмером.

Съемку выработок производят по мере подвигания их забоев, как правило, при очередном перенесении направления ближе к забою.

Высотные съемки в горизонтальных выработках производят посредством геометрического нивелирования, в наклонных выработках — посредством тригонометрического нивелирования.

§ 88. Теодолитная съемка

Теодолитная съемка представляет собой съемку подробностей при прокладывании полигонометрического (теодолитного) хода. Ее проводят ординатным способом: положение любой пикетной

(съемочной) точки определяют измерением двух длин — ординаты, т. е. перпендикуляра, опущенного из этой точки на сторону теодолитного хода, и абсциссы, т. е. отрезка стороны хода от основания перпендикуляра до ближайшего пункта хода.

Длины измеряют тесьмой рулеткой, отсчеты берут с точностью до полудециметра. Перпендикуляры восстанавливают и опускают на глаз. Все объекты съемки зарисовывают в полевой книжке. Там же записывают измеренные длины. Нанесение объектов съемки на план производят от пунктов и сторон теодолитного хода.

§ 89. Угломерная съемка

Угломерная съемка состоит из прокладывания угломерного хода (заложения пунктов съемочной сети и определения их пространственного положения) и съемки подробностей.

Съемку нарезных и очистных забоев производят не реже одного раза в месяц или при погашении выработки. Неплановая съемка лавы может быть вызвана искривлением забоя или резким изменением горно-геологических условий.

Угломер представляет собой угломерный инструмент пониженной по сравнению с теодолитом точности, предназначенный для съемки нарезных и очистных выработок и для задания направления выработок.

Конструкция угломера повторяет конструкцию теодолита, но горизонтальный и вертикальный круги угломера имеют меньший диаметр и более грубые отсчетные приспособления. В некоторых конструкциях вертикальный круг заменен полукругом, визирная труба — диоптриями.

Угломерный ход прокладывают как с закреплением точек временными центрами, так и с потерянными точками. Для обеспечения контроля угломерные ходы прокладывают разомкнутыми, начальными и конечными точками которых являются пункты сетей старших разрядов (опорных или съемочных I разряда). Если условий для этого не имеется, то прокладывают всячий ход в прямом и обратном направлениях.

Съемке предшествует рекогносцировка, выбор мест привязки

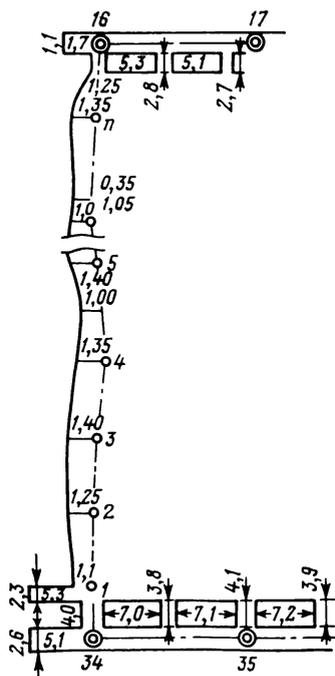


Рис. 112. Угломерная съемка лавы

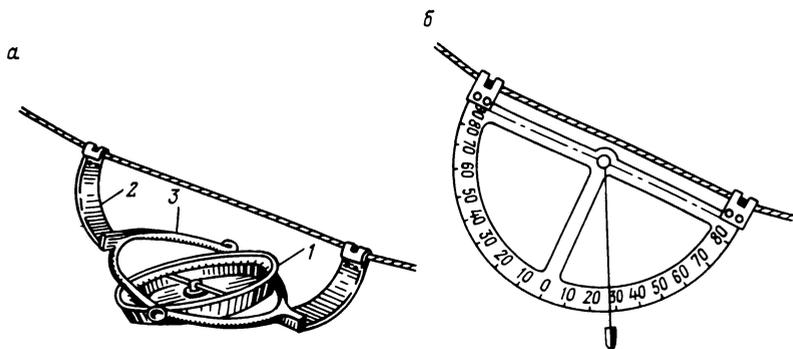


Рис. 113. Подвесные инструменты

к пунктам опорных или съемочных сетей, выбор мест заложения пунктов угломерного хода или — при съемке с потерянными точками — выбор мест установки штативов либо закрепления консолей. Затем центрируют угломер под ближайшим пунктом 34 сети старшего разряда (рис. 112) и измеряют угол между направлениями на соседний пункт сети и на первую точку угломерного хода. Прокладывают угломерный ход вдоль забоя. Места заложения точек хода выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить их взаимную видимость и соблюсти примерное равенство длины сторон. Углы измеряют одним полуприемом. Длину сторон измеряют тесьмяной рулеткой или дальномером с относительной погрешностью не более 1 : 200.

Камеральная обработка угломерного хода состоит в вычислении горизонтальных проложений, уравнивании углов, вычислении дирекционных углов.

Нанесение хода на план производят по горизонтальным проложениям сторон и дирекционным углам, а нанесение подробностей — от пунктов и сторон хода. План лавы составляют в масштабе 1 : 200—1 : 1000 в зависимости от ее длины. Погрешность определения длины лавы и ее подвигания не должна быть более 1 : 200.

§ 90. Съемка буссолью и подвесным полукругом

Подвесная буссоль (рис. 113, а) состоит из буссольной коробки 1, подвижно соединенной с кольцом 3, подвесного устройства, с которым наглухо соединены лапы-крючки 2 для подвески буссоли на шнур. Буссольная коробка при любом угле наклона шнура занимает горизонтальное положение.

На лимбовом кольце буссольной коробки нанесены против хода часовой стрелки градусные деления от 0 до 360°. Линия делений 0—180° лежит в одной плоскости со шнуром. В центре коробки имеется игла, на острие которой вращается чувстви-

тельная магнитная стрелка. Стрелка закрепляется при помощи арретира, расположенного в дне коробки.

Для определения дирекционного угла какого-либо направления необходимо закрепить шнур, подвесить на него буссоль, определить магнитный азимут A_m и ввести в него поправку за магнитное склонение δ :

$$\alpha = A_m + \delta. \quad (\text{XVIII.1})$$

Подвесной полукруг (рис. 113, б) представляет собой легкий металлический полукруг, имеющий градусные деления от нуля в обе стороны до 90° . В центре полукруга имеется отверстие для подвешивания легкого отвеса. На концах диаметра $90^\circ-90^\circ$ имеются крючки для подвешивания полукруга на шнур. В рабочем положении отвес показывает угол наклона шнура.

Буссольная съемка при отсутствии магнитных масс производится после предварительного определения величины магнитного склонения. Между двумя пунктами опорной или съемочной сети натягивают шнур, подвешивают буссоль и определяют магнитный азимут направления. Магнитное склонение находят как разность между значениями дирекционного угла и магнитного азимута, т. е.

$$\delta = \alpha - A_m.$$

После рекогносцировки выбирают места заложения временных пунктов буссольного хода, закрепляют их гвоздями и натягивают между ними шнур диаметром 2—3 мм. Первым и последним пунктами буссольного хода являются пункты сетей старшего разряда.

На каждой стороне буссольного хода азимут буссолью и угол наклона полукругом измеряют дважды — в начале и в конце стороны. За окончательные результаты принимают средние значения. Наклонную длину сторон измеряют тесьмяной рулеткой. Съемку подробностей производят так же, как при проложении угломерного хода.

Камеральная обработка буссольного хода состоит в вычислении горизонтальных проложений, а также дирекционных углов по формуле (XVIII.1). По этим величинам при помощи транспортира и масштабной линейки буссольный ход вычерчивают на плане масштаба 1 : 200—1 : 1000.

Буссольная съемка при наличии магнитных масс по своей методике несколько отличается от описанной выше. Шнуры натягивают так, чтобы на концах они пересекались (рис. 114). Точками хода являются точки пересечения шнуров.

Буссоль подвешивают в каждой точке пересечения поочередно на оба шнура. Разность азимутов шнуров в точке хода дает угол поворота хода. Поскольку влияние магнитных масс одинаково искажает азимут на обоих шнурах, разность азимутов, т. е. угол поворота, оказывается свободной от этого влияния.

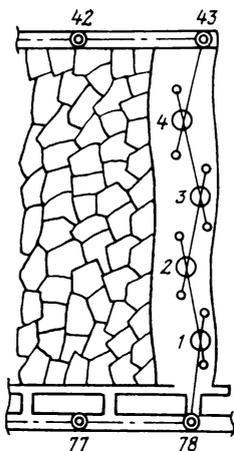
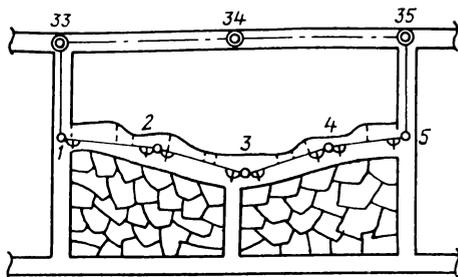


Рис. 114. Схема буссольной съемки при наличии магнитных масс

Рис. 115. Съемка забоя рулеткой и полукругом



Камеральная обработка результатов съемки не отличается от предыдущей за исключением того, что при нанесении хода на план используют не дирекционные углы сторон, а углы поворота хода.

Съемка рулеточным обмером производится в условиях, включающих применение угломера или буссоли. Например, съемку очистного забоя при разработке пласта с потолкоуступным или почвоуступным забоем производят с применением тесьмянной рулетки и подвесного полукруга (рис. 115). Съемку привязывают к пунктам сети старшего разряда. Вдоль забоя натягивают шнуры между точками 1—2, 2—3 и т. д. Длину линий измеряют рулеткой, углы наклона — полукругом.

§ 91. Высотные съемки в горных выработках

Объектами высотной съемки являются: почва и кровля выработок, рельсовые пути, фундаменты и закладные детали фундаментов стационарного шахтного оборудования (насосов, лебедок, опрокидывающих устройств и т. д.), дренажные лотки, канавы, элементы шахтного оборудования большой протяженности (например, секции конвейеров), элементы геологического строения месторождения.

Основными целями вертикальной съемки являются: построение профилей и вертикальных разрезов, задание направления выработкам в вертикальной плоскости, вынесение из проекта в натуру и контроль за соблюдением проекта при строительных и монтажных работах.

Геометрическое нивелирование чаще всего применяется для высотной съемки рельсовых путей горизонтальных горных выработок. Нивелирование производят по мере проведения выработки и настилки путей. При этом нивелирный ход опирается на

ранее закрепленный репер или на ранее занивелированные пикеты. Он имеет форму висячего хода, который прокладывают в прямом и обратном направлениях.

Полевые работы при геометрическом нивелировании выполняют в такой последовательности: рекогносцировка, разбивка пикетажа через 10 или 20 м, измерение превышений между связующими точками, нивелирование промежуточных точек (пикетов).

Пикетаж разбивают тесьмяной рулеткой. Пикеты обозначают буквами ПК и номером, например ПК 15. Обозначения пишут масляной краской на постоянной крепи выработки или на специальных бирках, прикрепляемых к стене выработки. При нивелировании рейку устанавливают на рельс или к кровле выработки напротив бирки. Нумерация пикетов в каждой выработке своя. Нулевой пикет находится в устье выработки.

Нивелирование производят нивелиром технической точности типа Н-10. Нивелир устанавливают примерно посередине между связующими точками (которыми чаще всего служат пикеты), берут на связующие точки отсчеты по черным и красным сторонам реек, вычисляют превышения. Если превышения, вычисленные по черным и красным сторонам реек, отличаются не более чем на 5 мм, то из превышений вычисляют среднее значение и затем нивелируют промежуточные пикеты. Если расхождение составляет более 5 мм, то нивелирование связующих точек производят заново.

При нивелировании промежуточных пикетов отсчеты берут только по черной стороне реек. На каждом пикете измеряют высоту выработки.

Камеральная обработка геометрического нивелирования производится так же, как при нивелировании на поверхности (см. § 53).

Профиль рельсовых путей выработки вычерчивают на листе миллиметровой бумаги или ватмана произвольных размеров. Вертикальный масштаб принимают в 10 раз крупнее горизонтального. Принимают условный горизонт, вычерчивают синей тушью высотную сетку. От линии условного горизонта вверх откладывают фактические отметки пикетов (рис. 116) и, соединяя их черной тушью, получают фактический профиль путей. Здесь же красной тушью показывают линию проектного профиля. На черном профиле условными обозначениями показывают выработки, пересекающиеся с занивелированной. Надписывают названия этих выработок.

Тригонометрическое нивелирование откаточных путей наклонной выработки производят при помощи теодолита, установленного на оси подъема выработки. В горизонтальной плоскости трубу теодолита устанавливают по оси выработки, в вертикальной — под проектным углом ее наклона.

Над каждым пикетом натягивают горизонтально шнур, закрепляя его на стенках выработки. От него, используя отвес и

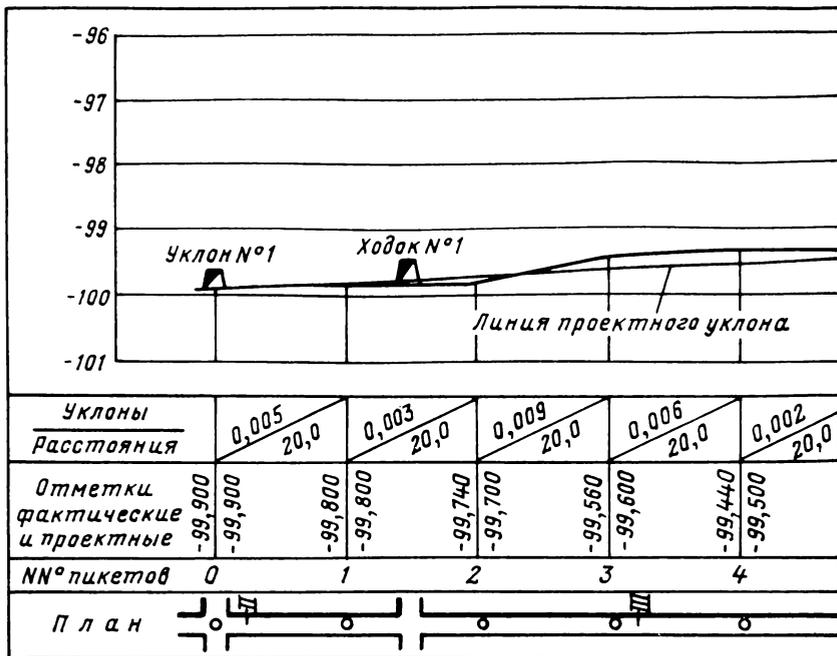


Рис. 116. Часть профиля рельсовых путей горной выработки

рулетку, измеряют с точностью до миллиметров вертикальные расстояния до каждого рельса.

Построения профиля наклонной выработки производят следующим образом. На бумаге вычерчивают высотную сетку, проводят линию проектного угла наклона и, откладывая от нее на каждом пикете измеренные в натуре расстояния, получают фактические отметки пикетов. Соединяя эти точки, получают фактический профиль откаточных путей.

Маркшейдерская служба не реже одного раза в год производит нивелирование откаточных путей в каждой поддерживаемой выработке.

§ 92. Съёмка и учет подземных пустот

При ведении горных работ в недрах появляются пустоты значительных объемов. К таким пустотам относятся: камеры больших размеров; пустоты, образованные в результате зависания кровли на больших площадях, из-за постепенной разработки (обрушения) стенок крутонаклонных и вертикальных выработок для перепуска угля или породы и значительного (в несколько раз) увеличения площади сечения таких выработок.

Теодолитную, угломерную или магнитную съемки таких пустот произвести нельзя или из-за больших размеров, или из-за невозможности доступа людей.

Съемку пустот производят следующими инструментами: теодолитом (тахеометрическая съемка); инструментами с оптическими дальномерами; фотограмметрическими инструментами; ультразвуковыми приборами, основанными на принципе звуколокации. Перед съемкой производят рекогносцировку безопасных мест подхода, закладывают подходные пункты и определяют их координаты.

Учет пустот на предприятии осуществляют с периодичностью, установленной вышестоящей организацией. При определении объема Q_k пустот на конец отчетного периода (месяца, квартала, года) к объему Q_n , имевшему место в начале периода, прибавляют объем Q_o вновь образовавшихся пустот и вычитают объем $Q_з$ заложенных за этот период пустот, т. е.

$$Q_k = Q_n + Q_o - Q_з.$$

При определении объема заложенных пустот учитывают усадку закладочного материала. На планах горных выработок показывают контуры пустот, даты их образования, даты и способы погашения, вид закладочного материала.

ГЛАВА XIX

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 93. Определение и вынесение в натуру места заложения горной выработки

Выработка, проводимая с земной поверхности (например, ствол, шурф), задается координатами центра ее устья. Для вынесения ее в натуру используют те же методы, что и для вынесения в натуру любой точки, заданной координатами (см. § 67).

Пусть ствол задан координатами (x_c , y_c) центра C его устья. Если поблизости от этого места имеются пункты A и B опорной сети, то вычисляют разбивочные элементы и выносят точку C в натуру полярным способом, угловой засечкой или линейной засечкой (см. рис. 88). Если ближайшие пункты A и B опорной сети находятся на значительном расстоянии, то на план по координатам наносят центр C и проектируют полигон от пунктов A и B . Полигон прокладывают в натуре и с его последнего пункта полярным способом выносят центр C ствола. Аналогично выносят в натуру центр устья скважины.

Подземная выработка задается из другой выработки. Пусть в штреке № 1 надо определить место заложения ската № 3, который в соответствии с планом развития горных работ должен

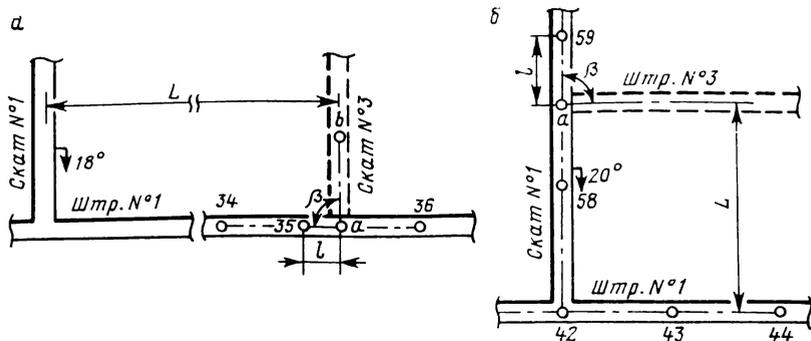


Рис. 117. Вынесение в натуру устья подземной выработки

быть на расстоянии L от ската № 1. На плане (рис. 117, а) на расстоянии L от ската № 1 наносят скат № 3, графически определяют расстояние l от ближайшей маркшейдерской точки № 35 до устья ската № 3. В натуре от точки № 35 в направлении точки № 36 отмеряют расстояние l , задавая тем самым центр устья. Это избавляет от необходимости измерять в натуре расстояние L , которое может равняться сотням метров.

При определении места заложения выработки из наклонной выработки (рис. 117, б) необходимо учитывать угол падения пласта. Если штрек № 3 находится на расстоянии L' от штрека № 1, тогда определяют проекцию L расстояния L' на горизонтальную плоскость

$$L = L' \cos \delta,$$

где δ — угол падения пласта.

По горизонтальному расстоянию L наносят на план штрек № 3 и графически определяют расстояние l от ближайшей маркшейдерской точки № 59 до устья штрека № 3.

В точке № 59 устанавливают теодолит, его трубу устанавливают под углом δ к горизонту и затем по направлению визирного луча от точки № 59 к точке № 58 отмеряют наклонное расстояние l' , вычисляемое из выражения

$$l' = l / \cos \delta.$$

Несколько сложнее определяют положение устья выработки при проведении ее встречными забоями. Эта задача рассматривается в § 95.

§ 94. Задание направления выработкам

Выработкам может задаваться направление в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. Для закрепления направления необходимо, чтобы выработка была пройдена на несколько мет-

ров. Это нужно, во-первых, для того, чтобы разместить отвесы или указатель направления, и, во-вторых, чтобы взрывные работы не нарушили закрепление направления. Поэтому при вынесении устья выработки направление ей задают упрощенными способами и инструментами — угломером, буссолью, восставляют перпендикуляр рулеткой или задают направление на глаз. Направление закрепляют двумя отвесами. Направление в вертикальной плоскости задают проходческим ватерпасом.

Направление в горизонтальной плоскости задают теодолитом. Для того, чтобы задать направление выработке, необходимо иметь проектный дирекционный угол оси выработки, а также расположенные поблизости пункты опорной или съемочной сети. Так, для задания направления скату № 3 (см. рис. 117, а) теодолит устанавливают на точке 35, в створе 35—36 отмеряют расстояние l и закрепляют точку a . После установки теодолита на точке a откладывают от направления a —35 разбивочный угол β , который вычисляют по разности дирекционного угла a ската № 3 и дирекционного угла (a —35), т. е.

$$\beta = \alpha - (a - 35).$$

Отложив угол β , в створе визирного луча на расстоянии 5—6 м от теодолита забивают маркшейдерский гвоздь b и вешают на него отвес. После измерения полным приемом угла 35— a — b убеждаются в том, что он равен разбивочному углу β (когда не равен, подбивают гвоздь в ту или другую сторону). Если угол 35— a — b равен разбивочному углу β , то в створе b — a на расстоянии 1,0—1,5 м от точки b в направлении точки a забивают еще два гвоздя через 1,0—1,5 м. Повесив на три гвоздя отвесы, убеждаются в том, что все они лежат в одной плоскости, проходящей через проектную ось выработки. Направление задано и закреплено.

Проверку положения забоя относительно заданного направления производят два человека. Один подставляет лампу к верхнему ближайшей к забою рамы и направляет ее луч к отвесам, второй, стоя у дальнего (от забоя) отвеса, освещает створ отвесов и указывает первому, куда нужно передвинуть его лампу, чтобы она попала в створ отвесов. Когда лампа попадает в створ отвесов, от нее измеряют расстояния вправо и влево до стенок выработки.

Отвесы, обозначающие направление, могут быть простыми шнуровыми, грузом которых могут служить даже куски породы, или светящимися. Светящийся отвес представляет собой питающуюся от батареи лампочку, закрытую колпаком из полупрозрачного органического стекла.

Лазерный указатель направления основан на использовании луча лазера, характеризующегося малым углом рассеяния. Лазерные указатели используются при проведении прямолинейных выработок большой протяженности.

Рис. 118. Проходческий ватерпас

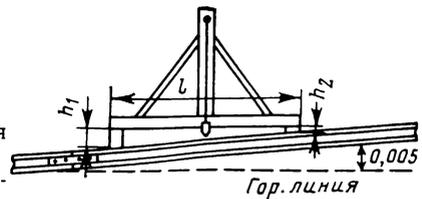


Рис. 119. Схема задания направления вентиляционному штраку:
 а — гипсометрический план; б — вертикальный разрез по оси штрака

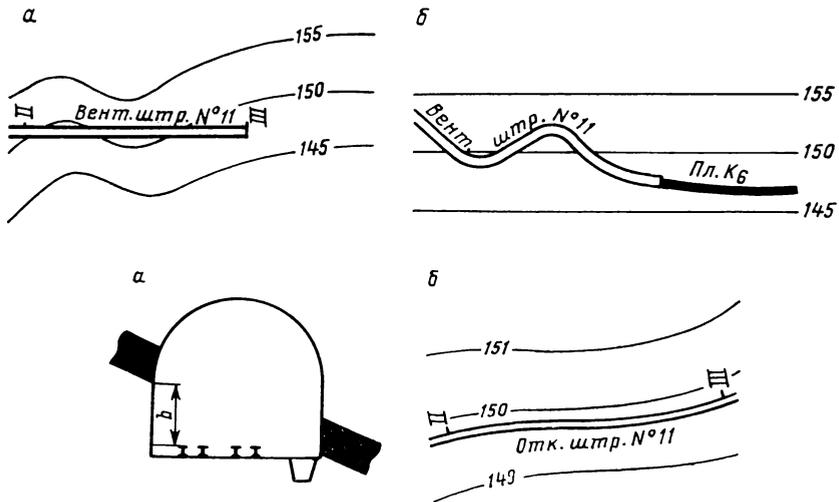


Рис. 120. Схема задания направления откаточному штраку:
 а — поперечный разрез; б — гипсометрический план

Удаление от забоя шнуровых отвесов, указывающих направление, не должно быть более 40 м, светящихся отвесов — 80 м, лазерных указателей направления — 300 м.

Направление в вертикальной плоскости, т. е. уклон или угол наклона выработки, задают ватерпасом, боковыми или осевыми реперами.

Проходческий ватерпас (рис. 118) является простым, но достаточно надежным приспособлением для настилки рельсовых путей под заданным уклоном. Ватерпас изготовляют из дерева. По его длине l и высоте h_2 меньшей колодки можно определить высоту h_1 большей колодки так, чтобы соблюдался проектный уклон выработки.

Уклон i связан с указанными величинами соотношением

$$i = (h_1 - h_2) / l,$$

поэтому высоту h_1 можно вычислить по формуле

$$h_1 = h_2 + il.$$

Во время настилки путей ватерпас устанавливают на рельс, поднимают или опускают ближний к забою конец рельса до тех пор, пока отвес ватерпаса совпадет с нанесенной на его стойке риской.

Задание направления осевыми реперами производят теодолитом, который устанавливают над рельсом, трубу ставят в направлении проектного дирекционного угла и угла наклона, в створе визирного луча закрепляют в кровле выработки не менее трех осевых реперов. Вешают на них отвесы так, чтобы их головки находились в створе визирного луча (в горизонтальной и вертикальной плоскостях). Измеряют расстояния h_1, h_2, h_3 от точки подвеса каждого отвеса до его головки, а также вертикальное расстояние a от оси вращения трубы теодолита до рельса. Направление в вертикальной плоскости задано.

Для пользования направлением проходчики вешают отвесы на осевые реперы так, чтобы длина их нитей от точки подвеса до головки отвеса составляла соответственно h_1, h_2, h_3 . При настилке рельс опускают или поднимают до тех пор, пока вертикальное расстояние от рельса до визирного луча, проходящего через головки всех трех отвесов, будет равняться величине a .

Боковые реперы задают в наклонных выработках теодолитом, в горизонтальных — нивелиром. В горизонтальной выработке устанавливают нивелир, на стенках выработки закрепляют три пары реперов. Реперы в каждой паре должны быть на одной отметке. Превышение h между двумя соседними парами, находящимися на расстоянии l , должно составлять

$$h = il,$$

где i — проектный уклон выработки.

Все три натянутые между реперами нити должны лежать в одной плоскости, имеющей уклон i . Расстояние от этой плоскости до головок рельсов является постоянной величиной. Оно задается маркшейдером. Проходчики изготавливают деревянный жезл, длина которого равна указанному расстоянию.

При настилке пути жезл ставят на рельс, который опускают или поднимают до тех пор, пока верхний торец жезла окажется в плоскости боковых реперов.

Задание уклона i выработке облегчается, если применять нивелир-уклономер повышенной точности ПД10-НЗК.

Если выработку проводят по проводнику, то ей задают направление лишь в одной плоскости. Так, вентиляционному штреку задают направление только в горизонтальной плоскости. Штрек проводят по почве пласта с подрывкой или без нее, поэтому в вертикальной плоскости он повторяет складки пласта (рис. 119). Откаточному штреку задают направление лишь в вертикальной плоскости и определяют величину b подрывки почвы пласта (рис. 120). Так как величина подрывки постоянна, штрек на плане проходит почти параллельно изогипсам пласта, повторяя их изгибы.

§ 95. Маркшейдерские работы при проведении сбоек

При сбойке выработку проводят не менее чем двумя забоями. Забои движутся навстречу друг другу по заданному направлению и должны встретиться в одной точке. В зависимости от назначения выработки на ее сбойку дается определенный допуск. Например, ствол надо сбить точнее, чем конвейерный штрек; конвейерный штрек — точнее, чем откаточный, а откаточный — точнее, чем вентиляционный.

Проведение сбойки — одна из ответственных маркшейдерских задач. Она решается в несколько этапов. Составляют проектный полигон по сбиваемой и прилегающим выработкам с таким расчетом, чтобы полигон связал оба забоя выработки. Намечают на плане примерное расположение пунктов полигона, точку смыкания забоев.

Принимая определенные методы и инструменты для измерения углов и длин, производят предрасчет погрешности смыкания забоев. Ожидаемая погрешность должна быть меньше допуска. Если погрешность превосходит допуск, то изменяют методы измерений или выбирают более точные инструменты и вновь предрасчитывают погрешность смыкания забоев.

Подобрав таким образом надлежащие инструменты и методы измерений, составляют проект сбойки. Проект подписывает главный маркшейдер и утверждает главный инженер предприятия. После утверждения проекта производят расчет разбивочных элементов и выполняют полевые работы по определению мест заложения забоев и заданию направлений.

Наиболее простой случай сбойки — это когда известны точки, между которыми нужно провести выработку встречными забоями, т. е. когда положение обоих забоев известно.

Пусть, например, между точкой *e* орта № 2 и точкой *ж* орта № 3 необходимо встречными забоями провести штрек (рис. 121). Для задания направления штреку надо определить разбивочные углы β_1 и β_2 , а также уклон *i*. Решением обратной геодезической задачи вычисляют дирекционный угол (*eж*) и горизонтальное расстояние *eж* = *l*.

По разностям дирекционных углов определяют разбивочные углы β_1 и β_2 :

$$\beta_1 = (eж) - (eг); \quad \beta_2 = (же) - (жд). \quad (\text{XIX.1})$$

Проектный уклон *i* штрека вычисляют по разности отметок головок рельсов в точках *e* и *ж* и расстоянию *l*:

$$i = (H_e - H_{ж})/l. \quad (\text{XIX.2})$$

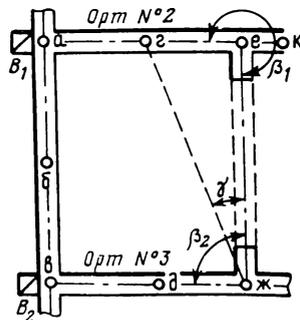


Рис. 121. К расчету разбивочных элементов для сбойки

Теперь в точках e и $ж$ необходимо задать направление сбиваемому штреку в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Направление задают в соответствии с методами, изложенными в § 94.

Задача усложняется, если известно положение только одного забоя (точка $ж$) и задан дирекционный угол проектируемой выработки. В этом случае кроме разбивочных элементов β_1, β_2, i необходимо найти положение точки e , которую будем искать в створе точек $г$ и $к$, т. е. будем считать, что дирекционный угол ($гe$) равен дирекционному углу ($гк$).

Предположим, что по орту № 2 проложен полигонометрический ход, закреплены пункты $a, г, к$.

Решением обратной геодезической задачи по координатам точек $ж$ и $г$ вычисляют дирекционный угол ($жг$) и расстояние $жг$. Угол γ при точке $ж$ и угол $(360^\circ - \beta_1)$ при точке e вычисляют по расстояниям дирекционных углов:

$$\gamma = (жe) - (жг); \quad 360^\circ - \beta_1 = (eг) - (eж).$$

Теперь в треугольнике $жге$ известны длина стороны $жг$ и углы γ и $(360^\circ - \beta_1)$. По формуле синусов находят искомую длину

$$ge = \frac{жг \sin \gamma}{\sin (360^\circ - \beta_1)}.$$

Решением прямой геодезической задачи определяют координаты точки e :

$$x_e = x_г + ge \cos (ge); \quad y_e = y_г + ge \sin (ge).$$

По координатам точек e и $ж$ вычисляют расстояние $еж = l$.

Устанавливают теодолит в точке $г$, визируют на точку $к$, в створе визирного луча откладывают вычисленное расстояние ge и закрепляют точку e — искомый центр второго забоя. После вычисления по формулам (XIX.1) разбивочных углов и по формуле (XIX.2) уклона i задают направление забоям в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Если бы речь шла о сбойке не горизонтальной, а наклонной выработки, то нужно было бы вычислить угол наклона δ этой выработки вместо уклона i и наклонную ее длину L . Тангенс угла наклона δ находят по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = (H_e - H_{ж}) / l.$$

По таблицам тригонометрических функций определяют угол δ и через его косинус вычисляют наклонную длину L выработки:

$$L = l / \cos \delta.$$

Когда забои сбиваемой выработки достаточно близко подходят друг к другу, работу в одном из них прекращают, людей выводят и выработку временно (до сбоя) закрывают.

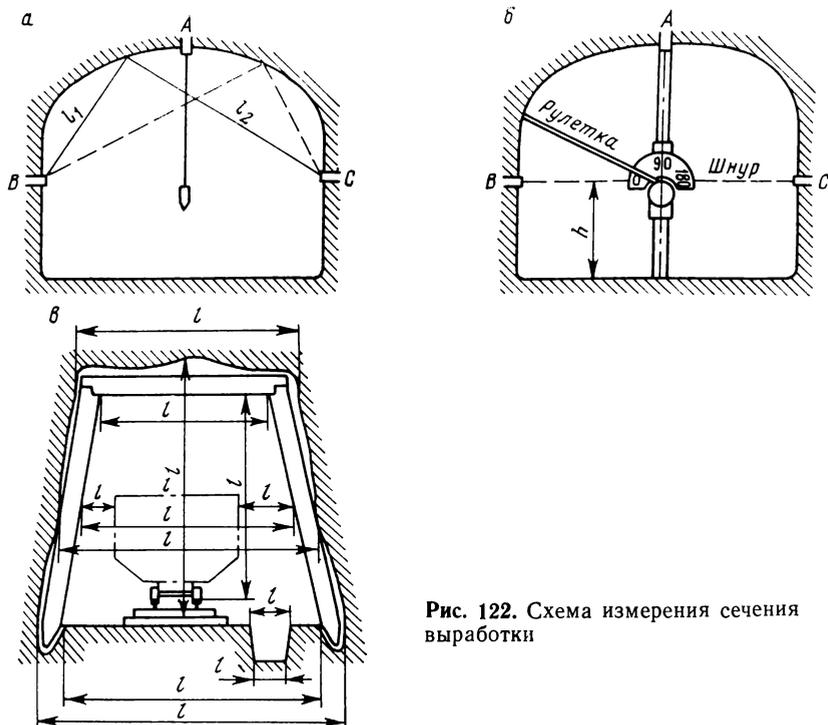


Рис. 122. Схема измерения сечения выработки

§ 96. Маркшейдерский контроль за проведением горных выработок

Маркшейдерскому контролю при проведении горной выработки подлежат соблюдение проектного сечения, паспорта крепления, направления в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Криволинейное сечение горной выработки контролируют способом линейных засечек или полярным способом.

Способ линейных засечек (рис. 122, а) состоит в том, что от двух точек *B* и *C*, закрепленных в стенках выработки на определенной высоте, измеряют расстояния l_1 и l_2 до нескольких точек свода. В камеральных условиях по расстояниям l_1 и l_2 вычерчивают фактическое сечение и сравнивают его с проектным.

Полярный способ (рис. 122, б) заключается в следующем. На оси выработки устанавливают распорную стойку с прикрепленным к ней градуированным полукругом. От центра полукруга рулеткой измеряют расстояния от точек свода и при каждом измерении берут отсчет по полукругу. По полученным таким образом длинам и углам наклона рулетки строят фактическое сечение выработки.

В выработках трапециевидного сечения измеряют все расстояния, показанные на рис. 122, в размерными стрелками и обозначенные через l . Основное внимание обращают на соблюдение зазоров между транспортными сосудами и стенками выработки, а также между транспортными сосудами, стоящими на разных путях двухпутной выработки.

При этом контролируют также наличие и сечение водосборной канавки, расстояние между стойками соседних рам, качество затяжки, забутовки, настилки путей.

Если на каком-либо участке выработки не соблюдено одно из перечисленных требований, то участок бракуют. Работу по проведению выработки на этом участке оплачивают только после полного исключения обнаруженных маркшейдером отступлений от проекта, паспорта крепления или направления.

§ 97. Маркшейдерское измерение горных выработок

Маркшейдерское измерение представляет собой полуинструментальную съемку или съемку рулеточным обмером забоев всех выработок, проводившихся в отчетном периоде. Целью измерения является пополнение маркшейдерской графической документации, определение выполненного объема горных работ, объема добытого полезного ископаемого, величины потерь и разубоживания.

Измерения производят с периодичностью, установленной вышестоящей организацией, но не реже одного раза в месяц — на последнее число месяца. В процессе измерений выполняют подробные схемы, на которых указывают все измеренные расстояния.

Измерение подготовительных горных выработок производят тесьмянной рулеткой. Измеряют расстояние от последней рамы постоянной крепи до ближайшего пункта маркшейдерских сетей. Подвигание a выработки вычисляют как разность расстояний от маркшейдерского пункта на конец l_k и на начало l_n отчетного периода (рис. 123, а):

$$a = l_k - l_n.$$

Если в отчетном периоде в выработке были заложены один или несколько новых маркшейдерских пунктов (точек), то измерение производят от ближайшего к забою пункта. Величину a подвигания определяют из соотношения (рис. 123, б)

$$a = (l_k + l_m) - l_n,$$

где l_m — расстояние между точками, служившими пунктами привязки в начале и в конце отчетного периода.

Для определения объема попутно добытого угля к маркшейдерским точкам привязывают не только последнюю раму крепи,

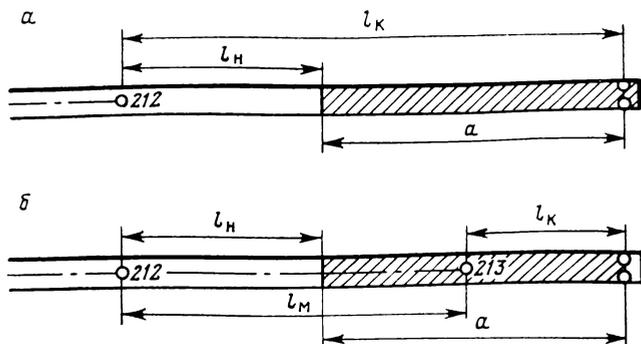


Рис. 123. К определению подвигания выработки

но и забой и определяют (по тем же формулам) подвигание забоя. Измеряют ширину забоя по уголю, вынимаемую мощность пласта, мощность каждого породного прослоя.

Если выработка проводится широким ходом, то измеряют суммарную ширину угольного забоя (с раскоской), измеряют ширину бутовой полосы и контролируют качество ее укладки, соблюдение паспорта крепления косовичника.

Измерение нарезных горных выработок состоит в измерении расстояний между подготовительными выработками и нарезными, между нарезными выработками, в измерении длины нарезных выработок и элементов их сечения (на рис. 124, *а* буквой *l* обозначены все измеряемые величины).

В выработке через каждые 10 м измеряют мощность пласта, привязывают все геологические особенности (флексуры, нарушения, места капежа и т. д.), которые могут влиять на технологию ведения очистных работ. На рис. 124, *в* приведен эскиз измерения того же участка, что и на рис. 124, *а*, но на нем показаны все отмеченные геологические особенности с привязкой их к нижнему или верхнему штреку.

Измерение очистных горных выработок производят аналогично измерению нарезных выработок. Короткие лавы измеряют рулеткой. Привязывают верх и низ лавы к ближайшим пунктам маркшейдерских сетей. Подвигание за месяц определяют как среднее значение из подвигания «по верху лавы» и подвигания «по низу лавы». Каждое из этих подвиганий определяют как подвигание забоя подготовительной выработки (см. рис. 123). Площадь выемки находят как произведение длины лавы и ее среднего подвигания.

Съемку лав значительной длины (см. рис. 112, 114) производят инструментами пониженной точности — угломером, подвесными инструментами. По результатам съемки забой лавы наносят на план. Площадь выемки на плане определяют планимет-

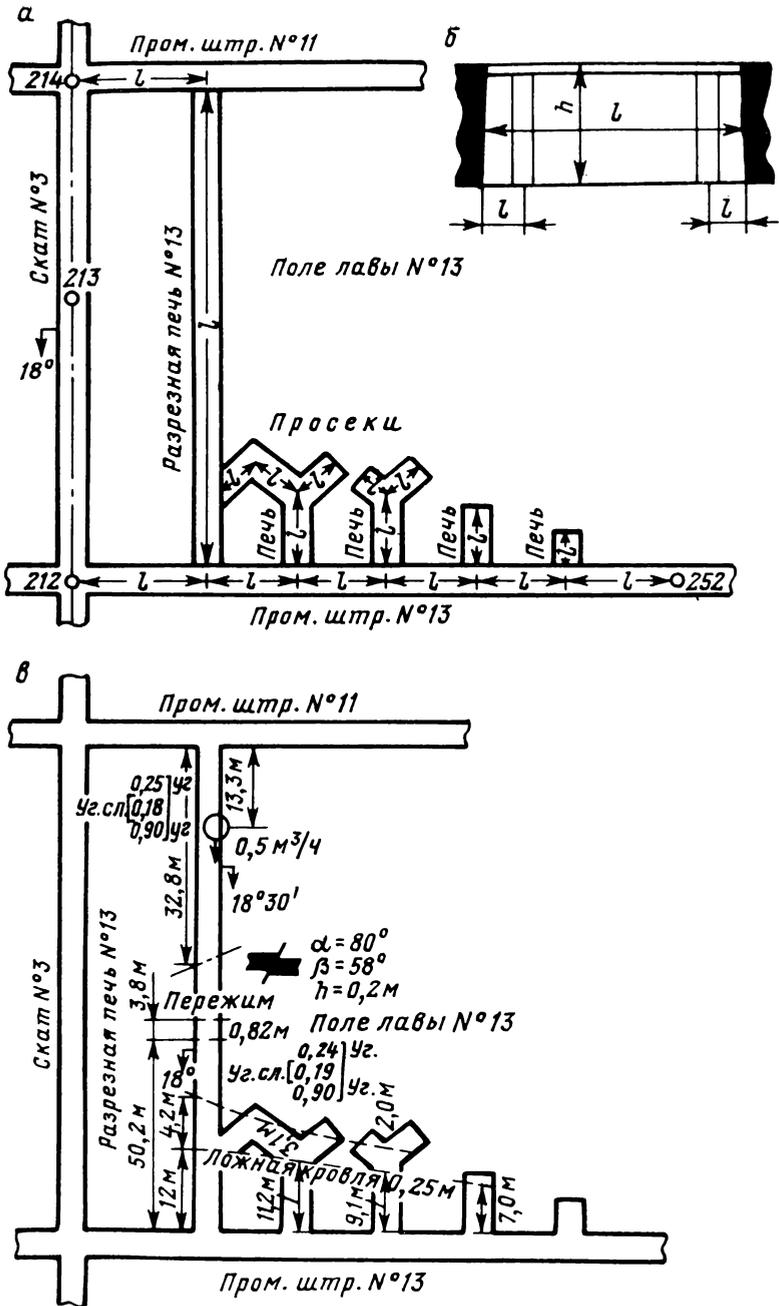


Рис. 124. Эскиз измерения нарезных выработок:
 а — план участка; б — сечение разрезной печи; в — привязка геологических особенностей

ром. Среднюю линию забоя находят как частное от деления площади выемки на среднее подвигание.

Через каждые 10 м по длине лавы измеряют нормальную мощность пласта, т. е. мощность в направлении, перпендикулярном к почве и кровле пласта. Различают следующие виды мощностей пласта:

полная (геологическая) мощность — это мощность пласта от почвы до кровли со всеми породными прослоями;

полная полезная мощность — это полная мощность пласта без суммарной мощности породных прослоев;

вынимаемая (рабочая) мощность — это суммарная мощность пропластков угля и породы в пределах очистной выработки;

вынимаемая полезная мощность — это вынимаемая (рабочая) мощность без суммарной мощности породных прослоев.

Во время измерения очистной выработки определяют также угол δ падения пласта. При рулеточном измерении угол падения пласта определяют горным компасом, при съемке инструментами пониженной точности — угломером или подвесным полукругом. Угол падения необходим для того, чтобы, измерив на плане площадь выемки s , найти ее истинное значение S по формуле

$$S = s / \cos \delta.$$

Камеральная обработка результатов измерений. Подсчет добычи. Результаты измерений, занесенные в полевую книжку, переносят в журнал учета горных работ.

В журнале вычисляют подвигание забоев всех выработок по их типам — капитальных, подготовительных, нарезных, очистных. Подсчитывают среднюю действующую линию очистных забоев, скорость проведения подготовительных и нарезных выработок, среднее подвигание и показатели цикличности лав. Отдельно показывают данные по породным забоям.

Результаты измерений используют для пополнения маркшейдерской графической документации. По состоянию на дату измерений наносят положение забоев всех проходческих выработок, конфигурацию очистных забоев, оставленные в выработанном пространстве целики. Показывают также все подробности геологического и другого характера, которые были засняты при производстве измерений. В месячном выемочном контуре каждого очистного забоя рисуют структурную колонку пласта.

Подсчет добычи производят следующим образом. Умножая ширину забоя на подвигание, определяют площадь выемки по каждой выработке. Площадь выемки умножают на среднюю мощность, получают объем V , т. е.

$$V = Sm,$$

Мощность вычисляют как среднеарифметическое из всех значений, полученных в данной выработке в течение месяца.

Масса добытого полезного ископаемого определяется путем умножения объема V на плотность d , т. е.

$$Q = Vd.$$

Плотность d угля в массиве определяют методом пробной вырубki. В лаве вырубают нишу в пласте, вырубленный уголь взвешивают и измеряют объем ниши. Для расчетов принимают среднее из результатов нескольких вырубok.

Оперативный и маркшейдерский учет добычи. Для ежедневного и ежесменного контроля за ведением горных работ на предприятии имеется оперативный (диспетчерский) учет добычи. Он состоит в учете числа вагонов (самосвалов), загруженных в каждом очистном и подготовительном забое. По многократному взвешиванию определяют среднюю массу угля в одном вагоне. Количество угля, отгруженного из забоя, определяют произведением средней массы на число вагонов. Такой учет дает большие погрешности вследствие неточного взвешивания вагонов, неполной их загрузки, неполной выгрузки вагонов в опрокидывающих устройствах и в результате влияния других объективных и субъективных факторов.

Результаты маркшейдерских измерений используют для корректирования данных оперативного учета добычи. Расхождение между результатами оперативного учета и измерений разбрасывают на все забои пропорционально их производительности. Отчетность горного предприятия о выполнении плана по добыче угля формируется на основании данных маркшейдерских измерений.

ГЛАВА XX

ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

§ 98. Основные понятия геометрии недр и геометризации месторождений

Геометрия недр (горная геометрия) — это научная дисциплина, изучающая формы залежей полезного ископаемого, условия их залегания, закономерности размещения полезных и вредных компонентов в пространстве недр, процессы изменения свойств во времени.

В качестве модели месторождения рассматривается геохимическое поле, представляющее собой совокупность форм, свойств и процессов, связанных единством геологического генезиса.

Любое свойство недр может быть измерено и выражено числом. В любом плоском сечении поля размещение свойства может

быть выражено системой изолиний, представляющих собой плавные замкнутые кривые, не пересекающиеся и не раздваивающиеся. Системы изолиний названы в геометрии недр поверхностями топографического порядка, или топоповерхностями. Метод изучения месторождения с построением изолиний называется методом изолиний.

При геометризации месторождений наиболее часто строят следующие изолинии:

изогипсы почвы (кровли) залежи — это линии, соединяющие точки почвы (кровли) залежи с одинаковыми абсолютными отметками (изогипсы — полные аналоги горизонталей, с той лишь разницей, что горизонталы получают сечением рельефа земной поверхности, а изогипсы — сечением поверхности почвы или кровли залежи);

изомощности — линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями мощности залежи;

изоглубины — линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями глубины залегания залежи;

изосодержания — линии, соединяющие точки с одинаковыми средними значениями содержания полезного или вредного компонента, например, зольности, содержания серы, фосфора в угле.

В геометрии недр разработаны методы сложения топоповерхностей, вычитания, умножения, деления, возведения в степень, извлечения корня и т. д.

На рис. 125 тонкими сплошными и пунктирными изолиниями даны две исходные топоповерхности. Требуется из первой топоповерхности вычесть вторую.

Рассмотрим четырехугольник $abcd$, образованный изолиниями. Разность значений в точках a и c равна 40, в точке b — 30, в точке d — 50. Соединяя точки a и c плавной кривой, получают отрезок изолинии результирующей поверхности. Изолиния представляет собой диагональ изолинейного четырехугольника. Продлевают отрезок полученной изолинии вправо и влево по диагоналям изолинейных четырехугольников, получают изолинию 40 полностью. Аналогично строят изолинии 50; 60; 30; 20; 10. Изолинии результирующей топоповерхности показаны на рис. 125 жирными линиями.

Так же производят сложение топоповерхностей.

Для производства математических действий с топоповерхностями они должны быть выполнены в одинаковом масштабе; высота сечения топоповерхностей должна быть одинакова.

Метод проекций с числовыми отметками состоит в том, что расположенное в пространстве тело проектируют на плоскость проекций (картинную плоскость) прямыми, перпендикулярными к этой плоскости (ортогональное проектирование). Положение любой точки в пространстве определяется ее проекцией на картинную плоскость и числовой отметкой, выражающей расстояние от точки до картинной плоскости. В качестве картинной плоско-

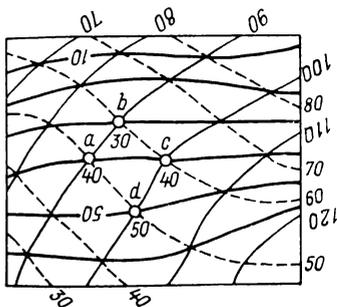


Рис. 125. Вычитание топоповерхностей

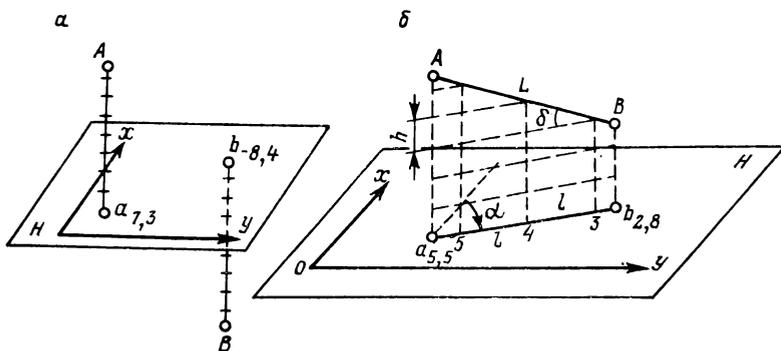


Рис. 126. Проекция точки и прямой

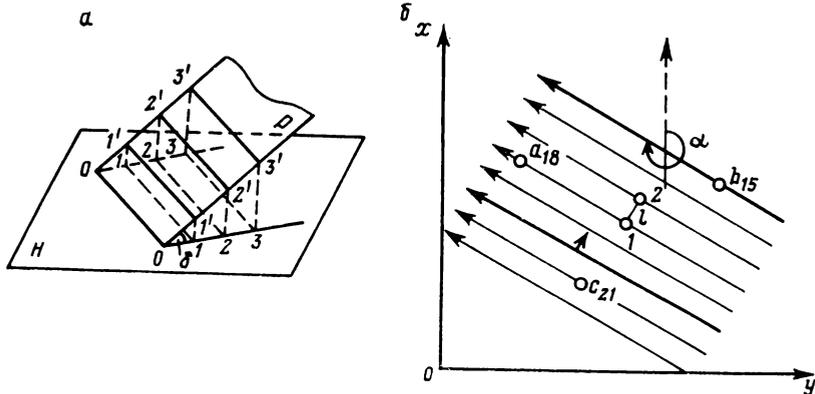


Рис. 127. Проекция плоскости

сти может быть принята любая плоскость — горизонтальная, наклонная, вертикальная.

Проекция точки A есть точка a (рис. 126, a), являющаяся основанием перпендикуляра, опущенного из точки A на картинную плоскость. Если проектируемая точка находится выше горизон-

тальной картинной плоскости, то ее числовая отметка положительна ($a_{7,3}$), если ниже — отрицательна ($b_{-8,4}$).

Проекция прямой есть прямая (рис. 126, б). Для получения проекции прямой достаточно найти проекции двух точек этой прямой и соединить их. Дирекционный угол проекции прямой равен дирекционному углу прямой. В частном случае, когда прямая перпендикулярна к картинной плоскости, проекция ее представляет собой точку.

Проекция отрезка прямой на горизонтальную картинную плоскость представляет собой горизонтальное проложение этого отрезка. При заданном масштабе длину $a_{5,5}b_{2,8}$ проекции можно определить графически. По разности числовых отметок z_a и z_b точек прямой и горизонтальному проложению $a_{5,5}b_{2,8}$ можно вычислить уклон i прямой AB , т. е.

$$i = \operatorname{tg} \delta = \frac{z_a - z_b}{a_{5,5}b_{2,8}}.$$

Если уклон i положителен, то угол δ является углом восстания прямой; если уклон i отрицателен, то угол δ является углом падения.

Проекция плоскости строится проектированием ее горизонталей. Проекции 1—2, 2—2', 3—3' горизонталей 1'—1', 2'—2', 3'—3' плоскости P (рис. 127, а) представляют собой проекцию плоскости. Линия 3'—2'—1'—0 является линией наибольшего ската плоскости, линия 3—2—1—0 — ее проекцией. Угол δ , образуемый линией наибольшего ската с картинной плоскостью, есть угол падения (восстания) плоскости. Расстояния 0—1, 1—2, 2—3 между проекциями соседних горизонталей называются заложениями плоскости, разность отметок соседних горизонталей — высотой сечения. Заложение и высота сечения связаны соотношением

$$i = h/l.$$

Дирекционный угол проекций горизонталей равен дирекционному углу горизонталей. За положительное направление горизонталей принято направление, относительно которого падение плоскости находится справа (см. § 99).

Для решения практических задач удобнее, когда проекция плоскости изображена проекциями ее горизонталей. Такое изображение дает зримое представление о положении плоскости в пространстве. Поэтому при любом способе задания плоскости стремятся построить проекции ее горизонталей. Элементы залегания плоскости определяют по заданной высоте сечения и заложению, найденному графически с использованием масштаба проекции.

Пусть пробурено три скважины. Скважина A встретила пласт на отметке $H_A = 18$ м (в точке a_{18}), скважина B — в точке b_{15} и скважина C — в точке c_{21} . Определить элементы залегания пласта.

Интерполированием отметок на отрезках $a_{18}b_{15}$, $a_{18}c_{21}$ и $b_{15}c_{21}$ (рис. 127, б) находят точки с целочисленными отметками. Соединяя точки с равными отметками, строят горизонталы (изогипсы) кровли (почвы) пласта. Стрелками показывают положительное направление горизонталей и направление падения плоскости.

Проведя прямую, параллельную оси x , на изогипсе 15 м (или любой другой) находят дирекционный угол α направления простирания пласта. Обозначив на двух соседних изогипсах точки 1 и 2, измеряют заложение l . Высота сечения в данном случае $h=1$ м. Делением h на l определяют тангенс угла падения пласта и затем по тангенсу находят сам угол падения.

Если на плане изображены две плоскости их горизонтальями (изогипсами), то линию пересечения плоскостей строят так. Поскольку точки пересечения одноименных горизонталей принадлежат одновременно обеим плоскостям, они лежат на линии пересечения плоскостей. Отыскивают такие точки и соединяют их, получая линию пересечения плоскостей.

Этот способ применяют при построении целиков под объектами, расположенными на земной поверхности. Например, под площадкой $abcd$ земной поверхности необходимо построить целик (рис. 128). При этом известны углы сдвижения (т. е. углы падения плоскостей, ограничивающих зону сдвижения) по простиранию пласта, в сторону его восстания и падения. Известна также гипсометрия пласта, т. е. расположение его изогипс. Построение производят следующим образом.

Перпендикулярно к сторонам площадки во все стороны от нее строят линии наибольшего ската плоскостей сдвижения, градуируют их, определяют заложение через тангенсы углов наклона и выбранную высоту сечения. Находят линии пересечения этих плоскостей между собой, а также линии пересечения плоскостей, направленных по простиранию, с плоскостью пласта, находя таким образом отрезки AD и BC . Соединяя A с B и D с C , получают контур $ABCD$ целика на плане.

Геометризация месторождения — это изучение и графическое изображение форм залежей полезного ископаемого, структуры залежей и массива вмещающих пород, установление и графическое изображение закономерностей пространственного размещения свойств полезного ископаемого.

Общая схема геометризации месторождения состоит в следующем (рис. 129). Вначале выполняют две предварительные стадии работ: а) натурные съемки и опробование; б) предварительную обработку данных. По результатам этих работ разрабатывают рекомендации по совершенствованию методик маркшейдерских и геологических съемок и учитывают эти рекомендации при проведении съемок и опробования (обратные связи на рис. 129).

Предварительно обработанные данные используют при построении математической модели месторождения, состоящей из горногеометрических графиков (планов, разрезов, проекций на

Рис. 128. Схема построения предохранительного целика методом проекций с числовыми отметками

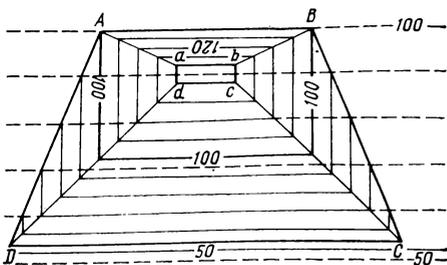
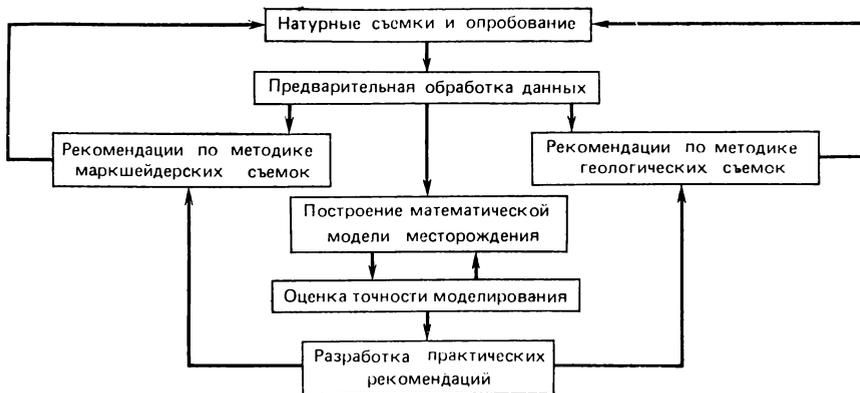


Рис. 129. Общая схема геометризации месторождения



вертикальные и наклонные плоскости, объемных проекций) и математических зависимостей. Математическая модель выявляет и наглядно иллюстрирует строение месторождения и размещение свойств полезного ископаемого. Производят оценку точности разработанной модели натурными экспериментами и математическими методами. В случае, когда точность недостаточно высока, принимают другие методы геометризации и модель месторождения строят заново. Если же точность построения модели удовлетворяет требованиям практики, то на основе такой модели разрабатывают практические рекомендации для проектирования горного предприятия, планирования горных и геологоразведочных работ, управления горными работами.

§ 99. Определение элементов залегания пласта

Элементами залегания пласта называют его мощность, угол падения и азимут (дирекционный угол) направления простираия.

Элементы и глубину залегания пласта, качественные характеристики угля определяют по данным бурения скважин, по измерениям на обнажениях поверхности почвы и кровли пласта на

земной поверхности и в горных выработках, по данным бороздowego забойного и товарного опробования.

Все указанные данные должны иметь пространственную привязку, т. е. необходимо определять координаты точек, к которым эти данные относятся.

Определение координат точек оси скважины. Проектом задают скважины вертикальные, горизонтальные или наклонные. Практически почти все скважины являются или наклонными, или искривленными (криволинейными). Для того чтобы произвести пространственную привязку керна, необходимо определить координаты точек оси скважины.

Вертикальную скважину задают координатами (x_0, y_0, z_0) центра ее устья; отметка z_0 устья равна отметке земной поверхности в устье скважины. Координаты (x_1, y_1, z_1) любой точки оси скважины отличаются от координат устья лишь отметкой, которую определяют как разность

$$z_1 = z_0 - h,$$

где h — глубина скважины от устья до искомой точки.

Горизонтальную скважину задают координатами (x_0, y_0, z_0) устья и дирекционным углом α_0 . Отметка искомой точки равна отметке z_0 устья, плановые координаты определяют решением прямой геодезической задачи.

Наклонную скважину задают координатами (x_0, y_0, z_0) устья, дирекционным α_0 и зенитным θ_0 углами.

Для определения координат (x_1, y_1, z_1) искомой точки I , находящейся на расстоянии L от устья скважины, вычисляют вначале горизонтальное проложение l (рис. 130, а):

$$l = L \sin \theta_0.$$

Затем находят x_1 и y_1 . Абсолютную отметку z_1 находят, предварительно определяя превышение h устья над искомой точкой:

$$h = L \cos \theta_0.$$

$$\text{Тогда } z_1 = z_0 - h, \quad (\text{XX.1})$$

$$\text{или } z_1 = z_0 - L \cos \theta_0.$$

Графически плановые координаты (x_1, y_1) определяют так же, как для горизонтальной скважины, но откладывают от устья не измеренную наклонную длину L , а горизонтальное проложение l . Абсолютную отметку z_1 находят либо на вертикальном разрезе, построенном по оси скважины, либо по формуле (XX.1).

В процессе бурения скважина искривляется, меняя дирекционный и зенитный углы. Для искривленной скважины задача

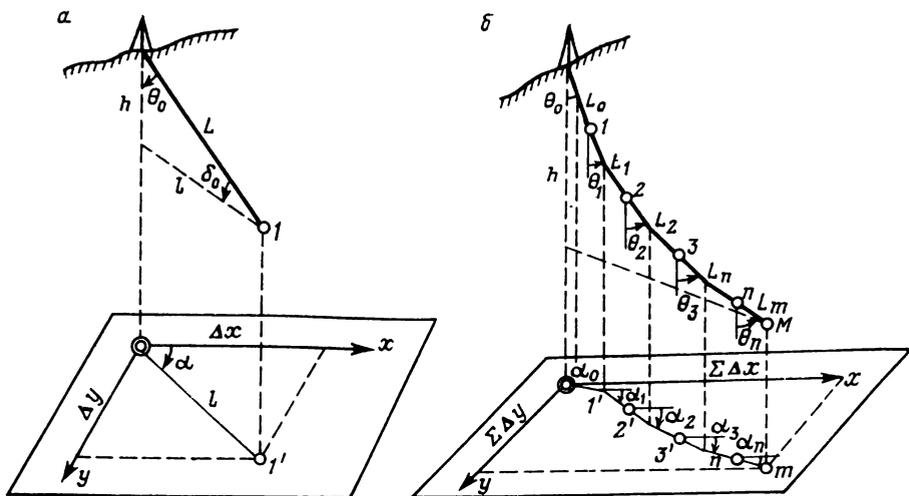


Рис. 130. К определению координат точки оси скважины:
 а — наклонная скважина; б — искривленная скважина

решается так. Предварительно вычисляют горизонтальные проложения длин отрезков (рис. 130, б):

$$\frac{l_0}{2} = \frac{L_0}{2} \sin \theta_0;$$

$$\frac{1}{2} (l_0 + l_1) = \frac{1}{2} (L_0 + L_1) \sin \theta_1 \quad \text{и т. д.}$$

Наносят на план по координатам (x_0, y_0) устье скважины, от него под дирекционным углом α_0 отмеряют отрезок $l_0/2$, от конца отрезка под дирекционным углом α_1 — отрезок $1/2(l_0 + l_1)$ и т. д. Отметки концов отрезков вычисляют по формулам

$$z_1 = z_0 - \frac{L_0}{2} \cos \theta_0;$$

$$z_2 = z_1 - \frac{1}{2} (L_0 + L_1) \cos \theta_1;$$

$$z_3 = z_2 - \frac{1}{2} (L_1 + L_2) \cos \theta_2.$$

Определение мощности пласта. Различают мощность пласта нормальную m_n , горизонтальную m_r , вертикальную m_b и мощность по скважине (по кругу) m_c .

Если залежь имеет угол падения δ , то первые три вида мощности связаны следующими зависимостями:

$$\begin{aligned}m_n &= m_b \cos \delta; & m_b &= m_n \sec \delta; \\m_n &= m_r \sin \delta; & m_r &= m_n \operatorname{cosec} \delta.\end{aligned}$$

Если наклонная скважина пробурена под зенитным углом θ и ее дирекционный угол равен дирекционному углу линии падения пласта, то, измерив мощность залежи по скважине, можно вычислить нормальную мощность по формуле

$$m_n = m_c \cos (\delta - \theta).$$

Определение угла падения и азимута простираения пласта. При определении элементов залегания руководствуются общепринятым правилом: за положительное направление простираения принимается такое направление, относительно которого падение находится справа, т. е. если встать лицом по положительному направлению простираения, то падение пласта будет вправо, а восстание — влево.

Угол падения и азимут простираения измеряют горным компасом. Для этого расчищают участок площади обнажения почвы или кровли пласта и к поверхности прикладывают горный компас. Если поверхность неровная, то на нее кладут доску или полевую книжку.

При крутом падении пласта вначале определяют угол падения, затем — азимут направления простираения. Компас ставят вертикально, длинной стороной прикладывают к поверхности обнажения и, слегка постукивая, поворачивают вправо и влево, пока не получат наибольший отсчет по полукругу. Этот отсчет равен углу падения пласта. Не изменяя положения компаса, прочерчивают вдоль его длинной стороны линию падения (рис. 131, а). Повернув компас вокруг длинной стороны, кладут его на поверхность обнажения и вдоль короткой стороны прочерчивают направление простираения. Повернув компас вокруг короткой стороны, устанавливают его горизонтально, направив север лимба в сторону падения залежи, освобождают магнитную стрелку (рис. 131, б) и берут по ней отсчет, определяя таким образом азимут $A_{\text{пл}}$ линии падения пласта.

Азимут $A_{\text{пр}}$ направления простираения можно найти вычитанием $A_{\text{пр}} = A_{\text{пл}} - 90^\circ$ или определить компасом, приложив его длинной стороной к линии простираения и направив север лимба по положительному направлению простираения.

При пологом падении пласта вначале определяют направление линии простираения и ее азимут, а затем угол падения. Приложив компас длинной стороной к поверхности обнажения, поворачивают его, пока не найдут направление с углом падения, равным 0° . Прочерчивают это направление простираения (рис. 131, в). Приложив к нему компас длинной стороной так, чтобы север лимба был направлен по положи-

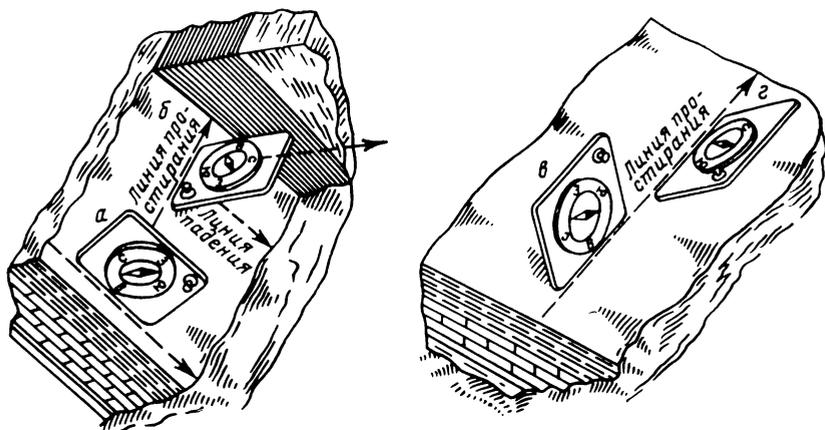


Рис. 131. Схема определения элементов залегания пласта горным компасом: *а, б* — при крутом падении; *в, г* — при пологом падении

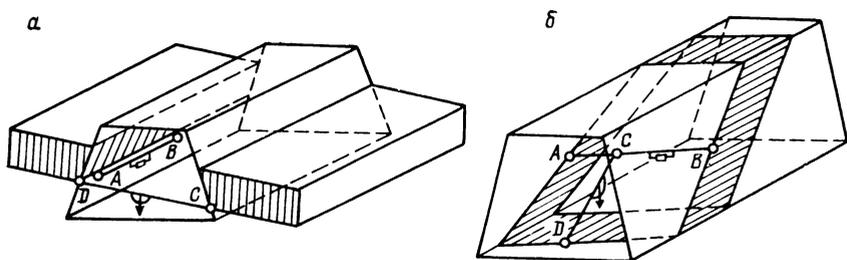


Рис. 132. Схема определения элементов залегания пласта подвесными инструментами

тельному направлению простирания (рис. 131, *г*), определяют азимут направления простирания. Далее прочерчивают линию падения и измеряют компасом угол падения.

Если в выработке отсутствуют обнажения поверхностей почвы и кровли пласта, но имеются линии пересечения этих поверхностей стенками выработки, то элементы залегания определяют при помощи подвесных инструментов.

Когда выработка проведена по простиранию пласта (рис. 132, *а*), то на ее стенке натягивают шнур *АВ* параллельно почве (кровле) пласта, убеждаясь при помощи подвесного полукруга в его горизонтальности. Затем на шнур подвешивают подвесную буссоль, ориентируя ее нулевым делением по направлению простирания пласта, и определяют по ней азимут направления простирания. Закрепив затем в точке *Д* почвы шнур и подвесив на него подвесной полукруг, второй

конец шнура перемещают по линии обнажения до тех пор, пока не получат в некоторой точке *C* наибольший угловой отсчет, который представляет собой угол падения пласта.

Если выработка проведена вкрест простирания пласта, то в точке *A* закрепляют один конец шнура, а второй перемещают по линии обнажения на противоположной стенке до тех пор, пока висящий на шнуре полукруг не покажет отсчет, равный 0° . Закрепляют второй конец шнура в найденной точке *B* (рис. 132, б). Повесив на шнур буссоль нулем в сторону точки *B*, можно определить азимут направления простирания.

Закрепив в точке *C* горизонтального шнура конец второго (наклонного) шнура, перемещают его конец *D* по линии обнажения, пока висящий на нем подвесной полукруг не покажет наибольшего отсчета, представляющего собой угол падения пласта.

§ 100. Построение горно-геометрических планов

Построение гипсометрического плана. Поверхности почвы и кровли пласта нагляднее всего можно изобразить на гипсометрическом плане. Гипсометрический план — это проекция пласта на горизонтальную плоскость с изображением поверхности почвы и кровли пласта с изогипсами.

Имеются два способа построения гипсометрического плана — непосредственный и косвенный. Построение непосредственным способом производят по отметкам почвы и кровли пласта в точках с известными координатами. В условиях эксплуатации месторождения гипсометрические планы строят, когда пласт разведан скважинами и лишь незначительная его часть вскрыта горными выработками.

На план наносят все пройденные по почве и кровле пласта выработки и выписывают отметки почвы и кровли там, где они известны. Наносят также устья всех скважин, надписывают их номера. У устьев вертикальных скважин выписывают отметки почвы и кровли пласта. Для наклонных и искривленных скважин вычисляют координаты точек входа в пласт и выхода из него, по координатам *x* и *y* эти точки наносят на план, соединяют их пунктиром с устьем скважины. У точек входа и выхода пишут их отметки. Производят интерполирование между отметками точек, лежащих в кровле пласта, и строят изогипсы кровли. Аналогично строят изогипсы почвы. Высоту сечения увеличивают при уменьшении масштаба и увеличении угла падения пласта.

Косвенный способ состоит в построении гипсометрических планов при помощи разрезов. Во многих случаях при разведке месторождения скважины располагают по разведочным линиям. Расстояния между скважинами в линиях меньше, чем

Рис. 133. Геометрические элементы складки

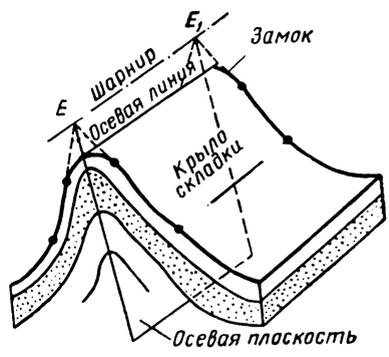


Рис. 134. Построение гипсометрического плана складки

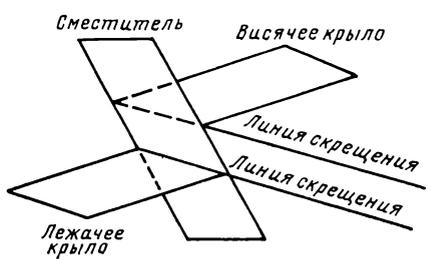
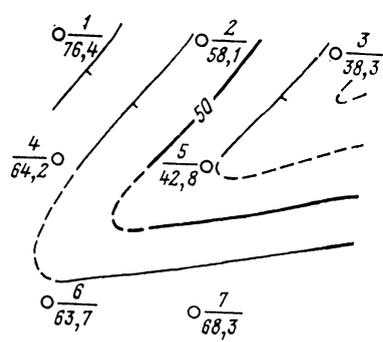


Рис. 135. Геометрические элементы смещения

расстояния между линиями. Разведочные линии располагают обычно по направлению падения пластов.

По каждой разведочной линии строят геологический разрез, изображая на нем профили кровли и почвы пласта. Определяют на профилях точки с целочисленными отметками, измеряют от каждой точки горизонтальное расстояние до ближайшей скважины или до точки входа (выхода).

На плане изображают устья всех скважин и точки входа скважин в пласт и выхода из него, измеренные расстояния откладывают по направлению разведочной линии, получая проекции точек с целочисленными отметками. Соединяя точки с одинаковыми отметками, находящиеся на соседних линиях, строят изогипсы.

Изображение складок на гипсометрических планах. Складками (пликативными нарушениями) называют резкие изменения элементов залегания (угла падения, направления простирания) без разрыва сплошности горных пород. Складки осложняют ведение горных работ. Они образуются в земной коре в результате появления тектонических напряжений.

Основными геометрическими элементами складки являются (рис. 133):

крылья — боковые поверхности пласта, по форме приближающиеся к плоскостям и расположенные под некоторым углом друг к другу;

шарнир — линия EE_1 , по которой пересекаются продолженные крылья складки.

Складки делятся на синклинальные, у которых падение крыльев направлено к шарниру, и антиклинальные, у которых падение крыльев направлено от шарнира.

Лучшим способом изображения складки на плане является построение изогипс ее крыльев и замка. Если в пределах каждого крыла имеется не менее трех скважин или подсечений выработками, то строят изогипсы крыльев (рис. 134) и пунктиром намечают примерное положение изогипс на участке замка складки. Для более детального построения изогипс на этом участке необходима дополнительная информация, которую можно получить в результате бурения дополнительных скважин или проведения выработок. Если информации достаточно, то завершают построение гипсометрического плана, а также строят геологические разрезы, перпендикулярные к направлению шарнира.

Изображение смещений на гипсометрических планах. Смещениями (дизъюнктивными нарушениями) называют нарушения с разрывом сплошности горных пород и перемещением одной их части относительно другой.

В районе дизъюнктивных нарушений породы трещиноваты, характеризуются повышенными водопритоками и пониженной устойчивостью. Поиски смещенной части залежи требуют выполнения дополнительных геологоразведочных работ. Очистные работы вблизи нарушения сопровождаются повышенными потерями и разубоживанием полезного ископаемого.

Наиболее важными геометрическими элементами разрывного нарушения являются сместитель и крылья (рис. 135).

Сместителем называется плоскость (в общем случае — поверхность), по которой произошли разрыв горных пород и смещение одной их части относительно другой. При развитии крупных тектонических нарушений сместитель представлен не одной плоскостью или поверхностью, а зоной, заполненной материалом дробления и трения и ограниченной поверхностями, называемыми висячим боком и лежачим боком.

Горные породы, прилегающие к сместителю со стороны висячего бока, называются висячим крылом дизъюнктива, со стороны лежачего бока — лежачим крылом дизъюнктива.

Расстояние между крыльями смещения называется амплитудой смещения. Амплитуду измеряют в различных направлениях. Наибольшее практическое значение имеют вертикальная и горизонтальная амплитуды. Если на плане крылья частично перекрывают друг друга, то такое смещение называется смещением с перекрытием. Если на плане име-

ется разрыв между крыльями, то такое смещение называют смещением с зиянием. Эта характеристика важна при выборе очередности отработки крыльев. Очередность должна быть такой, чтобы при отработке одного крыла не произошла проработка второго.

Изучение смещений производят по элементам их залегания, измеренным в отдельных точках, и по зарисовкам обнажений. На гипсометрических планах строят изогипсы обоих крыльев пласта и сместителя. Гипсометрию сместителя строят вначале по элементам его залегания, измеренным в одной точке (забое выработки), затем по мере подсечения его в нескольких точках — интерполированием между отметками, определенными в этих точках.

Гипсометрические планы дополняют разрезами дизъюнктивного нарушения, ориентированными перпендикулярно к плоскости сместителя в направлении его линии наибольшего ската.

Построение планов изомощностей производят лишь для пластов, мощность которых меняется в значительных пределах.

На графиках изомощностей может быть показано размещение значений нормальной, вертикальной, горизонтальной мощности. На картинную плоскость проектируют мощности, перпендикулярные к этой плоскости. На плане, являющемся проекцией на горизонтальную плоскость, изображают размещение вертикальных мощностей.

Топоповерхность, представленная изолиниями мощности, не является реальной поверхностью. Понять ее физический смысл можно из следующих построений. Осадим пласт на горизонтальную плоскость так, чтобы его вертикальная мощность в любой точке равнялась вертикальной мощности в соответствующей точке исходного разреза. Рассечем поверхность осажденного пласта горизонтальными плоскостями так, как рассекаем поверхность рельефа земной поверхности для получения горизонталей. В результате получим изолинии мощности пласта.

План изомощностей строят непосредственным или косвенным способами.

Построение непосредственным способом производят в наиболее изученных частях, вскрытых горными выработками, так же, как построение непосредственным способом гипсометрического плана: интерполируют между значениями вертикальной мощности, определенными в горных выработках и скважинах; строят изолинии.

Имеются два косвенных способа построения изомощностей: 1) из поверхности кровли пласта вычитают поверхность почвы пласта; 2) изолинии мощности строят при помощи вертикальных разрезов по разведочным линиям.

Высоту сечения выбирают тем большую, чем мельче масштаб плана и чем больше размах изменения значений мощности пласта.

Построение планов изоглубин залегания пласта также производят непосредственным и косвенным способами. Физический смысл топоповерхности изоглубин залегания аналогичен физическому смыслу топоповерхности изомощностей.

При непосредственном способе на план наносят все разведочные и вскрываемые выработки — канавы, шурфы, стволы, скважины. Вертикальные глубины подписывают у устья выработки. Для наклонных скважин подписывают отметки точек входа в пласт. По разности отметки точки входа и отметки земной поверхности над точкой входа вычисляют глубину залегания пласта. Интерполируя между значениями глубины, строят изолинии глубины. Построение начинают с наиболее изученных участков.

Косвенный способ построения изоглубин состоит в том, что из горизонталей рельефа земной поверхности вычитают изогипсы кровли пласта.

Высоту сечения принимают тем большую, чем мельче масштаб и чем больше размах колебаний глубины залегания пласта.

Построение качественных (сортовых) планов. На качественных (сортовых) планах показывают пространственное размещение качественных характеристик угля — зольности, содержания серы и фосфора, выхода летучих веществ, толщины пластического слоя, индекса свободного вспучивания и т. д.

Наиболее распространенным приемом при построении изолиний качественных свойств является сглаживание исходных частных значений (данных разведки и опробования) скользящим статистическим окном. Одновременно со сглаживанием для решения различных задач, связанных с качественными характеристиками, применяются математическая статистика и другие области математики.

Величину окна сглаживания определяют на основе анализа пространственной изменчивости. Пространственная изменчивость геологического признака (качественной характеристики) — это непостоянство значений этого признака в пространстве недр.

Для плоского сглаживания, т. е. сглаживания по площади, размеры окна определяют по падению и простиранию, по простиранию и вкрест простирания пласта, вдоль забоя и параллельно направлению подвигания забоя.

Окно накладывают на план или другой график, определяют среднее значение свойства из всех частных значений, попавших в пределы окна, и относят его к центру окна. Смещают окно по простиранию на половину его ширины, находят среднее, затем еще смещают по простиранию на половину (и т. д.) до противоположной границы площади. Получают вытянутый по простиранию ряд средних значений.

Возвращают окно в исходное положение, смещают его по падению на половину его длины, находят среднее. Затем пере-

мещают окно по простирацию, создавая второй ряд средних значений. Таким образом строят третий ряд и т.д. Затем производят интерполирование между средними значениями и построение изолиний, отражающих закономерности изменения свойства по площади.

§ 101. Применение горно-геометрических планов при ведении горных и геологоразведочных работ

Гипсометрический план является не только наглядной иллюстрацией формы поверхности почвы и кровли пласта, но и документом, на основе которого решают различные инженерные задачи.

Определение отметок почвы и кровли пласта. В точке A (рис. 136, a) необходимо определить отметку почвы пласта, изображенной изогипсами. Точка A лежит между изогипсами 100 и 150 м. Через точку A проводят отрезок bc прямой, перпендикулярной к изогипсам. Высота сечения $h=50$ м. Длина отрезка bA составляет 0,35 длины отрезка bc . Следовательно, отметка почвы пласта в точке A $H_A=100\text{ м}+0,35h=118,0$ м.

Аналогично находят отметку кровли пласта в точке, если кровля изображена изогипсами. Вертикальную мощность пласта находят как разность отметок кровли и почвы пласта в этой точке.

Определение угла падения и дирекционного угла направления простираия пласта. Для определения дирекционного угла

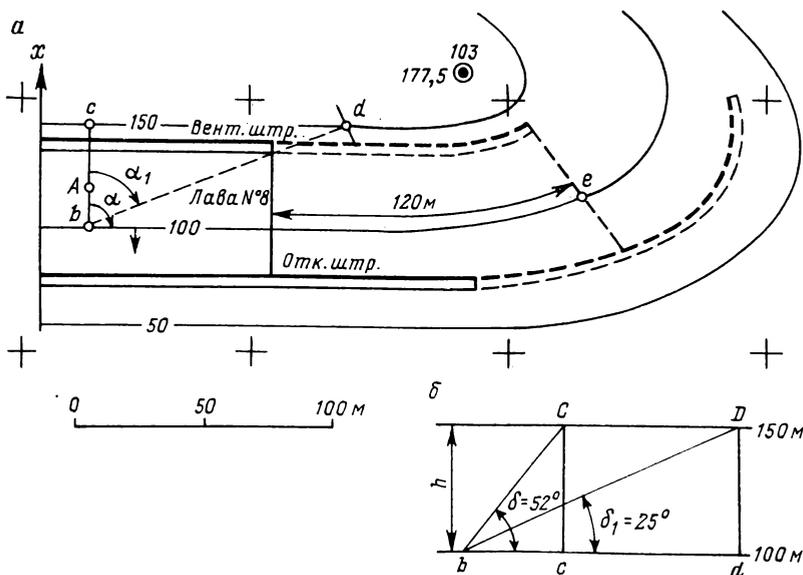


Рис. 136. К решению задач на гипсометрическом плане почвы пласта

направления простирания через точку b изогипсы 100 м проводят линию bc , параллельную оси X . От направления bc до положительного направления изогипсы 100 м измеряют дирекционный угол α . Положительным является направление от точки b на восток, так как относительно этого направления падение пласта (показано стрелкой) находится справа.

Для определения угла падения пласта прочерчивают две параллельные линии (рис. 136, б) на расстоянии $h=50$ м (в масштабе) друг от друга. Строят вертикальный разрез по направлению bc , для чего измеряют на плане расстояние bc и откладывают его на изогипсе 100 м разреза. Из точки c восстанавливают перпендикуляр cC до пересечения его с изогипсой 150 м. Соединив точки C и b , можно найти угол падения пласта δ .

Определение направления выработки, проводимой по пласту под заданным углом наклона. Требуется определить, под каким дирекционным углом следует задавать выработку по пласту, чтобы угол ее наклона был меньше, чем угол падения пласта.

Пусть на участке с выдержанными элементами залегания $\alpha=90^\circ$, $\delta=52^\circ$ требуется определить направление выработки с углом наклона $\delta_1=25^\circ$. Из точки b , лежащей на изогипсе 100 м (см. рис. 136, а), выработка прошла по пласту до соседней изогипсы 150 м такое расстояние bd , которое является горизонтальным проложением длины bD , имеющей угол наклона $\delta_1=25^\circ$ (см. рис. 136, б).

Из точки b разреза проводят прямую под углом наклона $\delta_1=25^\circ$ до пересечения ее с изогипсой 150 м. Из точки D опускают перпендикуляр на изогипсу 100 м. Измеряют расстояние bd и, пользуясь им как радиусом окружности с центром в точке b плана, прочерчивают дугу до пересечения с изогипсой 150 м в точке d . Угол α_1 есть искомый дирекционный угол.

Планирование месячного подвигания забоев. На рис. 136, а сплошными линиями показано ожидаемое положение лавы, забоев вентиляционного и откаточного штреков на начало планируемого периода (месяца). Требуется, исходя из запланированного подвигания лавы в 120 м/мес, показать положение забоев на конец планируемого периода.

Поскольку лава и штреки подвигаются по пласту, траектории движения любой точки лавы и забоев штреков будут повторять все изгибы изогипс пласта. По изогипсе 100 м, проходящей примерно посередине лавы, отмеряют 120 м. Через полученную точку e проводят пунктиром линию, показывающую положение лавы на конец планируемого периода. Эта линия располагается по падению пласта.

Проводимый с опережением откаточный штрек также повторяет изгибы изогипс пласта и выходит в замковую часть складки. При планировании горных работ следует предусмотреть возможность интенсивного горного давления в замковой

части складки и разработать мероприятия по управлению горным давлением.

Планирование добычи угля заданного качества. На месторождениях сложного строения уголь в различных частях месторождения может иметь различную зольность, различное содержание серы, различные технологические свойства (толщину пластического слоя, индекс свободного вспучивания и т. д.). При разработке таких месторождений производят планирование в режиме усреднения, т. е. планирование, обеспечивающее усреднение качественных характеристик добываемого угля и получение тех характеристик, которые заданы планом.

Усреднение достигается выполнением условия

$$\Sigma Q_i x_i / \Sigma Q_i = \bar{x},$$

где \bar{x} — заданное значение качественной характеристики; x_i — значение характеристики x на i -м участке месторождения; Q_i — планируемая добыча на i -м участке.

При планировании перебирают множество вариантов, меняя участки (при этом меняются значения x_i контролируемой качественной характеристики) и принимая различные нагрузки Q_i на забои при условии, что суммарная добыча должна равняться той, которая задана народнохозяйственным планом.

При планировании используются качественные (сортовые) планы.

Принятие проектных решений. При проектировании горного предприятия используют гипсометрические планы, планы изомощностей, изоглубин, качественные планы.

Гипсометрические планы и планы изоглубин используют для выбора способа и систем разработки месторождения, для обоснования схемы вскрытия шахтного (карьерного) поля, для «раскройки» поля на горизонты и участки, для определения проектной глубины вскрывающих выработок. При открытой разработке план изоглубин используют также для определения линейного коэффициента вскрыши и построения предельного контура развития угольного разреза.

План изомощностей используют совместно с гипсометрическим планом при выборе систем разработки и определении их параметров, при подсчете запасов угля в недрах. На плане изомощностей производят оконтуривание пласта по минимальной промышленной мощности.

Качественный (сортовой) план используют при определении основных направлений развития горных работ и при составлении календарного плана отработки запасов месторождения с учетом качественных характеристик добываемого угля.

Оценка перспективности шахтных полей для применения добычных комплексов. Оценка производят на основе статистиче-

ского анализа частоты встречаемости разрывных нарушений в различных шахтных полях или в различных частях одного шахтного поля.

Хорошо изученные соседние участки или соседние шахтные поля подразделяют на более мелкие участки, равные площади одного столба (выемочного контура одной лавы). Дизъюнктивные нарушения классифицируют в зависимости от величины амплитуды на несколько типов:

- а) осложняющие ведение очистных работ;
- б) существенно затрудняющие ведение очистных работ;
- в) вызывающие демонтаж очистных комплексов.

В пределах каждого участка подсчитывают число нарушений каждого типа, производят сглаживание и при помощи изолиний устанавливают закономерности пространственного размещения дизъюнктивов различных типов.

По хорошо изученным участкам прогнозируют размещение дизъюнктивов на слабо изученных участках, продолжая изолинии с учетом установленной их конфигурации.

Наиболее перспективными для применения добычных комплексов считаются участки, характеризующиеся минимальным числом дизъюнктивов или их минимальными амплитудами.

ГЛАВА XXI

ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

§ 102. Первичная, вычислительная и графическая документация

На каждом строящемся или действующем горном предприятии имеется обязательный комплект маркшейдерской документации. Комплект состоит из первичной, вычислительной и графической документации.

Первичная документация представлена полевыми книжками и журналами, заполняемыми исполнителями в процессе производства полевых работ. Первичная документация ведется отдельно по каждому виду полевых работ — теодолитной съемке, тахеометрической съемке, техническому нивелированию и т. д. Как правило, каждый исполнитель имеет свою индивидуальную полевую книжку по каждому виду работ.

В полевые книжки наряду с результатами измерений заносят привязки, схемы, зарисовки.

Первичная документация служит основой для составления вычислительной и графической документации.

Вычислительная документация состоит из журналов и ведомостей вычислений, журналов и книг учета и т. д. В них производится математическая обработка результатов полевых

измерений. Результаты вычислений используют различные службы горного предприятия и его подразделения. На основе результатов вычислений, в частности, составляют графическую документацию.

Графическая документация представлена планами, разрезами, проекциями на вертикальные и наклонные плоскости, профилями, объемными графиками. Она является одним из важнейших результатов деятельности маркшейдерской службы предприятия. Графическая документация имеет многоцелевое назначение: она иллюстрирует динамику и современное состояние горных работ; является основой для перспективного и оперативного планирования развития горных работ, а также основой для решения инженерно-технических задач управления горными работами; после консервации или закрытия горного предприятия она является единственным документом, показывающим границы выработанного пространства, контуры оставленных целиков, границы подземных пустот.

§ 103. Виды горных чертежей

Чертежи горной графической документации должны отражать в определенной системе координат весьма разнообразную информацию: ситуацию и рельеф земной поверхности, геологические условия залегания тел полезного ископаемого, расположение горных выработок в пространстве недр, динамику ведения горных работ. На одном каком-либо чертеже невозможно показать все это, тем более что геологические условия и системы разработки характеризуются большим разнообразием.

Чертежи строят в масштабах 1:10 000; 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500; 1:200. Для изображения сравнительно мелких объектов, таких как отдельная выработка, ее узлы, используют масштабы более крупные — от 1:100 до 1:5.

План является ортогональной (прямоугольной) проекцией на горизонтальную плоскость. Изображение объекта на плане представляет собой проекцию с числовыми отметками в принятой системе координат. Объекты земной поверхности и горных работ показывают условными знаками, рельеф — горизонталями, поверхности почвы и кровли пластов — изогипсами. В характерных точках объектов выписывают абсолютные отметки. Для горизонтальных и пологих пластов план является основным, наиболее информативным чертежом.

Проекция на вертикальную плоскость также представляет собой ортогональную проекцию. Ее применяют при кругом или вертикальном падении пластов. Картинную плоскость располагают параллельно линии простирания пластов. Если направление простирания пластов меняется в пространстве, то проектирование производят на ломаную вертикальную плоскость, конфигурация которой повторяет конфигурацию пластов.

На картинную плоскость проектируют как пласты, так и горные выработки, проведенные по пластам, и полевые.

Вертикальное расстояние между двумя точками на проекции равно превышению между этими точками. Горизонтальное расстояние на проекции l_r равно соответствующему расстоянию L_r в натуре (в масштабе), если оно параллельно плоскости проекций. Если расстояние L_r составляет с картинной плоскостью некоторый угол φ , то

$$l_r = L_r \cos \varphi.$$

Для получения наглядного представления о пространственном положении пластов и горных выработок проекцию на вертикальную плоскость используют совместно с планом основных выработок (откаточного горизонта), а также с разрезами вертикальными (вкрест простирания) и горизонтальными.

Все указанные чертежи располагают на стандартно оформленных планшетах.

Проекция на наклонную плоскость является также ортогональной проекцией. Она применяется при наклонном падении и спокойном залегании пластов.

Картинную плоскость располагают параллельно пластам, т. е. задают ей угол падения, равный среднему углу падения пластов, и дирекционный угол направления простирания, равный среднему углу простирания пластов. В результате получают изображение в новой системе координат, расположенной в наклонной плоскости.

Для нанесения на чертеж пунктов опорных и съемочных маркшейдерских сетей их координаты перевычисляют в новую систему координат. Подробности переносят графически, используя нанесенные пункты и материалы съемок. Проекция на наклонную плоскость используют совместно с вертикальными разрезами вкрест простирания пластов.

Разрез представляет собой изображение деталей объекта, находящегося в секущей плоскости. Детали, находящиеся перед плоскостью или за ней, на разрезе не показывают вовсе или показывают пунктирными линиями.

Секущую плоскость чаще всего располагают вертикально или горизонтально. Так, при изучении геологического строения недр строят вертикальные разрезы, ориентированные вкрест простирания залежей, слоев, свит или же приуроченные к разведочным линиям, по которым расположены разведочные скважины. Строят также горизонтальные разрезы, приуроченные к какому-либо горизонту ведения горных работ, получая геологическую карту данного горизонта.

При изучении процесса сдвижения горных пород строят вертикальные разрезы по профильным линиям, закрепленным на земной поверхности реперами.

Для иллюстрации сечения, вида крепи горной выработки и вмещающих пород строят вертикальные разрезы, ориентированные вдоль оси выработки или перпендикулярно к ней.

Разрез строят, используя план и отметки объектов, помещенных на плане. Построение облегчается благодаря высотной сетке, которая представляет собой тонкие (0,1 мм) горизонтальные линии, прочерченные синей тушью через равные расстояния.

Профиль представляет собой изображение контура объекта в вертикальном сечении. Секущая плоскость располагается вдоль продольной оси объекта. Если объект имеет на плане сложную конфигурацию, то секущая плоскость может быть ломаной.

Профили строят в основном для вытянутых объектов и элементов — рельсовых путей, конвейеров, почвы и кровли выработок, стенок и элементов армировки шахтного ствола, колонн каркасных сооружений, стен башенных копров. Назначение профилей — установить отклонения фактического пространственного положения объекта от проектного.

При построении профилей масштаб в поперечном направлении принимают, как правило, в 10 раз крупнее масштаба в продольном (вдоль вытянутости объекта) направлении. Наибольшее число профилей на шахте строят по рельсовым путям горных выработок.

§ 104. Состав обязательной горной графической документации

Горная графическая документация на предприятии может быть разделена на пять комплектов:

- 1) чертежей земной поверхности;
- 2) чертежей горных выработок;

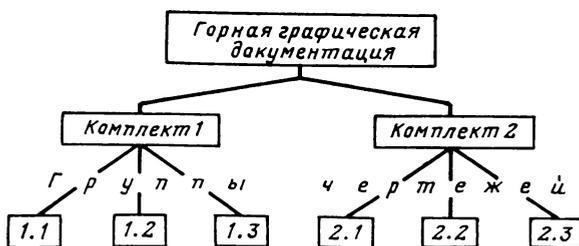


Рис. 137. Обязательная горная графическая документация:

1.1 — группа чертежей, отражающих рельеф и ситуацию земной поверхности; 1.2 — то же, отражающих обеспеченность горного предприятия пунктами маркшейдерской опорной и съемочной сетей; 1.3 — то же, отводов горного предприятия; 2.1 — то же, отражающих вскрытие, подготовку и разработку месторождения; 2.2 — то же, показывающих капитальные горные выработки и транспортные пути в них; 2.3 — то же, отражающих расчет предохранительных и барьерных целиков

- 3) горно-геологических и горно-геометрических чертежей;
- 4) производственно-технических чертежей;
- 5) чертежей для планирования и управления горными работами.

Изготовление чертежей комплектов 1 и 2 является обязательным для каждого горного предприятия. Состав этих комплектов, масштабы и содержание чертежей регламентируются Технической инструкцией по производству маркшейдерских работ.

В каждый из указанных двух комплектов входят по три группы чертежей (рис. 137). Каждая группа состоит из нескольких чертежей.

§ 105. Горная графическая документация, передаваемая при сдаче шахты в эксплуатацию

В § 66 дан перечень графической документации, которую проектная организация передает дирекции строящегося предприятия еще до начала строительства. В процессе строительства многие чертежи устаревают, другие, например рабочие чертежи зданий, теряют практическую ценность.

В связи с этим маркшейдерская и геологическая служба строящегося предприятия составляют новую графическую документацию, которую при сдаче шахты в эксплуатацию передают дирекции горнодобывающего предприятия. Комплект передаваемой горной графической документации включает следующие чертежи:

1. Планы земной поверхности территории экономической заинтересованности шахты, планы поселка, промышленной площадки, подземных коммуникаций, картограмму расположения планшето́в земной поверхности.

2. План расположения пунктов опорных, съемочных и разбивочных сетей, осевых пунктов на земной поверхности. Схемы конструкции пунктов и реперов, их привязки к элементам ситуации. Планы расположения пунктов подземных маркшейдерских опорных и съемочных сетей.

3. Геологическую карту, планы, разрезы, структурные колонки по скважинам, гипсометрические, сортовые и качественные планы, планы и разрезы к подсчету запасов.

4. Гидрогеологическую карту и разрезы к ней.

5. Разрезы по горным выработкам, журналы проходки шахтных стволов.

6. Планы горных выработок, в том числе планы выработка околоствольного двора. План вскрытия шахтного поля и разрезы к нему.

7. Профили стенок и элементов армировки шахтных стволов, рельсовых путей транспортных выработок.

8. Чертежи горных и земельных отводов.

9. Чертежи барьерных и предохранительных целиков.

Перечисленная графическая документация служит основой для формирования в дальнейшем обязательных комплектов 1 и 2 (см. § 104) и остальных комплектов горной графической документации.

§ 106. Исходная, производная и обменная графическая документация

По способу изготовления горную графическую документацию делят на исходную и производную.

Исходные чертежи составляют по результатам съемки. При составлении чертежей используют первичную и вычислительную документацию.

Исходные чертежи составляют на ватманской бумаге. Для того, чтобы бумага не деформировалась, ее наклеивают на жесткую (листы алюминия, фанеры) или мягкую (картон, ткань) основу.

Изготовление исходных чертежей на прозрачной основе (пленке) избавляет маркшейдерскую службу от необходимости снимать с них кальки при размножении.

Производные чертежи служат основой для решения многих текущих инженерно-технических задач горного производства. Их получают репродуцированием (размножением) или уменьшением исходных чертежей. Затем на репродукции (копии) наносят дополнительное содержание, которое необходимо для решения тех или иных конкретных вопросов.

Так, план развития горных работ является производным чертежом. Для его изготовления снимают копии с плана горных выработок, наносят на копию ожидаемое на начало планируемого периода положение забоев. От ожидаемого положения наносят плановое подвигание (на планируемый период) забоев, получая план развития горных работ.

Производными чертежами являются также план вентиляции, план ликвидации аварии и т. д.

Производные чертежи выполняют на листах любого стандартного формата, не придерживаясь планшетной системы. Основой для их изготовления являются калька, светочувствительная бумага, синтетические материалы.

Обменная графическая документация представляет собой особую группу чертежей, состав которой определяет вышестоящая организация. Обменная документация является графической иллюстрацией к отчетности горного предприятия о выполнении плана развития горных работ.

Чертежи обменной документации являются производными. Они отражают современное состояние горных работ, т. е. современное положение всех подготовительных, нарезных и очистных забоев.

Состав обменной графической документации должен быть таким, чтобы по нему можно было судить о состоянии всех горных работ. Маркшейдерский отдел изготавливает комплект

обменной документации и направляет его в производственное объединение (министерство, горнотехническую инспекцию, горноспасательную часть). По прошествии определенного времени (месяца, квартала, полугодия) отдел изготавливает новый комплект, на чертежах которого показано новое положение забоев (т. е. пополненный комплект), и направляет его в указанные организации. Эти организации, получив пополненный комплект, направляют на предприятие устаревший комплект для пополнения. Периодичность представления пополненной документации устанавливает вышестоящая организация.

Учет маркшейдерской документации состоит в регистрации каждого нового документа и периодической проверке его наличия и состояния.

Хранение маркшейдерской документации организуют непосредственно на горном предприятии в специально для этого отведенном помещении, которое оборудуют сейфами, шкафами, столами для работы с графической документацией, светостолом и столом для пантографирования.

Первичную документацию хранят в рабочих столах, конторских и книжных шкафах, вычислительную — в несгораемых шкафах и сейфах.

Исходные чертежи не сворачивают и не складывают. Их хранят в несгораемых шкафах или сейфах в горизонтальном положении на плоскости или в вертикальном положении в кассетах. Пользование исходными чертежами разрешается только в маркшейдерском отделе.

Производные чертежи складывают по формату 210×297 мм так, чтобы названия их находились сверху.

§ 107. Задачи, решаемые на чертежах горной графической документации

В § 101 даны примеры решения отдельных задач на чертежах горно-геометрической графической документации. Но на плане горных выработок, например, наряду с горными выработками, некоторыми объектами земной поверхности, пунктами маркшейдерских сетей и реперами изображают также и геологическую ситуацию, которая имеется на горно-геометрических чертежах. На плане горных выработок есть изогипсы почвы пласта, углы его падения, структурные колонки пласта в каждой лаве, элементы залегания дизъюнктивных нарушений и т. д. Поэтому на плане горных выработок можно решать и задачи, приведенные в § 101, и ряд других задач.

Рассмотрим методы решения некоторых задач, расположив их в порядке возрастания сложности.

Задачи, решаемые на плане земной поверхности. Имеется план участка земной поверхности, представленный в горизонталях (рис. 138, а). Высота h сечения рельефа равна 1 м. По положению цифр на горизонтали с отметкой 150 м и направлению берг-штриха можно установить, что отметки земной поверхности на данном участке изменяются от 147 до 154 м.

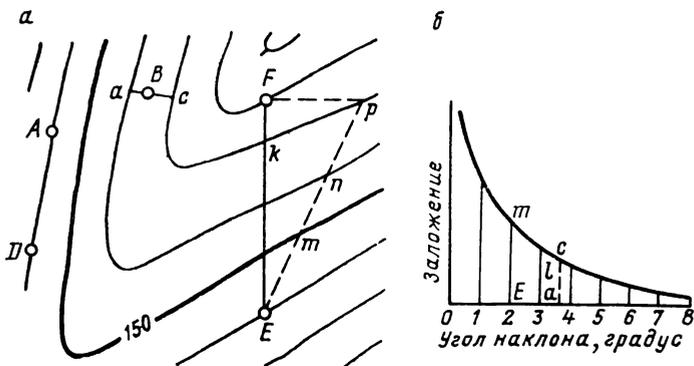


Рис. 138. Решение задач на плане земной поверхности

Задача 1. Определить отметки точек A и B .

Точка A лежит на горизонтали с отметкой 149 м, поэтому отметка точки A равна 149 м. Точка B лежит между горизонталями с отметками 151 и 152 м. Ее отметку можно вычислить из выражения

$$H_B = 151 + h \frac{aB}{ac}.$$

Если длина aB составляет 0,3 заложения ac , то

$$H_B = 151 + 1,0 \cdot 0,3 = 151,3 \text{ м.}$$

Задача 2. Определить плановые координаты x_A и y_A точки A .

Из точки A опускают перпендикуляры на линии сетки координат (на рис. 138, *а* сетка не показана), получают проекции a_x и a_y точки A на левой и нижней сторонах квадрата сетки. Измеряют циркулем-измерителем расстояния l_x и l_y от левого нижнего угла квадрата до точек a_x и a_y . Координаты точки A вычисляют из выражений

$$x_A = x_0 + l_x M; \quad y_A = y_0 + l_y M,$$

где x_0, y_0 — координаты левого нижнего угла квадрата сетки; M — знаменатель масштаба плана.

Задача 3. Определить расстояние L между точками A и D на местности.

Точки A и D лежат на одной горизонтали, следовательно, линия AD горизонтальна. Измеряют расстояние l между точками A и D на плане и умножают его на знаменатель M масштаба, т. е. $L = lM$.

Задача 4. Определить угол наклона местности между точками a и c .

Аналогичная задача решалась в § 101 (см. рис. 136) применительно к поверхности почвы пласта.

Для решения подобных задач предварительно строят график заложений (рис. 138, *б*): на горизонтальной прямой через равные интервалы откладывают углы наклона местности — 1, 2, 3° и т. д. Из этих точек восстанавливают перпендикуляры и откладывают на каждом из них отрезок, равный заложению l горизонталей для соответствующего угла δ наклона местности при заданной высоте h сечения рельефа. Отрезки l можно найти графически (см. рис. 136, *б*, заложение bc для $\delta = 52^\circ$ при высоте сечения h) или аналитически из выражения

$$l = h / \text{tg } \delta.$$

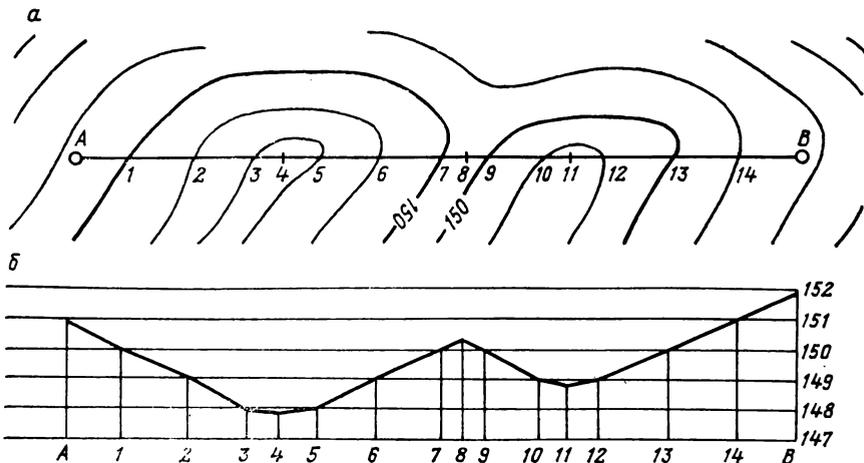


Рис. 139. Построение профиля рельефа земной поверхности

Соединив концы отрезков плавной кривой, получим график заложений. Такой график заложений можно построить не только для углов наклона местности, но и для уклонов.

Угол наклона местности определяют при помощи графика заложений следующим образом. На плане (см. рис. 138, а) измеряют циркулем-измерителем расстояние ac . Сохранив этот раствор циркуля, ставят одну его ножку на горизонтальную линию графика заложений и ведут по ней до тех пор, пока вторая ножка циркуля не пересечет кривую графика в точке c (см. рис. 138, б). Положение точки a на горизонтальной линии графика свидетельствует о том, что на интервале ac местность имеет угол наклона, равный $3^{\circ}40'$.

Задача 5. Между точками E и F наметить по кратчайшему расстоянию дорожку так, чтобы угол ее наклона не превышал 2° .

Если точки E и F соединить прямой, то это расстояние будет кратчайшим. Однако при помощи графика заложений нетрудно убедиться, что угол наклона, например, между точками F и k равен 4° . На других интервалах (между соседними горизонталями) он тоже более 2° .

Для решения задачи на графике заложений измеряют заложение Em , соответствующее углу 2° , установив ножку циркуля в точке E плана, прочерчивают дугу радиусом, равным Em , до пересечения с горизонталью 150 м. Установив ножку циркуля в точке m , тем же радиусом прочерчивают новую дугу, получая точку n . Так же находят точку p . Соединяя точки E, m, n, p, F плавной пунктирной линией, получают трассу, угол наклона которой равен 2° на всем протяжении между точками E и p и несколько меньше 2° между точками p и F .

Задача 6. Построить профиль рельефа земной поверхности по заданному направлению между точками A и B (рис. 139, а), если рельеф представлен горизонталями.

Для построения профиля вычерчивают высотную сетку (рис. 139, б) так, чтобы младшая линия сетки была ниже самой нижней точки рельефа на отрезке AB , старшая — выше самой верхней точки. Расстояние между линиями сетки принимают равным высоте сечения рельефа.

На плане отмечают точки 1, 2, 3, ..., 14 пересечения линии AB с горизонталями, а также точки 4 и 8 перегиба рельефа и переносят их на нижнюю (младшую) линию сетки. Откладывают от них вверх расстояния, равные превышению точек над нижней линией сетки. Соединив полученные точки ломаной линией, получают профиль рельефа.

Задачи, решаемые на плане горных выработок

Задача 7. Определить координаты забоя горной выработки.

Плановые координаты x и y забоя находят так же, как координаты точки A в задаче 2. Отметку H_3 рельсовых путей у забоя определяют по проектному уклону i , ближайшей нанесенной на план отметке H_0 рельсовых путей и расстоянию L от этой точки с известной отметкой до забоя, т. е.

$$H_3 = H_0 + iL.$$

Задача 8. Определить месячное подвигание лавы.

По плану горных выработок измеряют подвигание l_B верхней точки и l_H нижней точки лавы. Умножая эти величины на знаменатель M масштаба, определяют их истинные значения:

$$L_B = l_B M;$$

$$L_H = l_H M.$$

Подвигание L лавы находят как среднеарифметическое

$$L = (L_B + L_H)/2.$$

Задача 9. Определить месячное подвигание забоя выработки.

На плане измеряют расстояние l между точками, показывающими положение забоя выработки на начало и конец месяца. Умножая l на знаменатель масштаба M , определяют месячное подвигание $L = lM$.

Если выработка наклонная (что видно по ее положению относительно изогипс пласта), то произведение делят на косинус угла наклона:

$$L = lM/\cos \delta.$$

Задача 10. Определить проектное направление горной выработки.

Если выработку необходимо провести по направлению простирания, падения или восстания пласта, то на плане чертят ее положение, используя гипсометрию пласта (см. рис. 136). Выбирают точку пересечения проектируемой выработки с одной из линий сетки координат, параллельных оси x . Если такой точки нет, то через любую точку выработки проводят прямую, параллельную оси x . Затем от ее северного направления по ходу часовой стрелки измеряют проектный дирекционный угол выработки.

Если выработка должна быть проведена между двумя фиксированными точками, находящимися в существующих выработках, то определяют координаты этих точек (задача 7). Затем вычисляют проектные данные — дирекционный угол, длину и уклон (угол наклона) выработки в соответствии с методикой, описанной в § 95.

Задача 11. Определить месячную добычу из очистного забоя.

По среднему подвиганию L (задача 8) и средней длине d лавы определяют площадь S месячной выемки

$$S = Ld.$$

Площадь S может быть определена также при помощи планиметра. Тогда ее истинное значение определяют делением измеренного значения на косинус угла падения пласта. Зная среднюю рабочую мощность m пласта в месячном выемочном контуре, определяют объем вынутого угля

$$V = Sm.$$

Добычу получим, умножив объем на плотность γ угля в массиве:

$$Q = V\gamma.$$

Задача 12. Определить потери угля в целике.

Определяют площадь целика или перемножая его длину на ширину, или измеряя ее планиметром. Затем по аналогии с задачей 11 определяют объем целика и запасы угля в нем, относя эти запасы в потери.

Задача 13. Определить попутную добычу угля при проведении подготовительной выработки.

Определяют месячное проведение выработки (задача 9), умножают его на ширину забоя по углю, равную суммарной ширине угольного забоя в выработке и расколке, и на среднюю мощность пласта. Умножив полученный объем вынутого угля на его плотность, получают величину попутной добычи.

ГЛАВА XXII

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРНЫХ РАБОТ

§ 108. Общие сведения

Горные породы в массиве находятся в состоянии равновесия. Вес налегающих пород воспринимается нижележащими породами. В результате ведения горных работ в недрах образуются пустоты. Вес налегающих пород перераспределяется. Породы, непосредственно прилегающие к пустотам, теряют опору и ведут себя как нагруженная балка, заделанная по концам. Они прогибаются, растрескиваются и обрушаются в выработанное пространство. В процесс деформаций и сдвижения вовлекаются новые слои вышележащих пород.

При определенных размерах выработанного пространства процесс сдвижения достигает земной поверхности. Последняя деформируется, проседает, образуя пологую впадину, называемую мульдой сдвижения. Деформации (прогиб, растяжение, сжатие) в ряде случаев сопровождаются появлением трещин, воронок и провалов на земной поверхности.

Ведение горных работ под какими-либо объектами, находящимися на земной поверхности или в толще вышележащих пород, называется подработкой этих объектов. Подработка может вызвать критические деформации промышленных зданий и сооружений, жилых домов, коммуникаций.

Большую опасность для ведения горных работ представляет подработка водных объектов — рек, озер, водохранилищ. Вода может по трещинам, образованным вследствие подработки, проникнуть в горные выработки. Неправильное ведение горных работ открытым способом может вызвать оползни уступов и бортов карьера (разреза), полностью парализующие все работы. Подработка вышележащего пласта может вызвать такое уменьшение несущей способности вмещающих его пород, которое сделает отработку этого пласта невозможной.

Зона сдвижения — это часть пространства недр, внутри которой горные породы испытывают деформации и сдвижение, вызванные подработкой.

Угол сдвига — это угол наклона линии, соединяющей границы мульды сдвига с границами выработанного пространства. Углы сдвига определяют на разрезах по простиранию и вкрест простирания пласта (рис. 140).

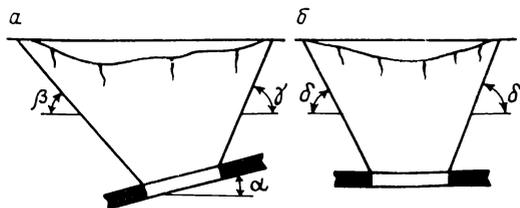


Рис. 140. Зоны и углы сдвига на разрезах: а — вкрест простирания; б — по простиранию

Они имеют постоянные общепринятые обозначения: на разрезе вкрест простирания β — в сторону падения, γ — в сторону восстания; на разрезе по простиранию δ — в обе стороны. Углы β , γ и δ не равны друг другу, оба угла δ одинаковы. Углы сдвига в наносах равны на любом вертикальном разрезе.

§ 109. Факторы, влияющие на процесс сдвига

На продолжительность процесса сдвига, величину углов сдвига, форму и глубину мульды сдвига влияют различные геологические и горно-эксплуатационные факторы.

1. *Глубина H залегания пласта и вынимаемая мощность t* являются наиболее важными факторами. Величина $K = H/t$ называется кратностью. С увеличением кратности K , т. е. с увеличением глубины H и уменьшением вынимаемой мощности t , уменьшаются деформации и оседания земной поверхности. Глубина, при которой горные работы практически не влияют на состояние объектов, находящихся на земной поверхности, называется безопасной глубиной разработки.

2. *Физико-механические свойства и чередуемость коренных пород* оказывают влияние на процесс сдвига, на величину углов сдвига и на характер деформаций земной поверхности. В слабых породах процесс сдвига протекает более плавно и быстро; крепкие породы прогибаются, зависают и затем резко обрушаются. В слабых породах углы сдвига положе, чем в крепких.

3. *Угол α падения пласта* влияет на величину углов сдвига в коренных породах и на характер деформаций земной поверхности. В большинстве случаев угол β является дополнением угла α до 90° , т. е.

$$\beta = 90^\circ - \alpha.$$

4. *Мощность наносов* влияет на характер деформаций земной поверхности. Наносы представляют собой рыхлые отложения, частицы в них слабо сцементированы. Поэтому процесс сдвига в наносах отличается плавностью и равномер-

ностью. Наносы смягчают сдвигание, уменьшают деформации, вызываемые сдвижением коренных пород. Чем больше мощность наносов, тем меньше трещин возникает на земной поверхности и тем более плавными являются борта мульды сдвига.

5. *Степень нарушенности пород* влияет на скорость процесса сдвига, величину углов сдвига, характер деформаций земной поверхности. Трещины отдельностей (естественные и вызванные горными работами), кливаж, поверхности смещения дизъюнктивных нарушений, поверхности напластования в замковой части складок являются поверхностями ослабления массива. Они ускоряют процесс сдвига, выполаживают углы сдвига. При интенсивной нарушенности массива в процессе сдвига преобладает обрушение.

6. *Гидрогеологические условия* оказывают влияние на величину углов сдвига в слабых породах. При большой обводненности углы сдвига в слабых породах выполаживаются. Обводненность может оказывать существенное влияние на устойчивость бортов карьеров (разрезов), особенно при наличии тектонических нарушений.

7. *Горно-технологические факторы* — система разработки, способ управления горным давлением, полнота выемки, направление и скорость подвигания очистных забоев — влияют на скорость и равномерность процесса сдвига, характер деформаций и сдвига земной поверхности и находящихся на ней объектов.

Применение сплошной системы разработки с обрушением кровли, особенно с выемкой от границ к центру шахтного поля без оставления целиков, способствует плавному течению процесса сдвига пород и оседания земной поверхности.

Оставление целиков вызывает неравномерность сдвига и деформаций и неблагоприятно сказывается на подрабатываемых объектах. Бутовые полосы практически не уменьшают величину сдвига земной поверхности. Более действенным средством является полная закладка выработанного пространства. В этом случае сдвигание происходит лишь из-за усадки закладочного материала.

При небольшой глубине разработки скорость сдвига находится в прямой зависимости от скорости подвигания забоя.

§ 110. Изучение процесса сдвига горных пород и земной поверхности

Процесс сдвига изучают методами натурных наблюдений, моделирования и теоретических исследований. Целью изучения является количественная оценка влияния различных факторов на характер и продолжительность процесса сдвига, установление величины углов сдвига. Из-за разнообразия условий залегания и горно-технологических факторов

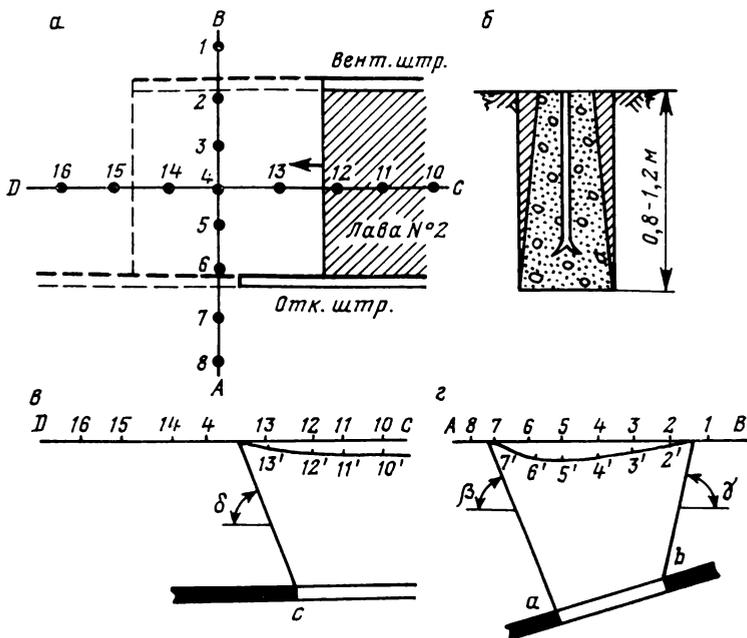


Рис. 141. Схема наблюдательной станции

углы сдвижения на различных месторождениях отличаются друг от друга. Однако для однотипных условий можно производить некоторые обобщения. Значения углов сдвижения, установленные для конкретных условий, используют при построении предохранительных целиков под объектами.

Натурные инструментальные наблюдения производят на наблюдательных станциях. Наблюдательная станция представляет собой систему реперов, расположенных по профильным линиям. Профильные линии ориентируют по простиранию и вкрест простирания пласта (рис. 141, а). Глубина заложения бетонных реперов больше глубины сезонного промерзания (оттаивания) грунтов (рис. 141, б).

Каждая профильная линия состоит из рабочей части, находящейся в зоне подработки, т. е. в пределах мульды сдвижения, и опорной части, находящейся вне зоны подработки. Смещение рабочих реперов измеряют относительно опорных реперов.

Для определения горизонтальных смещений измеряют расстояния между реперами металлической компарированной рулеткой. При помощи теодолита определяют смещение реперов относительно створов профильных линий. Вертикальные смещения (оседания) устанавливают геометрическим нивелиро-

ванием реперов. Во время наблюдений производят зарисовки трещин, разломов, провалов, устанавливают их положение относительно реперов ординатной или тахеометрической съемкой. При производстве каждого наблюдения фиксируют положение очистного забоя.

Наблюдения производят периодически до полного прекращения процесса сдвижения. Периодичность наблюдений находится в прямой зависимости от скорости протекания процесса сдвижения.

Для определения величины углов сдвижения строят вертикальные разрезы по простиранию и вкрест простирания (рис. 141, *в, г*). По горизонтальным расстояниям и абсолютным отметкам наносят точки 1, 2, ..., 8, показывающие положение реперов до подработки, и точки 2', 3', ..., 7', показывающие положение тех же реперов после подработки. Соединяя точки, получают профиль земной поверхности до подработки и профиль мульды сдвижения. Наносят также угольный пласт и границы *a* и *b* выработанного пространства на разрезе вкрест простирания и положение *c* очистного забоя на разрезе по простиранию.

Точками, лежащими на границе мульды сдвижения, считают точки, в которых вертикальное смещение не превосходит некоторой заданной величины (для Донбасса 30 мм). Такими точками на рис. 141 являются точки 1 и 8. Соединяют эти точки соответственно с точками *a*, *b*, *c* прямыми линиями. Углы наклона этих линий представляют собой углы сдвижения β , γ , δ . Эти углы измеряют на разрезах транспортом. Значения углов сдвижения в угольных бассейнах колеблются в широких пределах: β и γ — от 55 до 90°, δ — от 55 до 85°.

§ 111. Меры охраны сооружений от вредного влияния горных работ

В результате изучения процесса сдвижения разрабатывают правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ для данного месторождения или бассейна. Объекты поверхности в зависимости от их назначения, конструктивных особенностей и степени влияния на них горных работ делят на несколько категорий охраны. Так, в Подмосковном бассейне имеется три категории охраны, в Кузбассе — четыре, в Донбассе — семь.

К I категории охраны относят объекты, наиболее чувствительные к деформациям земной поверхности, ко II категории — менее чувствительные и т. д.

Меры охраны сооружений от вредного влияния горных работ различны. Для уменьшения деформаций объекта принимают наиболее выгодный порядок отработки пласта. Так, оседание поверхности будет плавным и сооружение будет претерпевать минимальные деформации, если под этим сооружением

провести разрезную печь и потом вести очистные работы в обе стороны от печи с одинаковой скоростью.

Для того чтобы подрабатываемые здания не разрушились, на период прохождения под ними очистных забоев усиливают их отдельные конструктивные элементы, ведут специальные строительные работы. Здания временно не эксплуатируют, затем производят послеосадочный ремонт. Хорошего эффекта достигают применением полной закладки выработанного пространства. Наиболее радикальной мерой защиты объекта является оставление под ним предохранительного целика. Но если другие меры охраны связаны с дополнительными затратами на ведение горных работ, то оставление целиков приводит к консервации большого количества разведанных и вскрытых запасов угля.

Меры охраны принимают лишь в том случае, когда глубина залегания угольного пласта под подрабатываемым объектом меньше безопасной глубины H_6 , вычисляемой по формуле

$$H_6 = mk_6,$$

где m — вынимаемая мощность; k_6 — коэффициент безопасности.

Значения коэффициента безопасности даются в правилах охраны сооружений применительно к различным категориям охраны.

§ 112. Расчет предохранительных целиков

При расчете предохранительных целиков руководствуются установленными для данного месторождения или бассейна значениями углов сдвижения в коренных породах и наносах.

Завышение размеров целика против достаточных ведет к консервации или потерям излишних запасов угля. Недостаточные размеры целика против необходимых могут привести к последствиям, худшим, чем при работе без оставления целика. В этом случае охраняемый объект может оказаться на борту мульды сдвижения, и деформации его будут максимальными. Поэтому при расчете целиков стремятся к тому, чтобы размеры их были необходимыми и достаточными.

Значения углов сдвижения определяют с погрешностью 2—5°. Процесс сдвижения в данном конкретном случае может отклониться от предполагаемой нормы вследствие влияния каких-либо горно-геологических факторов. Поэтому при построении целиков предусматривают создание некоторого запаса прочности. Такой запас прочности создают посредством введения в расчет бермы — полосы вокруг охраняемого объекта. Целик строят под площадью, охватывающей объект и берму.

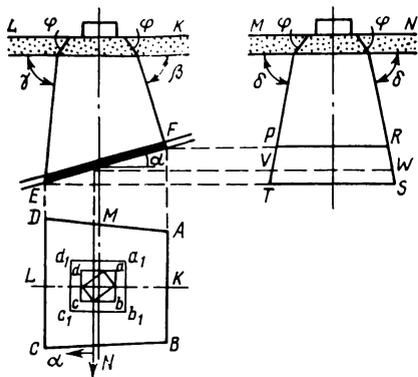


Рис. 142. К расчету целика под зданием

его стены не параллельны направлениям падения и простирания пласта, то вокруг здания описывают прямоугольник $abcd$, стороны которого параллельны указанным направлениям. От каждой стороны откладывают расстояние, равное ширине бермы, соответствующей категории охраны данного здания, и чертят прямоугольник $a_1b_1c_1d_1$, под которым и строят целик.

Строят вертикальные разрезы, на которых изображают профиль земной поверхности, контуры здания, ширину бермы, профиль почвы наносов. На разрезе вкрест простирания под центром здания откладывают глубину залегания пласта и, используя угол α падения пласта, изображают профиль почвы и кровли пласта.

От внешних границ бермы на обоих разрезах под углом наклона, равным углу сдвижения φ в наносах, проводят линии до пересечения их с профилем почвы наносов. Из полученных точек проводят линии с углами наклона: на разрезе вкрест простирания — γ в сторону падения и β — в сторону восстания пласта; на разрезе по простиранию — δ в обе стороны.

Полученные точки E и F пересечения указанных линий с пластом проектируют на разрез по простиранию и на план. На разрезе по простиранию получают вершины P, R, S, T целика. Отложив на плане от точек K и L осевой линии в обе стороны расстояния, равные половине расстояний PR и ST , получают вершины A, B, C, D целика. Соединив вершины, устанавливают контуры целика на разрезе по простиранию и на плане.

В случае, когда нижняя часть целика имеет глубину, большую безопасной глубины H_6 , нижнюю границу целика проводят не по линии DC (и ST), а по линии MN (и VW), глубина которой равна H_6 . Расчет целика завершают подсчетом запасов угля в его контурах.

Ширина бермы для Донбасса: для объектов I категории охраны — 20 м, II категории — 15 м, III и IV категорий — 10 м, V и VI категорий — 5 м.

Наиболее распространенным способом расчета целиков является способ вертикальных разрезов по падению и простиранию пласта. При этом способе используют также план. План и разрезы выполняют в одном масштабе.

Расчет целика под зданием. На плане изображают здание (рис. 142). Если

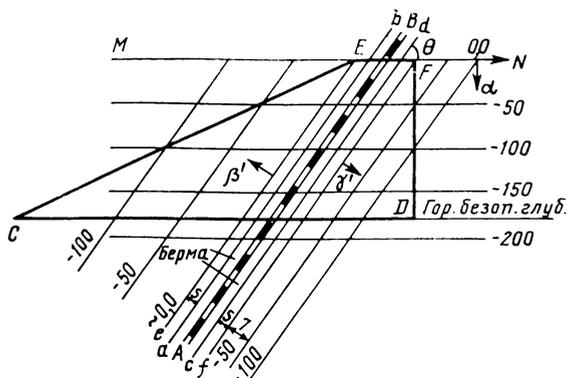


Рис. 143. Построение целика под железной дорогой

Во многих случаях целики строят не под отдельными зданиями, а под группой зданий и сооружений, например, под промышленной площадкой. В этих случаях контур $abcd$ строят для всей группы зданий. Он может иметь более сложную форму, но все его стороны должны быть параллельны направлению падения и простираения пласта.

Расчет целика под вертикальным стволом. Если глубина залегания пласта меньше безопасной глубины H_6 , то строят один общий целик для охраны ствола, копра, здания подъемной машины и других надшахтных сооружений и зданий. Строят прямоугольный контур, охватывающий охраняемые здания и сооружения. Откладывают берму, ширина которой около каждой стороны контура зависит от категории охраны объектов, прилегающих к данной стороне. Под полученной таким образом охраняемой площадью строят целик по методике, описанной выше.

Если глубина залегания пласта больше безопасной, то целик строят под охраняемую площадку, включающую в себя ствол, копер и здание подъемной машины, т. е. под указанными объектами целики строят без учета безопасной глубины. Методика построения целика та же.

Расчет целика под вытянутым объектом. Под дорогами, трубопроводами и другими вытянутыми объектами целики рассчитывают, применяя проекции с числовыми отметками.

На плане (рис. 143) вычерчивают охраняемый объект (железную дорогу AB), линию MN выхода пласта под наносы, изогипсы почвы пласта с высотой сечения 50 м, линию горизонта безопасной глубины.

В обе стороны от железной дороги откладывают ширину бермы, получая охраняемую площадь, ограниченную прямыми

ab и cd . Плоскости сдвижения в наносах имеют угол падения φ (т. е. угол сдвижения в наносах). Для определения линий eE и fF пересечения этих плоскостей с почвой наносов от границ бермы откладывают расстояние s , определяемое по формуле

$$s = h \operatorname{ctg} \varphi,$$

где h — мощность наносов.

Поскольку железная дорога расположена под косым углом θ к направлению простирания пласта, углы сдвижения в коренных породах на вертикальных разрезах, перпендикулярных к дороге, отличаются от углов β и γ . Эти углы можно вычислить по формулам:

$$\operatorname{ctg} \beta' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \beta \cos^2 \theta + \operatorname{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta};$$

$$\operatorname{ctg} \gamma' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \gamma \cos^2 \theta + \operatorname{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta}.$$

От линий eE и fF строят плоскости под углами падения β' и γ' , изображая их изогипсами с высотой сечения 50 м. Линии EC и DF пересечения указанных плоскостей с плоскостью пласта представляют собой контуры целика. Линии пересечения плоскостей проводят через точки пересечения одноименных изогипс.

Верхней границей EF целика является линия выхода пласта под наносы или, если нет наносов, — выхода на поверхность. Нижней границей CD является горизонт безопасной глубины.

Целики рассчитывает маркшейдерская служба предприятия, затем их утверждает районная инспекция Госгортехнадзора (РГТИ). Границы утвержденных целиков наносят на план горных выработок красной тушью. Вдоль границ надписывают название РГТИ, дату утверждения целика.

Ведение в целике очистных работ или нарушение целика отдельной горной выработкой могут вызвать деформации охраняемого объекта. Ведение в пределах целика каких бы то ни было горных работ возможно только с письменного разрешения РГТИ, утвердившей предохранительный целик.

ГЛАВА XXIII

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДР

Под рациональным использованием недр понимают максимальное извлечение полезных ископаемых из недр с наименьшим разубоживанием и с наименьшими затратами на добычу, транспортирование и переработку добытых полезных ископаемых. Чтобы использование недр было рациональным, запасами управляют.

Управление запасами полезного ископаемого в недрах — это комплекс работ, включающий: изучение месторождения по данным геологической разведки; определение количества запасов в недрах; разработку нормативов, регулирующих плановую разведку, подготовку и разработку месторождения, полноту и качество отработки запасов; определение и учет соответствующих фактических показателей.

§ 113. Классификация запасов

В СССР все богатства недр являются государственной собственностью, т. е. всенародным достоянием. Недра предоставляются предприятиям лишь во временное пользование. Предприятия, эксплуатирующие недра, обязаны соблюдать условия, направленные на полное и комплексное использование недр и охрану природных и искусственных объектов на земной поверхности, охрану воздуха, земельных, лесных и водных угодий.

Балансовые запасы — это часть общих запасов полезного ископаемого в данном месторождении, отработка которых экономически целесообразна при современном уровне развития техники и технологии горных работ и обогащения.

Забалансовые запасы — это часть общих запасов полезного ископаемого в данном месторождении, отработка которых экономически нецелесообразна вследствие малой мощности пластов, низкого качества полезного ископаемого, малого количества запасов, недостаточного развития географического района (отсутствия дорог, электроэнергии) и т. д.

Балансовые и забалансовые запасы, разведанные и подсчитанные геологоразведочной организацией, утверждаются Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ). На основании балансовых запасов проектная организация проектирует горное предприятие. По проекту часть балансовых запасов включают в предохранительные целики и барьерные целики у границ шахтного поля. Такие запасы безвозвратно теряются в недрах, их называют проектными потерями. Если из балансовых запасов вычесть проектные потери, то останутся запасы, подлежащие отработке. Такие запасы называют промышленными запасами.

По степени разведанности запасы твердых полезных ископаемых делят на запасы разведанные (категории А, В, С₁), предварительно оцененные (категория С₂), а также прогнозны ресурсы (категории Р₁, Р₂, Р₃).

К категории А относят запасы, разведанные скважинами и горными выработками и изученные с максимально возможной степенью. Выявлены элементы залегания пластов, гидрогеологические условия. Установлено пространственное размещение промышленных сортов (технологических групп и марок) полезного ископаемого. Технология переработки полезного

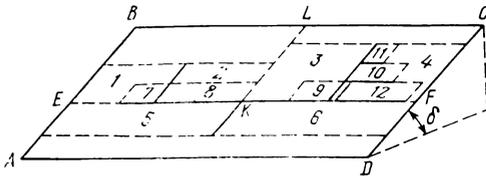


Рис. 144. Вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы

ископаемого установлена на основе промышленного использования. Выявлены горно-геологические условия, определяющие технологию ведения горных работ. К категории *B* относят запасы, разведанные скважинами и отдельными

выработками. Установлены условия залегания, а также в общих чертах гидрогеологические условия и условия разработки. Выявлено наличие различных промышленных сортов, но размещение их в пространстве известно приближенно. Степень изученности технологических свойств полезного ископаемого позволяет выбрать технологическую схему его переработки.

К категории C_1 относят запасы, примыкающие к запасам более высоких категорий (*A* и *B*) и разведанные редкой сетью скважин и отдельными горными выработками. Условия залегания, разработки, наличие и размещение промышленных сортов, их технологические свойства установлены в самом общем виде.

К категории C_2 относят запасы, примыкающие к запасам более высоких категорий и предполагаемые на основе геологических обобщений, прогнозов, геофизической разведки и опробования в отдельных скважинах. Технологию переработки предполагают по аналогии с другими месторождениями данного типа или с другими пластами данного месторождения.

Более коротко можно сказать, что к категории *A* относят запасы реальные, к категории *B* — вероятные, к категориям C_1 и C_2 — возможные.

Прогнозные ресурсы учитывают возможность прироста запасов за счет расширения площадей распространения пластов за контуры подсчета запасов по категории C_2 , дополнительного выявления новых пластов на разведываемых месторождениях, дополнительного обнаружения новых месторождений в данном бассейне.

Для каждой отрасли горнодобывающей промышленности, в том числе для угольной, разработаны инструкции по применению классификации запасов. В инструкциях конкретизируются требования, которые предъявляют к запасам для того, чтобы отнести их к той или иной категории по степени разведанности.

По степени подготовленности к добыче запасы делят при подземной разработке на вскрытые, подготовленные и готовые к выемке.

Вскрытыми называются запасы из числа промышленных, для отработки которых не требуется проведения дополнительных вскрывающих (капитальных) выработок — стволов, капи-

тальных квершлагов, уклонов, бремсбергов. Для отработки вскрытых запасов требуется лишь проведение подготовительных и нарезных выработок.

На рис. 144 показаны границы (четыреугольник *ABCD*) шахтного поля, вскрытого двумя центральными вертикальными стволами. Пласт имеет угол падения δ . От выработок околоствольного двора к флангам (в направлении к точкам *E* и *F*) проводятся капитальные штреки. Бремсберговое поле разделено на две части — *BLKE* и *LCFK*, каждая из которых вскрывается своим капитальным бремсбергом. Уклонное поле вскрывается одним центральным уклоном.

Вскрытыми в бремсберговом поле являются запасы в фигурах 1, 2, 3 и 4, ограниченные снизу капитальными штреками, сверху — изогипсами, проходящими через забои капитальных бремсбергов, по простиранию — границами шахтного поля. В уклонном поле вскрытыми являются запасы в фигурах 5 и 6, ограниченные снизу изогипсой, проходящей через забой капитального уклона.

Подготовленными называются запасы из числа вскрытых, для отработки которых не требуется проведения дополнительных подготовительных выработок. Для начала очистных работ необходимо проведение лишь нарезных выработок. На рис. 144 подготовленными являются запасы в фигурах 7, 8, 9, 10 и 11. Для отработки этих запасов сплошной системой разработки проведены откаточные штреки, необходимо провести лишь разрезные печи (вентиляционные выработки по пласту и шурфы на рис. 144 условно не показаны).

Готовыми к выемке называются запасы из числа подготовленных, для отработки которых не требуется проведения никаких проходческих выработок. На рис. 144 готовыми к выемке являются запасы в фигуре 12, где проведена разрезная печь.

Из числа подготовленных выделяют запасы неактивные, отработка которых в данное время невозможна по каким-либо геологическим, горнотехническим и другим причинам. Например, к неактивным относят запасы в нижележащем пласте до тех пор, пока не будут отработаны запасы в вышележащем пласте; во временных целиках, поддерживающих горные выработки; в участках подземного пожара, изолированных перемычками, и т. д.

Вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы полезного ископаемого нормируют. Нормативы запасов выражают в месяцах работы предприятия. Например, если норматив вскрытых запасов равен 12 мес, то это значит, что на данном предприятии постоянно должно быть вскрытых запасов на 12 мес работы этого предприятия. Таким образом, нормативы являются функцией от производительности предприятия.

Нормативы утверждаются вышестоящей организацией. Предприятие отчитывается об их соблюдении поквартально или раз в полгода.

Выполнение плана по добыче зависит от своевременного выполнения вскрышных, подготовительных и нарезных работ. Нормирование запасов по степени их подготовленности к добыче производят с целью обеспечения ритмичной работы предприятия по добыче полезного ископаемого.

§ 114. Подсчет запасов полезного ископаемого

Исходными данными для подсчета запасов угля на каком-либо участке пласта или в целом по пласту являются: площадь участка S , мощность пласта m в пределах этой площади, плотность угля в целике d .

Запасы угля (Q) определяют по формуле

$$Q = Smd. \quad (\text{XXIII.1})$$

Для правильного нахождения объема пласта, рассчитываемого по формуле

$$V = Sm, \quad (\text{XXIII.2})$$

необходимо мощность m определять в направлении, перпендикулярном к плоскости, на которой производилось определение площади.

Если площадь определяют на плане, представляющем собой проекцию на горизонтальную плоскость, то в формулы (XXIII.1) и (XXIII.2) подставляют значение вертикальной мощности. Если же принять мощность нормальную, т. е. перпендикулярную к почве и кровле пласта, то в формулы подставляют истинное значение S_n площади, найденное из выражения

$$S_n = S/\cos \delta,$$

где S — значение площади, определенное по плану; δ — угол падения пласта.

Плотность угля в массиве определяют методом пробной вырубki (см. § 97). Подсчет запасов производят различными способами (в зависимости от геологических условий и системы разведки).

Способ среднеарифметического применяют в тех случаях, когда на всей площади изменения значений мощности пласта незначительны.

Из всех частных значений нормальной мощности m_i , измеренной в n точках, определяют среднее значение

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}.$$

Запасы в пределах всей площади S

$$Q = \frac{S}{\cos \delta} \bar{m}d.$$

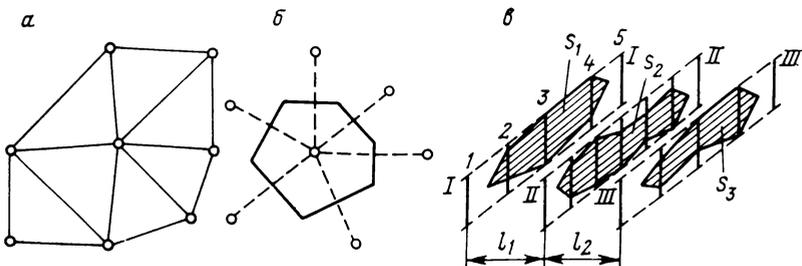


Рис. 145. К подсчету запасов способами:

a — треугольников; *б* — многоугольников; *в* — вертикальных параллельных сечений

Способ среднеарифметического применяют для подсчета запасов угля на площадях, разведанных как скважинами, так и горными выработками. Особенно часто этот способ применяют при подсчете запасов во всем шахтном (карьерном) поле.

Способ треугольников находит применение в условиях, когда существенно изменяются геологические признаки.

Площадь, разведенную скважинами, делят на участки треугольной формы. Вершинами каждого треугольника являются скважины (рис. 145, *a*). В треугольники объединяют скважины с близкими значениями геологических признаков.

Площадь S_j каждого j -го треугольника определяют на плане планиметром. Среднее значение вертикальной мощности находят по значениям m_{j1} , m_{j2} , m_{j3} вертикальной мощности по каждой из скважин, образующих j -й треугольник, т. е.

$$\bar{m}_j = (m_{j1} + m_{j2} + m_{j3})/3.$$

Аналогично определяют среднее значение плотности угля

$$\bar{d}_j = (d_{j1} + d_{j2} + d_{j3})/3.$$

Запасы в пределах треугольника

$$Q_j = S_j \bar{m}_j \bar{d}_j.$$

Суммарные запасы по всей площади, разделенной на k треугольников, находят по формуле

$$Q = \sum_{j=1}^k Q_j. \quad (\text{XXIII.3})$$

Таким образом, при подсчете запасов способом треугольников объем пласта заменяют суммой объемов трехгранных призм,

ребрами которых являются скважины. Высота любой призмы равна среднему значению мощности залежи, найденному из трех значений по скважинам — ребрам этой призмы.

Способом треугольников подсчитывают запасы в пределах всего шахтного поля, отдельных горизонтов, вскрытые запасы.

Способ многоугольников (способ ближайшего района, способ Болдырева) применяют в тех же условиях, что и способ треугольников.

Вокруг каждой скважины строят многоугольник (ближайший район) такой, чтобы любая точка в пределах многоугольника была расположена к данной скважине ближе, чем к любой другой (рис. 145, б). Ближайший район строят следующим образом. Соединяют данную скважину со всеми соседними отрезками прямых. Каждый отрезок делят пополам и из его середины восстанавливают перпендикуляр в обе стороны. Контуры, образуемый перпендикулярами, и будет представлять собой ближайший район. Многоугольники, построенные вокруг каждой скважины, покрывают всю площадь пласта.

Значения мощности m_j пласта и плотности d_j полезного ископаемого по j -й скважине, находящейся в центре j -го многоугольника, относят ко всей площади многоугольника. Планиметром определяют площадь S_j .

Запасы, заключенные в многоугольнике, определяют по формуле

$$Q_j = S_j m_j d_j.$$

Суммарные запасы по пласту, разбитому на k многоугольников, находят из выражения (XXIII.3).

Таким образом, при подсчете запасов способом ближайшего района объем залежи заменяют суммой объемов призм, основанием каждой из которых является многоугольник, построенный вокруг скважины, проходящей посередине призмы. Высота j -й призмы равна мощности залежи, определенной в j -й скважине.

Способом ближайшего района подсчитывают запасы в пределах горизонта, шахтного поля, вскрытые запасы.

Способ вертикальных параллельных сечений применяют в тех случаях, когда разведочные скважины расположены по параллельным разведочным линиям и расстояние между скважинами в линиях меньше, чем расстояние между линиями.

По каждой разведочной линии строят вертикальное сечение пласта (рис. 145, в). Так, используя скважины 1, 2, 3, 4, 5 и другие, строят сечения по разведочным линиям I—I, II—II и III—III. Площади S_j сечений пласта определяют одним из известных способов: разбиением на правильные геометрические фигуры, площадь которых определяют по формулам геометрии: точечной палеткой; планиметром.

Запасы Q_j части пласта, заключенной между двумя соседними сечениями, площади которых равны S_j и S_{j+1} , вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{S_j + S_{j+1}}{2} l_j \bar{d}_j,$$

где l_j — расстояние между j -м и $(j+1)$ -м сечениями; \bar{d}_j — среднее значение плотности полезного ископаемого в определяемом объеме.

Общие запасы находят как сумму запасов, заключенных между каждой парой соседних сечений, т. е. по формуле (XXIII.3).

Способом вертикальных параллельных сечений подсчитывают запасы шахтного поля, горизонта, вскрытые запасы. Широкое применение этот способ находит также при определении объемов добычи и вскрыши при ведении горных работ открытым (экскаваторным, гидравлическим) способом.

Чем больше разведочных выработок при равномерном их размещении в пласте, тем точнее производят подсчет запасов.

При достаточной густоте сети разведочных выработок, точном оконтуривании, определении угла падения, площади, мощности, плотности полезного ископаемого погрешность подсчета запасов составляет для угольных месторождений около 5%. Для месторождений со сложной структурой пласта и интенсивной тектонической нарушенностью эта погрешность может возрастать в несколько раз.

§ 115. Потери и разубоживание полезного ископаемого

В соответствии с требованиями утвержденных Госгортехнадзором СССР Типовых методических указаний по определению и учету потерь твердых полезных ископаемых при добыче полнота и качество извлечения запасов характеризуются коэффициентом извлечения полезного ископаемого из недр, коэффициентом изменения качества, коэффициентом потерь и коэффициентом разубоживания.

Коэффициент извлечения угля из недр k_n характеризует полноту извлечения балансовых запасов из недр при добыче. На его величину влияют как потери, так и разубоживание. Коэффициент k_n определяют по формуле

$$k_n = \frac{D(100 - A_d^c)}{B(100 - A_b^c)},$$

где D — количество добытого угля; B — количество погашенных при добыче балансовых запасов угля; A_d^c и A_b^c — зольность соответственно добытого угля и угля в балансовых запасах.

Если известно количество разубоживающей породы B , засорившей уголь, коэффициент извлечения угля из балансовых запасов

$$K_6 = (D - B) / B.$$

Коэффициент изменения качества K_k угля при добыче представляет собой отношение показателей качества добытого угля и угля в погашенных балансовых запасах:

$$K_k = (100 - A_d^c) / (100 - A_6^c).$$

Для сланцев коэффициент K_k можно определить как отношение значений теплоты сгорания T_d добытого сланца к теплоте сгорания T_6 сланца в балансовых запасах, т. е.

$$K_k = T_d / T_6.$$

Потери полезного ископаемого — это запасы из числа балансовых, не извлеченные из недр при разработке месторождения или потерянные при транспортировании. Потери выражают количеством потерянных балансовых запасов в тоннах или коэффициентом потерь. Коэффициент потерь n представляет собой отношение количества потерянных балансовых запасов P к количеству погашенных балансовых запасов B :

$$n = P / B.$$

Разубоживание (потери качества полезного ископаемого) — снижение содержания полезного компонента или полезной составляющей в добытом полезном ископаемом по сравнению с содержанием их в массиве (балансовых запасах) вследствие примешивания к нему пород или некондиционного полезного ископаемого, а также вследствие потерь части полезного компонента или полезной составляющей (в виде потерь обогащенной мелочи, при выщелачивании полезного компонента и т. д.).

Разубоживание характеризуется коэффициентом разубоживания (коэффициентом потери качества), который для угля, сланца, торфа определяют по зольности или теплоте сгорания:

$$p = (A_d^c - A_6^c) / (100 - A_6^c); \quad p = (T_6 - T_d) / T_6.$$

Потери и разубоживание нормируют, т. е. для каждого предприятия в зависимости от горно-геологических условий, способа и систем разработки устанавливают нормативы, которые утверждает вышестоящая организация. Предприятие периодически отчитывается о выполнении нормативов. Сверхнормативные (излишние) потери и разубоживание могут произойти вследствие изменения геологических условий, не предусмотренного планом развития горных работ, или из-за неправильного ведения горных работ. На каждом предприятии ведут учет потерь и разубоживания.

Потери делят на общешахтные и эксплуатационные. К общешахтным относят потери в предохранительных целиках под объектами поверхности и капитальными выработками, в барьерных целиках. Эксплуатационные потери делят на две группы: группа I — потери угля в массиве и группа II — потери отбитого угля.

В группу I входят потери в недоработанных частях целиков или в целиках у подготовительных выработок, геологических нарушений, пожарных, затопленных, заваленных участков, потери в местах выклинивания, в почве и кровле пласта, между выемочными слоями.

В группу II входят потери в забоях при совместной выемке угля и породы, на почве уступов, на почве пласта, в местах завалов, обрушений, перегрузки, складирования, при транспортировании.

Фактические потери, входящие в группу I, определяют на основании маркшейдерского измерения, а входящие в группу II — на основании измерений или специальных исследований.

Учет потерь угля ведут в специальной книге учета, где фиксируют потери каждого вида отдельно по каждому пласту, блоку, лаве, панели, уступу. Там же подсчитывают общешахтные потери или потери в целом по месторождению.

§ 116. Учет движения запасов

На каждом предприятии ведется учет движения запасов, который представляет собой периодическое определение количества запасов, числящихся на балансе горного предприятия. Запасы учитывают по состоянию на 1 января каждого года, составляют отчетный баланс по утвержденной форме № 5-гр и 20 января представляют в вышестоящую организацию, где составляют сводный баланс.

Учету подлежат как балансовые, так и забалансовые запасы.

Задачей учета движения запасов является получение сведений о сырьевой базе предприятия, отрасли, страны в целом.

При определении запасов на начало очередного года исходят из запасов, числившихся на балансе предприятия на начало предыдущего года. К прежним запасам прибавляют доразведанные, прибавляют или вычитают запасы вследствие изменения границ шахтного поля, вследствие перевода балансовых запасов в забалансовые или наоборот, вследствие пересчета запасов, вычитают добычу за прошедший год с учетом потерь и разубоживания.

Учет запасов производят по категориям *A*, *B*, *C*₁ и *C*₂, по каждому пласту, горизонту, участку, предохранительному и барьерному целику, по каждому промышленному сорту (марке, группе) угля. В отчетную форму № 5-гр помещают сведения в целом по шахте (разрезу).

Количество добытого угля берут по данным бухгалтерского учета. Добычу за отчетный период определяют как сумму

количества угля, отгруженного потребителю, положенного на склад и израсходованного на собственные нужды.

Количество угля, отгруженного потребителю и израсходованного на собственные нужды, находят взвешиванием железнодорожных вагонов и автосамосвалов. Изменение количества угля на складе определяют как разность

$$\Delta C = C_k - C_n,$$

где C_k — количество угля на складе на начало очередного года; C_n — то же, на начало предыдущего года.

Величины C_k и C_n определяют по данным маркшейдерской съемки (см. § 64).

Количество добытого угля по данным бухгалтерского учета должно хорошо согласовываться с количеством, определенным по данным маркшейдерской съемки (см. § 97).

Списание балансовых запасов (отработанных и потерянных) производится не реже одного раза в год органами Госгортехнадзора.

В форме № 5-гр рассчитывают обеспеченность шахты (разреза) промышленными запасами категорий $A+B+C_1$ в годах исходя из годовой производительности предприятия.

§ 117. Составление плана развития горных работ

Одним из разделов техпромфинплана, т. е. годового плана работы горного предприятия, является план производства и реализации продукции. В составлении этого раздела плана принимает участие маркшейдерская служба предприятия, задачами которой являются:

подготовка материалов об ожидаемом выполнении плана за текущий период, предшествующий планируемому;

подготовка исходных данных для разработки плана развития горных работ на планируемый период;

составление календарного плана развития горных работ с разбивкой по срокам, производственным участкам, видам работ;

составление графических приложений к разработанному плану развития горных работ.

Перечисленные задачи выполняются следующим образом.

Подготовка материалов об ожидаемом выполнении плана за текущий период заключается в определении ожидаемого положения забоев очистных, нарезных и подготовительных выработок. Производят съемку забоев, наносят на планы горных выработок и на другую графическую документацию их фактическое положение на дату съемки. Затем прогнозируют продвижение забоев за время, оставшееся до конца текущего периода, т. е. до начала планируемого периода. Ожидаемое положение наносят на графическую документацию.

Подготовка исходных данных для планирования заключается в определении для планируемых к отработке площадей

таких данных, как мощность и угол падения пластов, плотность полезного ископаемого, производительность пластов, размещение значений зольности, размещение промышленных сортов и марок угля.

При подготовке исходных данных для планирования широко используют результаты геометризации складчатых форм и тектонической нарушенности шахтного поля, закономерности в размещении зольности и других показателей качества угля.

Календарный план развития горных работ составляют исходя из государственного плана D_r предприятия по добыче угля. Суточную добычу из очистных забоев определяют по формуле

$$D_c = D_r f / 300,$$

где f — доля добычи из очистных забоев в общей добыче предприятия (величина f близка к единице, но не равна ей); 300 — число рабочих дней в году.

По величине суточной добычи, среднему суточному продвижению a очистных забоев и производительности p пласта определяют общую необходимую длину L линии очистных забоев:

$$L = D_c / (ap). \quad (\text{XXIII.4})$$

Производительностью пласта называют количество угля в тоннах, которое можно получить при выемке 1 м^2 пласта, т. е.

$$p = md,$$

где m — нормальная мощность пласта, м; d — плотность угля в массиве, т/м^3 .

Одни очистные забои (лавы) будут действовать весь планируемый период (300 дней), другие — часть его. При планировании развития горных работ необходимо предусмотреть своевременную подготовку и нарезку резервных лав, которые смогли бы начинать действовать по мере отработки (выбытия) действующих.

Для упорядочения плановых расчетов введено понятие среднедействующая длина забоя, которое представляет собой длину забоя, эквивалентного по добыче данному забою, но работающего в течение всего планового периода. Так, если лава длиной 200 м будет действовать лишь в течение 250 рабочих дней и потом будет заменена резервной, то ее среднедействующая длина определяется по формуле

$$l_{сд} = l_p t_{ож} / t_{пл},$$

где l_p — расчетная длина лавы; $t_{пл}$ — число рабочих дней в планируемом периоде; $t_{ож}$ — ожидаемое число дней работы данной лавы в планируемом периоде. В нашем случае

$$l_{сд} = 200 \cdot 250 / 300 = 166,7 \text{ м.}$$

Если длина лавы равна 166,7 м и эта лава будет действовать 300 дней, то она даст то же количество угля, что лава длиной 200 м за 250 дней работы.

Величина L , вычисленная по формуле (XXIII.4), представляет собой суммарную среднедействующую линию очистных забоев. В любой день планируемого периода на шахте должны работать очистные забои общей длиной L . Общая суммарная длина всех очистных забоев, которые будут действовать в различные сроки планируемого периода, будет больше величины L . По значению L и проектной длине лав определяют количество одновременно действующих лав и наносят их на план развития горных работ, обозначая плановые контуры площадей, которые лавы будут обрабатывать в каждом квартале планового периода (года).

Подвигание лавы за квартал определяют делением квартальной нагрузки на произведение длины лавы и производительности пласта. Квартальные площади оконтуривают линиями разного цвета.

После нанесения площадей, планируемых к обработке, чертят подготовительные и нарезные выработки, которые необходимо провести для обеспечения планируемых очистных работ в соответствии с принятой системой разработки. По плану определяют суммарную планируемую длину выработок, число одновременно действующих подготовительных и нарезных забоев. Устанавливают очередность проведения подготовительных выработок, исходя из очередности ввода в работу новых лав, из наличия и производительности проходческих бригад. Для ускорения проведения подготовительных выработок намечают проведение их встречными или догоняющими забоями.

Составление графического приложения к плану развития горных работ описано выше. Добавим лишь, что состав графического приложения может быть различным — в зависимости от горно-геологических условий (см. § 103, 104). В графическое приложение могут входить: план поверхности, план горных выработок, план основных горных выработок, схема вскрытия, проекции на вертикальные и наклонные плоскости, разрезы.

На каждом графике показывают ожидаемое положение всех забоев, а цветными линиями — планируемое подвигание всех забоев по кварталам в течение всего планируемого периода.

При составлении календарного плана развития горных работ учитывают предусмотренный проектом шахты порядок отработки пластов, порядок отработки каждого пласта, не допуская подработки пластов и планируя оставление предохранительных целиков под объектами поверхности, подлежащими охране.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ПРИМЕНЯЕМАЯ
В МАРКШЕЙДЕРСКОМ ДЕЛЕ****§ 118. Настольные вычислительные машины**

Повышение скоростей подвигания лав и проведения горных выработок вызвало необходимость чаще производить съемки лав, переносить направление проходческим выработкам. Без увеличения численности маркшейдерской службы время для выполнения указанных дополнительных полевых работ может быть высвобождено за счет ускорения выполнения вычислительных работ.

Традиционными средствами механизации счета в маркшейдерском деле до недавнего времени были конторские счеты и арифмометр. Для производства низкоточных вычислений применялась логарифмическая линейка. На смену счетам и арифмометру пришли электромеханические и затем электронные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ). Многие задачи маркшейдерского дела решаются на электронных вычислительных машинах (ЭВМ) единой системы (ЕС) и семейства малых (СМ).

Отечественная промышленность серийно изготавливает портативные ЭКВМ (микрокалькуляторы). Они характеризуются бесшумностью работы, высоким быстродействием, простотой обслуживания. Результаты фиксируются на светящемся табло. Микрокалькулятор «Электроника БЗ-36» обеспечивает выполнение любых маркшейдерских расчетов. С его помощью можно выполнять арифметические действия, логарифмирование и потенцирование, возведение в степень и извлечение корня, определение тригонометрических функций углов, а также более сложные действия с использованием памяти.

§ 119. Решение маркшейдерских задач на ЭВМ

Решение задачи на ЭВМ ЕС или СМ состоит из нескольких этапов. Прежде всего необходимо четко сформулировать задачу и представить ее в виде цепочки формул. Необходимо также выбрать такой метод решения, который был бы приемлем для реализации на ЭВМ.

Следующим этапом является разработка алгоритма, т. е. последовательности математических и логических операций, приводящей к решению задачи за конечное число шагов. Общай алгоритм обычно изображают в виде блок-схемы.

На основании алгоритма составляют последовательность машинных команд, т. е. машинную программу. Этот процесс называют программированием. Машинную программу записывают на алгоритмическом языке. Наиболее распростра-

ненными алгоритмическими языками являются ПЛ-1, ФОРТРАН, АЛГОЛ и др.

Составленную программу отлаживают. Для этого ее помещают на машинный носитель информации — перфокарту, перфоленту или магнитную ленту, магнитный диск, подбирают исходные данные, решают пример на машине и одновременно вручную. Совпадение результатов свидетельствует об отсутствии погрешностей в программе. При несовпадении результатов находят в программе погрешности и вносят в нее коррективы. По отлаженной программе можно решать любое множество однотипных задач.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) разработаны стандартные программы для решения на ЭВМ некоторых трудоемких маркшейдерских задач.

Применение ЭВМ в угольной промышленности осуществляется путем организации в каждом производственном объединении информационно-вычислительного центра (ИВЦ), оснащенного ЭВМ ЕС и в отдельных случаях ЭВМ СМ. Информационно-вычислительный центр обслуживает шахты и разрезы производственного объединения, а также предприятия шахтостроительного комбината и обогатительные фабрики.

ИВЦ связан с каждым обслуживаемым предприятием телетайпом. Для решения задачи с шахты на ИВЦ передают по телетайпу исходные данные, полученные в результате полевых маркшейдерских работ. На ИВЦ, используя соответствующую стандартную программу, решают задачу и результат ее решения по телетайпу передают на шахту.

§ 120. Маркшейдерская и геологическая информация в АСУП

Автоматизированная система управления предприятием (АСУП) имеет развитую базу данных, включающую информацию о месторождении, о технических, технологических, организационных, экономических, финансовых и других факторах.

Маркшейдерская и геологическая информация используется, в основном, при планировании горных и геологоразведочных работ и при управлении горными работами.

Наилучшим способом создания массивов геолого-маркшейдерской информации является организация автоматизированного банка данных (АБД). АБД включает в себя информацию, полученную по пробам, отобранным в геологоразведочных скважинах, в проходческих горных выработках, при забойном и товарном опробовании.

Информация о каждой пробе включает в себя данные об элементах залегания пласта, его структуре, о качественных характеристиках угля и имеет пространственную привязку. Вся эта информация хранится на машинных носителях. АБД пополняется по мере поступления новых данных о месторожде-

нии и обеспечивает многоразовое, многоцелевое использование геолого-маркшейдерской информации. Так, из АБД можно извлечь всю необходимую информацию по любому конкретному участку месторождения, заданному координатами его вершин и, наоборот, можно извлечь сведения о том, на каких участках месторождения залегает уголь заданного качества, и т. д.

ГЛАВА XXV

СТРУКТУРА МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ. ОРГАНИЗАЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

§ 121. Структура маркшейдерской службы

Для выполнения маркшейдерских работ во всех отраслях горнодобывающей промышленности — угольной, черной и цветной металлургии, химической, строительных материалов — создана маркшейдерская служба. Она представлена на всех уровнях управления в отрасли — от предприятия до министерства.

В угольной промышленности, имеющей трехступенчатую структуру (предприятие — производственное объединение — министерство), маркшейдерская служба представлена маркшейдерскими отделами предприятий, производственных объединений, министерства. Во главе каждого отдела стоит главный маркшейдер.

Основной производственной структурной единицей маркшейдерской службы является *маркшейдерский отдел горного предприятия* — шахты, разреза, строящегося предприятия. Отдел возглавляет главный маркшейдер, имеющий квалификацию горного инженера-маркшейдера.

Отдел состоит из участков маркшейдеров, съемщиков, техника-картографа и горнорабочих маркшейдерского отдела.

Состав маркшейдерского отдела шахты, т. е. число участков маркшейдеров, съемщиков и рабочих, зависит от геологических условий, производственной мощности шахты, числа и длины линии очистных забоев, объема проведения подготовительных выработок и протяженности поддерживаемых выработок. Состав маркшейдерского отдела разреза зависит от климатических условий, глубины разреза, числа добычных уступов, объема вскрышных работ, числа и вида экскаваторов.

В обязанности маркшейдерского отдела горного предприятия входит выполнение маркшейдерских работ всех видов в горных выработках и на земной поверхности.

Маркшейдерский отдел производственного объединения возглавляет главный маркшейдер. В задачи маркшейдерского отдела входят составление сводной (по предприятиям объединения) документации и отчетности, а также выполнение специальных маркшейдерских работ.

При главном маркшейдере объединения могут быть организованы:

отдел генплана, производящий систематические съемки поверхности территории экономической заинтересованности предприятий объединения;

отдел наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности;

группа, выполняющая такие специальные работы, как гироскопическое ориентирование, проверка подъемных комплексов на шахтах, профилировка шахтных стволов и т. д.

Главный маркшейдер объединения руководит отделом и специализированными отделами и группами, осуществляет методическое руководство маркшейдерской службой предприятий, занимается подбором и расстановкой кадров, составлением заявок и смет на маркшейдерское оборудование. В случаях необходимости проведения крупных разовых специализированных маркшейдерских работ на предприятиях объединения главный маркшейдер заключает соответствующие договоры с Союзмаркштрестом и ВНИМИ.

Маркшейдерская служба Министерства угольной промышленности СССР представлена Управлением главного маркшейдера и возглавляется главным маркшейдером министерства — начальником управления.

Управление главного маркшейдера осуществляет методическое руководство маркшейдерской службой производственных объединений, а через нее — маркшейдерской службой горных предприятий. Управление формирует техническую политику в области маркшейдерского дела на предприятиях отрасли. Для проведения этой технической политики привлекают научно-исследовательские институты, приобретают новое оборудование отечественного и зарубежного производства.

Существенную роль в проведении единой технической политики в области маркшейдерского дела играет научно-техническое горное общество (НТГО). В маркшейдерскую секцию центрального правления НТГО входят главные маркшейдеры всех отраслей горнодобывающей промышленности, а также представители научно-исследовательских и учебных институтов.

§ 122. Организация маркшейдерских работ на предприятии

Круг обязанностей маркшейдерского отдела горного предприятия широк и многообразен. Непосредственным исполнителем маркшейдерских работ (полевых и камеральных) является участковый маркшейдер.

На шахте участковый маркшейдер производит маркшейдерские работы во всех выработках одного или двух производст-

венных участков. Один участковый маркшейдер занят маркшейдерским обеспечением на участке капитальных работ.

На разрезе участковые маркшейдеры закрепляются за участками по их целевому назначению, т. е. за участками вскрышных, буровзрывных, добычных, отвальных работ, за транспортным, дренажным участками.

Главный маркшейдер предприятия занимается подбором и расстановкой кадров, планирует работы отдела, составляет заявки на оборудование. Он контролирует работу участковых маркшейдеров — прокладывает контрольные ходы, производит контрольные съемки, а также возглавляет производство разовых общешахтных маркшейдерских работ.

Главный маркшейдер участвует в планировании развития горных работ, составляет по полученным от участковых маркшейдеров данным общешахтную отчетную документацию об объеме выполненных горных работ и добытого полезного ископаемого, о запасах, потерях и разубоживании и т. д.

Контрольные функции маркшейдерской службы горного предприятия состоят в том, что она имеет право:

- останавливать горные работы, производящиеся с отступлением от проектного порядка отработки месторождения;

- останавливать проведение горных выработок, осуществляемое с отступлением от заданного направления в плане и по высоте, от паспорта крепления;

- не предъявлять к оплате участки выработок, проведенные с отступлением от направления или паспорта крепления;

- останавливать горные работы, вызывающие повышенные (по сравнению с нормативами) потери и разубоживание.

О всех обнаруженных на своем участке отступлениях от проекта, плана развития горных работ, паспортов, заданных направлений и о необходимости остановить работы или устранить нарушения (остановить забой, перекрепить выработку, перестать пути и т. д.) участковый или главный маркшейдер пишет в специальную книгу маркшейдерских предписаний.

Запись маркшейдера, заверенную подписью автора, утверждает своей подписью главный инженер предприятия, после чего запись приобретает силу приказа, т. е. становится обязательной для исполнения начальниками производственных участков, смен, бригадами очистных и проходческих бригад.

§ 123. Государственный маркшейдерский контроль

В нашей стране учреждены государственный надзор и контроль за использованием и охраной недр. Надзор и контроль осуществляет Госгортехнадзор СССР, т. е. Государственный комитет по надзору за безопасностью ведения работ в промышленности при Совете Министров СССР, и соответствующие комитеты при Советах Министров ряда союзных республик. В составе Госгортехнадзора имеются инспекторы-марк-

шейдеры, в компетенцию которых входят следующие контрольные функции:

контроль за правильной организацией маркшейдерской службы и ведением маркшейдерских работ (за численностью штатов службы, обеспеченностью горных предприятий пунктами опорных и съемочных сетей, точностью и своевременностью проведения полевых маркшейдерских работ);

контроль за наличием и качеством маркшейдерской документации, за наличием, правильным ведением и учетом первичной и вычислительной документации, точным, полным составлением графической документации, ее оформлением в соответствии с действующими условными обозначениями, за хранением, учетом и уничтожением документации;

контроль за полным и рациональным использованием недр (за своевременным оформлением горных отводов, правильным определением и учетом потерь и разубоживания, подсчетом и учетом движения запасов, своевременным оформлением участков под застройку на площадях залегания полезного ископаемого);

контроль за разработкой и осуществлением мероприятий по охране зданий и сооружений земной поверхности от вредного влияния горных работ, своевременным расчетом и оформлением предохранительных целиков, строительных и других мероприятий, установлением границ безопасного ведения горных работ.

Инспекторы-маркшейдеры проверяют положение дел на предприятиях и по результатам проверки составляют предписания; выполнение которых является обязательным для администрации горных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В. Д.* Теория ошибок наблюдений. М., Недра, 1983.
2. *Геометризация месторождений полезных ископаемых/Под ред. В. А. Букринского и Ю. В. Коробченко.* М., Недра, 1977.
3. *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.* М., Недра, 1974.
4. *Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500.* М., Недра, 1982.
5. *Коробченко Ю. В.* Анализ точности маркшейдерских работ. М., МГИ, 1975.
6. *Маркшейдерское дело/Д. Н. Оглоблин, П. П. Бастан, Г. И. Герасименко и др.* М., Недра, 1972.
7. *Маркшейдерское дело/Д. А. Казаковский, Г. А. Кротов, В. Н. Лавров и др. Ч. I.* Общий курс. М., Недра, 1970.
8. *Маркшейдерское дело/Д. А. Казаковский, Г. А. Кротов, В. Н. Лавров и др. Ч. II.* Специальный курс. М., Недра, 1970.
9. *Межотраслевая инструкция по определению и контролю добычи и вскрыши на карьерах.* Л., Недра, 1977.
10. *Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах.* М., Известия, 1975.
11. *Решение маркшейдерских задач на ЭВМ вычислительных центров/И. И. Финаревский, Э. Д. Низгурецкий, Е. И. Рыхлюк и др.* М., Недра, 1975.
12. *Сборник руководящих материалов по охране недр.* М., Недра, 1973.
13. *Справочник по маркшейдерскому делу/Под ред. А. Н. Омельченко.* М., Недра, 1979.
14. *Сытник В. С.* Строительная геодезия. М., Недра, 1979.
15. *Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ.* Л., Недра, 1973.
16. *Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500.* М., Недра, 1973.
17. *Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000.* М., Недра, 1977.
18. *Ушаков И. Н.* Горная геометрия. М., Недра, 1979.
19. *Федоров Б. Д.* Геодезия. М., Высшая школа, 1969.
20. *Федоров Б. Д.* Маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты. М., Недра, 1971.
21. *Федоров Б. Д., Коробченко Ю. В.* Основы геодезии и маркшейдерского дела. М., Недра, 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
§ 1. Значение и задачи курса. Общие сведения о геодезии и маркшейдерском деле	4
§ 2. Краткий очерк развития геодезии и маркшейдерского дела	5
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ	8
Глава I. Определение положения точек земной поверхности	8
§ 3. Понятие о форме и размерах Земли	8
§ 4. Определение положения точек на поверхности Земли	11
§ 5. Понятие о равноугольной поперечно-цилиндрической проекции и системе прямоугольных координат Гаусса-Крюгера	13
Глава II. План и карта	15
§ 6. План, профиль и разрез	15
§ 7. Масштабы планов	16
§ 8. Понятие о карте	18
§ 9. Условные обозначения местных предметов и рельефа на планах и картах	19
Глава III. Ориентирование линий на местности. Геодезические задачи	26
§ 10. Ориентирование линий и ориентирующие углы	26
§ 11. Связь между ориентирующими углами	29
§ 12. Прямая и обратная геодезические задачи	32
Глава IV. Краткие сведения из теории погрешностей. Общие понятия об измерениях	34
§ 13. Свойства случайных погрешностей измерений	34
§ 14. Среднее арифметическое из результатов измерений	36
§ 15. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности	36
§ 16. Средняя квадратическая погрешность функций измеренных величин	37
§ 17. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины	39
§ 18. Выражение средней квадратической погрешности через вероятнейшие погрешности	40
Глава V. Общие сведения о геодезических сетях и съемках	41
§ 19. Принцип организации съемочных работ	41
§ 20. Понятие о геодезических сетях СССР	42
§ 21. Общие сведения о съемках	48
Глава VI. Основные части геодезических инструментов	49
§ 22. Оптические части геодезических инструментов	49
§ 23. Уровни	55
§ 24. Отсчетные устройства	57
§ 25. Осевые устройства и механические части инструментов	62

Глава VII. Угловые измерения	64
§ 26. Угловые и линейные измерения	64
§ 27. Закрепление и обозначение точек и линий на местности	65
§ 28. Сущность измерения горизонтального угла	65
§ 29. Технические оптические теодолиты	67
§ 30. Вертикальный круг	67
§ 31. Понятие о поверках теодолита	70
§ 32. Измерение горизонтальных углов	72
§ 33. Измерение вертикального угла	74
Глава VIII. Линейные измерения	75
§ 34. Общие сведения	75
§ 35. Вешение линий	77
§ 36. Мерные приборы	77
§ 37. Компарирование мерных приборов	79
§ 38. Измерение расстояний стальной лентой	80
§ 39. Приведение длин линий к горизонту	81
§ 40. Точность измерения расстояний стальной лентой	83
§ 41. Нитяной дальномер	84
§ 42. Определение горизонтальных проекций наклонных расстояний при измерении длин дальномером с вертикальной рейкой	86
Глава IX. Теодолитная съемка	87
§ 43. Назначение и область применения теодолитной съемки	87
§ 44. Теодолитные ходы	87
§ 45. Съемка подробностей	88
§ 46. Камеральная обработка результатов полевых измерений	90
§ 47. Вычисление координат разомкнутого (диагонального) хода	98
§ 48. Построение плана теодолитной съемки	100
Глава X. Нивелирование	104
§ 49. Геометрическое нивелирование	104
§ 50. Нивелиры и их поверки	106
§ 51. Нивелирные рейки	110
§ 52. Инженерно-техническое нивелирование	111
§ 53. Камеральная обработка полевых измерений	116
Глава XI. Понятия о тахеометрической, мензульной и фототопографической съемках	122
§ 54. Тахеометрическая съемка	122
§ 55. Мензульная съемка	127
§ 56. Фототопографическая съемка	131
Глава XII. Решение задач по топографической карте	131
§ 57. Определение высот точек по горизонталям	131
§ 58. Определение крутизны скатов и уклонов по горизонталям. Графики заложения	132
§ 59. Проектирование направления с заданным уклоном и построение профиля по заданному направлению	134
§ 60. Определение площадей участков по планам	135
§ 61. Отграничение границы водосборной площади и определение объемов земляных тел по топографической карте	137

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО	139
Глава XIII. Маркшейдерские сети и съемки на земной поверхности	139
§ 62. Маркшейдерские сети на земной поверхности	139
§ 63. Съемка земной поверхности	140
§ 64. Съемка склада полезного ископаемого	140
§ 65. Маркшейдерские съемки при разработке месторождений открытым способом	142
Глава XIV. Маркшейдерские работы при строительстве объектов на земной поверхности	144
§ 66. Работа с проектной документацией	144
§ 67. Перенесение в натуру направления, горизонтального угла, расстояния, точки, отметки	145
§ 68. Перенесение в натуру центра и осей ствола. Разбивочные сети	148
§ 69. Вертикальная планировка земной поверхности	149
§ 70. Маркшейдерские работы при строительстве зданий и сооружений	151
§ 71. Маркшейдерские работы при строительстве инженерных коммуникаций	152
Глава XV. Маркшейдерские работы при возведении шахтного подъемного комплекса	153
§ 72. Основные геометрические элементы шахтного подъемного комплекса	153
§ 73. Маркшейдерские работы при возведении шахтного подъемного комплекса с металлическим укусным копром	155
§ 74. Маркшейдерские работы при возведении шахтного подъемного комплекса с башенным копром	158
Глава XVI. Маркшейдерские работы при сооружении шахтных стволов и проведении околоствольных выработок	159
§ 75. Маркшейдерские работы при проходке вертикального шахтного ствола	159
§ 76. Маркшейдерские работы при армировании вертикального шахтного ствола	161
§ 77. Маркшейдерские работы при реконструкции и углубке вертикального шахтного ствола	162
§ 78. Маркшейдерские работы при проходке вертикального шахтного ствола специальными способами	163
§ 79. Маркшейдерские работы при проходке наклонного шахтного ствола	164
§ 80. Маркшейдерские работы при проведении выработок околоствольного двора	165
Глава XVII. Маркшейдерские подземные опорные и съемочные сети	167
§ 81. Общие сведения о маркшейдерских подземных сетях	167
§ 82. Ориентирно-соединительные съемки	169
§ 83. Передача высот в подземные горные выработки	172
§ 84. Полигонометрический ход в подземной горной выработке	173
§ 85. Ход тригонометрического нивелирования в горной выработке	175
§ 86. Ход геометрического нивелирования в горной выработке	176
Глава XVIII. Подземные маркшейдерские съемки	177
§ 87. Общие сведения о подземных маркшейдерских съемках	177
§ 88. Теодолитная съемка	177
§ 89. Угломерная съемка	178

§ 90. Съёмка буссолью и подвесным полукругом	179
§ 91. Высотные съёмки в горных выработках	181
§ 92. Съёмка и учет подземных пустот	183
Глава XIX. Маркшейдерские работы при проведении горных выработок	184
§ 93. Определение и вынесение в натуру места заложения горной выработки	184
§ 94. Задание направления выработкам	185
§ 95. Маркшейдерские работы при проведении сбоек	189
§ 96. Маркшейдерский контроль за проведением горных выработок	191
§ 97. Маркшейдерское измерение горных выработок	192
Глава XX. Построение и использование горно-геометрических планов	196
§ 98. Основные понятия геометрии недр и геометризации месторождений	196
§ 99. Определение элементов залегания пласта	201
§ 100. Построение горно-геометрических планов	206
§ 101. Применение горно-геометрических планов при ведении горных и геологоразведочных работ	211
Глава XXI. Обязательная маркшейдерская графическая документация	214
§ 102. Первичная, вычислительная и графическая документация	214
§ 103. Виды горных чертежей	215
§ 104. Состав обязательной горной графической документации	217
§ 105. Горная графическая документация, передаваемая при сдаче шахты в эксплуатацию	218
§ 106. Исходная, производная и обменная графическая документация	219
§ 107. Задачи, решаемые на чертежах горной графической документации	220
Глава XXII. Сдвигание горных пород и земной поверхности под влиянием горных работ	224
§ 108. Общие сведения	224
§ 109. Факторы, влияющие на процесс сдвигания	225
§ 110. Изучение процесса сдвигания горных пород и земной поверхности	226
§ 111. Меры охраны сооружений от вредного влияния горных работ	228
§ 112. Расчет предохранительных целиков	229
Глава XXIII. Рациональное использование недр	232
§ 113. Классификация запасов	233
§ 114. Подсчет запасов полезного ископаемого	236
§ 115. Потери и разубоживание полезного ископаемого	239
§ 116. Учет движения запасов	241
§ 117. Составление плана развития горных работ	242
Глава XXIV. Вычислительная техника, применяемая в маркшейдерском деле	245
§ 118. Настольные вычислительные машины	245
§ 119. Решение маркшейдерских задач на ЭВМ	245
§ 120. Маркшейдерская и геологическая информация в АСУП	246
Глава XXV. Структура маркшейдерской службы. Организация маркшейдерских работ	247
§ 121. Структура маркшейдерской службы	247
§ 122. Организация маркшейдерских работ на предприятии	248
§ 123. Государственный маркшейдерский контроль	249
Список литературы	251

Борис Дмитриевич Федоров
Юрий Васильевич Коробченко

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

Редакторы издательства Л. И. Елагин и Н. П. Шерстнев
Технический редактор О. А. Колотвина
Корректор В. В. Старенькая

ИБ № 5637

Сдано в набор 15.04.85. Подписано в печать 24.09.85. Т-18582. Формат 60×90^{1/16}. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 16,0. Усл. кр.-отт. 16,0. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 11 000 экз. Заказ 845/205—9. Цена 80 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

