

В.И.БОРЩ · КОМПОНИЕТ

ГЕОДЕЗИЯ,
ОСНОВЫ
АЭРО-
ФОТОСЪЕМКИ
И МАРКШЕЙДЕРСКОГО
ДЕЛА

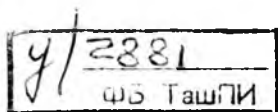


В. И. БОРЩ-КОМПОНИЕЦ

ГЕОДЕЗИЯ, ОСНОВЫ АЭРО- ФОТОСЪЕМКИ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

Допущено

*Министерством высшего и среднего специального
образования
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Геологическая съемка, поиски и разведка
месторождений полезных ископаемых».*



МОСКВА «НЕДРА» 1984

Борщ-Компаниец В. И. Геодезия, основы аэрофотосъемки и маркшейдерского дела: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1984. — 448.

Изложены общие сведения о геодезических и маркшейдерских работах, выполняемых при производстве геологоразведочных и горных работ. Рассмотрены особенности построения маркшейдерско-геодезических опорных сетей, составления топографических карт и маркшейдерских планов. Изложены материалы, касающиеся съемок на дневной поверхности, описаны приборы, применяющиеся при этих съемках. Приведены основные маркшейдерские работы, выполняемые при разведке месторождений, а также при их подземной и открытой разработках. Даны подробные сведения о сдвигении горных пород при разработке месторождений, а также о маркшейдерском учете движения запасов полезного ископаемого. Приведены некоторые данные из геометрии недр.

Для студентов горных вузов.

Табл. 41, ил. 179, список лит. — 19 назв.

Рецензенты:

кафедра маркшейдерского дела Свердловского горного института и проф. Б. И. Беляев (Университет дружбы народов им. П. Лумумбы)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник состоит из трех разделов, в которых рассматриваются самостоятельные научные дисциплины: геодезия, аэрофотосъемка, маркшейдерское дело.

Разделы первый и второй изучаются студентами на первом курсе, третий — на четвертом. Перерыв в изучении дисциплины связан с тем, что для понимания маркшейдерского дела необходимы знания специальных разделов геологической и горной наук, которые даются студентам на первых пяти-шести семестрах.

В курсе геодезии изучается материал, относящийся к топографии, прикладной геодезии, высшей геодезии. Основные цели этого курса заключаются в том, чтобы, с одной стороны, дать студентам знания по геодезии, которые используются инженерами-геологами в их практической деятельности, с другой — создать основу для изучения аэрофотосъемки и маркшейдерского дела.

Основной задачей курса аэрофотосъемки является подготовка студентов-геологов к изучению учебной дисциплины «Применение аэрометодов в геологии».

Курс маркшейдерского дела имеет самостоятельное значение, в нем излагаются основные положения маркшейдерской науки и практики. Имеется в виду, что практическая деятельность будущих инженеров-геологов может быть как в полевых геологоразведочных партиях, так и на действующих горных предприятиях.

В книге не приведен материал для изучения на лабораторных и практических занятиях, который изложен в специальных учебно-методических пособиях.

Главы 15, 17, 18 написаны доц., канд. техн. наук Г. Г. Прудниковым.

Авторы выражают благодарность Б. П. Соковцеву, оказавшему большую помощь при подготовке рукописи к изданию.

Глава 1

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ

§ 1. Предмет и задачи геодезии

Геодезия — наука, изучающая форму и размеры Земли или отдельных ее частей и методы измерений на земной поверхности, производимых как с целью отображения ее на планах и картах, так и выполнения различных задач инженерной деятельности человека.

В геодезической науке выделяют две основные части: высшую геодезию и геодезию.

В высшей геодезии изучаются методы измерений и их обработки с целью высокоточного определения взаимного положения высот отдельных точек на земной поверхности, составляющих опорные геодезические сети, и определение фигуры и размеров Земли. Работы по созданию опорных геодезических сетей производятся для правильной постановки и проведения топографических съемок.

В последнее время в высшей геодезии сформировалось новое научное направление — космическая (спутниковая) геодезия, изучающая проблемы использования искусственных спутников Земли в геодезических целях.

Вторая часть геодезической науки — геодезия — включает топографию, фототопографию, прикладную (инженерную) геодезию.

Топография изучает методы, технику и организацию работ по измерению на земной поверхности и обработке измерений с целью ее изображения на картах и планах.

Фототопография занимается изучением методов создания топографических планов по снимкам, полученным при фотографировании местности фотоаппаратом, установленным на самолете (аэрофототопографическая съемка) или на землю (наземная фототопографическая съемка).

Прикладная (инженерная) геодезия рассматривает методы, технику и организацию геодезических работ, выполненных при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений (горнорудные предприятия, гидротехнические сооружения, промышленные объекты, гражданское

строительство, транспортные магистрали, мелиоративные работы и т. п.), а также при монтаже и установке сложного оборудования.

§ 2. Значение геодезии в народном хозяйстве

Геодезия тесно связана с целым рядом наук: математикой, физикой, астрономией, картографией, радиоэлектроникой и радиотехникой, географией, геоморфологией.

Математика вооружила геодезию средствами аналитического описания разнообразных геодезических задач, а также средствами анализа и методами обработки результатов измерений. Физика наряду с электроникой и электротехникой положены в основу расчетов оптических, оптико-механических и электронно-оптических приборов и систем.

Геодезия широко используется практически во всех отраслях народного хозяйства. Геодезические измерения необходимы при изысканиях и строительстве жилых и промышленных объектов, железных и автомобильных дорог, каналов, линий высоковольтных передач, трубопроводов, аэропортов, речных и морских портов. Геодезия находит применение при землеустройстве колхозов и совхозов, при осушении и орошении земель, при лесоустройстве. Большую роль геодезия играет в военном деле, которое невозможно без топографических карт.

Важное значение геодезия имеет при проведении поисковых и геологоразведочных работ, где геодезическое обслуживание, выполняемое для различных видов геологических исследований, требует зачастую применения ряда сложных геодезических методов и приборов и высокой профессиональной подготовки исполнителей.

§ 3. Краткая история развития геодезии

Геодезия возникла в глубокой древности в странах Древнего Востока. В Египте за несколько тысяч лет до н. э. умели выполнять съемки земельных участков, расположенных в долине Нила.

Сохранился до наших дней папирус с картой Персии, составленный около 4,5 тыс. лет назад, на обратной стороне которого выполнены подсчеты размеров площади, изображенной на карте. В Китае в XI—XIII вв. до н. э. были проведены большие геодезические работы по изучению «всей Земли», которые показали умение измерять земельные участки с использованием мерных цепей.

Высокое развитие имела геодезия в античной Греции, где она получила теоретическое обоснование, о чем могут сообщить дошедшие до нас книги Герона Александрийского «О диоптрах» и «Измерение площадей», в которых приведено описание геодезических работ и геодезических инструментов. Греческим ученым Эратосфеном (276—194 гг. до н. э.) в Египте впервые были определены размеры Земли. Он установил, что радиус земного шара составляет примерно шесть тысяч километров.

Крушение Римской империи, а с ней и античного мира привело к падению на долгие годы культуры и науки в странах Европы и Северной Африки, отрицательно сказавшемуся на развитии геодезии, роль которой в период феодализма свелась, главным образом, к решению весьма примитивных задач в земледелии и военном деле.

Существенный этап в развитии геодезии начинается с XVII в., и связан он с изобретением астрономической трубы, уровня, верньера и дальномера. В геодезии первыми инструментами, использующими оптическую трубу, были нивелиры (вторая половина XVII в.). Теодолиты с оптическими трубами впервые появились в Германии в конце XVIII в.

К концу XVII в. относится создание триангуляции — способа, позволившего с высокой точностью определять положение опорных геодезических пунктов и остающегося до настоящего времени одним из основных способов получения координат точек.

II. Ньютон показал, что Земля, в силу ее вращения вокруг оси, не шар, а имеет форму эллипсоида. Перед геодезией встала сложная задача о более точном определении размеров и фигуры Земли. В связи с этим в XVIII—XIX вв. были выполнены большие геодезические работы, имеющие важное значение для определения размеров Земли. В этот период производится определение размеров земного сфероида Деламбром (1800), Бесселем (1841), Кларком (1880).

В XIX в. перед геодезией были выдвинуты новые задачи, связанные с созданием достаточно подробных и точных топографических карт крупного масштаба. К этому времени относится разработка тахеометрической съемки, совершенствование методов нивелирования, предъявляются серьезные требования к геодезии в инженерном строительстве, к геодезическим приборам.

В XX в. происходит дальнейшее развитие геодезии, создаются принципиально новые приборы, совершенствуются старые, внедряются новые методики геодезических измерений и т. п.

В нашей стране первое упоминание о геодезических работах относится к XI в., когда было измерено расстояние по льду Керченского залива между городами Таманью и Керчью. Первая карта на Руси была составлена в XVI в., так называемый «Большой чертеж», представляющая собой обстоятельное изображение и описание Московского государства. На ней имеется более полутора тысяч географических названий, и охватывает она территорию от рек Днепр и Западная Двина на западе до реки Обь на востоке, на юге до Крыма включительно.

Интенсивное развитие геодезических работ началось при Петре I, при котором была основана первая астрономическая обсерватория, а в 1701 г. в Москве создается геодезическое отделение в школе математических и навигационных наук. В 1739 г. при Российской Академии был организован географический департамент, который возглавлял Леонард Эйлер. Ему было поручено составление атласа и генеральной географической карты Российской им-

перш. Атлас был издан в 1745 г. и состоял из 20 карт, на 13 из них была изображена европейская часть страны, на 6 картах — некоторые районы Сибири. Атлас 1745 г. был капитальным картографическим произведением и по обилию использованных материалов и их новизне соперничал с лучшими атласами, имевшимися в те годы во Франции и Италии.

В 1779 г. в Москве создается Землемерная школа, преобразованная вначале в Константиновское землемерное училище, а затем (1835 г.) — в Константиновский межевой институт — крупнейшее в дореволюционной России высшее учебное заведение по подготовке геодезических кадров. В 1797 г. при Генеральном штабе создается Депо карт, реорганизованное в дальнейшем в Военно-топографическое депо. На его базе в 1822 г. организовался корпус военных топографов, выполнявший в дореволюционной России практически все основные геодезические работы. В 1816 г. военным геодезистом К. И. Теннером были начаты, а затем продолжены и завершены (1852 г.) совместно с астрономом В. Я. Струве крупные триангуляционные работы на западе европейской части России. В результате был создан триангуляционный ряд длиной более 3000 км от р. Дуная до Северного Ледовитого океана через европейскую часть России, Швецию и Норвегию, что позволило провести градусное измерение по меридиану протяженностью $25^{\circ}20'$. Работы Струве и Теннера для того времени были выполнены на очень высоком уровне и получили мировое признание.

В развитие отечественной геодезической науки большой вклад внесли русские ученые А. А. Тилло, Н. Я. Цингер, В. В. Витковский, Д. Д. Геденов, В. Я. Струве и др.

Бурное развитие геодезической службы в нашей стране наступило после Октябрьской революции. По декрету, подписанному В. И. Лениным (март 1919 г.), было создано Высшее геодезическое управление (ВГУ), в задачи которого входили производство основных геодезических работ, объединение и планирование всей геодезической деятельности страны, разработка единых методов и составление технических инструкций. В настоящее время это управление носит название Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров ~~СССР~~. В первые годы Советской власти остро встал вопрос об обеспечении опорными пунктами съемочных работ. Научная программа построения опорных геодезических сетей (триангуляции) была разработана (1928 г.) Ф. Н. Красовским — видным ученым-геодезистом, оказавшим огромное влияние на постановку не только астрономо-геодезических, но и гравиметрических работ. В настоящее время в ~~СССР~~ почти полностью закончено построение астрономо-геодезической и высокоточной нивелирной сетей.

С 1925 г. для создания государственных карт в нашей стране стали применять аэрофотосъемку, ставшую основным методом картографирования земной поверхности. Применение авиации позволило в короткий срок (до 1945 г.) создать топографические карты для территории ~~СССР~~ в масштабе 1 : 1 000 000. Значительным до-

стижением геодезической службы в послевоенный период было создание к 1954 г. карты масштаба 1 : 100 000. Современный этап характеризуется созданием карты масштаба 1 : 25 000.

В 1928 г. в Москве организован Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК), являющийся крупным научным и методическим геодезическим центром.

В предвоенные годы А. А. Изотовым под руководством Ф. Н. Красовского были проведены обширные исследования по установлению размеров земного эллипсоида, названного эллипсоидом Красовского и принятого в ~~СССР~~ при производстве топографо-геодезических работ. В этих исследованиях был применен метод совместного использования градусных и гравиметрических измерений. В предвоенные годы в ЦНИИГАиК группой ученых под руководством М. С. Молоденского разработан метод астрономо-гравиметрического нивелирования, применение которого в дальнейшем позволило изучить фигуру геоида на значительной территории ~~СССР~~ и решить важные вопросы обработки астрономо-геодезических сетей. В послевоенные годы М. С. Молоденским был предложен метод, позволяющий по данным геодезических и гравиметрических измерений определять фигуру Земли по ее внешнему гравитационному полю.

Создание советской геодезической наукой астрономо-геодезических сетей и картографирование территории страны позволило обеспечить геодезическими и планово-картографическими материалами развитие производительных сил страны, в первую очередь геологии, горного дела, строительства городов и промышленных комплексов, гидротехнических сооружений, освоение новых земель и мелиорацию сельскохозяйственных угодий и т. п.

Суущественный вклад в развитие в нашей стране геодезического приборостроения внесли Ф. В. Дробышев, М. М. Русинов, Д. В. Максutow, Ю. Г. Стодолкевич, В. А. Белицин, И. М. Монченко, Г. В. Романовский, Е. В. Елисеев и др. Уже в предвоенные годы страна полностью смогла отказаться от импорта геодезических приборов. Высокого уровня геодезическое приборостроение достигло в последние два десятилетия, когда при создании приборов стали широко использоваться новейшие достижения науки и техники. Это позволило создать ряд принципиально новых приборов: топографические светодальномеры, радиодальномеры, кипрегели с номограммными устройствами, нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования, дальномерные насадки, теодолиты.

На фоне мирового развития советская геодезическая наука завоевала передовые позиции. Большую роль в ее развитии сыграли академик А. А. Михайлов, члены-кор. АН ~~СССР~~ Г. А. Авсюков, Ю. Д. Буланже, В. А. Магницкий, М. С. Молоденский, Ф. Н. Красовский, профессора Г. Н. Черданцев, Н. М. Кислов, К. А. Цветков, А. С. Чеботарев, М. Д. Соловьев, П. С. Закатов, Ф. Ф. Павлов, А. И. Мазмишвили, Н. А. Урмаев, Н. Г. Келль, А. Н. Лобанов, В. Д. Большаков, Н. Н. Лебедев.

В настоящее время в нашей стране геодезические работы получают дальнейшее развитие по всем направлениям — от работ, имеющих научное направление, до работ практического значения. Изучение размеров и формы Земли, ее внешнего гравитационного поля проводится с использованием комплексных наблюдений за искусственными спутниками Земли, а также астрономическими и астрономо-гравиметрическими наблюдениями. Почти во всех сейсмически активных районах страны заложены геодезические полигоны, на которых получают данные о движении земной коры, позволяющие решать ряд проблем геодинамики Земли. Повышение точности геодезических измерений позволяет выполнить более сложные задачи, связанные с изучением кинематических предвестников землетрясений как во времени, так и в пространстве, что должно послужить основой для создания системы геодезического обеспечения прогноза землетрясений.

Дальнейший прогресс в развитии топографо-геодезических работ и картографического производства связывается непосредственно с использованием космической техники. Резко возрастающие потребности народного хозяйства в перспективе невозможно осуществить без съемок из космоса. Возможности уже созданной космической бортовой аппаратуры таковы, что получаемая с орбиты видсоинформация по своей разрешающей способности позволяет создать большинство карт установленного масштабного ряда и, следовательно, созданы условия прямого составления карт в широком диапазоне масштабов.

Дальнейшее развитие получает общегосударственное картографирование шельфа, начатое в ~~1974~~ в 1974 г., поверхность дна моря изображается в единой системе координат и высот. Для съемки морского дна созданы современные технические средства, позволяющие получать фотокарты и фотопланы морского дна, аналогичные фотопланам аэрофотосъемки.

Глава 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

§ 4. Общие сведения о форме и размерах Земли

Реальная (физическая) поверхность Земли представляет собой не простую форму. При общей площади ее поверхности 510 млн. км² 71% приходится на дно морей и океанов и 29% — на сушу. И дно океанов, и материки имеют сложный рельеф, особенно сложным, как это показали исследования последних десятилетий, является дно океанов. В некоторых местах глубина мирового океана достигает более 10 км. В Марианском глубоководном желобе Тихого океана советским исследовательским судном «Витязь» была измерена наибольшая глубина Мирового океана — 11 054 м. От

дальные районы суши достигают высоты 7—8 тыс. м. Анализ статистических данных распределения глубин Мирового океана и высот суши показывает, что процентное отношение площадей океанических районов и суши, отнесенных к километровым интервалам по глубине (высоте), можно представить кривой, показанной на

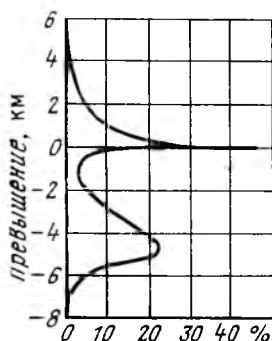


Рис. 1

рис. 1. Как видно из рисунка, существует два пика: один на высоте 100 м над уровнем океана, второй — около 4,5 км ниже уровня океана. На основании приведенных материалов сделан вывод о том, что земная поверхность состоит из двух резко отличных морфологических элементов — материков и океанов, причем естественная граница между ними располагается на глубине около 1,5 км ниже уровня океанов.

Отмеченные особенности в значительной степени осложняются местными неровностями. Таким образом, приведенные данные показывают, что поверхность Земли является крайне сложной, и если учитывать ее рельеф, то отыскание законов для математического описания ее фигуры практически невозможно.

Учитывая, что поверхность воды Мирового океана имеет относительно простую форму и занимает почти $\frac{3}{4}$ поверхности Земли, целесообразно за общую фигуру Земли принять тело, ограниченное поверхностью воды океанов. Такая поверхность называется



Рис. 2

уровенной. Основное ее свойство заключается в том, что на ней потенциал силы тяжести имеет одно и то же значение, т. е. эта поверхность перпендикулярна к отвесной линии и, таким образом, везде горизонтальна.

В общем случае уровенных поверхностей можно провести бесчисленное множество, но все они будут располагаться на разном расстоянии от центра Земли (рис. 2). Та из них, которая совпадает с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолжена под материками, образует фигуру, ко-

торая в геодезии принята за общую фигуру Земли, носящую название геоид.

Определение формы и размеров геоида производят при помощи высокоточных геодезических измерений на земной поверхности и изучения гравиметрического поля Земли. В последние годы для этой цели используются спутники. Определение средней урovenной поверхности по высоте осуществляется в результате многолетних наблюдений за уровнем океанов. В СССР наблюдения выполнены в Кронштадте, где в качестве среднего положения Мирового океана принят средний уровень Балтийского моря. На форме геоида существенно сказывается суточное вращение Земли, поэтому в первом приближении он похож на эллипсоид вращения, который получают в результате вращения эллипса вокруг одной из его осей. Поверхность геоида из-за неравномерности распределения по плотности пород в земной коре имеет дополнительные осложнения.

При помощи спутников удалось установить, что Земля имеет грушевидную форму. Оказалось, что Южный полюс на 44 м 70 см ближе к центру, чем Северный. Кроме того, Южный полюс при этом располагается на 25 м 80 см ниже поверхности приплюснутой сферы, а Северный полюс выступает на 18 м 90 см.

Измерения со спутников также показали, что у Земли имеются «вмятины» и «выступы», отчетливо прослеживающиеся на фоне сложной фигуры геоида. Крупнейшие «вмятины» расположены к юго-западу от Индии (глубина 59 м) и около Антарктиды (30 м). Наиболее значительные «выступы» у Папуа-Новой Гвинеи (57 м) и во Франции (35 м). Установлено также, что экватор Земли не круг, а эллипс, при этом один из его «диаметров» больше другого на 200 м.

Все это заставило отказаться от использования геоида для геодезических вычислений. Из правильных математических поверхностей ближе всего к поверхности геоида подходит эллипсоид вращения, полученный от вращения эллипса вокруг его малой оси PP_1 (рис. 3) и называемый земным эллипсоидом. На рис. 4 схематически показано на разрезе в плоскости экватора взаимное положение физической поверхности Земли, геоида и эллипсоида вращения.

Размеры земного эллипсоида характеризуются длинами его большой a и малой b полуосей, а также сжатием α , определяемым по формуле

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

В геодезии земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат, принято называть референц-эллипсоидом.

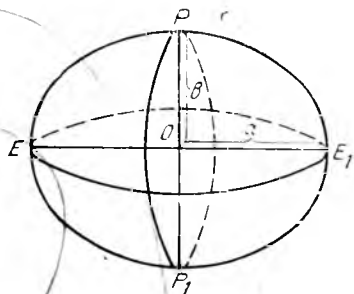


Рис. 3

В нашей стране многие годы (до 1946 г.) использовался эллипсоид, полученный Бесселем. В 1946 г. постановлением Совета Министров ~~были~~ были введены для обязательного использования размеры земного эллипсоида, вычисленные в ЦНИИГАиК в 1940 г. под руководством Ф. Н. Красовского при участии проф. А. А. Изотова.

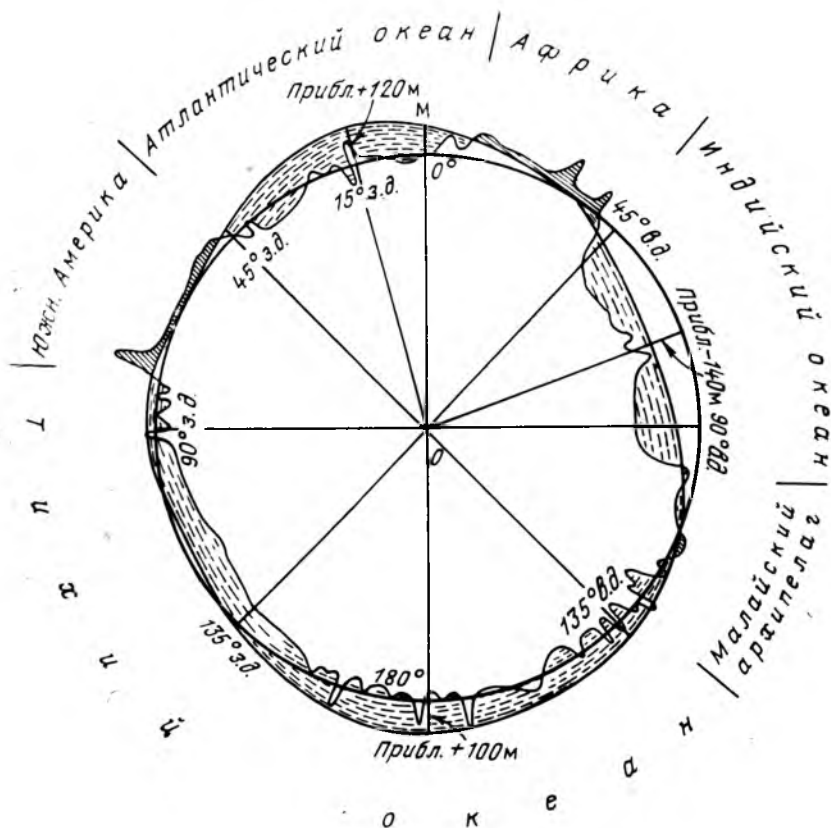


Рис. 4

В последние годы спутниковая геодезия позволила уточнить размеры референц-эллипсоида Ф. Н. Красовского. Оказалось, что сжатие земного эллипсоида составляет 1 : 298,26, а разница между экваториальным и полярным диаметрами Земли составляет 42,77 км.

В тех случаях, когда фигуру Земли представляют в виде шара, ее радиус приближенно принимают равным $R=6371$ км.

§ 5. Изображение земной поверхности. Метод проекций

Физическая поверхность Земли состоит из пространственных замкнутых элементов (равнины, горы, холмы и т. п.). Для определения положения отдельных точек этой поверхности применяется метод проекций, заключающийся в том, что некоторые точки земной поверхности, например $ABCDE$ (рис. 5, а), проектируют

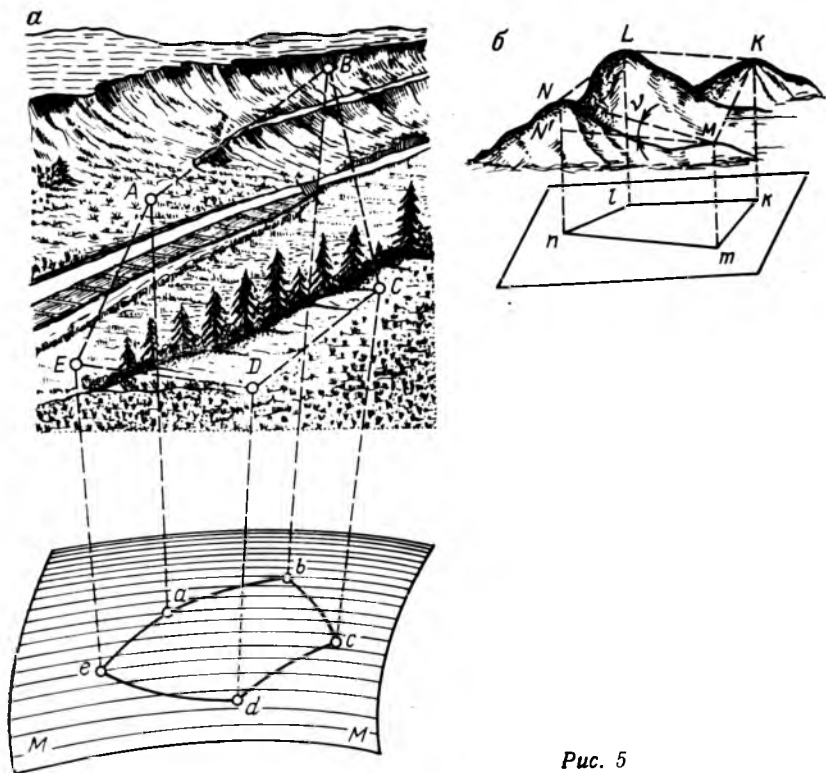


Рис. 5

нормальными на поверхность эллипсоида M . В результате на его поверхности получают точки $abcde$, которые являются проекциями точек земной поверхности $ABCDE$. Положение проекций точек на поверхности земного эллипсоида определяется географическими координатами.

При изображении небольших участков земной поверхности часть уровенной поверхности или земного эллипсоида принимают за горизонтальную плоскость (рис. 5, б). В данном случае направления отвесных линий перпендикулярны к плоскости π , следовательно, параллельны между собой.

Проектирование точек местности на горизонтальную плоскость под прямым к ней углом называется ортогональным, а полученные проекции m, n, l, k — ортогональными. Линии mn, nl, lk, km называются ортогональными проекциями или горизонтальными проложениями соответствующих линий MN, NL, LK, KM местности. Для вычисления горизонтального проложения mn измеряют длину линии MN на местности и угол наклона ν этой линии относительно горизонтальной линии MN' . Таким образом,

$$mn = MN \cos \nu.$$

Направление проектирования на плоскость в принципе может быть любым, но ортогональная проекция проще косоугольной, поэтому в геодезии получила распространение практически только ортогональная проекция.

Отстояние точек земной поверхности по отвесной линии от поверхности, на которую они проектируются, называется высотой точек. Высоты считаются абсолютными, если точки проектируются на основную уровенную поверхность, и считаются относительными, если проектирование ведется на условную уровенную поверхность.

§ 6. Географические координаты

Плоскость, проходящая через центр Земли перпендикулярно к ее оси вращения, называется плоскостью земного экватора.

Плоскость, проходящая через отвесную линию и ось вращения Земли или параллельно последней, называется плоскостью географического (астрономического) меридиана. Линии пересечения плоскостей географических меридианов с земной поверхностью называются меридианами. Линии, образованные при пересечении плоскостей, проходящих перпендикулярно к оси вращения Земли с земной поверхностью, называются параллелями.

Сеть меридианов и параллелей, нанесенных некоторым образом на земную поверхность, представляет собой координатные оси географической системы координат.

Со времен Птолемея (ок. 150 г. н. э.) для определения положения точек на сфере используются географические координаты, к которым относятся широта (φ) и долгота (λ). Началом отсчета географических координат являются плоскости экватора и Гринвичского (нулевого) меридиана (рис. 6, а).

Под долготой понимают двугранный угол между плоскостью Гринвичского (нулевого) меридиана и плоскостью данного меридиана (в нашем случае меридиана точки P); под широтой — угол, составленный отвесной линией точки P с плоскостью экватора.

Если географические координаты определяются при помощи астрономических наблюдений независимо для каждой точки мест-

§ 7. Система плоских прямоугольных координат

Географические координаты выражаются в угловых величинах. Они неудобны для практического их использования в инженерных расчетах как в геодезии, так и в маркшейдерском деле. Кроме того, линейные значения угловых единиц на различных участках поверхности Земли различны. Поэтому для производства геодезических и маркшейдерских съемок и для изображения их результатов на планах и картах более удобной является система плоских прямоугольных координат, которая значительно упрощает производство топографических и маркшейдерских съемок на разведываемых территориях и территориях горных предприятий, уравнивание опорных сетей, вычисление координат опорных пунктов и т. п. Кроме того, плоская система координат обеспечивает возможность совмещения планов смежных участков, оперативное решение инженерных задач и др.

Исходными линиями в системе прямоугольных координат (рис. 6, б) являются две взаимно перпендикулярные линии $xx—yy$, лежащие в горизонтальной плоскости и называемые соответственно осью абсцисс x и осью ординат y . В геодезии, в отличие от математики, ось абсцисс на чертеже располагается вертикально и совпадает с направлением меридиана. Точка O пересечения осей является началом координат. Координатные оси делят плоскость чертежа на четыре четверти, счет которых ведется по ходу часовой стрелки от четверти, расположенной в северо-восточной части плоскости чертежа.

Абсциссой x и ординатой y точек считаются соответственно длины перпендикуляров, опущенных из точек на оси координат. Знаки координат зависят от четверти, в которой расположены точки. Абсциссы точек в первой и четвертой четвертях положительные, во второй и третьей отрицательные. Ординаты точек в первой и второй четвертях положительные, в третьей и четвертой — отрицательные.

§ 8. Влияние кривизны Земли на определение горизонтальных и вертикальных расстояний

Небольшие участки поверхности Земли могут изображаться на плоскости в ортогональной проекции. В этом случае значительно упрощаются геодезические вычисления. Определим, какие размеры площадей земного эллипсоида можно принять за плоскость.

Пусть имеем некоторый участок уровенной поверхности ABC (рис. 7, а), который заменим поверхностью шара с центром O и радиусом R . Обозначим дугу ABC через $2s$, центральный угол — через α . Проведем через точку B касательную к дуге ABC , отрезок BC которой обозначим через d .

Пусть разность между длиной касательной d и длиной дуги s $\Delta s = d - s$.

Согласно рис. 7 запишем, что $d = R \operatorname{tg} \alpha$, $s = R\alpha$, где угол α выражен в радианной мере, откуда

$$\Delta s = R \operatorname{tg} \alpha - R\alpha = R (\operatorname{tg} \alpha - \alpha).$$

Разложив $\operatorname{tg} \alpha$ в тригонометрический ряд, ограничиваясь двумя членами ряда, получим

$$\Delta s = R \left(\alpha + \frac{\alpha^3}{3} - \alpha \right) = \frac{R\alpha^3}{3}.$$

Полагая, что $\alpha = s/R$, получим

$$\Delta s = s^3/3R^2. \quad (2.1)$$

Проведем анализ выражения (2.1), для чего примем значения $s = 10, 50, 100$ км, а радиус Земли $R = 6371$ км. В этом случае относительные погрешности соответственно составляют $1:1\,000\,000$; $1:49\,000$ и $1:12\,000$.

Полученные результаты показывают, что при замене половины кривой ABC $s = 10$ км отрезком касательной величина погрешности

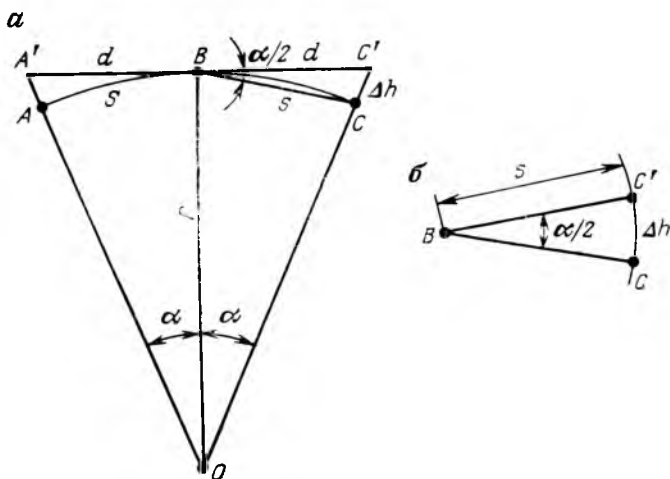


Рис. 7

$\Delta s = 1$ см, что в относительной мере составляет $1:1\,000\,000$. Высокоточные измерения линий длиной $10\text{--}20$ км выполняются с погрешностями $1:1\,000\,000$. Таким образом, такая погрешность является допустимой при самых высокоточных измерениях на земной поверхности горизонтальных расстояний длиной $10\text{--}20$ км. С увеличением же дуги s погрешность, возникающая при замене сферической поверхности плоскостью, увеличивается пропорционально кубу расстояний, выходя за пределы допустимых. Следовательно, полученные результаты показывают, что дугу сферической поверхности Земли длиной до $2s = 20$ км можно заменить отрезком касательной, не принимая во внимание кривизны Земли, и площадь

участка размером 20×20 км может считаться не частью земного эллипсоида, а плоскостью.

Для рассмотрения погрешности измерения вертикальных расстояний, возникающих при замене сферических участков Земли, отрезками прямой используем фигуру BCC' (рис. 7, б). Здесь угол $C'BC$, составленный касательной и хордой, равен половине угла α , из-за малости которого фигуру $C'BC$ можно считать как сектор с углом $\alpha/2$ и дугой $CC' = h$, проведенной радиусом s . Таким образом, запишем

$$\Delta h = s \frac{\alpha}{2}.$$

Подставив вместо α выражение s/R , получим

$$\Delta h = s^2/2R. \quad (2.2)$$

Величину Δh называют поправкой за кривизну Земли. Вычислим Δh для нескольких значений s :

s , км	10	5	2	1	0,5
Δh , см	785	196	31	8	2

Погрешность замены сферической поверхности плоскостью, только начиная с длин касательных 500 м и меньше, приобретает приемлемую величину — 2 см, которая является допустимой при определении для инженерных целей отметок земной поверхности. Следовательно, при передаче высотных отметок на расстояния более 0,5 км необходимо учитывать влияние кривизны Земли.

9. Общегосударственная система прямоугольных координат

При изображении на топографических картах значительных территорий поверхность референц-эллипсоида необходимо развернуть в плоскость. Однако выполнить такую операцию без разрывов и складок разворачиваемой сферической поверхности невозможно. Поэтому для решения этой задачи используются дополнительные поверхности, легко разворачивающиеся в плоскость, например, цилиндр или конус. В данном случае производится проектирование частей референц-эллипсоида на вспомогательную геометрически правильную поверхность (цилиндр, конус), которую впоследствии разворачивают в плоскость. Для удобства выполнения операции перенесения вспомогательное тело предполагается касательным к референц-эллипсоиду, на его поверхность переносится (проектируется) сеть меридианов и параллелей, которые на листе карты выполняют роль картографической сетки. После переноса картографической сетки на вспомогательную поверхность последняя разрезается и разворачивается в плоскость. Способ перехода от изображения земной поверхности со сферы на плоскость определяет картографическую проекцию.

Картографические проекции предполагают некоторое искажение географических объектов, расположенных на референц-эллип-

сфере и плоском листе карты. Современные картографические проекции обладают большим разнообразием изображения и по характеру искажения подразделяются на равноугольные, равно-великие и произвольные. В равноугольных проекциях не искажаются углы и сохраняется подобие фигур, в равновеликих — сохраняется соотношение площадей, но искажаются углы и очертания фигур, в произвольных — искажаются и углы и площади, но в допустимых пределах.

Изучением картографических проекций занимаются в математической картографии, где они рассматриваются в виде аналити-

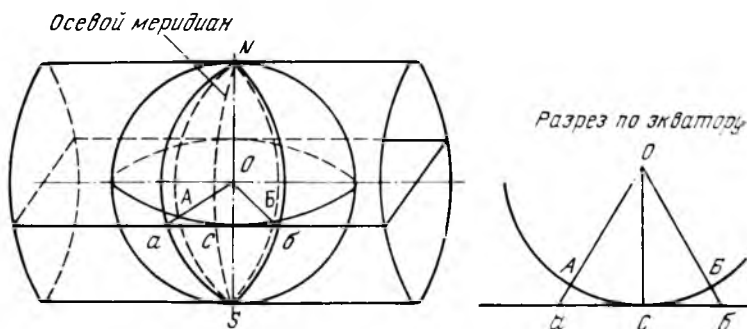


Рис. 8

ческих зависимостей между координатами точек на поверхности референц-эллипсоида и координатами их проекций на плоскость. В общем виде эти зависимости могут быть представлены выражениями $x = f_1(\varphi, \lambda)$; $y = f_2(\varphi, \lambda)$, определяющими связь между прямоугольными координатами точек на плоскости и географическими координатами на референц-эллипсоиде.

Равноугольная цилиндрическая поперечная проекция (проекция Гаусса). Среди требований, предъявляемых к картографическим проекциям для топографических карт, основное заключается в том, что искажения за счет проектирования не превышали погрешности соответствующих геодезических измерений. Наиболее полно таким требованиям отвечает проекция, предложенная в 1820 г. К. Гауссом, для которой разработана теория плоских конформных координат, позволяющая получать по возможности свободное от искажений изображение земного эллипсоида на плоскость.

Сущность проекции Гаусса заключается в том, что к поверхности земного эллипсоида проводится касательный цилиндр, ось которого перпендикулярна к малой оси эллипсоида. При такой ориентировке цилиндра он касается по меридиану эллипсоида, который является общим для цилиндра и эллипсоида (рис. 8). Другие же меридианы, перенесенные (спроектированные) на цилиндр, на поверхности последнего будут увеличены по длине. При удалении

от осевого меридиана происходит искажение длин, тем большее, чем дальше меридианы расположены от середины зоны. Искажение длин определяется по формуле

$$\Delta l = l \frac{y^2}{2R^2},$$

где l — отрезок на земном шаре; y — длина дуги от меридиана касания до данного отрезка; R — радиус земного шара. Прямоугольные координаты точек поверхности земного эллипсоида при их изображении на плоскости в проекции Гаусса определяются из довольно сложных выражений:

$$\begin{aligned} x = s + N \frac{l^2}{2\rho^2} \sin B \cos B + N \frac{l^4}{24\rho^4} \sin B \cos^3 B (5 - \operatorname{tg}^2 B + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \\ + N \frac{l^6}{720\rho^6} \sin B \cos^5 B (61 - 58\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B); \\ y = N \frac{l}{\rho} \cos B + N \frac{l^3}{6\rho^3} \cos^3 B (1 - \operatorname{tg}^2 B + \eta^2) + \\ + N \frac{l^5}{120\rho^5} \cos^5 B (5 - 18\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B + 14\eta^2 - 58\eta^2 \operatorname{tg}^2 B), \end{aligned}$$

где s — длина дуги меридиана от экватора до параллели под широтой B ; N — длина нормали к поверхности земного эллипсоида под широтой B ; ρ — величина радиана в секундах; $\eta^2 = l'^2 \cos^2 B = = 0,006738525 \cos^2 B$ (для эллипсоида Красовского).

Цилиндры, на которые переносятся участки земного эллипсоида, разрезаются по образующим, проходящим через полюсы, и разрезанные части разворачиваются в плоскости. При использовании проекции Гаусса получают на листе бумаги подобное изображение поверхности земного эллипсоида в пределах отдельных фигур, показанных на рис. 9, а и называемых зонами.

Были установлены оптимальные размеры полосы, которая переносится на данный касательный цилиндр: сфероидический двугрульник, ограниченный меридианами с разностью долгот 6° . Таким образом, поверхность земного шара разбита на 60 зон, к центральному (осевому) меридиану каждой зоны проводится касательный цилиндр. На поверхности цилиндров соответствующим образом производится конформное проектирование поверхности сфероида в пределах данной зоны, при котором вокруг каждой точки на цилиндре получают подобное изображение соответствующего участка на земном эллипсоиде.

Оказывается, что для территорий, расположенных в полосе по широте от 30 до 70° , относительные погрешности от искажения длин линий при проектировании колеблются от $1:1000$ до $1:6000$. В тех случаях, когда указанные погрешности недопустимы для построения карт и планов, часто используют не шестиградусные, а трехградусные зоны.

Зональная система прямоугольных координат. В каждой зоне выбирается начало системы: пересечение осевого меридиана данной зоны с экватором (рис. 9, б). Осевого меридиана принимается за ось x , изображение земного экватора, перпендикулярного к осевому меридиану, служит осью y . Координаты x точек, расположенных к северу от экватора, считаются положительными, а к югу — отрицательными. Координаты y точек, находящихся к востоку от осевого меридиана, считаются положительными, к западу — отрицательными.

Долгота осевого меридиана зоны определяется по формуле $L^\circ = 6N - 3^\circ$, где N — номер зоны. Западный граничный меридиан первой зоны совпадает с Гринвичским меридианом.

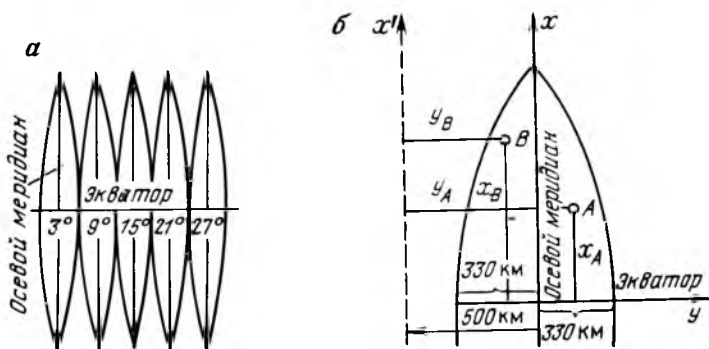


Рис. 9

Территория ~~Соединенных Штатов~~ находится в северном полушарии, поэтому координаты x всех точек имеют положительное значение. Значения же координат y могут быть как положительными, так и отрицательными, что представляет неудобства при решении различных задач геодезии и маркшейдерского дела. Для того, чтобы не иметь дела с отрицательными значениями ординат, в каждой зоне начало координат переносится на 500 км на запад от осевого меридиана зоны (см. рис. 9, б). Полученную таким образом ординату принято называть приведенной. Поэтому если ординаты двух точек восьмой зоны относительно осевого меридиана равны $y_1 = 23\,730,00$ м и $y_2 = -102\,280,00$ м, то приведенные ординаты соответственно будут: $y_1 = 23\,730 + 500\,000,00 = 523\,730,00$ м; $y_2 = -102\,280,00 + 500\,000,00 = 397\,720,00$ м.

В связи с тем что одинаковые координаты точек могут повторяться в каждой из 60 зон, введено правило, определяющее отнесение координат к определенной зоне, для чего впереди координаты ставится цифра, обозначающая номер зоны.

В приведенном выше случае ординаты точек, расположенных, например, в 8-й зоне, должны быть записаны следующим образом: $y_1 = 8\,523\,730,00$ м; $y_2 = 8\,397\,720,00$ м.

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ. ОРИЕНТИРУЮЩИЕ УГЛЫ

§ 10. Общие сведения

3 8. Ориентировать линию — значит, определить ее направление относительно другого, принятого за исходное. Термин «ориентировать» произошел от латинского слова *oriens* — восток, так как раньше ориентирование производилось относительно направления на восток. В настоящее время линии местности ориентируют относительно географического и магнитного меридианов, а также осевого меридиана зоны или линии, параллельной ей (оси абсцисс).

§ 11. Ориентирование линий по географическому меридиану

9 Географический меридиан — условная линия на поверхности Земли, все точки которой имеют одинаковую географическую долготу. Она образована пересечением поверхности Земли с плоскостью, проходящей через оба географических полюса. При перене-

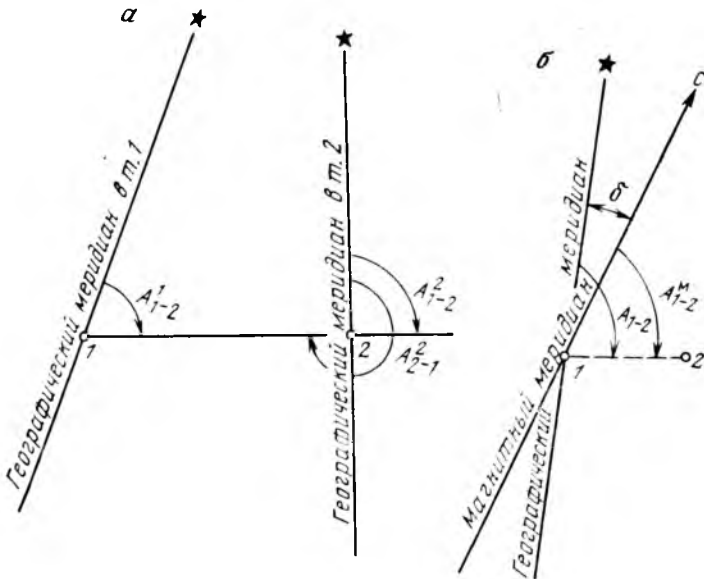


Рис. 10

сении (проектировании) поверхности эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса географический меридиан изображается кривой линией, но для небольших участков местности его заменяют касательной к меридиану, носящей название полуденной линии.

Существуют также понятия геодезического и астрономического меридианов.

Геодезический меридиан образован плоскостью, проходящей через нормаль к поверхности земного эллипсоида в данной точке параллельно его малой оси; астрономический меридиан образован плоскостью, проходящей через отвесную линию в данной точке параллельно оси вращения Земли.

Географическим азимутом (A) линии местности называется горизонтальный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления географического меридиана до направления линии (рис. 10).

Азимут может иметь значения от 0 до 360° .

Линия имеет два направления: прямое и обратное. Поэтому различают прямые и обратные азимуты. Например, на рис. 10, a в точке 1 показан прямой азимут A^1_{1-2} , а в точке 2 — обратный A^2_{2-1} .

§ 12. Ориентирование линий по магнитному меридиану

Наша планета обладает магнитным полем, которое принято считать состоящим из двух частей: большая часть создается источниками, находящимися внутри планеты, так называемое главное геомагнитное поле, и небольшая его часть (около 1%) определяется внешними по отношению к земному шару источниками. Принято считать, что главное геомагнитное поле состоит из поля магнитного диполя, помещенного в центре Земли и составляющего одну десятую часть от дипольного поля переменной во времени и пространстве недипольной части. Отклонение магнитной стрелки от направления на географический полюс обусловлено существованием недипольной части, которая складывается из кратковременных (суточных) и долговременных (вековых) колебаний. Кратковременные изменения вызываются электрическими токами в ионосфере. Долговременные вариации выражаются в виде закономерного смещения магнитного поля на запад, так называемого западного дрейфа.

По современным представлениям, источником главного геомагнитного поля является состоящее из двух оболочек ядро Земли. Вращение внутреннего ядра, а также движение жидкости во внешнем ядре рассматриваются как движение проводников в магнитном поле, что ведет к возникновению электрических токов. Возникающее при этом магнитное поле слагается с уже существующим, усиливая его. Предполагается, что скорость вращения внутреннего ядра несколько отличается от скорости вращения земной коры и мантии, что вызывает появление дрейфа недипольной части геомагнитного поля.

Главное геомагнитное поле осложнено аномалиями, которые по своему происхождению связаны или с Землей или с ее магнитосферой. Аномалии первого происхождения в зависимости от площадей их распространения разделяют на локальные, региональные и мировые. К локальным относятся аномалии, имеющие размеры

нескольких километров, к региональным — аномалии, имеющие размеры нескольких сотен километров. Генезис локальных и региональных аномалий одинаков и связан с залеганием в земных недрах минералов, обладающих магнитными свойствами. Мировые аномалии имеют размеры нескольких тысяч километров и связаны они с целыми материками. Предполагается, что происхождение мировых аномалий аналогично происхождению главного магнитного поля Земли.

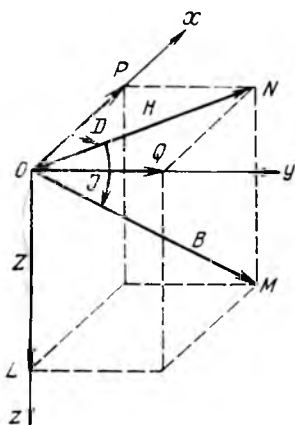


Рис. 11

Напряженность поля в локальных и региональных аномалиях существенная и может в несколько раз (например, Курская магнитная аномалия) превышать напряженность поля на геомагнитных полюсах.

Характеристикой магнитного поля Земли является вектор его напряженности и направление в пространстве этого вектора. Рассмотрим в некоторой точке O вектор напряженности магнитного поля Земли B (рис. 11). При разложении вектора B на составляющие принимается прямоугольная система координат, одна из осей которой z принимает вертикальное положение, а оси x и y располагаются в горизонтальной плоскости, причем ось x ориентируют по на-

правлению географического меридиана, а ось y — по направлению параллели.

Проекция вектора B на горизонтальную плоскость обозначается H и носит название горизонтальной составляющей. Проекция вектора B на ось z носит название вертикальной составляющей и обозначается Z . Угол I между горизонтальной составляющей напряженности H и полным вектором напряженного состояния B называется углом магнитного наклона. Угол D , образованный осью x и горизонтальной составляющей вектора напряженности, называется углом склонения или магнитным склонением. Вертикальная плоскость, проходящая через вектор напряженности B , называется плоскостью магнитного меридиана. Таким образом, магнитное склонение можно также определить как угол, образованный плоскостями географического и магнитного меридианов.

Если в некоторой точке поверхности земного шара подвесить магнитную стрелку так, чтобы она свободно могла вращаться вокруг центра тяжести, то она занимает положение в пространстве, совпадающее с вектором напряженности магнитного поля B . Отметим, что для использования магнитной стрелки при ориентировании направлений вертикальная составляющая Z не играет никакой роли, поэтому в приборах, предназначенных для ориентирования, магнитные стрелки снабжены балансиром, нейтрализующим действие на них вертикальной составляющей магнитного поля. Таким образом, магнитным меридианом можно называть направ-

ление линии, полученной в пересечении плоскости, проходящей через полюсы магнитной стрелки с горизонтальной плоскостью. Магнитные меридианы представляют собой сложные кривые, сходящиеся в северном и южном магнитных полюсах Земли.

Магнитным азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до данного направления линии (рис. 10, б).

В связи с тем, что через каждую точку проходят географический и магнитный меридианы, направление которых совпадает только в частных случаях, между магнитным и географическим азимутами ориентируемого направления имеется расхождение, называемое магнитным склонением δ , которое может быть восточным и западным. Принято считать восточное склонение положительным (+), западное — отрицательным (—).

Зависимость между географическим A и магнитным A^M азимутами выражается формулой

$$\delta = A_{1-2} - A^M_{1-2}. \quad (3.1)$$

Вековое изменение магнитного поля не постоянное, а меняется от года к году. В связи с этим оно регулярно определяется на обсерваториях. В табл. 1 приведены величины магнитных склонений в ряде пунктов нашей планеты, полученные более чем за четыре столетия.

Таблица 1

Год	Лондон	Париж	Рим	Ленинград
1540	+7,2	+8,2	—	—
1600	+10,9	+9,6	+11,4	—
1720	—10,9	—12,3	—7,8	—3,4
1860	—21,5	—19,5	—15,8	—3,0
1900	—16,5	—14,6	—10,2	—0,7
1960	—10,0	—8,0	—4,0	—6,7

Суточные вариации магнитного поля Земли отличаются быстрыми изменениями, длящимися от нескольких дней до секунд. Эти вариации изучаются в специальных магнитных обсерваториях, где ведется их непрерывная регистрация и запись на магнитограммы. При необходимости данные суточных изменений можно получить из близлежащей обсерватории.

Суточные изменения склонения магнитной стрелки обычно составляют около $15'$, но в беспокойные дни с существенными вариациями поля амплитуда может достигать до 1° .

Обычно суточные изменения склонения происходят довольно закономерно. Для территории, занимаемой Европой, наибольшее

отклонение к востоку наблюдается в 8 часов утра, к 10 часам утра северный конец стрелки занимает нормальное (среднее) положение и в 12—13 часов достигает наибольшего западного отклонения. Вновь исходное положение стрелка занимает к 18—20 часам.

§ 13. Ориентирование линий по осевому меридиану

Азимуты одной и той же линии в разных ее точках имеют различные значения из-за непараллельности меридианов. Например, для линий 1—2 (см. рис. 10, а) азимут A_{1-2}^1 в точке 1 не равен

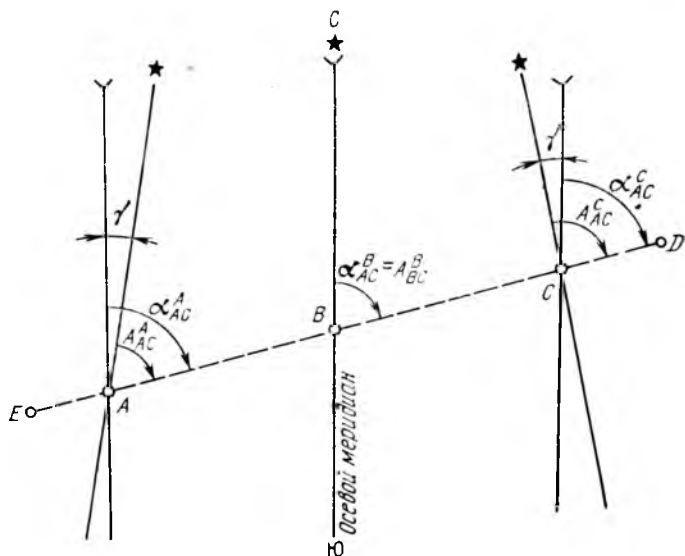


Рис. 12

азимуту A_{1-2}^2 в точке 2. По этой же причине прямой и обратный азимуты одной и той же линии отличаются не ровно на 180° , что создает неудобство пользования азимутами при обработке результатов геодезических измерений. Чтобы избежать этого неудобства, на участке геодезических работ принимают меридиан одного из геодезических пунктов за осевой и относительно него ориентируют все линии. В проекции Гаусса все линии одной зоны ориентируются относительно изображения осевого меридиана, совмещенного с осью абсцисс (рис. 12).

Для ориентирования линий относительно осевого меридиана (оси абсцисс прямоугольной системы координат) используются дирекционные углы.

Дирекционным углом называют угол α , отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления линии, параллельной оси абсцисс, до

данной линии. Дирекционные углы могут иметь значения от 0 до 360°.

Дирекционные углы, определенные в одном направлении линии, называют прямыми (α_{AB} , α_{CD}), в противоположном — обратными (α_{BA} , α_{DC}). В отличие от азимута A дирекционный угол α одной и той же линии в разных ее точках остается постоянным. Поэтому прямой и обратный дирекционные углы отличаются друг от друга на 180°:

$$\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ. \quad (3.2)$$

§ 14. Сближение меридианов

Если на рис. 12 географический меридиан СЮ в точке B принят за осевой, через точки A и B проведены линии, параллельные осевому меридиану, то дирекционный угол α линии ED в точках A , B , C будет иметь одно и то же значение. Географические азимуты линии ED , взятые в точках A , B и C (меридианы которых обозначены звездочками), не равны между собой, причем в точке B , находящейся на осевом меридиане, азимут линии и дирекционный угол равны. В точках A и C дирекционные углы α отличаются от азимутов на углы γ . Угол γ в данной точке между ее географическим меридианом и линией, параллельной оси абсцисс (или осевому меридиану), называется сближением меридианов. Сближение меридианов можно также определить как разность между азимутом A и дирекционным углом α , т. е.

$$\gamma = A - \alpha. \quad (3.3)$$

Согласно этой формуле и рис. 12, для точек местности, расположенных к востоку от осевого меридиана, сближение меридианов будет положительным, а для точек, расположенных к западу от него, — отрицательным. Таким образом, если определен азимут (например, из астрономических наблюдений) какой-либо линии, а также известно сближение меридианов в данной точке, то можно вычислить дирекционный угол этой линии по формуле

$$\alpha = A - \gamma.$$

Сближение меридианов в какой-либо точке можно определить по значениям ее географической широты и долготы (например, взятым с карты). Получим выражение для приближенного определения сближения меридианов. Возьмем на поверхности Земли, условно принятой за шар, две точки A и B (рис. 13), расположенные на одной широте φ . При этом точка A находится на осевом меридиане с долготой λ_0 , точка B — на меридиане с долготой λ_B . Разность долгот обозначим через $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_0$, длину дуги между точками A и B — через s . Проведем через точки A и B касательные (полуденные линии) к их меридианам. Эти касательные пересекутся в некоторой точке T , расположенной на продол-

жении оси вращения Земли, образуя угол, равный сближению меридианов γ точек A и B .

Обычно расстояние s между точками A и B принимается небольшим, поэтому сближение меридианов (угол γ) можно считать центральным углом дуги s с радиусом, равным длине отрезка касательной AT или BT . Откуда в радианной мере запишем:

$$\gamma = \frac{s}{AT}.$$

Из прямоугольного треугольника OAT получим $AT = R \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi)$. Подставив полученное выражение в предыдущую формулу, получим

$$\gamma = \frac{s}{R} \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.4)$$

Если ρ выразить в минутах ($\rho = 3438'$), радиус Земли принять равным $R = 6371,11$ км, то выражение (3.4) примет вид

$$\gamma' = 0,540 s \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.5)$$

Заменим расстояние s , взятое по параллели, разностью долгот $\Delta\lambda$. Для этого используем центральный угол AKB , опирающийся на дугу s . В радианной мере

$$\Delta\lambda = \frac{s}{AK}. \quad (3.6)$$

Но $AK = AT \sin \varphi$, а $AT = \frac{s}{\gamma}$. Подставив приведенные выражения в (3.6), получим

$$\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi = (\lambda_B - \lambda_0) \sin \varphi, \quad (3.7)$$

где λ_B — долгота точки B , λ_0 — долгота осевого меридиана.

Приведенное выражение (3.7) показывает, что сближение меридианов равно нулю для точек, расположенных на экваторе ($\varphi = 0$) или осевом меридиане; на полюсе ($\varphi = 90^\circ$) — разности долгот точек, т. е. $\gamma = \Delta\lambda$. Из него также видно, что для точек, расположенных к востоку от осевого меридиана, разность $\lambda_B - \lambda_0$ положительна и γ имеет знак плюс (+), а для точек, находящихся к западу от осевого меридиана, эта разность отрицательна и, следовательно, γ имеет знак минус (—).

15

§ 15. Связь дирекционных углов двух линий с углом, заключенным между ними

Рассмотрим две линии, расположенные на земной поверхности и имеющие общую точку 2 (рис. 14), в которой измерен угол β_n или угол β_l . Здесь β_n — вправо по ходу лежащий угол, β_l — влево по ходу лежащий угол.

Пусть известны дирекционный угол линии 1—2 α_{1-2} и угол β_n (или β_l). Определим дирекционный угол стороны 2—3. Продолжив направление 1—2 за точку 2, получим в точке 2 значение дирекционного угла направления 1—2. Угол, образованный продолженным направлением и направлением 2—3, обозначим через ω , его значение, согласно рис. 14, будет $\omega = 180^\circ - \beta_n$. Из рис. 14 видно, что $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \omega$. Подставив значение ω , получим

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - \beta_n + 180^\circ. \quad (3.8)$$

Так как $\beta_n = 360^\circ - \beta_l$,

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \beta_l - 180^\circ. \quad (3.9)$$

Полученные в (3.8) и (3.9) зависимости сформулируем в общем виде: дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны минус вправо по ходу лежащий измеренный угол плюс 180° , или дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей плюс влево по ходу лежащий угол минус 180° .

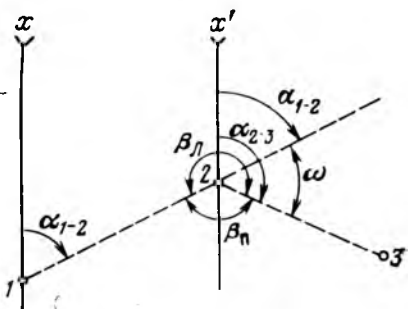


Рис. 14

§ 16. Румбы

Для ориентирования линий на местности могут использоваться румбы (r), которые представляют собой углы в пределах от 0 до 90° , образованные ближайшим (северным или южным) концом исходного направления и направлением ориентируемой линии. На рис. 15 показаны румбы линий, расположенных во всех четвертях. Так как румбы могут находиться в пределах от 0 до 90° , их значения повторяются в различных четвертях, поэтому для однозначного определения перед числовым значением румбов ставится название четверти: для первой четверти СВ (северо-восток), второй ЮВ (юго-восток), третий ЮЗ (юго-запад), четвертой СЗ (северо-запад).

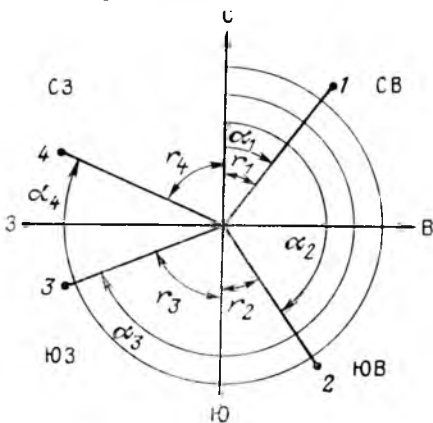


Рис. 15

В зависимости от того, какое из исходных направлений принимают для ориентирования, румбы могут быть географическими, магнитными, дирекционными.

Вычисление румбов по известным исходным ориентирующим углам (см. рис. 15) производится по следующим соотношениям (на примере дирекционных углов):

первая четверть (СВ) $r_{1-2} = \alpha_{1-2}$;

вторая четверть (ЮВ) $r_{1-3} = 180^\circ - \alpha_{1-3}$;

третья четверть (ЮЗ) $r_{1-4} = \alpha_{1-4} - 180^\circ$;

четвертая четверть (СЗ) $r_{1-5} = 360^\circ - \alpha_{1-5}$.

Прямой и обратный румбы одной линии равны по величине и отличаются друг от друга противоположными названиями.

Глава 4

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТА И ПЛАН

§ 17. Масштабы

Изображение участков поверхности Земли на планах и картах осуществляется с уменьшением результатов измерений на местности. Степень уменьшения линии на плане определяется масштабом, выражаемым отвлеченным числом, в котором числитель — единица, знаменатель — число, показывающее, во сколько раз горизонтальное проложение линии местности S уменьшено по сравнению с его изображением s на плане. Такой масштаб называется численным масштабом длин или численным масштабом. Следовательно, $s/S = 1/M$, где M — знаменатель численного масштаба.

Масштаб плана является постоянной величиной на всех его частях.

На географических картах масштаб непрерывно меняется как при переходе от одной точки к другой, так и в одной и той же точке по разным направлениям в зависимости от принятого способа изображения земной поверхности на плоскости. Поэтому для карт различают главный масштаб, обобщенный по всей карте, и частные масштабы.

На планах и картах подписывают значения численного масштаба в виде простой дроби $1 : 500$, $1 : 1000$, $1 : 2000$, $1 : 10\,000$, $1 : 25\,000$ и т. п. Таким образом, если при составлении плана принят численный масштаб $1 : 10\,000$, это означает, что горизонтальные проложения линий местности уменьшены в 10 000 раз. На планах и картах численный масштаб также записывают именованными числами, причем за единицу измерения на плане (карте) принимают 1 см, а горизонтальное проложение на местности выражается в метрах или километрах. Например, «в сантиметре 100 м». Это значит, что 1 см на плане соответствует линии на местности, горизонтальное проложение которой равно 100 м.

Планы и карты принято составлять в стандартных масштабах:

Численный масштаб . . .	мас- штаб	1:1 000 000	1:500 000	1:200 000	1:100 000
В сантиметре . . .		10 км	5 км	2 км	1 км
Численный масштаб . . .	мас- штаб	1:50 000	1:25 000	1:10 000	
В сантиметре . . .		500 м	250 м	100 м	

П л а н ы

Численный масштаб . . .	масштаб	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
В сантиметре . . .		50 м	20 м	10 м	5 м

При этом различают масштабы крупные и мелкие. Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее масштаб.

Наиболее крупными масштабами планов и карт будут соответственно масштабы 1:500 и 1:10 000, а наиболее мелкими — 1:50 000 и 1:1 000 000. На плане и карте более крупного масштаба можно отобразить больше подробностей местности. Масштаб плана или карты выбирается согласно техническим инструкциям в зависимости от их назначения.

При помощи численных масштабов горизонтальные проложения линий местности переводят в линии на плане и наоборот, линии на плане — в горизонтальные проложения линий местности. Например, если горизонтальное проложение линии местности равно 174,30 м, масштаб плана 1:2000, то длина линии на плане — $174,3 : 2000 = 8,71$ см, или, если линия на плане масштаба 1:5000 равна 10,20 см, то горизонтальное проложение этой линии местности будет $10,20 \cdot 5000 = 510,0$ м.

Чтобы не производить подобных расчетов, связанных с применением численного масштаба, используют графические построения в виде линейного и поперечного масштабов.

Линейный масштаб представляет шкалу, разделенную на равные отрезки (рис. 16), называемые основанием масштаба, отрезки принимаются равными 1 см, 2 см или 2,5 см, что должно соответствовать круглому числу метров на местности (5, 10, 20, 50, 100, 200 м и т. д.). Первое слева основание делится на 5 или 10 равных частей. Подпись 0 ставится справа первого основания. Остальные штрихи, обозначающие концы оснований, надписываются в соответствии с принятым численным масштабом плана.

На рис. 16 изображены линейные масштабы, построенные по численным масштабам 1:500 и 1:2000. Основание масштаба 1:500 принято равным 1 см, а для масштаба 1:2000 — 2,5 см. Соответственно подписаны основания масштабов 5, 10, 15 м и т. д. и 50, 100, 150 м и т. д. Наименьшее деление левых оснований соответствует 1 м на местности при масштабе 1:500 и 5 м при масштабе 1:2000.

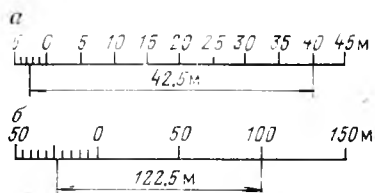


Рис. 16

При пользовании линейным масштабом измеряемое на плане расстояние берут в раствор измерителя, затем одну из игл устанавливают на штрих одного из оснований таким образом, чтобы вторая игла располагалась внутри левого основания. Десятые доли наименьшего деления оценивают на глаз. На рис. 16, а и 16, б отрезки, отмеченные стрелками, соответствуют 42,5 и 122,5 м на местности. Чтобы избежать оценки долей наименьших делений на глаз и повысить точность построения и измерения отрезков на планах и картах до 0,1 мм, применяют номограмму, построенную на основаниях линейного масштаба по методу пропорционального клина и называемую графическим масштабом длин или поперечным масштабом, который гравировют на металлических линейках, называемых масштабными.

Для построения графического масштаба длин (поперечного масштаба) на прямой AF откладывают несколько раз основание масштаба (рис. 17). Из концов оснований A, B, C, D, E, F восстанавливают перпендикуляры $AA', BB', CC', DD', EE', FF'$ к этой прямой, на которых откладывают m равных делений. Через полученные точки проводятся линии, параллельные AF . Левое основание в нижней части AB и в верхней части $A'B'$ делят на n равных делений, полученные точки соединяют наклонными линиями, как это показано на рис. 17. Отрезок ab называется наименьшим делением поперечного масштаба. Определим его величину, для этого обозначим основание масштаба AB через a . Из подобных треугольников $B''B'B$ и abB получим $ab = B''B' \cdot Bb / BB'$, но $B''B' = a/n$ и $Bb = BB'/m$, откуда $ab = a/mn$, т. е. наименьшее деление поперечного масштаба равно частному от деления длины основания на произведение чисел m и n . Из подобия треугольников $Bab, Ba'b', Ba''b''$ и т. д. следует, что $a'b' = 2ab, a''b'' = 3ab, a'''b''' = 4ab$ и т. д. Чаше всего применяют нормальный или сотенный поперечный масштаб, в котором $n = 10, m = 10$. На рис. 17 показан нормальный поперечный масштаб с основанием 2 см для численного масштаба 1 : 5000. Наименьшее деление соответствует 1 м на местности, так как $ab = a/mn = 100 \text{ м} / 10 \cdot 10 = 1 \text{ м}$. Длины остальных отрезков $a'b', a''b'', a'''b'''$ и т. д. между перпендикуляром BB' и первой наклонной линией BB'' соответствуют 2 м, 3 м и т. д. на местности.

Для удобства пользования поперечным масштабом его подписывают. В нашем примере на рис. 17 вдоль линии оснований вправо от нуля — 100, 200, 300 и 400 м, влево через одно деление десятых долей основания — 20, 40, 60, 80, 100 м; слева против горизонтальных линий — длины отрезков между перпендикуляром и первой наклонной линией, соответствующие 1, 3, 5, 7, 9 или 1, 2, 3, ..., 9, 10 м. Для определения по этому масштабу длины линий берут в раствор измерителя соответствующее расстояние на плане, затем одну из игл измерителя ставят на таком перпендикуляре, чтобы вторая игла размещалась на наклонной линии первого основания, при этом обе иглы измерителя должны лежать на одной горизонтальной линии. На рис. 17 длина линии между иглами

измерителя соответствует 326,5 м. (В данном примере измеряемая длина находится между двумя параллельными горизонтальными линиями, обозначаемыми 6 и 7 м.)

Расстояния на плане определяются с разрешающей способностью глаза человека, принимаемой обычно 0,1 мм (при критическом угле зрения $60''$ и расстоянии наилучшего зрения от глаза до предмета 250 мм разрешающая способность равна 0,073 мм, что можно принять за 0,1 мм). Соответствующее горизонтальное рас-

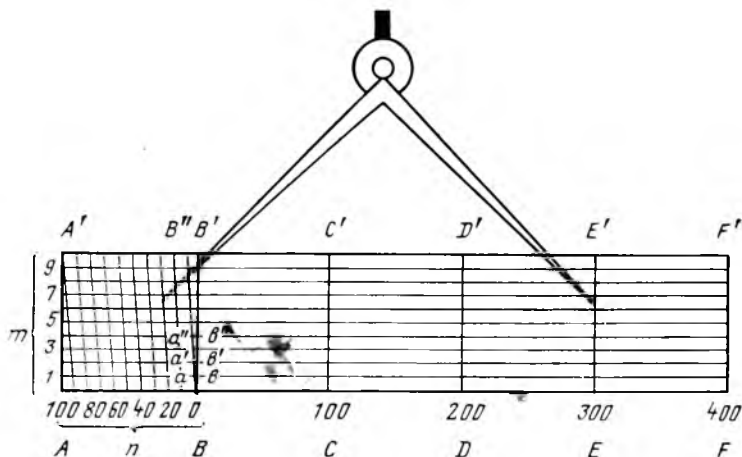


Рис. 17

стояние на местности называется точностью масштаба. Для масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10 000, 1:25 000 точность соответственно равна 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 2,5 м.

Масштаб плана выбирают в соответствии с размерами объекта в натуре и руководствуются точностью масштаба таким образом, чтобы размеры объектов были на плане в 5—10 раз больше 0,1 мм. Например, если отдельные детали строительных объектов на площадке горного предприятия имеют размеры порядка 1 м, то для их отображения на плане возможен масштаб 1:2000—1:1000.

§ 18. Понятие о карте и плане

Под картой понимается построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение на плоскости поверхности Земли, поверхности другого небесного тела или внеземного пространства, показывающее расположенные на них объекты в определенной системе условных знаков. Карты должны удовлетворять ряду требований: обладать геометрической точностью, т. е. должна быть определенная степень соответствия местоположения точек на карте их положению в действительности; быть достовер-

ными, т. е. содержать правильные сведения на определенную дату; быть наглядными для восприятия форм, размеров и размещения изображаемых объектов; быть хорошо читаемыми, т. е. элементы и детали картографического изображения должны быть хорошо различимы.

Для изображения поверхности Земли используются географические карты, на которых, помимо поверхности, показываются качественные и количественные характеристики различных объектов и явлений природы и общественной жизни. По своему содержанию географические карты делятся на две группы: общегеографические и специальные карты. К общегеографическим относятся географические карты, отображающие совокупность основных элементов местности, т. е. на них главным предметом изображения является земная поверхность с располагаемыми на ней объектами. Специальными картами называются карты, предназначенные для решения определенных задач и для определенного круга потребителей. На специальных картах выделяется какой-нибудь элемент общегеографической карты (речная сеть, пути сообщения, рельеф и т. п.), остальные элементы местности даны схематично для того, чтобы не затемнять основного изображаемого элемента. Многочисленная группа специальных карт отображает явления, обычно не показываемые на общегеографических картах, но являющиеся важными для различных отраслей народного хозяйства или науки. К ним относятся геологические карты, карты почв, видов растительности, плотности населения и т. д.

Геологическая карта представляет собой графическое изображение в определенном масштабе геологических образований, выходящих на земную поверхность. Основными масштабами геологических карт являются масштабы от 1:25 000 до 1:200 000.

К общегеографическим картам относятся топографические карты, являющиеся подробными картами местности, позволяющие определять как плановое, так и высотное положение точек. Государственные топографические карты СССР издаются в масштабе 1:1 000 000 и крупнее и подразделяются на собственно топографические карты (масштаб 1:100 000 и крупнее) и обзорно-топографические (масштаб от 1:200 000 до 1:1 000 000). Все топографические карты, кроме карт масштаба 1:1 000 000, создаются в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции.

Топографические карты масштаба 1:1 000 000 используются для изучения поверхности и природных условий крупных географических районов, а также при планировании и проектировании крупных государственных объектов. Обзорно-топографические карты масштаба 1:500 000—1:200 000 используются для общего изучения территорий, значительных по площади, а также для предварительных измерений и расчетов, используемых в дальнейшем для проектирования крупных сооружений. Карты масштаба 1:100 000—1:50 000 широко используются для выполнения полевых исследований, а также для измерений и расчетов, необходимых

при проектировании различных инженерных сооружений. Карты и планы масштабов 1:25 000, 1:10 000, 1:5000, 1:2000, 1:1000 являются основой для разработки проектов застройки населенных пунктов, для землеустройства, для проектирования оросительной сети, проектирования горнорудных предприятий, гидротехнических объектов, изыскания и проектирования железных и автомобильных дорог и других работ, требующих на проектно-изыскательской стадии высокой точности измерений и расчетов, производимых по карте.

Под топографическим планом понимается изображение на плоскости в ортогональной проекции в крупном масштабе ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается.

Основной отличительной особенностью карты является то, что масштаб карт, особенно тех, которые изображают большую часть поверхности Земли или всю ее поверхность, не является постоянным, а изменяется не только в различных частях карты, но и по различным направлениям. Масштаб плана является постоянным (во всех его частях).

§ 19. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов

Для изображения такой обширной территории, какой обладает наша страна, необходимо большое количество карт. Это вызывает необходимость создания системы учета отдельных листов карт различного масштаба. Границами (рамками) топографических карт являются географические меридианы и параллели. Листы карт разных масштабов имеют размеры, приведенные ниже.

Масштаб карты	1:1 000 000	1:500 000	1:200 000	
Размер листов карты:				
по ширине	4°	2°	40'	
по долготе	6°	3°	1°	
Масштаб карты	1:100 000	1:50 000	1:25 000	1:10 000
Размер листов карты:				
по ширине	20'	10'	5'	2'30"
по долготе	30'	15'	7'30"	3'45"

Разграфкой называется деление листов одного масштаба на листы более крупного масштаба, номенклатурой — система обозначений отдельных листов карт (трапеций). В основу номенклатуры топографических карт различных масштабов положены листы карты масштаба 1:1 000 000, являющейся международной картой. Для получения листов этой карты вся земная поверхность делится параллелями на пояса (ряды) через 4° и меридианами — на колонны через 6°. В пересечении поясов и колонн образуются трапеции в 4° по широте и в 6° по долготе, каждая из которых изображает-

ся на отдельном листе бумаги в масштабе 1 : 1 000 000. Пояса обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, начиная от экватора к северу и югу, а колонны нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60, начиная от меридиана с долготой 180° в направлении с запада на восток. Номенклатура листа карты масштаба 1 : 1 000 000 складывается из букв пояса и числа — номера колонны. Например, лист карты масштаба 1 : 1 000 000, на котором находится Москва, имеет номенклатуру N-37, а лист карты масштаба, на котором находится Киев, — M-36.]

Колонны совпадают с шестиградусными зонами проекции Гаусса. Но так как колонны начинают считать от меридиана с долготой 180°, их номера отличаются от номеров зон на 30.

При переходе к листам карты более крупных масштабов деление листа карты масштаба 1 : 1 000 000 осуществляется в такой последовательности.

[Лист карты масштаба 1 : 500 000 получается делением каждого масштаба 1 : 1 000 000 на 4 части и обозначением каждой части заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, которые добавляются к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 1 000 000.

Лист карты масштаба 1 : 200 000 получается путем деления миллионного листа на 36 частей, которые обозначаются римскими цифрами I, II, ..., XXXVI, добавляемыми к соответствующей номенклатуре исходного листа карты 1 : 1 000 000.]

Лист карты масштаба 1 : 100 000 получается путем деления миллионного листа на 144 части, которые обозначаются арабскими цифрами, добавляемыми к номенклатуре масштаба 1 : 1 000 000.

Лист карты масштаба 1 : 50 000 получается путем деления листа карты масштаба 1 : 100 000 на четыре части, обозначаемые одной из заглавных букв русского алфавита А, Б, В, Г.

[Лист карты масштаба 1 : 25 000 получается путем деления листа карты масштаба 1 : 50 000 на четыре части, каждая из которых обозначается одной из строчных букв а, б, в, г, которые ставятся после номенклатуры масштаба 1 : 50 000.]

Лист карты масштаба 1 : 10 000 получается путем деления листа карты масштаба 1 : 25 000 на четыре части, обозначаемые арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, которые приписываются к номенклатуре карты 1 : 25 000 : N-37-90-Г-в-2.

[Разграфка планшетов карт и планов и соответствующая им номенклатура для масштаба 1 : 5000, 1 : 1000 и 1 : 500 рассмотрены в части книги «Маркшейдерское дело».]

§ 20. Географическая и километровая сетки карт. Зарамочное оформление

Лист карты представляет собой трапецию, ограниченную на севере и юге отрезками параллелей, на западе и востоке — отрезками меридианов, называемых внутренней рамкой карты или рамкой карты. Важной характеристикой топографических карт является

их координатная сетка, позволяющая определять координаты точек, находящихся на карте, и наносить на карту точки. На картах масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 500 000 обычно наносится только сетка географических координат, на картах масштаба 1 : 200 000 и крупнее наносятся сетки географических и прямоугольных координат.

Сетка географических координат строится за внутренней рамкой и представляет собой две параллельные линии, разделенные по долготе и широте на минутные интервалы, отмечаемые черными

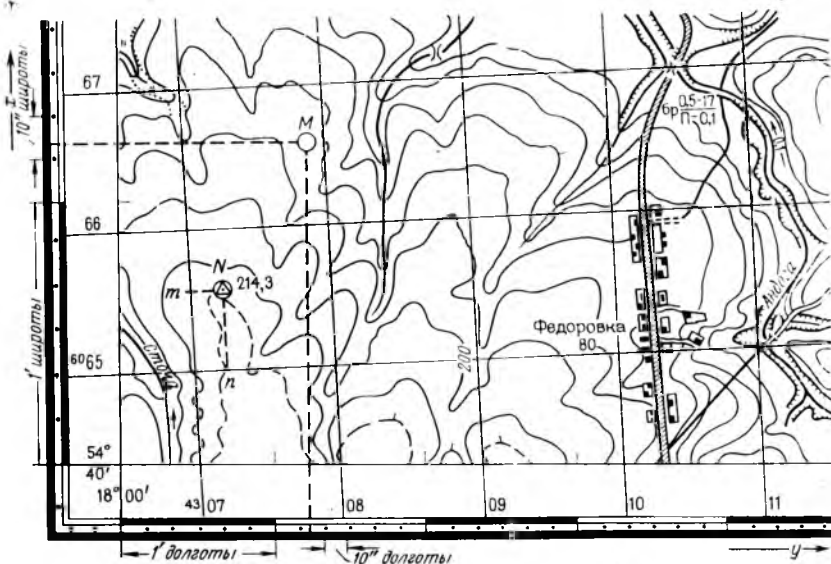


Рис. 18

и белыми шашками (рис. 18), которые разделены точками на интервалы по десять секунд.

У каждого угла рамки карты записываются соответствующие значения долготы и широты, например, на рис. 18 географические координаты юго-задного угла: $54^{\circ}40'$ — северная широта, $18^{\circ}00'$ — восточная долгота. Таким образом, на боковых сторонах рамки нанесены деления по широте, на северной и южной — по долготе. Если соединить однозначные деления минут или секунд долготы, то получим направление географического меридиана, имеющего данную долготу, или параллель, имеющую данную широту.

Для определения географических координат некоторой точки проведем через нее истинный меридиан и определим его долготу. Для этого достаточно отсчитать количество минут и секунд, заключенных между западной стороной рамки и данным меридианом. Полученная величина прибавляется к долготе западной рам-

ки. Например, долгота точки M (см. рис. 18) $\lambda_M = 18^\circ 00' + 1' 14'' = 18^\circ 01' 14''$.

Широта точки M определяется при помощи построения параллели, проходящей через точку M . Согласно рис. 18, широта точки $\varphi_M = 54^\circ 40' + 1' 13'' = 54^\circ 41' 13''$.

Аналогичным образом поступают при нанесении на карты **точек по их географическим координатам**.

Сетка прямоугольных координат состоит из прямых линий, параллельных осевому меридиану зоны и экватору. В масштабах 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000 координатные линии проводятся через 1 км, в масштабе 1:100 000 через 2 км и в масштабе 1:200 000 через 10 км. Сетку прямоугольных координат принято называть километровой сеткой.

Линии километровой сетки подписываются на карте в промежутках между внутренней рамкой и градусной сеткой. Полное число километров по оси x подписывается только на крайних — южной и северной линиях километровой сетки, у промежуточных линий — только десятки и километры.

Вертикальные линии километровой сетки подписываются в условных ординатах, причем крайние — восточная и западная — подписываются четырьмя цифрами, первая обозначает номер зоны, остальные — условную ординату. Например, число 4307, написанное у западной линии километровой сетки (см. рис. 18), указывает на то, что лист карты расположен в четвертой зоне, а сама линия отстоит от осевого меридиана на $307 - 500 = -193$ км, т. е. западнее осевого меридиана. У всех промежуточных вертикальных линий координатной сетки подписываются только последние две цифры, обозначающие десятки километров и километры.

При помощи километровой сетки можно определить координаты точек, расположенных на карте, или нанести на карту точки по их известным координатам. Для определения прямоугольных координат, например, точки N (см. рис. 18), записывают абсциссу нижней километровой линии и ординату западной километровой линии квадрата, в котором находится точка N . Пользуясь линейным масштабом карты, измеряют расстояние от точки N до названных выше линий координатной сетки Nm и Nn и определяют, чему соответствуют эти отрезки в масштабе карты; последние величины соответственно складывают с величинами абсциссы и ординаты линий координатной сетки. В нашем случае отрезок $Nm = 240$ м, отрезок $Nn = 570$ м. Следовательно, прямоугольные координаты точки N равны $x_N = 6\,065\,000 + 570$ м = $6\,065\,570$ м, $y_N = 4\,307\,000 + 240$ м = $4\,307\,240$ м.

На топографических картах за градусной сеткой наносится оформительская рамка — линия толщиной 1 мм.

Подписи и графики, выполненные за пределами оформительской рамки, называются **з а р а м о ч н ы м о ф о р м л е н и е м**.

Над северной рамкой в середине листа указывается номенклатура листа карты и в скобках — название наиболее крупного населенного пункта, расположенного на данной карте; под номенкла-

турой — год издания карты. Ниже южной рамки, в середине подписывается численный масштаб, именованный масштаб и вычерчивается линейный масштаб для принятого численного масштаба. Справа от линейного масштаба помещается график заложений, слева — график взаимного расположения магнитного и истинного меридианов и оси x (осевого меридиана), на котором показаны величины магнитного склонения и сближения меридианов. Ниже линейного масштаба отмечается высота сечения горизонталей и принятая для листа карты система высот.

В правом нижнем углу помещаются данные об организации, составившей карту, и о годе составления карты.

В разрывах в середине сетки указывается номенклатура смежных листов.

12

§ 21. Ориентирование карты или плана на местности

Ориентировать карту или план на местности — значит расположить их так, чтобы направления линий на карте или плане стали параллельны направлениям горизонтальных проекций соответствующих линий местности. Ориентирование карт и планов производится или по компасу (буссоли), или по линии местности, изображенной на карте (ось шоссейной, железной дороги, улица поселка и т. п.).

Ориентирование карты по компасу (буссоли). По своему устройству буссоль и компас не отличаются друг от друга и представляют собой градуированное кольцо, укрепленное на квадратном или прямоугольном основании. В центре кольца подвешивается на вертикальной оси магнитная стрелка. Ребра ab и vg основания буссоли параллельны нулевому диаметру NS буссольного кольца. При ориентировании карты одно из ребер ab или vg прикладывают к западной или восточной внутренней рамке карты (рис. 19, а). После этого карту вращают до тех пор, пока северный конец стрелки не установится на отсчете, соответствующем склонению магнитной стрелки. В случае, приведенном на рис. 19, а, магнитное склонение восточное и равно 10° .

Ориентирование карты также может быть произведено при помощи вертикальных линий километровой сетки. Для этого ребро буссоли прикладывают к одной из линий километровой сетки и вращают карту до тех пор, пока северный конец магнитной стрелки не окажется на делении, соответствующем углу, называемому поправкой направления (ПН), которая равна алгебраической разности склонения магнитной стрелки δ и сближения меридианов γ , т. е. $ПН = \delta - \gamma$. В случае, рассмотренном на рис. 19, б, склонение магнитной стрелки $\delta = +10^\circ$, сближение меридианов $\gamma = -2^\circ 25'$, следовательно, $ПН = \delta - (-\gamma) = 10^\circ + 2^\circ 25' = 12^\circ 25'$.

Ориентирование карты по линии местности. Если известно и на карте и на местности какое-либо направление, то для ориентирования карты наблюдатель становится на местности на данном на-

правлении, например, на шоссейной дороге, приводит карту в горизонтальное положение и совмещает скошенный край визирной линейки с данным направлением. Карту вращают до тех пор, по-

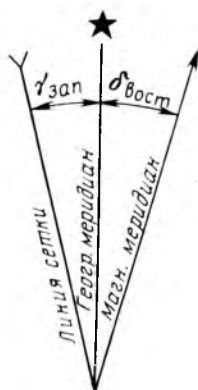
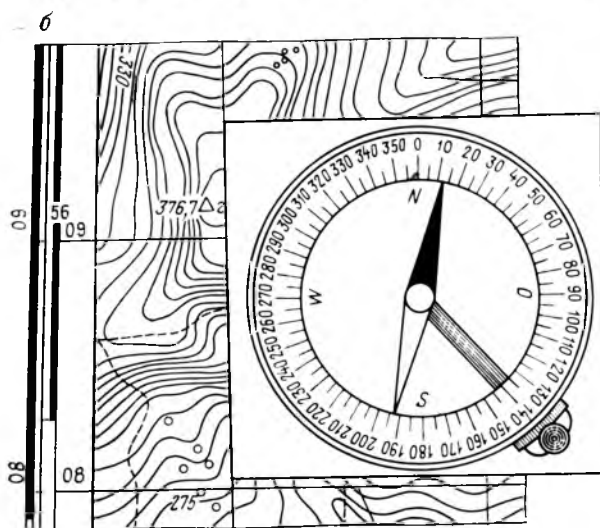
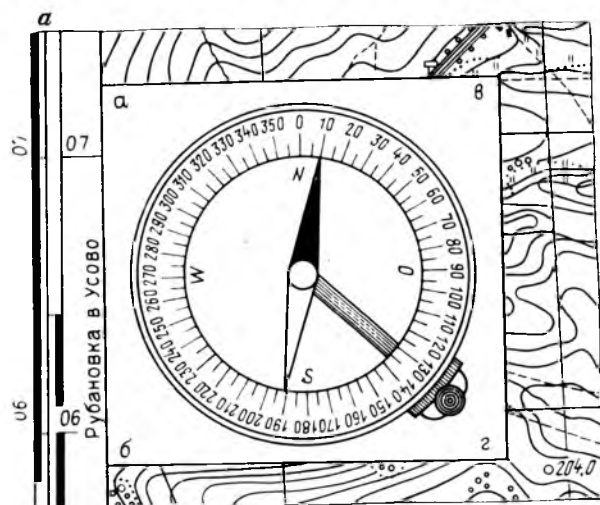


Рис. 19

ка скошенный край линейки не совпадет с направлением на местности. Если известны две точки, то наблюдатель становится в одной из них, скошенный край визирной линейки совмещает с известными точками и вращает карту до тех пор, пока направление на карте не совпадет с направлением на местности.

§ 22. Условные знаки топографических карт и планов

Участок суши со всеми находящимися на ней непереключающимися предметами называется местностью, которая состоит из двух основных элементов — местных предметов и рельефа. Совокупность контуров местных предметов принято называть ситуацией, для изображения последней на картах и планах используются условные знаки, которые не только обозначают различные предметы, но также показывают их качественные и количественные характеристики.

Местные предметы отличаются большим разнообразием и по своему характеру и назначению разделяются на группы: геодезические пункты, населенные пункты, промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты, шоссейные и грунтовые дороги, гидрография, объекты гидротехнические и водного транспорта, объекты водоснабжения, мосты и переправы, рельеф, растительность, сельскохозяйственные угодья, почвенно-растительный покров, воды, рельеф, и прочие предметы местности. Число условных знаков, применяемых в нашей стране, довольно велико только для карт и планов масштаба 1 : 1000 их свыше 400.

Различают следующие виды условных знаков.

Линейные картографические условные знаки (линейные знаки), применяемые для изображения объектов линейного характера, длина которых выражается в масштабе карты, а ширина большей частью изображается увеличенно. К ним, например, относятся автомобильные дороги и другие вытянутые объекты.

Площадные картографические условные знаки (площадные знаки), применяемые для заполнения площадей объектов, выражающихся в масштабе карты. К ним относятся условные знаки лесов, сельскохозяйственных угодий и т. п.

Внемасштабные картографические условные знаки (внемасштабные знаки) применяются для изображения объектов, которые по своим размерам не выражаются в масштабе данного плана (карты), например, столбы связи, колодцы и т. п.

Для полной характеристики изображаемых объектов используются пояснительные подписи на карте. Полностью подписываются наименования населенных пунктов, рек, озер, гор и т. п. Сокращенные подписи используются для дополнительной характеристики объектов. Например, рядом с заводом подпись кирп.— кирпичный завод. Цифровые обозначения применяются для количественной характеристики объектов. Так, подпись у моста обозначает высоту моста над водой, его ширину и грузоподъемность.

§ 23. Изображение рельефа на топографических картах и планах

Под рельефом понимают совокупность неровностей земной поверхности, многообразных по очертаниям, размерам, происхождению, возрасту и истории развития. Рельеф складывается из сочетаю-

щихся между собой форм — трехмерных тел, занимающих определенные объемы земной коры и ограниченных двумерными поверхностными элементами (главным образом, склонами). Формами рельефа называют природные и искусственные тела и полости, простейшие из которых можно приближенно сравнить с геометрическими фигурами; сложные состоят из различных сочетаний простых форм.

Современный рельеф формировался в течение длительного периода под воздействием двух противоположных по характеру процессов: эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних). Эндогенные реализуются в результате тектонических процессов, приводящих к возникновению исходных (первичных) форм рельефа. Рельеф, созданный в результате тектонических процессов, принято считать тектоническим. Экзогенные процессы направлены на сглаживание контрастных форм поверхностей, так как под воздействием атмосферных процессов и водных потоков возвышенности разрушаются, впадины заполняются сносимым материалом. Воздействие экзогенных сил происходит непрерывно.

Формы рельефа могут быть положительными (выпуклыми, возвышающимися над окружающей местностью) и отрицательными (вогнутыми, понижающимися относительно окружающей местности). В зависимости от величин форм (амплитуда колебаний высот отдельных точек земной поверхности) различают рельеф нескольких порядков: мегарельеф (материковые выступы, ложе океана, горные системы, равнинные страны); макрорельеф (горные хребты и впадины между ними, возвышенности, низменности); мезорельеф (невысокие горы — холмы, овраги и др.); микрорельеф (небольшие возвышения разной формы, карстовые воронки, степные блюдца и др.); нанорельеф (мельчайшие западины, пахотные борозды, кочки и др.). Однако это деление рельефа довольно условно, поскольку количественные характеристики между указанными категориями точно не установлены.

Подробным изучением внешнего облика рельефа, происхождения, возраста, истории развития и закономерностей распространения составляющих его форм занимается специальная область науки — геоморфология.

Результаты изучения рельефа имеют огромное значение для решения многих народнохозяйственных и научных задач: при инженерно-технических изысканиях и строительстве различных сооружений, инженерно-геологических и геофизических исследованиях, в земледелии, мелиорации, почвоведении и т. д. С этой целью рельеф изображают на топографических картах и планах на основе измерения высот характерных точек местности.

В топографии из всего многообразия неровностей земной поверхности выделяют отдельные формы рельефа (рис. 20).

Гора, холм — положительные куполообразные формы земной поверхности. Самая высокая часть горы или холма называется вершиной, от нее во все стороны идут склоны, называемые также скатами. Подошвой горы называется линия перехода скатов в рав-

нину. Гора отличается от холма высотой, под которым понимают возвышенность высотой до 200 м. К разновидности этих форм относится курган — изолированная, расположенная на равнине возвышенность, высотой не более 50 м и с резко выраженной подношвой.

Котловина — чашеобразное углубление, не имеющее стока воды. Самая нижняя часть котловины называется дном, боковые

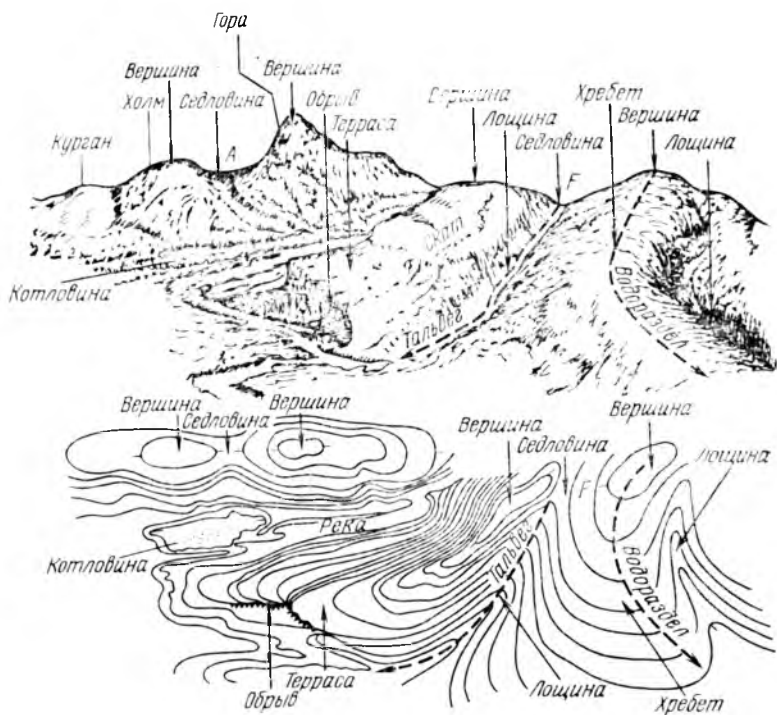


Рис. 20

поверхности — склонами. Линия перехода котловины в прилегающую местность называется бровкой.

Лощина — вытянутое в одном направлении углубление в земной поверхности, имеющее наклон в одну сторону. Склоны лощины, пересекаясь, образуют ее ось или водоток (тальвег). По оси лощины обычно протекает река или ручей. Широкая лощина с пологим скатом называется долиной. Одной из разновидностей такой формы является овраг — резкое углубление на равнине, вытянутое в одном направлении и имеющее временный водосток. Овраги характеризуются крутыми склонами. Балками называются более крупные, чем овраги, углубления с пологими склонами, часто покрытыми растительностью.

Хребет — вытянутая в одном направлении выпуклая форма земной поверхности. Это обычно ответвление от горы или холма. Условная линия, идущая вдоль хребта по самым его высоким точкам, называется осью хребта или водоразделом (водораздельная линия).

Седловина — сочетание двух сходящихся и расходящихся ложин. Седловины могут быть и на водоразделах в результате их значительных местных понижений; в таких случаях они носят название перевалов.

Важнейшими элементами рельефа являются характерные точки — вершина горы, дно котловины, середина седловины и характерные линии — водоточная и водораздельная. Совокупность этих точек и линий характеризует скелетное построение рельефа земной поверхности, поэтому на карте (плане) для полноты характеристики указывают их высоты.

К элементам рельефа относятся скаты, которые по форме могут быть ровными, выпуклыми, вогнутыми и смешанными (состоящими из сочетаний первых трех). Линии, по которым меняется крутизна ската, называются перегибами.

К разновидностям форм рельефа относят террасы (пологие площадки на склоне горы), промоины на склонах, образовавшиеся в результате водной эрозии, обрывы и др.

(Наилучшим способом изображения рельефа на топографических картах и планах является способ горизонталей, позволяющий различать его отдельные формы и определять высоту любой точки местности в пределах данной карты или плана.

Сущность этого способа можно рассмотреть на следующем примере. Пусть остров в форме горы постепенно затопляется водой; при этом ее уровень в отдельные моменты времени и через одинаковые интервалы по высоте h остается постоянным (рис. 21). Таким образом, несколько фиксированных уровней воды можно представить в виде уровенных поверхностей, секущих выпуклую поверхность острова. При этом каждому уровню воды будет соответствовать свой след на поверхности острова в виде кривых линий.

След, получающийся от сечения земной поверхности уровенной поверхностью, называют горизонталью, под которой также понимают линию земной поверхности, все точки которой имеют равные высоты.

Расстояние между соседними секущими уровенными поверхностями называют высотой сечения рельефа h (см. рис. 21). Если спроектировать горизонталь на горизонтальную плоскость P и изобразить их в масштабе, получим план в горизонталях. Расстояние на карте (плане) между двумя последовательными горизонталями называется заложением s . Заложение по направлению, нормальному к горизонталям, называется заложением ската. Угол, образованный направлением ската с горизонталь-

ной плоскостью, называется крутизной ската. Уклоном местности называется тангенс угла наклона линии местности к горизонтальной плоскости в данной точке. В общем, уклон может изменяться от максимального до нуля — при направлении, совпадающем с простираaniem горизонтали.

Как видно из рис. 21, гора изображается замкнутыми горизонталями. Однако и котловина изображается замкнутыми горизонталями, поэтому, чтобы различать формы рельефа, на горизонталях указывают направления скатов с помощью небольших штри-

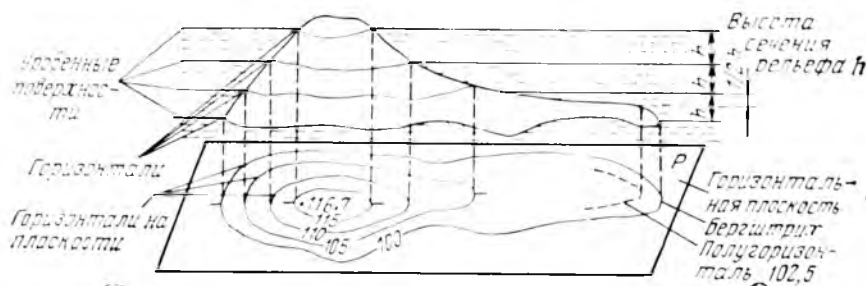


Рис. 21

хов, вычерчиваемых перпендикулярно к горизонталям и называемых скатштрихами или бергштрихами (см. рис. 21). Хребт или лощина изображаются соответственно выпуклыми и вогнутыми горизонталями. На горизонталях хребта бергштрихи показываются с выпуклой стороны, а на горизонталях лощины — с вогнутой стороны.

Седловина — сочетание горизонталей двух хребтов и двух лощин. В характерную точку седловины F сходятся противоположные водоразделы хребтов и расходятся из нее противоположные водотоки лощин (см. рис. 20). Обрывы, овраги с обрывистыми склонами показываются условными знаками в виде зубцов (см. рис. 20).

Горизонтали обладают следующими свойствами: они являются плаными непрерывными замкнутыми линиями, на карте (плане), так же как и на местности, не могут пересекаться (за исключением нависающих склонов); наибольший изгиб горизонталей имеют у линии водораздела и водотока; при увеличении крутизны ската расстояние между горизонталями уменьшается и, наоборот, при уменьшении крутизны ската — увеличивается.

Если скат ровный, горизонтали находятся на одинаковых расстояниях друг от друга. При выпуклом скате расстояние между горизонталями у вершины больше, у подошвы меньше. Наоборот, при вогнутом скате эти расстояния меньше в верхней его части, а к подошву разрежены.

В разрывах некоторых горизонталей подписывают их высоты так, чтобы верх цифр был обращен в сторону повышения ската. Высота любой горизонтали всегда кратна высо-

те сечения рельефа. На планах и картах подписывают высоты характерных точек местности: вершин, седловин, бровок, пошв, дна и т. д. По этим высотам, зная высоту сечения рельефа и направление ската, определяют высоты горизонталей.

Высота сечения рельефа зависит главным образом от масштаба карты (плана), характера рельефа и колеблется в пределах: от 0,5 до 1 м (1:1000 и 1:500), от 0,5 до 2 м, (1:2000), от 0,5 до 5 м (1:5000), от 2,5 до 5 м (1:10 000), от 5 до 10 м (1:25 000), от 10 до 20 м (1:50 000), от 20 до 40 м (1:100 000), т. е. чем крупнее масштаб карты (плана), тем высота сечения рельефа меньше, и наоборот. Небольшую высоту сечения применяют для равнинной местности, среднюю — для всхолмленной и большую — для горной и предгорной. Если при принятой высоте сечения рельефа не отображаются некоторые характерные формы и детали рельефа, то применяются полугоризонталы, высоты которых кратны половине высоты сечения. Например, перегиб ската горы (см. рис. 21) изображается полугоризонталью с высотой 102,5 м.

(Горизонталы на планах и картах вычерчивают коричневым цветом тонкими сплошными линиями, а полугоризонталы — прерывистыми линиями. Для более наглядного изображения рельефа и облегчения счета горизонталей отдельные из них утолщают (например, при высоте сечения 2,5 м утолщают каждую кратную 25 м горизонталь).]

§ 24. Определение высот точек местности, уклонов линий и крутизны скатов по карте с горизонталями. График заложений

Если точка a находится на горизонтали (рис. 22, a), то ее высота совпадает с высотой этой горизонтали. Например, в рассматриваемом случае отметка точки $aH_a=96$ м.

Для определения высоты точки, находящейся между двумя горизонталями (младшей и старшей), например точки b (см. рис. 22, a), между соседними горизонталями проводят через эту точку по кратчайшему расстоянию линию (в нашем случае линию mn), вдоль которой строится профиль рельефа (рис. 22, b). Согласно полученной схеме, высота точки b определится из выражения

$$H_b = H_n + h_b,$$

где H_n — высота младшей горизонтали; h_b — превышение точки b над младшей горизонталью.

Из подобных треугольников nMt и nBb найдем

$$h_b = \frac{nb}{mn} \cdot h,$$

где h — высота сечения рельефа.

Пусть в приведенном примере $nb : mn = 0,2$, тогда

$$H_b = 92,0 + 0,2 \cdot 2 = 92,4 \text{ м.}$$

По карте с горизонталями можно определить уклон линии местности. Из рис. 22, б следует, что

$$i = \operatorname{tg} v = h/s,$$

где h — превышение между концами линии; s — горизонтальное проложение линии.

Уклон часто выражают не в градусах угла наклона, а в тысячных долях или процентах. Например, $h = +2$ м, $s = 123$ м, тогда $i =$

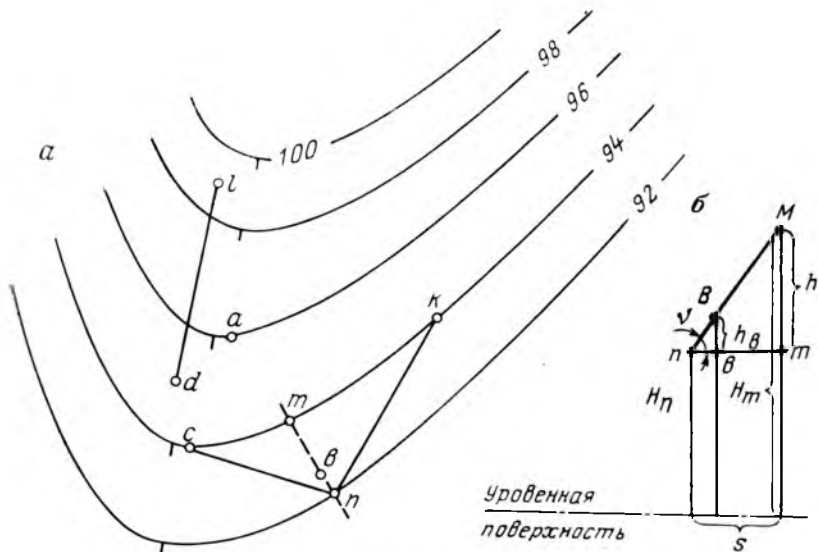


Рис. 22

$= h : s = +0,016$ или $+1,6\%$. Уклон $i = +0,016$ показывает, что линия повышается на 16 мм через каждый метр заданного расстояния.

Для определения углов наклона и уклонов линий, концы которых лежат на соседних горизонталях, строят графики, называемые графиками заложений. Графики предназначаются для данного масштаба карты и высоты сечения рельефа.

Чтобы построить график заложений для определения углов наклона, вычисляют горизонтальные проложения s , соответствующие различным углам v и принятой высоте сечения рельефа h , по формуле $s = h : \operatorname{tg} v = h \cdot \operatorname{ctg} v$. Например, для высоты сечения рельефа $h = 2,5$ м заложения s равны: $v = 30'$, $s = 286$ м; $v = 1^\circ$, $s = 143$ м; $v = 5^\circ$, $s = 29$ м; $v = 20^\circ$, $s = 7$ м. Затем горизонтальную прямую линию (рис. 23) делят на отрезки произвольной длины (например, по 5 мм), на их границах подписывают значения некоторых углов наклона. Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры к линии и на них в масштабе карты откладывают горизонтальные про-

ложения, соответствующие выбранным углам наклона. Концы перпендикуляров соединяют плавной кривой.

Аналогично строят график заложений для определения уклонов, но горизонтальные проложения при этом вычисляют по формуле $s = h : i$.

Для определения по графику заложений угла наклона в интересующем направлении берут измерителем расстояние между точками на соседних горизонталях,

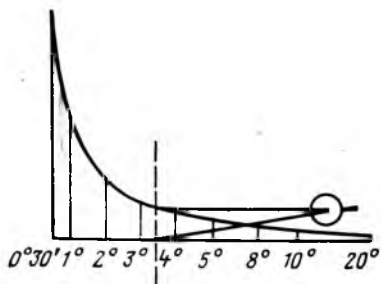


Рис. 23

которое затем переносят на график заложений таким образом, чтобы одна ножка измерителя была на горизонтальной линии, а вторая — на кривой, причем, обе ножки должны быть на перпендикуляре к горизонтальной линии. В соответствии с полученным положением измерителя отсчитывают угол наклона. На рис. 23 он равен $3,5^\circ$.

Если на горизонтали взять точку n и соединить ее с точками c , m , k соседней горизонтали (см.

рис. 22, а), то получим горизонтальные проложения nc , nm , nk , которые соответствуют на местности линиям различной крутизны.

§ 25. Задачи, решаемые на топографических картах с использованием горизонталей

Построение профиля по заданному направлению. При геолого-разведочных изысканиях и предварительном проектировании линейных сооружений (дорог, водопроводов, газопроводов и т. п.) по топографической карте строят профиль местности. Под профилем понимается чертеж, изображающий разрез местности вертикальной плоскостью. Профиль строят в двух масштабах. Горизонтальный масштаб берут равным масштабу карты, а вертикальный в большинстве случаев принимают в десять раз крупнее горизонтального. Делается это для того, чтобы более выразительно были отражены характерные особенности рельефа.

Пусть требуется построить профиль по линии AB (рис. 24, а). Для этого на миллиметровой бумаге строят сетку профиля (названия граф указаны на рис. 24, б). В графу «План местности» переносят при помощи измерителя ситуацию с карты в границах прямоугольника (см. рис. 24, а), построенного на карте на расстоянии 1 см по обе стороны от профиля линии AB . Определяют высоты точек пересечения направления AB с горизонталями (точки 1, 2, 3, с, 4), вычисляют также высоты начала, конца профиля и точек его перегиба, т. е. точек, находящихся на водоразделах и тальвегах. Вносят в соответствующие графы расстояния между намеченными на карте точками и их высоты. Значения высот откладывают в заданном масштабе на перпендикулярах, восстав-

ленных из ранее намеченных точек. Соединив концы перпендикуляров, получают линию профиля местности. Чтобы не иметь длинных перпендикуляров, для верхней линии сетки выбирают условную высоту (в примере 80 м).

Построение на карте линии заданного уклона. Строительство вытянутых объектов (пути сообщения, водные каналы и т. п.) требует предварительного определения положения будущей трассы на плане.

Пусть требуется проложить участок шоссейной дороги между поселками *A* и *B* (рис. 25, *a*), причем дорога должна быть построена с предельным уклоном $i=0,050$.

Определяется величина заложения, соответствующая высоте сечения рельефа h и масштабу плана, по формуле $s = \frac{h}{i} \cdot \frac{1}{M}$, где M — знаменатель масштаба.

Величину найденного заложения с измерителем откладывают последовательно между соседними горизонталями в направлении от точки *A* к точке *B*. Полученная ломаная линия *AabcB* построена с заданным уклоном.

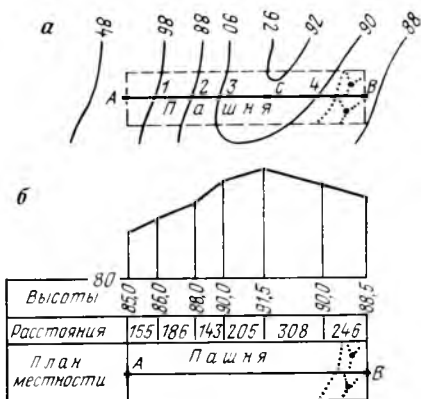


Рис. 24

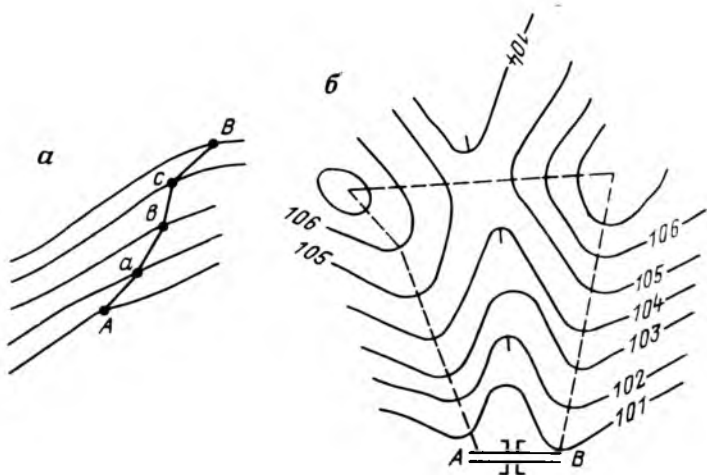


Рис. 25

В тех случаях, когда раствор измерителя не пересекается с следующей соседней горизонталью, т. е. уклон меньше максимально заданного, трасса проектируется по кратчайшему расстоянию между начальной и конечной точками трассы.

Определение водосборной площади. Такая задача возникает при проектировании искусственных сооружений (мостов, плотин и т. п.). Водосборной площадью или бассейном водотока называют ту площадь земной поверхности, с которой поверхностные воды стекают к данному сооружению. Границами водосборной площади служат водораздельные линии. На рис. 25, б показана граница водосборной площади для плотины АВ.

Определив водосборную площадь, а также зная среднегодовое количество осадков, условия испарения и впитывания почвы, можно рассчитать количество воды, которое необходимо учитывать при проектировании искусственных сооружений.

Глава 5

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

§ 26. Общие сведения

При выполнении геодезических и маркшейдерских работ производятся измерения углов, расстояний, площадей, превышений и т. п. Под измерением некоторой величины X понимают ее сравнение с эталонной величиной q , принятой за единицу меры. Результатом измерения величины является число l , показывающее, сколько раз единица измерения укладывается в измеряемой величине. В общем случае число l может быть целым, дробным, большим или меньшим единицы.

Измерения могут быть непосредственными и косвенными. В первом случае производится непосредственное сравнение измеряемой величины с единицей меры. Во втором — необходимую величину получают при помощи вычислений, проводимых по другим непосредственно измеренным величинам. Примером косвенных измерений может служить вычисление гипотенузы прямоугольного треугольника по измеренным катетам.

Если измерения некоторой величины производятся в однородной среде одним наблюдателем, одним и тем же инструментом, в одинаковых условиях, то их называют равноточными измерениями. В противном случае измерения называют неравноточными.

В количественном отношении измерения подразделяются на необходимые и избыточные (добавочные). Например, если некоторый отрезок прямой линии на местности измерен n раз, то необходимым является одно измерение, остальные $n-1$ измерения — избыточные. Избыточные измерения служат средством контроля и позволяют судить о качестве измерений, а также позволяют определять с большей точностью искомую величину.

Результаты измерений всегда содержат некоторую погрешность.

Под погрешностью δ результата измерений l понимают разность

$$\delta = l - X, \quad (5.1)$$

где X — точное значение измеренной величины.

Измерения, проводимые определенным прибором, по всей видимости, не могут быть произведены с меньшей погрешностью, чем погрешности, обеспечиваемая измерительным прибором. Например, если измеряется расстояние мерным прибором (рулеткой), длина которого определена с погрешностью 0,1%, то нельзя получить конечный результат с погрешностью 0,01%.

На практике не следует производить измерения с наибольшей достижимой точностью, так как повышение точности измерений ведет к удорожанию измерительных работ, поэтому точность измерений должна соответствовать поставленной задаче.

Погрешности, возникающие при измерениях, подразделяют на грубые, систематические и случайные.

При измерениях не должны появляться погрешности больше предела, установленного для данных условий. Однако иногда встречаются грубые погрешности, которые происходят от недостаточного внимания исполнителей при измерениях. Например, при измерении линий лентой имеют место случаи просчета лент, а при измерении углов — случаи просчета нескольких градусов или десятков минут. Грубые погрешности обнаруживают путем повторения измерения и сравнения их результатов. Если расхождения между результатами превосходят заданный допуск, то эти измерения выбраковывают и производят заново.

К систематическим погрешностям относятся погрешности, вызываемые факторами, действующими одинаковым образом при нескольких повторных измерениях. Такие погрешности возникают в силу ряда причин: несовершенства приборов (инструментальные погрешности); действия внешних условий измерений (погрешности среды); действия личных качеств наблюдателя и др. При рациональной организации измерений (наблюдений) и технических усовершенствованиях систематические погрешности удается исключить или свести их до минимума.

К случайным погрешностям относятся все остальные погрешности, исключить которые не представляется возможным. Например, при отсчете по делениям линейки появляются случайные погрешности из-за неточности оценки на глаз долей интервалов между двумя штрихами линейки и др. Случайные погрешности носят такое название потому, что они в отдельных измерениях отличаются друг от друга, причем эти различия имеют случайный характер.]

23 § 28. Абсолютные и относительные погрешности

Точность проведенного измерения может быть оценена по абсолютной погрешности или по относительной погрешности. Например, при измерении углов удобной мерой точности является абсолютная величина погрешности, а при оценке измеренных расстояний более удобна относительная погрешность. Относительная погрешность $\delta_{\text{отн}}$ представляет собой отношение абсолютной величины погрешности $\delta_{\text{абс}}$ к измеряемой величине l , т. е.

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{\delta_{\text{абс}}}{l}.$$

Относительная погрешность часто выражается в процентах:

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{\delta_{\text{абс}}}{l} 100\%.$$

Рассмотрим два случая измерения расстояния: в первом — измерена линия длиной 100 м с абсолютной погрешностью 1 см и во втором — линия длиной 1000 м измерена с той же абсолютной погрешностью. Если судить по абсолютным погрешностям, то создается впечатление, что точности измерений одинаковы в обоих случаях. Если использовать относительные погрешности, то оказывается: для первой длины

$$\delta'_{\text{отн}} = 1 \text{ см} / 10\,000 \text{ см} = 1/10\,000;$$

для второй длины

$$\delta''_{\text{отн}} = 1 \text{ см} / 100\,000 \text{ см} = 1/100\,000.$$

Таким образом, точность измерения во втором случае на порядок (в десять раз) выше, чем в первом.

§ 29. Основные свойства случайных погрешностей

Случайные погрешности обладают следующими свойствами:

Свойство 1. При измерениях равновероятно возникновение случайных погрешностей, равных по величине и противоположных по знаку.

Свойство 2. Малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие.

Свойство 3. При данных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превосходить известного предела.

Свойство 4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей равнооточных (одинаково точных) измерений стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений.

Выразим в математической форме третье свойство случайных погрешностей. Для этого возьмем достаточно большое количество измерений $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ некоторой величины, истинное значение которой X . Вычислим погрешности измерений:

$$\delta_1 = l_1 - X; \quad \delta_2 = l_2 - X; \quad \delta_3 = l_3 - X; \quad \dots; \quad \delta_n = l_n - X. \quad (5.2)$$

Согласно третьему свойству,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n)/n = 0 \quad (5.3)$$

или в другой записи

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [\delta]/n = 0, \quad (5.4)$$

где $[\delta]$ обозначает сумму отклонений измеренной величины от истинного значения той же величины.

§ 30. Среднее арифметическое из результатов измерений

Пусть $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ — результаты измерений некоторой величины. X — истинное значение этой величины, ее истинные погрешности выразим разностями (5.2). Сложив правые и левые части, получим

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n = (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) - nX, \quad (5.5)$$

т. е.

$$[\delta] = [l] - nX. \quad (5.6)$$

Разделив на n , запишем

$$X = \frac{[l]}{n} - \frac{[\delta]}{n}. \quad (5.7)$$

Учитывая свойство (5.4), будем иметь

$$X = \frac{[l]}{n}, \quad (5.8)$$

откуда видно, что арифметическая середина может быть принята за истинное значение измеренной величины.

§ 31. Средняя квадратическая погрешность одного измерения

Пусть в результате измерений одной и той же величины мы получили два ряда отклонений непосредственно измеренных значений от ее истинной величины.

Первый ряд отклонений:

3, 2, 4, 2, 1, 0, 4, 3, 2, 3;

второй ряд отклонений:

0, 1, 7, 2, 1, 1, 8, 0, 3, 1.

Средняя квадратическая погрешность для этих рядов одинакова и равна 2,4. Однако измерения второго ряда следует признать менее точными, так как в нем встречаются крупные отклонения. Следовательно, средняя арифметическая погрешность не может полностью характеризовать точность измерений, поэтому оценку принято производить с помощью средней квадратической погрешности, представляющей собой корень квад-

ратный из суммы квадратов погрешностей, разделенной на количество измерений. Например, средние квадратические погрешности (m) для тех же рядов измерений будут:

$$m_1 = \sqrt{(3^2 + 2^2 + 4^2 + 1^2 + 0^2 + 4^2 + 3^2 + 2^2 + 3^2)/10} = 2,7;$$

$$m_2 = \sqrt{(0^2 + 1^2 + 7^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2 + 8^2 + 0^2 + 3^2 + 1)/10} = 3,6.$$

Видим, что $m_2 > m_1$, поэтому измерения второго ряда менее надежны, чем измерения первого ряда.

В общем случае средняя квадратическая погрешность выражается следующей формулой:

$$m = \sqrt{[\delta\delta]/n}, \quad (5.9)$$

где $[\delta\delta] = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2$ — сумма квадратов отклонений непосредственно измеренных величин от их истинного значения и n — число отклонений.

Пример. В результате шести измерений угла получены истинные погрешности $-2'', +1'', -4'', -3'', 0, +2''$. Определить среднюю квадратическую погрешность измерения.

В рассматриваемом случае $[\delta\delta] = 4 + 1 + 16 + 9 + 0 + 4 = 34$.

Следовательно,

$$m = \sqrt{[\delta\delta]/n} = \sqrt{34/6} = 2,4''.$$

Формула средней квадратической погрешности справедлива при большом числе измерений. При ограниченном числе измерений величина средней квадратической погрешности недостаточно надежна, поскольку содержит погрешность, вычисляемую по формуле

$$m_m = m/\sqrt{2n}.$$

Например, при шести измерениях вычисленная погрешность $2,4''$ сама оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_m = 2,4''/\sqrt{12} = 0,69''.$$

§ 32. Предельная погрешность

Погрешность, равная по величине средней квадратической погрешности m , встречается в 32 случаях при 100 измерениях. Случайные погрешности в $2m$ встречаются в 5 случаях из 100 и случайные погрешности $3m$ — в 3 случаях из 1000. Таким образом, появление случайных погрешностей, равных утроенным средним квадратическим погрешностям, мало вероятно. Поэтому за предельную погрешность принимают утроенную среднюю квадратическую погрешность ($\Delta_{пред} = 3m$). Однако в топографо-геодезических работах в качестве допустимой погрешности принята двойная величина средней квадратической погрешности, т. е. $\Delta_{доп} = 2m$.

§ 33. Средняя квадратическая погрешность функции непосредственно измеренных величин

Погрешность суммы двух непосредственно измеренных величин. Пусть измерены две величины l^I и l^{II} , в результате определяется третья величина, являющаяся их суммой. Например, общая длина, состоящая из двух отрезков l^I и l^{II} .

В таком случае величина x определяется по формуле

$$x = l^I + l^{II}. \quad (5.10)$$

Если истинное значение искомой величины обозначим через X , а истинные значения измеряемых величин через L^I и L^{II} , то

$$X = L^I + L^{II}. \quad (5.11)$$

Предположим, что величина L^I была измерена несколько раз и в результате представлена рядом значений $l_1^I, l_2^I, l_3^I, \dots, l_n^I$. Аналогично для величины L^{II} получен ряд $l_1^{II}, l_2^{II}, l_3^{II}, \dots, l_n^{II}$. На основании (5.10) имеем

$$x_1 = l_1^I + l_1^{II}; \quad x_2 = l_2^I + l_2^{II}; \quad x_3 = l_3^I + l_3^{II}; \dots; \quad x_n = l_n^I + l_n^{II}. \quad (5.12)$$

Если обозначить отклонения частных значений x_i, l_i от истинных значений X, L , то вместо (5.12) будем иметь

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \delta_1^I + \delta_1^{II}; \quad \Delta_2 = \delta_2^I + \delta_2^{II}; \quad \Delta_3 = \delta_3^I + \delta_3^{II}; \dots; \\ \Delta_n &= \delta_n^I + \delta_n^{II}. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Если возвести в квадрат левую и правую части и просуммировать полученный результат, то

$$[\Delta\Delta] = [\delta^I\delta^I] + [\delta^{II}\delta^{II}] + 2[\delta^I\delta^{II}], \quad (5.14)$$

где последнее выражение, представляющее сумму произведений случайных погрешностей, стремится к нулю, поэтому

$$[\Delta\Delta] = [\delta^I\delta^I] + [\delta^{II}\delta^{II}], \quad (5.15)$$

или

$$\frac{[\Delta\Delta]}{n} = \frac{[\delta^I\delta^I]}{n} + \frac{[\delta^{II}\delta^{II}]}{n}, \quad (5.16)$$

где

$$\frac{[\Delta\Delta]}{n} = m_x^2; \quad \frac{[\delta^I\delta^I]}{n} = m_1^2; \quad \frac{[\delta^{II}\delta^{II}]}{n} = m_{II}^2,$$

откуда

$$m_x^2 = m_1^2 + m_{II}^2. \quad (5.17)$$

Таким образом, квадрат средней квадратической погрешности суммы двух независимых измерений равен сумме квадратов средних квадратических погрешностей слагаемых.

Для вывода формулы средней квадратической погрешности разности двух независимых измерений напомним следующую систему равенств:

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \delta_1^I - \delta_1^{II}; & \Delta_2 &= \delta_2^I - \delta_2^{II}; & \Delta_3 &= \delta_3^I - \delta_3^{II}; \dots; \\ \Delta_n &= \delta_n^I - \delta_n^{II},\end{aligned}\quad (5.18)$$

откуда можно написать

$$\left[\frac{\Delta\Delta}{n} \right] = \frac{[\delta^I\delta^I]}{n} - \frac{[\delta^{II}\delta^{II}]}{n} - \frac{2[\delta^I\delta^{II}]}{n},$$

где $[\delta^I\delta^{II}]$ стремится к нулю. Следовательно, квадрат средней квадратической погрешности разности двух независимых измерений определяется по формуле (5.17).

Пример. В треугольнике измерены два угла α и β со средними квадратическими погрешностями $m_\alpha = 3,4''$ и $m_\beta = 4,2''$. Определить среднюю квадратическую погрешность третьего, вычисленного угла.

По формуле (5.17) получим среднюю квадратическую погрешность неизмеренного угла γ

$$m_\gamma = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2} = \sqrt{(3,4'')^2 + (4,2'')^2} = 5,4''.$$

Средняя квадратическая погрешность произведения непосредственно измеренной величины на постоянную величину. Пусть дана функция

$$x = al, \quad (5.19)$$

где a — постоянное число и l — величина, полученная из измерений.

Предположим, что величина l измерена со средней квадратической погрешностью m_l и требуется определить среднюю квадратическую погрешность m_x величины x .

Если обозначить через L точное значение измеренной величины и через X — точное значение величины функции x , то можно написать

$$X = aL. \quad (5.20)$$

Пусть при измерении получен ряд измерений $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$. Используя эти величины, напомним по формуле (5.20): $x_1 = al_1, x_2 = al_2, x_3 = al_3, \dots, x_n = al_n$. Если $X - x = \Delta$ и $L - l = \delta$, то

$$\Delta_1 = a\delta_1; \quad \Delta_2 = a\delta_2; \quad \Delta_3 = a\delta_3; \dots; \quad \Delta_n = a\delta_n,$$

откуда

$$[\Delta\Delta] = a^2 [\delta\delta].$$

Разделив суммы на n и извлекая корень, получим

$$\sqrt{[\Delta\Delta]/n} = a \sqrt{[\delta\delta]/n},$$

следовательно,

$$m_x = am_l. \quad (5.21)$$

Пример. При определении длины окружности S ее радиус r измерен со средней квадратической погрешностью $m_r = 1,2$ мм. Найти среднюю квадратическую погрешность вычисленной длины окружности.

По формуле (5.21) получим

$$m_S = 2\pi m_r = 6,28 \cdot 1,2 = 7,5 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность функции непосредственно измеренных величин. Пусть дана функция

$$x = f(l_1, l_2, l_3, \dots, l_n), \quad (5.22)$$

где $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ — непосредственно измеренные величины, имеющие соответственно истинные погрешности $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$. Если истинную погрешность функции обозначить через Δx , то можно написать следующее равенство:

$$x + \Delta x = f(l_1 + \delta_1, l_2 + \delta_2, l_3 + \delta_3, \dots, l_n + \delta_n). \quad (5.23)$$

Погрешности — малые величины по сравнению с измеряемыми, поэтому функцию (5.23) запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} x + \Delta x = f(l_1, l_2, l_3, \dots, l_n) + \frac{\partial f}{\partial l_1} \delta_1 + \frac{\partial f}{\partial l_2} \delta_2 + \\ + \frac{\partial f}{\partial l_3} \delta_3 + \dots + \frac{\partial f}{\partial l_n} \delta_n, \end{aligned} \quad (5.24)$$

представляющем главную часть ряда Тейлора.

Вычитая из (5.24) равенство (5.22), получим

$$\begin{aligned} \Delta x = \frac{\partial f}{\partial l_1} \delta_1 + \frac{\partial f}{\partial l_2} \delta_2 + \frac{\partial f}{\partial l_3} \delta_3 + \dots + \frac{\partial f}{\partial l_n} \delta_n = \\ = k_1 \delta_1 + k_2 \delta_2 + k_3 \delta_3 + \dots + k_n \delta_n, \end{aligned} \quad (5.25)$$

где $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ — значения частных производных. Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{[\Delta x \Delta x]}{n} = k_1^2 \frac{[\delta_1 \delta_1]}{n} + k_2^2 \frac{[\delta_2 \delta_2]}{n} + k_3^2 \frac{[\delta_3 \delta_3]}{n} + \dots + k_n^2 \frac{[\delta_n \delta_n]}{n} + \\ + 2k_1 \frac{[\delta_1 (k_2 \delta_2 + k_3 \delta_3 + \dots + k_n \delta_n)]}{n} + \dots + 2k_{n-1} \frac{[\delta_{n-1} (k_n \delta_n)]}{n}. \end{aligned} \quad (5.26)$$

Учитывая, что удвоенные произведения в (5.26) при большом числе n стремятся к нулю, напишем

$$m_x^2 = k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + k_3^2 m_3^2 + \dots + k_n^2 m_n^2 = [(km)^2], \quad (5.27)$$

откуда

$$m_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial l_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_2}\right)^2 m_2^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_3}\right)^2 m_3^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial l_n}\right)^2 m_n^2}. \quad (5.28)$$

Таким образом, средняя квадратическая погрешность функции общего вида равна корню квадратному из суммы квадратов произведений частных производных по каждому аргументу на среднюю

квадратическую погрешность соответствующего аргумента.

Пример. В треугольнике ABC измерены сторона AC и углы α, γ . Необходимо определить сторону треугольника AB и ее среднюю квадратическую погрешность m_{AB} , если

$$AC = 130,24 \pm 0,05 \text{ м}; \quad \alpha = 62^\circ 18' 25'' \pm 10''; \quad \gamma = 43^\circ 21' 40'' \pm 10''.$$

Третий угол треугольника $\beta = 180^\circ - (\alpha + \gamma) = 74^\circ 19' 55''$, а его средняя квадратическая погрешность

$$m_\beta = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\gamma^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = 14,1''.$$

По теореме синусов вычислим

$$AB = AC \frac{\sin \gamma}{\sin \beta} = 130,24 \frac{\sin 43^\circ 21' 40''}{\sin 74^\circ 19' 55''} = 92,88 \text{ м.}$$

Частные производные функции AB следующие:

$$\frac{\partial (AB)}{\partial (AC)} = \frac{\sin \gamma}{\sin \beta} = \frac{AB}{AC} = \frac{92,9}{130,2} = 0,714;$$

$$\frac{\partial (AB)}{\partial \gamma} = AB \frac{\cos \gamma}{\sin \beta} = AB \operatorname{ctg} \gamma = 98,3;$$

$$\frac{\partial (AB)}{\partial \beta} = -AC \frac{\sin \gamma}{\sin^2 \beta} \cos \beta = -AB \operatorname{ctg} \beta = -26,0.$$

По формуле (5.29) получим

$$m_{AB} = \sqrt{0,714^2 \cdot 0,05^2 + 98,3^2 \cdot \left(\frac{10''}{206'' \cdot 10^3}\right)^2 + (-26,0)^2 \cdot \left(\frac{14,1''}{206'' \cdot 10^3}\right)^2} = 0,036 \text{ м.}$$

Относительная погрешность вычисленной стороны

$$m_{AB}/AB = 0,036/92,88 = 1/2580$$

(относительная погрешность исходной стороны $0,05/130 = 1/2600$).

Средняя квадратическая погрешность суммы (разности) нескольких измеренных величин. Пусть имеется функция

$$x = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n, \quad (5.29)$$

в которой значения l определены с погрешностями $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$.

Используем формулу (5.29), для чего найдем частные производные функции (5.29):

$$\frac{\partial x}{\partial l_1} = 1, \quad \frac{\partial x}{\partial l_2} = 1, \quad \frac{\partial x}{\partial l_3} = 1, \dots, \quad \frac{\partial x}{\partial l_n} = 1.$$

Таким образом,

$$m_x^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2. \quad (5.30)$$

Следовательно, квадрат средней квадратической погрешности суммы нескольких величин равен

сумме квадратов погрешностей отдельных измерений. По аналогии нетрудно показать, что квадрат средней квадратической погрешности разности равен сумме квадратов погрешностей отдельных измерений.

Средняя квадратическая погрешность произведения двух измеренных величин. Пусть имеется функция вида $x=uv$, где u определено с погрешностью m_u , а v — соответственно m_v . Частные производные исходной функции будут

$$\frac{\partial x}{\partial v} = u, \quad \frac{\partial x}{\partial u} = v.$$

Используя формулу (5.28), получим

$$m_x^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial u} \right)^2 m_u^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial v} \right)^2 m_v^2$$

или

$$m_x^2 = v^2 m_u^2 + u^2 m_v^2. \quad (5.31)$$

§ 34. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины

Пусть имеем среднее арифметическое результатов измерений

$$x = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n},$$

т. е.

$$x = \frac{l_1}{n} + \frac{l_2}{n} + \frac{l_3}{n} + \dots + \frac{l_n}{n}. \quad (5.32)$$

Обозначим погрешность одного измерения через m , а погрешность арифметической середины через M .

Так как

$$\frac{\partial x}{\partial l_1} = \frac{\partial x}{\partial l_2} = \frac{\partial x}{\partial l_3} = \dots = \frac{\partial x}{\partial l_n} = \frac{1}{n},$$

по формуле (5.28) получим

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

откуда

$$M = m/\sqrt{n}. \quad (5.33)$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность арифметической середины равнозначных измерений в $\sqrt{n}$ раз меньше средней квадратической погрешности отдельного измерения.

Подставив выражение (5.33) в виде $M/m = 1/\sqrt{n}$, найдем несколько отношений M/m :

Число измерений	1	2	3	4	5	6
Отношение погрешностей M/m	1	0,71	0,58	0,50	0,45	0,41
Число измерений	7	8	9	10	15	20
Отношение погрешностей M/m	0,38	0,35	0,33	0,32	0,26	0,22

Отсюда следует, что существенное повышение точности арифметической середины происходит при увеличении числа измерений до 5—7. Последующее увеличение числа измерений не ведет к заметному улучшению результата.

§ 35. Средняя квадратическая погрешность, выраженная через вероятнейшие погрешности

В большинстве случаев практики истинные случайные погрешности неизвестны, поэтому пользуются отклонениями результатов измерений от среднего арифметического, называемыми вероятнейшими погрешностями.

Пусть имеется ряд измерений $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ некоторой величины, истинное значение которой X , а среднее арифметическое $x = [l]/n$.

Обозначая вероятнейшие погрешности через v , а истинные через δ , напомним:

$$\delta_1 = l_1 - X; \quad \delta_2 = l_2 - X; \quad \delta_3 = l_3 - X; \dots; \quad \delta_n = l_n - X,$$

$$v_1 = l_1 - x; \quad v_2 = l_2 - x; \quad v_3 = l_3 - x; \dots; \quad v_n = l_n - x.$$

Следовательно,

$$\delta_1 - v_1 = x - X = \Delta; \quad \delta_2 - v_2 = x - X = \Delta;$$

$$\delta_3 - v_3 = x - X = \Delta; \dots; \quad \delta_n - v_n = x - X = \Delta,$$

откуда

$$\delta_1 = v_1 + \Delta; \quad \delta_2 = v_2 + \Delta; \quad \delta_3 = v_3 + \Delta; \dots; \quad \delta_n = v_n + \Delta.$$

Возведем в квадрат каждое из равенств предыдущей системы и сложим соответственно правые и левые части, в результате будем иметь

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

где $[v] = 0$,

поэтому $[\delta\delta] = [vv] + n\Delta^2$,

откуда

$$\frac{[\delta\delta]}{n} = \frac{[vv]}{n} + \Delta^2. \quad (5.34)$$

Принимая во внимание, что $m = \sqrt{[\delta\delta]/n}$, а $M = m/\sqrt{n} = \Delta$, перепишем (5.34) в виде

$$m^2 = \frac{[vv]}{n} + \frac{m^2}{n},$$

откуда

$$m^2 = \frac{[vv]}{n-1},$$

т. е.

$$m = \sqrt{[vv]/(n-1)}, \quad (5.35)$$

где m — средняя квадратическая погрешность отдельного измерения. Формула средней квадратической погрешности арифметической середины, получаемая на основе (5.33) и (5.35):

$$M = \sqrt{[vv]/n(n-1)}. \quad (5.36)$$

Пример. Измерен равноточно четыре раза угол β (табл. 2). Необходимо определить вероятнейшее значение угла, среднюю квадратическую погрешность одного измерения и среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения.

Таблица 2

№ п/п	Значения измеренного угла β	v		v^2
		+	—	
1	52°21'05"	7,5"		56,25
2	52 21 10	2,5		6,25
3	52 21 20		7,5"	56,25
4	52 21 15		2,5	6,25
$\beta_{\text{ср}} = 52^\circ 21' 12,5''$				$[vv] = 125,00$

По формуле (5.35) средняя квадратическая погрешность одного измерения

$$m = \sqrt{[vv]/(n-1)} = 125/3 = 6,4'',$$

а средняя квадратическая погрешность вероятнейшего значения (арифметической середины) следующая:

$$M = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \frac{125}{4 \cdot 3} = 3,2''.$$

§ 36. Понятия о неравноточных измерениях

В тех случаях, когда измерения выполняются с различной погрешностью, необходимо учитывать достоинства каждого измерения.

Для характеристики надежности результатов неравноточных измерений, а также для возможности сопоставления результатов таких измерений введено понятие веса измерения.

Под весом результата измерения понимают отвлеченное число, обратно пропорциональное квадрату средней квадратической погрешности данного измерения, т. е.

$$p = C/m^2, \quad (5.37)$$

где p — вес результата измерения; m — средняя квадратическая погрешность; C — произвольное число.

Пусть при измерении одной и той же величины получено несколько средних значений:

$$\left. \begin{aligned} l_1 \text{ с весом } p_1 &= \frac{C}{m_1^2}; \\ l_2 \text{ с весом } p_2 &= \frac{C}{m_2^2}; \\ \dots \dots \dots \\ l_n \text{ с весом } p_n &= \frac{C}{m_n^2}. \end{aligned} \right\} \quad (5.38)$$

Общая арифметическая середина в таком случае определяется по формуле

$$L_p = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[lp]}{[p]} \quad (5.39)$$

с весом $P = p_1 + p_2 + \dots + p_n$.

Выражение (5.39) называют весовым средним значением или общей арифметической серединой.

Пример: Измерен угол β два раза (β_1 и β_2) со средними квадратическими погрешностями $m_1 = 5''$ и $m_2 = 8''$. Определим отношение весов p_1 и p_2 результатов измерений.

Так как $p_1 = C/m_1^2$ и $p_2 = C/m_2^2$, то

$$p_1/p_2 = m_2^2/m_1^2 = 8^2/5^2 = 2,56.$$

Обозначим через μ среднюю квадратическую погрешность измерения, вес которого равен единице. Согласно (5.37) можно написать $p = C/\mu^2 = 1$, откуда

$$\mu = \sqrt{C}, \quad (5.40)$$

или

$$\mu^2 = C.$$

Следовательно, $p = \mu^2/m^2$, откуда

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{p}}, \quad (5.41)$$

т. е. средняя квадратическая погрешность любого результата измерения равна погрешности единицы веса, деленной на корень квадратный из веса этого результата.

Средняя квадратическая погрешность общего арифметического среднего записывается в следующем виде:

$$M_0 = \mu/\sqrt{[p]},$$

где $[p] = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$ — сумма отдельных измерений.

Пример. Измерен угол β четыре раза, причем с различной точностью. В результате измерений оказалось, что

$\beta_1 = 23^\circ 12' 02''$	со средней квадратической погрешностью равной	8,0''
$\beta_2 = 23 \ 12 \ 15$	То же	8,8.
$\beta_3 = 23 \ 12 \ 06$	»	11,4.
$\beta_4 = 23 \ 12 \ 10$	»	9,8.

По формуле (5.37) при $C = (8'')^2 = 64$ будем иметь: $p_1 = 1$; $p_2 = 0,83$; $p_3 = 0,49$; $p_4 = 0,74$.

Таким образом, $[p] = 1,0 + 0,83 + 0,49 + 0,74 = 3,06$, а общее арифметическое среднее

$$\begin{aligned}\beta_p &= 23^\circ 12' + \frac{02'' \cdot 1 + 15'' \cdot 0,83 + 06'' \cdot 0,49 + 10'' \cdot 0,74}{1,0 + 0,83 + 0,49 + 0,74} = \\ &= 23^\circ 12' + \frac{24,8''}{3,06} = 23^\circ 12' 08''.\end{aligned}$$

Если вес первого измерения принят равным единице, то средняя квадратическая погрешность остальных измерений, согласно формуле (5.42), будет:

второго измерения

третьего измерения

четвертого измерения

Средняя квадратическая погрешность общего арифметического среднего

$M_0 = \mu / \sqrt{[p]} = 8,0'' / 3,06 = 2,6''$.

§ 37. Общие положения о действиях с приближенными числами

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

При вычислении числа записываются прямым шрифтом, так называемыми вычислительными цифрами, у которых единицы и нули пишутся в строчку, четные цифры выступают вверх, нечетные — опускаются вниз из строчки. Многозначные числа записываются группами, которые отделяются друг от друга небольшими промежутками: 382 273, 62 или 1 003 028,1. При выполнении вычислений цифры одного разряда подписываются друг под другом, например,

$$\begin{array}{r} + 272\ 612,37 \\ \quad 38\ 219,92 \\ \hline 310\ 832,29 \end{array} \qquad \begin{array}{r} + 6\ 283\ 111,78 \\ \quad 3\ 283,29 \\ \hline 6\ 286\ 395,07. \end{array}$$

Одним из приемов вычислений являются правила округления знаков.

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

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

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

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

В геодезических и маркшейдерских измерениях и вычислениях имеют дело, главным образом, с приближенными числами, так как при измерениях абсолютных результатов получить невозможно. Например, в результате измерений линий получено число 103,28 м, которое, безусловно, не является точным числом, так как при использовании методики более точных измерений после последней восьмерки может быть получено некоторое количество цифр.

В числах, с которыми оперируют при вычислениях, необходимо различать десятичные знаки, значащие и верные цифры. Десятичными знаками являются все знаки после запятой. Значащими цифрами называются все цифры, кроме нулей слева и тех нулей справа, которые являются результатом округления. Например, у числа 1 200, отражающего округленное значение 1 211, только две цифры (1 и 2) являются значащими. Верными цифрами называются цифры, заслуживающие доверия в данном числе. Например, в сумме углов треугольника 180° все три цифры верные. В числе же 20,372 м, обозначающем длину некоторого отрезка, измеренного с точностью до 1 см, верными цифрами являются 20,37 м.

При проведении вычислений необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Точность результата определяется его погрешностью.

2. Точность вычислений должна соответствовать точности исходных данных, которая определяется практической потребностью.

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

4. При сложении или вычитании приближенных чисел, содержащих неодинаковое количество десятичных знаков, целесообразно оставить у них десятичных знаков больше, чем у числа с их наименьшим количеством. Например, надо сложить следующие числа:

$$\begin{array}{r} 1,983 \\ + 113,6 \\ \hline 81,7538. \end{array}$$

В приведенных числах 113,6 имеет наименьшее количество десятичных знаков. Округлим остальные два числа до 1,98 и 81,75 и проведем сложение:

$$\begin{array}{r} 1,98 \\ + 113,6 \\ 81,75 \\ \hline 197,3. \end{array}$$

Полученный результат 197,3 содержит все значащие цифры верные. Таким образом, сумма (или разность) приближенных чисел имеет столько верных десятичных знаков, сколько их имеется у числа с наименьшим количеством десятичных знаков.

5. При умножении двух чисел с одинаковым количеством значащих цифр результат должен иметь столько значащих цифр, сколько их было в сомножителе. Например,

$$74,3 \times 1021,42 \approx 10,2 \cdot 10^4.$$

При умножении или делении приближенных чисел с неодинаковым количеством значащих цифр фактически умножается (делится) столько значащих цифр в каждом числе, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством плюс одна цифра. Таким образом, при умножении 21 378,28 на 3,25 первое число следует округлить до 21 380, а затем произвести действие, при этом в результате следует сохранить столько значащих цифр, сколько их имеет меньший сомножитель:

$$21\,380 \times 3,25 = 69\,485,00 \approx 6,95 \cdot 10^4.$$

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

6. При извлечении квадратного или кубического корня из приближенного числа количество значащих цифр в результате должно соответствовать количеству цифр подкоренного выражения. Например, $\sqrt{50,6} = 7,11$. При возведении числа в степень в полученном результате оставляют столько значащих цифр, сколько их в возводимом в степень числе. Например, $21,43^2 = 4592$.

7. При вычислении среднего какой-либо величины, отдельные значения которой близки, необходимо записать общую часть значения, для остатков вычислить поправки. Например:

$$\begin{aligned} & 127,38 + 127,41 + 127,32 + 127,21 = \\ & = 127 + \frac{0,38 + 0,41 + 0,32 + 0,21}{4} = 127 + \frac{1,32}{4} = 127,33. \end{aligned}$$

8. Для каждого вычисления следует предварительно составить формуляр.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТОПОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТАХ

§ 38. Организация съемочных работ

Под съемкой понимают совокупность измерений, производимых на местности с целью создания карты (плана). Различают горизонтальную, вертикальную и топографическую съемки местности. При горизонтальной съемке на карте (плане) изображается только ситуация местности, т. е. получают так называемую контурную карту. В результате вертикальной съемки определяются высоты точек, что позволяет изобразить в горизонталях рельеф земной поверхности. Совокупность горизонтальной и вертикальной съемок представляет топографическую съемку, при которой на картах (планах) получают изображение как рельефа, так и ситуации.

Выполнение съемочных работ сопровождается появлением погрешностей, которые должны накапливаться по мере удаления съемки от начальной точки. Для предотвращения накопления погрешностей съемку производят с пунктов съемочного обоснования, которые равномерно размещаются на снимаемой территории и положение которых в пространстве определяется в результате работ, выполняемых с более высокой точностью, чем съемочные. Такой метод организации геодезических работ носит название «от общего к частному».

В процессе съемочных работ определенное место занимает своевременный и надежный контроль как полевых измерений, так и камеральной обработки, так как погрешности, допущенные в одном месте, сказываются на общем результате съемки. Поэтому последующие измерения или вычисления не выполняются без проверки предыдущих работ.

§ 39. Опорные геодезические сети

[Создание топографических карт производится с использованием сети опорных пунктов, под которыми понимают точки, закрепленные на местности и имеющие координаты, определенные с высокой точностью.] Пункты, обеспечивающие правильное изображение земной поверхности в горизонтальном направлении, называются пунктами плановой основы. Пункты, характеризующие положение земной поверхности по высоте, являются пунктами высотной основы. Координаты и высоты пунктов геодезической опорной сети определены в единой общегосударственной системе координат.]

[Система опорных пунктов, размещенная на территории нашей страны, составляет геодезическую опорную сеть. Согласно действующим инструкциям, геодезические сети ~~состоят~~ подразделяются на государственные геодезические, геодезические сети сгущения и съемочные геодезические сети.]

По своему назначению и точности определения положения пунктов геодезические сети делятся на классы. Пункты более вы-

соких классов располагаются на больших расстояниях друг от друга, между ними размещаются пункты сетей более низких классов, так называемые сети сгущения.

Плановые положения пунктов в геодезических сетях определяются астрономическим и геодезическим способами. Астрономический способ, дающий возможность независимого определения плановых координат точек, используется для определения небольшого числа пунктов, так называемых исходных. Остальные пункты связываются с исходными при помощи геодезического метода, который использует триангуляцию, трилатерацию или полигонометрию.

§ 40. Обозначение и закрепление геодезических пунктов на местности

Для установления взаимной видимости между геодезическими опорными пунктами их обозначают знаками (сигналы, пирамиды, вехи), а для сохранения пунктов от их разрушения и изменения

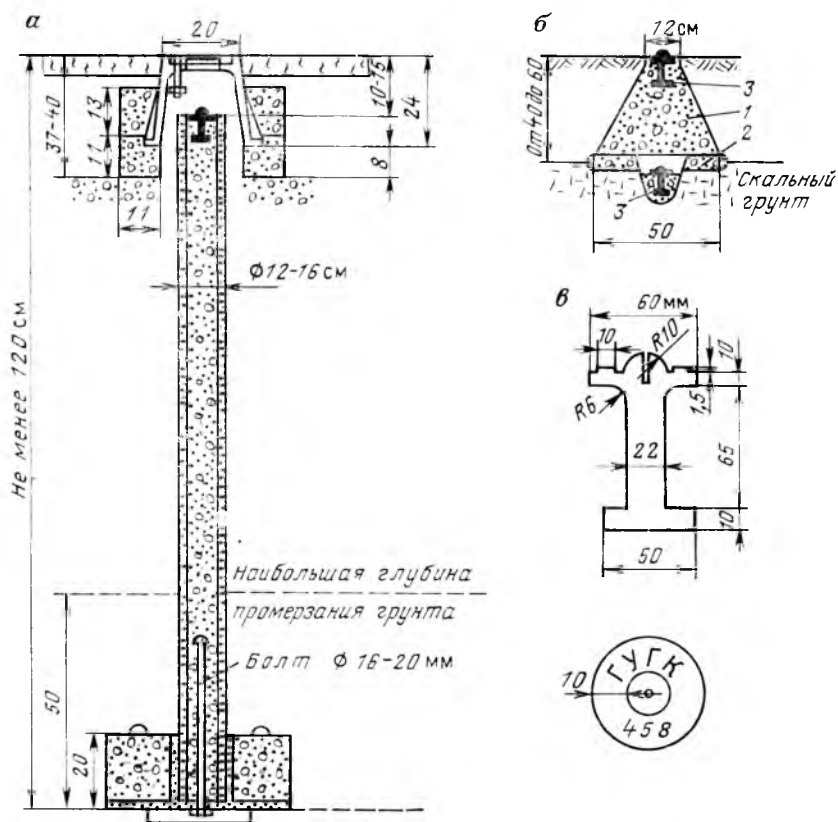


Рис. 26

положения в пространстве пункты закрепляются центрами. По своему типу пункты опорной сети разделяются на грунтовые и стенные. Первые закладываются преимущественно на незастроенных площадях, вторые — на застроенных территориях. В зависимости от климатических условий и вида грунта применяются центры различной конструкции. На рис. 26, *а* показан центр, применяемый для триангуляции, трилатерации, полигонометрии высоких

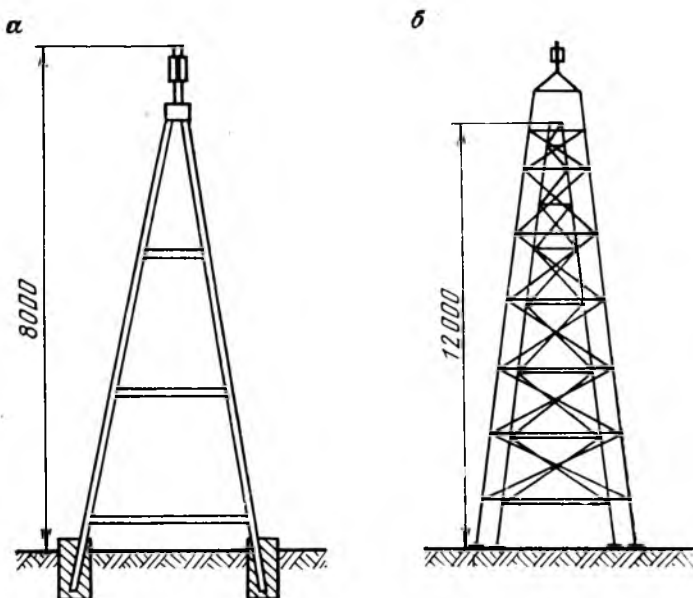


Рис. 27

классов в грунтах при небольшой (до 1,5 м) глубине промерзания. Верхняя часть таких центров для предохранения от повреждений защищается чугунным колпаком с крышкой. В скальных породах применяются центры иной конструкции, состоящие из марки (рис. 26, *в*), забетонированной в скальной породе 3 (рис. 26, *б*), и бетонного монолита 1, центры которых в плане совпадают. Монолит опирается на бетонную подушку 2 толщиной от 5 до 20 см. На застроенных территориях центры пунктов полигонометрии 2, 3, 4 классов и 1, 2 разрядов закрепляются стенными знаками.

Если видимость между опорными пунктами при наблюдении с земли устанавливается только с некоторой высоты, их обозначают пирамидами. На рис. 27, *а* показана металлическая пирамида высотой 8 м. В верхней части пирамиды крепится визирный цилиндр, ось которого должна проходить вертикально через центр знака. При отсутствии видимости с земли строятся простые и сложные сигналы (рис. 27, *б*), у которых для наблюдений сооружаются иш-

струментальные столики. Если высота столика не больше 12 м, то сигнал называется простым. Сигналы, имеющие внутреннюю пирамиду высотой более 12 м, считаются сложными.

§ 41. Государственные геодезические сети

К государственной геодезической сети ~~относятся~~ относятся сети 1, 2, 3 и 4 классов триангуляции, трилатерации и полигонометрии и нивелирные сети I, II, III, IV классов.

При сооружении государственной опорной плановой сети основным является метод триангуляции, основанный на создании

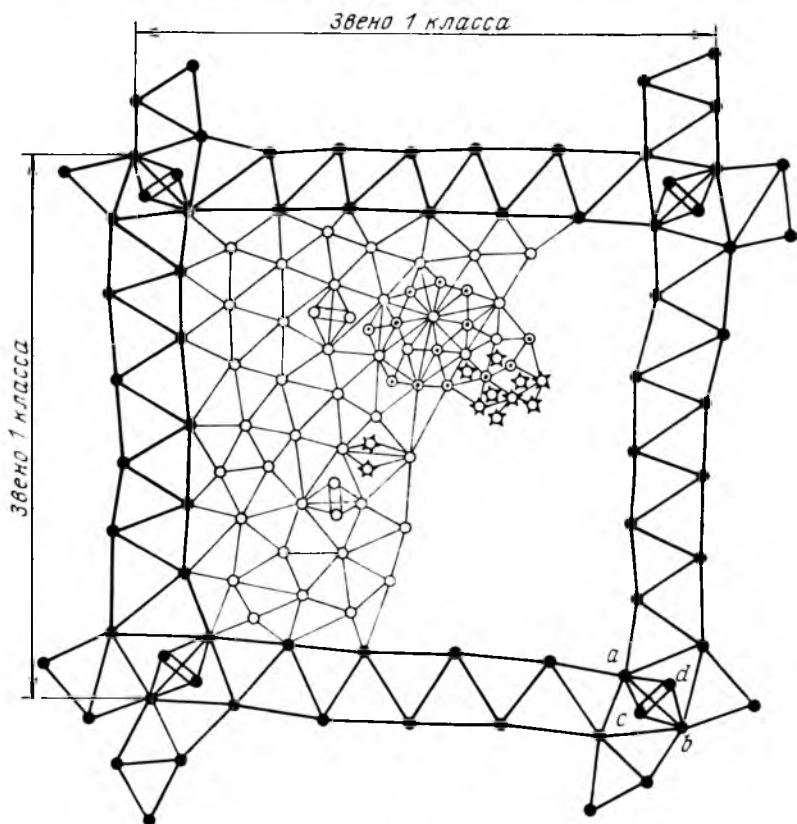


Рис. 28

на земной поверхности простых геометрических фигур — треугольников, расположенных в определенном порядке и форма которых близка к равносторонней. В треугольниках измеряются все углы, благодаря чему имеется надежный контроль полевых угловых измерений. Для определения линейных размеров сторон треугольни-

ков измеряется одна из сторон сети треугольника. Длины остальных сторон вычисляются.

Метод триангуляции позволяет определить плановые координаты вершин треугольников, составляющих ряды триангуляции (рис. 28). Триангуляционные ряды состоят из треугольников со средней длиной сторон 20—25 км, образующих звенья триангуляции 1 класса длиной до 200 км. Звенья прокладываются в субмеридиональном и субширотном направлениях так, чтобы из них были образованы замкнутые полигоны с периметром до 1000 км.

Сторона ab , лежащая в пересечении нескольких звеньев, является общей, называется выходной стороной и достигает длины 25 км. Длины выходных сторон должны измеряться с довольно высокой точностью. В связи с тем, что на местности практически невозможно измерить линию длиной 20—25 км, измеряется не выходная сторона, а поперечная к ней линия cd длиной 6 км и более, называемая базисом триангуляции. В базисной фигуре $adbc$ измеряются все внутренние углы; по углам и длине базисной линии вычисляется длина выходной стороны. В триангуляции 1 класса астрономическими наблюдениями определяют широту и долготу пунктов на концах выходной стороны и ее астрономический азимут.

Территория внутри полигона триангуляционных звеньев 1 класса заполняется сплошной сетью треугольников триангуляции 2 класса, длина сторон которых в зависимости от характера местности изменяется от 7 до 20 км. В триангуляции 2 класса базисы измеряются через каждые 20—25 треугольников. Широты и долготы концов базисов и их астрономические азимуты, так же как и в триангуляции 1 класса, определяются из астрономических наблюдений. Дальнейшее сгущение плановой геодезической опорной сети производится триангуляцией 3 и 4 классов. В табл. 3 приведена характеристика триангуляции 1, 2, 3, 4 классов.

Таблица 3

Класс триангуляции	Длина сторон, км	Средняя погрешность измерения углов (по невязкам треугольников)	Допустимая невязка в треугольниках	Средняя погрешность измерения базисных (выходных) сторон	Средняя погрешность измерения базиса
1	Не менее 20	$\pm 0,7''$	3"	1:400 000	1:1 000 000
2	7—20	$\pm 1,0$	4	1:300 000	1:1 000 000
3	5—8	$\pm 1,5$	6	1:200 000	—
4	2—5	$\pm 2,0$	8	1:200 000	—

В труднодоступных районах страны и на сильно застроенных территориях государственная геодезическая сеть создается в виде полигонометрических ходов, представляющих собой ломаные линии в виде сомкнутых или разомкнутых многоугольников. Полевые работы заключаются в измерении углов в точках

Класс полигонометрии	Предельная длина хода, км		Длина сторон, км		Средняя погрешность измерения углов	Средняя погрешность измерения длины сторон	Допустимая относительная погрешность хода
	между узловыми пунктами	между узловыми точками	средняя	наименьшая			
1	—	200	Около 25	—	$\pm 0,4''$	1:300 000	—
2	По особой программе Не более двух точек поворота между узловыми и исходными пунктами	—	—	—	$\pm 1,0$	1:250 000	—
3		—	—	3	$\pm 1,5$	1:200 000	—
4	10	5	0,5	0,25	$\pm 2,0$	—	1:25 000

поворота и длин сторон полигонометрии. При построении сетей полигонометрии обычно прокладываются основные и диагональные полигоны, образующие общие узловые точки. Точность выполнения работ в полигонометрии различного класса показана в табл. 4.

В последние годы получил распространение метод создания плановых геодезических сетей, называемый трилатерацией. Сущность трилатерации сводится к тому, что так же, как и в триангуляции, строится сеть треугольников, но в них измеряются не углы, а длины сторон. Углы в каждом треугольнике вычисляют по трем сторонам. По уравненным углам и одной из измеренных сторон, принимаемой за базис, вычисляют окончательные значения длин сторон, а после этого — координаты пунктов трилатерации.

Углы в трилатерации определяются по следующим формулам:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}; \quad \sin \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{ac}};$$

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{ab}},$$

где a, b, c — длины сторон треугольников; p — полупериметр. Измерение расстояний в трилатерации осуществляется при помощи дальномеров, дающих высокие точности измерения длин.

Для обеспечения высотной основой различного рода геодезических и маркшейдерских работ используются нивелирные сети.

Государственная нивелирная сеть разделяется на I, II, III и IV классы. Нивелирные сети I и II классов являются главной основой, на базе которой устанавливается единая система высот для всей территории СССР. Нивелирные сети III и IV классов обеспечивают топографические съемки и решение различных задач, возникающих при геодезическом и маркшейдерском обслуживании объектов гражданского и промышленного строительства. В табл. 5

приведена общая характеристика нивелирных опорных сетей государственного значения.

Реперы государственного нивелирования размещаются так, чтобы на каждый планшет масштаба 1:5000 приходилось не менее одного репера. При топографических съемках масштаба 1:2000 обеспечение реперами может быть принято из расчета один репер на 1—4 планшета.

Таблица 5

Класс нивелирования	Предельный периметр полигона (длина хода), км	Допустимая невязка полигона (хода), мм
I	—	Выполняется с наивысшей точностью
II	500—600	5
III	150—200	10
IV	25	20

Нивелирование I класса производится по направлениям, необходимость которых диктуется потребностями народного хозяйства и обороны страны, и относится к точнейшим геодезическим работам. Оно выполняется наиболее совершенными инструментами. В настоящее время на 1 км нивелирного хода получают всего лишь $\pm 0,05$ мм случайной погрешности и $\pm 0,05$ мм систематической погрешности.

Нивелирование II класса прокладывается полигонами, опирающимися на пункты нивелирования I класса и достигающими длины 500—600 км. Главная цель нивелирования II класса заключается в создании точной основы, являющейся базой для развития нивелировок III и IV классов. Периметры полигонов и длины ходов при проложении нивелирных сетей II класса не должны превышать 40 км, а длины ходов между узловыми точками — 10 км. При проложении нивелирных ходов III класса длины ходов между пунктами нивелирования старших классов не должны превышать 15 км, а между узловыми точками — 5 км. Ходы должны быть связаны между собой на застроенных территориях не реже чем через 3 км, а на незастроенных — не реже чем через 5 км.

Высотные отметки пунктов триангуляции и полигонометрии 1, 2, 3, 4 классов допускается определять нивелированием IV класса. Тригонометрическое нивелирование для определения высот пунктов опорной сети допускается как исключение в горной местности.

Нивелирные линии всех классов закрепляются на местности грунтовыми и стенными реперами. Расстояние между реперами для нивелировок I, II, III классов составляет 5—7 км. Нивелирование IV класса производится по стенным и грунтовым реперам и центрам полигонометрии. Стенные и грунтовые реперы устанавливаются не реже чем через 300 м на застроенной территории и не реже чем через 0,5—2 км на незастроенной. При проложении нивелирных ходов через населенные пункты в каждом из них должно быть заложено не менее одного репера и стенной марки.

§ 42. Геодезические сети сгущения

Геодезические сети сгущения развиваются на основе пунктов геодезической сети и служат для проведения съемки земной поверхности в масштабах от 1:5000 до 1:500, а также для выполнения различных маркшейдерских работ. Геодезические сети сгущения выполняются как специализированными организациями, так и маркшейдерами геологоразведочных экспедиций и горных предприятий.

Геодезические плановые сети сгущения могут выполняться в виде аналитических сетей и полигонометрии 1 и 2 разрядов.

Триангуляционные сети создаются при помощи триангуляции в виде сплошных сетей, цепочек треугольников или засечек. Триангуляционные сети 1 разряда могут развиваться на основе государственной опорной сети 1, 2, 3, 4 классов; 2 разряда — на основе государственной опорной сети 1, 2, 3, 4 классов и триангуляционной сети 1 разряда. Стороны триангуляционной сети 1 разряда могут быть длиной от 0,5 до 5 км, 2 разряда — от 0,25 до 3 км. Углы в треугольниках не должны быть меньше 30° , число треугольников в цепях не должно быть более 10.

При отсутствии на местности любых пунктов геодезического планового обоснования 1, 2, 3, 4 классов для съемок земной поверхности и проведения маркшейдерских работ разрешается создавать самостоятельные съемочные сети 1 и 2 разрядов, но при условии измерения не менее двух базисных сторон, удаленных друг от друга не более чем на 10 треугольников.

Полигонометрия 1 и 2 разрядов может создаваться в виде одиночных ходов или системы ходов с узловыми точками, являющимися пунктами государственных геодезических опорных сетей и пунктами триангуляционной сети 1 разряда.

Особое значение в опорных сетях имеют подходные маркшейдерские пункты, задачей которых является обеспечение возможности прокладки к стволу шахты всякого хода с числом сторон не более трех.

Подходные пункты должны быть расположены не далее чем на 300 м от устья ствола шахты. В качестве подходных пунктов могут быть пункты триангуляции, трилатерации, полигонометрии 1—4 классов или триангуляционных сетей 1 разряда. На промышленной площадке горного предприятия должно иметься не менее трех высотных реперов, отметки которых определяются нивелированием не ниже IV класса. В число этих реперов можно включить подходные пункты.

§ 43. Съемочные геодезические сети

Плановые и высотные съемочные сети строятся на основе пунктов геодезической опорной сети. В исключительных случаях, когда площади участков не превышают 20 км^2 для съемок в масштабе 1:5000 и 10 км^2 в масштабе 1:2000, они строятся на основе только пунктов съемочной сети.

Плановые съемочные сети выполняются проложением теодолитных, тахеометрических и мензульных ходов, а также триангуляционным путем.

Число пунктов съемочных сетей определяется масштабом съемки и должно составлять вместе с пунктами геодезической опорной сети на 1 км² территории при съемке в масштабе 1:5000 4 пункта, 1:2000 — 10 пунктов, 1:1000 — 16 пунктов. Погрешности положения пунктов съемочных сетей относительно ближайших пунктов геодезической опорной сети не должны превышать точности масштаба съемки (т. е. не должны превышать $\pm 0,1$ мм в масштабе плана).

Съемочные сети состоят из основных пунктов и пунктов определяемых в дополнение к ним съемочных сетей. Для каждого планшета съемки должно быть закреплено постоянными центрами не менее 3 основных пунктов при съемке в масштабе 1:5000, не менее 2 — в масштабе 1:2000 и при съемке в масштабе 1:1000 — 1 пункт. В открытых местностях и на территориях, где затруднены линейные измерения, основные пункты съемочной сети определяются триангуляционным путем при помощи цепочек треугольников; прямых, обратных и комбинированных засечек; построения центральных систем, геодезических четырехугольников.

Углы треугольников не разрешается иметь, как правило, меньше 30°. Длина сторон должна быть больше 150 м. Прямая засечка производится с трех пунктов, обратная — по четырем исходным точкам. Невязка в треугольниках должна быть не более 1'. Относительная погрешность выходных сторон в цепочках треугольников не должна превышать 1:2000. На закрытых участках местности основные пункты съемочной сети целесообразно определять проложением отдельных теодолитных ходов или систем теодолитных ходов, у которых узловые точки являются пунктами геодезических опорных сетей.

Съемочные высотные сети определяются с помощью геометрического технического и тригонометрического (геодезического) нивелирования. При высоте сечения рельефа до 1 м, как правило, принято применять геометрическое нивелирование, при высоте сечения рельефа более 1 м — тригонометрическое нивелирование. Длины нивелирных ходов, опирающихся на пункты нивелирования I—IV классов и замкнутых ходов, не должны превышать величин, приведенных ниже:

Высота сечения рельефа, м	0,5	1,0	2,0	5,0
Длина ходов технического нивелирования, км	3	10	15	—
Длина ходов тригонометрического нивелирования, км	—	—	2	5

§ 44. Общие сведения о съемках

Съемочные работы на поверхности проводятся для целей разведки месторождений полезных ископаемых, для решения задач проектирования и строительства горных предприятий, для без-

опасной и эффективной эксплуатации месторождений. В результате съемки должны быть отображены на планах, выполняемых в масштабе 1:5000—1:500, все объекты, предусмотренные «Основными положениями по созданию топографических планов», и специфические объекты горных предприятий, например, провалы и воронки, образовавшиеся в результате извлечения полезного ископаемого; выходы горных пород на земную поверхность; границы горных отводов и пр.

Масштабы съемок устанавливаются характером производственных работ, выполняемых на данной территории. Так, при детальной разведке и эксплуатации месторождений крупных размеров масштабы съемок земной поверхности должны быть: при сечении рельефа через 1 и 2 м и простом рельефе — 1:5000, при сложном (гористом) рельефе и сечении горизонталей через 2 м — 1:2000. Для месторождений небольших размеров или месторождений крупных со сложным геологическим строением масштаб съемки должен быть 1:2000. Поверхность месторождений малых размеров или средних, но с неправильной формой рудных тел должна сниматься в масштабах 1:1000, 1:2000 с сечением горизонталей через 0,5 или 1,0 м.

Для составления проектов строительства и для строительства горных предприятий съемки поверхности производятся в следующих масштабах:

для разработки технических проектов — 1:5000 с сечением рельефа 1,0 или 2,0 м;

для составления рабочих чертежей — 1:1000 (в виде исключения — 1:500) с сечением рельефа 0,5 м;

для проектирования и строительства горных предприятий и поселков — 1:1000, 1:2000 с сечением рельефа 0,5 или 1,0 м.

Съемки земной поверхности должны обеспечивать средние погрешности в положении на планах предметов и контуров местности с четкими границами не более $\pm 0,5$ мм, в гористых районах $\pm 0,7$ мм. Средние погрешности съемки спокойного рельефа (углы наклона до 2°) не должны превышать $\frac{1}{4}$ высоты сечения рельефа; при неспокойном рельефе погрешность не должна превышать $\frac{1}{3}$ высоты сечения рельефа. Согласно Технической маркшейдерской инструкции, погрешность в определении положения устьев скважин, шурфов, штолен и других горных выработок при разведке месторождений вне зависимости от масштаба съемки не должна превышать 1 м в плане и 0,3 м по высоте.

На основе съёмочных сетей производится съемка местности, которая в зависимости от применяемых инструментов и методики работ может быть нескольких видов: аэрофототопографическая, наземная стереофотограмметрическая, мензульная, тахеометрическая, теодолитная и глазомерная.

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ

§ 45. Общие сведения

Одним из основных видов геодезических работ является измерение горизонтальных углов и углов наклона. В основу приборов для их измерения положены следующие соображения.

Пусть требуется измерить горизонтальную проекцию угла ABC , стороны которого AB и BC не лежат в горизонтальной плоскости (рис. 29). Проведем через стороны угла вертикальные плоскости P_1 и P_2 , которые при пересечении с горизонтальной плоскостью Q оставляют следы ab и bc , являющиеся горизонтальными проложениями линий AB и BC . Угол β , заключенный между линиями ab и bc , является горизонтальной проекцией угла ABC и получен путем ортогонального проектирования сторон AB и BC на горизонтальную плоскость Q .

Горизонтальный угол abc можно измерить при помощи горизонтального круга Q' , имеющего градусные деления.

Вместо двух вертикальных плоскостей P_1 , P_2 , пересекающихся в отвесной линии, можно взять одну плоскость, вращающуюся вокруг

оси zz (отвесная линия). Если эту плоскость вначале поместить проходящей через сторону AB , а затем BC , то по градусной шкале горизонтального круга можно получить соответственно два отсчета, разность между которыми даст значение измеряемого горизонтального угла β .

Кроме того, надо иметь возможность измерения углов наклона ν_1 и ν_2 , заключенных между направлениями линий местности BA , BC и горизонтальной плоскостью Q , для этого используется вертикальный круг, вращающийся в вертикальной плоскости, и горизонтальный индекс, от которого производится отсчет углов наклона.

Приведенные выше принципиальные положения взяты за основу при проектировании приборов для измерения углов, называемых теодолитами. Теодолит должен иметь горизонтальный (угломерный) круг с нанесенными на нем делениями, устройство, позволяющее получать в вертикальной плоскости направление, совпадающее со стороной измеряемого угла (зрительная труба), приспособление, при помощи которого теодолит (его вертикальная ось вращения) устанавливается в вершине измеряемого угла (операция центрирования), устройство для приведения горизонтально-

го круга в горизонтальное положение (операция горизонтирования) и вертикальный угломерный круг для измерения углов наклона.

§ 46. Устройство теодолита

Принципиальная схема теодолита показана на рис. 30, где 6 — подставка прибора с тремя подъемными винтами (на схеме их видно два — 7, 8). 1 — угломерный горизонтальный круг, имеющий полую ось 5, внутри которой расположена ось 3 алидады 2, представляющей собой в общем случае линейку с отсчетными приспособлениями на концах и вращающуюся вокруг оси, проходящей через центр угломерного круга. ZZ — вертикальная ось (ось вращения) прибора. На алидадной части угломерного круга 1 расположены две подставки 11 для горизонтальной оси вращения 12 зрительной трубы 4. На горизонтальную ось зрительной трубы 12 наглухо насажен вертикальный круг 13 и свободно — алидада вертикального круга, имеющая отсчетные приспособления и уровень для приведения ее отсчетного диаметра в горизонтальное положение.

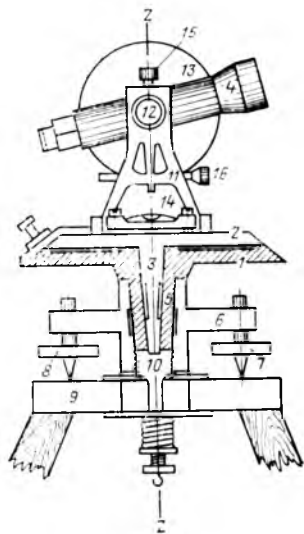


Рис. 30

Приведение оси вращения теодолита в отвесное положение контролируется при помощи уровня 14, который крепится или к алидаде горизонтального круга, или к колонке (подставке) зрительной трубы. Зрительная труба имеет закрепительное 15 и наводящее 16 устройства. Аналогичные устройства имеют алидада и лимб горизонтального круга. Горизонтальный и вертикальный круги теодолита имеют отсчитывающие устройства.

Теодолит устанавливается на штативе 9, для их жесткого скрепления используется винт 10, к которому подвешивается отвес для центрирования теодолита над центром геодезического пункта (точки).

Угломерные круги (горизонтальный и вертикальный) бывают металлические и стеклянные. Теодолиты с металлическим лимбом (угломерным кругом) в настоящее время промышленностью не выпускаются. Теодолиты со стеклянными угломерными кругами являются современными приборами и называются оптическими.

По принципу сочленения осей вращения угломерного круга (лимба) и алидады горизонтального круга различают теодолиты простые, у которых лимб наглухо скреплен с подставкой, и теодолиты повторительные, у которых лимб не скреплен с подставкой и может свободно вращаться вокруг своей оси. У таких теодолитов

тов после перестановки лимба в новое положение возможно повторение измерений углов на других частях лимба. Теодолиты малой и средней точности — повторительного типа.

Теодолиты могут изготавливаться в двух исполнениях: геодезическом и маркшейдерском, в последнем случае они обозначаются дополнительной буквой М, т. е. ТЗ0М. Маркшейдерские теодолиты приспособлены для работы в шахтных условиях, в связи с этим электрическая подсветка отсчетного микроскопа выполнена во взрывобезопасном исполнении; у них предусмотрена также повышенная защищенность от проникновения внутрь трубы влаги и пыли, на зрительной трубе делается отчетливо видимая отметка, совпадающая с осью вращения прибора и используемая для центрирования теодолита в шахтах под маркшейдерскими точками, заложенными в кровле выработок. Кроме того, конструкция приборов обеспечивает их работу на консолях в перевернутом положении.

§ 47. Основные части теодолитов

Уровни. В геодезических приборах уровни служат для установки всего прибора или отдельных его частей в определенное положение относительно горизонтальной плоскости. Также уровни могут использоваться для определения небольших углов наклона. Применяются круглые (менее точные) и цилиндрические (более точные) уровни.

Уровень состоит из запаянной стеклянной ампулы цилиндрической или круглой формы, наполненной термоустойчивой жидкостью (этиловый спирт, этиловый наркозный эфир и т. д.) таким образом, чтобы оставался пузырек, заполненный парами этой жидкости, называемый *пузырьком уровня*. Стеклянные ампулы помещаются в металлическую оправу, служащую для предохранения ампулы от повреждений и для крепления уровня к прибору. Пузырек образует такого размера, чтобы он составлял при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ $0,3 \div 0,4$ длины ампулы (рис. 31, а). Для сохранения длины пузырька в связи с изменением температуры ампулы изготавливают с запасными отделениями, отделяющимися от основной ампулы перегородкой с отверстием внизу.

Верхняя часть внутренней поверхности ампулы круглого уровня имеет сферическую форму, у цилиндрических уровней — форму, получающуюся при вращении дуги окружности радиуса R вокруг некоторой линии AB (рис. 31, б).

Цилиндрические уровни изготавливаются шкаловыми (см. рис. 31, а) и контактными (рис. 31, в, г). У шкаловых уровней на внешней стороне ампулы наносятся штрихи через 2 мм с оцифровкой через 10 делений. Середина шкалы считается нуль-пунктом. Контактные уровни делений не имеют, у них изображение пузырька (его концов) системой линз сводится в смотровое окно. В данном типе уровней нуль-пунктом является положение пузырька при совмещенных изображениях его половин. Контактные уровни повышают точность установки приборов в 4—5 раз по сравнению со шкаловыми.

Под ценой деления уровня понимают угол μ , на который необходимо наклонить ампулу, чтобы пузырек переместился на одно деление шкалы, равное 2 мм (см. рис. 31, б). При одной и той же цене деления контактные уровни почти в два раза точнее шкаловых.

Касательная, проведенная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте, называется осью ци-

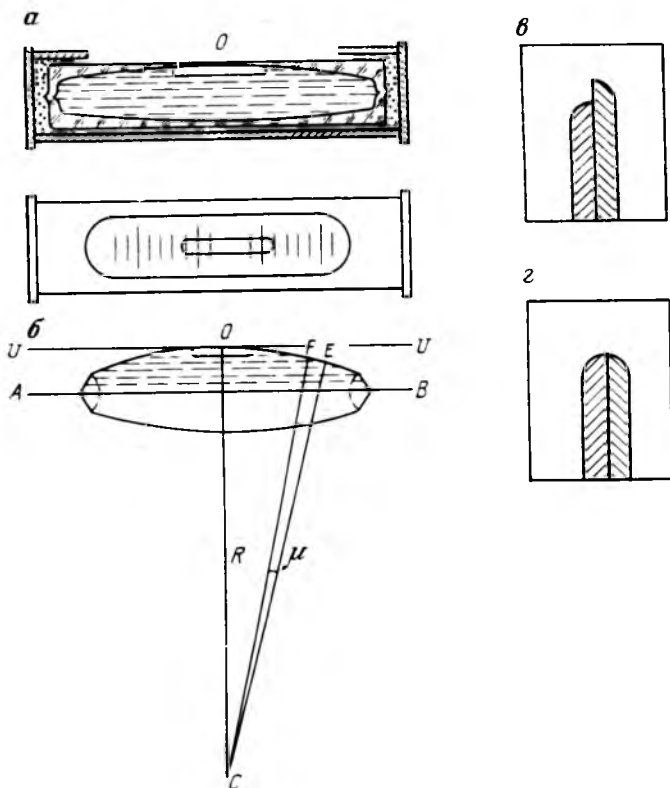


Рис. 31

линдрического уровня (прямая UU , см. рис. 31, б). Следовательно, если пузырек находится в нуль-пункте, то ось уровня занимает горизонтальное положение. Это свойство уровня широко используется при установке осей и плоскостей геодезических приборов в горизонтальное или вертикальное положение.

Угломерный круг. Угломерный круг, являющийся основной частью теодолита, изготавливается в виде металлического диска или стеклянного кольца диаметром от 5 до 22 см. Угломерные круги имеют равномерную угловую шкалу, выполненную в виде радиальных одинарных или двойных штрихов и называемую лимбом.

Градуйровка лимбов у теодолитов, выпускаемых в нашей стране, производится в угловых градусах. На угломерных кругах теодолитов технической точности штрихи наносятся через 10, 20, 30' и 1° и подписываются через 1, 5 или 10°. На горизонтальных кругах возрастание надписей — по ходу часовой стрелки. Дуга лимба, заключенная между двумя соседними штрихами, выраженная в угловой мере, называется ценой деления лимба.

Для предохранения лимба от попадания на него влаги, пыли и т. п. его закрывают специальным кожухом.

УС **Отсчетные устройства.** В угломерных приборах под отсчетом понимают величину дуги между нулевым штрихом шкалы лимба и отсчетным индексом. Обычно отсчетный индекс оказывается между двумя соседними штрихами лимба, которые принято называть младшим и старшим. Полный отсчет a по лимбу, таким образом, складывается из суммы целых интервалов лимба, находящихся между началом шкалы и младшим штрихом, и части интервала, находящейся между младшим штрихом и отсчетным индексом:

$$a = n\tau + \Delta\tau,$$

где n — количество полных делений; τ — величина (цена) деления лимба; $\Delta\tau$ — неполная часть деления лимба между младшим штрихом и отсчетным индексом. Основная сложность заключается в точном определении части интервала, осуществляемая в геодезических приборах при помощи различных отсчетных устройств, основанных на способности глаза определять или совпадение штрихов одной шкалы со штрихами другой, или симметричное расположение штрихов шкал, или оценивать доли промежутка между штрихами. Эти положения являются исходными при конструировании отсчетных приспособлений, использующих:

- а) совмещение двух штрихов шкал;
- б) установку штриха в биссектор (промежуток между двойными штрихами);
- в) оценку долей интервала на глаз.

Отсчетные устройства теодолитов включают в себя две части: приспособление для оценки положения отсчетного индекса на делениях лимба и приспособление для увеличения рассматриваемого соотношения.

Верньер. Верньеры как отсчетные приспособления использовались в теодолитах с металлическими угломерными кругами, кроме того, они не утратили своего значения в настоящее время, так как применяются в ряде геодезических приборов (планиметр, дальномерная рейка и т. п.).

Теория верньера заключается в следующем:

На лимбе и алидаде отмечаются две равные дуги, количество делений, укладываемых в эту дугу на лимбе, принимается равным $n-1$; на алидаде — n . Если обозначить цену деления лимба τ , а алидады — τ_1 , то, учитывая равенство дуг алидады и лимба, запишем

$$n\tau_1 = \tau(n-1). \quad (7.1)$$

Преобразуем эту формулу следующим образом:

$$n(\tau - \tau_1) = \tau. \quad (7.2)$$

Выражение $\tau - \tau_1 = t$ представляет собой точность верньера, поэтому будем иметь

$$t = \tau/n, \quad (7.3)$$

т. е. точность верньера равна цене деления лимба τ , деленной на количество делений алидады n .

Например, если цена деления лимба теодолита $\tau = 20'$, а количество делений алидады $n = 40$, то точность его верньера

$$t = 20'/40 = 30''.$$

На рис. 32 показан верньер, у которого общая дуга содержит 6 делений алидады и 5 делений лимба с ценой деления 1° , следовательно, величина дуги верньера составляет 5° , откуда цена деления алидады $50'$. Таким образом, точность верньера $t = \tau - \tau_1 = 10'$. На рассматриваемом рисунке приведено три случая отсчитывания. В первом случае (рис. 32, а) нулевой штрих (отсчетный индекс) совпадает со штрихом лимба 20° , из этого следует, что отсчет $a_1 = 20^\circ$. Во втором случае

нулевой штрих со штрихом лимба не совпадает, он находится несколько левее штриха лимба 20° , совпадает же первый штрих лимба. На второй схеме (рис. 32, б) отсчет равен 20° плюс часть интервала лимба, обозначенная x_1 , которая в рассматриваемом примере равна разности цены деления лимба и цены деления алидады, т. е. $x_1 = \tau - \tau_1 = t$. Следовательно, полный отсчет равен $a_2 = 20^\circ + x_1 = 20^\circ + t$; $\mu = 20^\circ 10'$.

На третьей схеме (рис. 32, в) алидада расположена так, что совпадает штрих со вторым порядковым номером. Отсчет в этом случае равен $a_3 = 20^\circ + x_2$, но $x_2 = 2\tau - 2\tau_1 = 2t$. Таким образом, $a_3 = 20^\circ + 2t = 20^\circ 20'$.

Если продолжить рассмотрение аналогичных схем, то выяснится, что отрезок x_i пропорционален произведению порядкового номера совпадающего индекса алидады и точности верньера, т. е. $x_i = kt$, где k — порядковый номер совпадающего штриха алидады.

Приведенный выше пример позволяет установить правило выполнения отсчета по верньеру: отсчет равен величине младшего штриха лимба плюс произведение порядкового номера совпадающего штриха алидады на точность верньера.

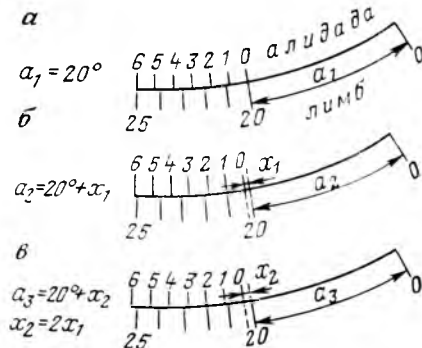


Рис. 32

Штриховой микроскоп. В оптических теодолитах отсчетные индексы или в виде штриха (штриховые микроскопы), или в виде шкалы (шкаловые микроскопы) наносятся на специальных стеклянных пластинках отсчетных микроскопов, укрепленных на алидадной части теодолитов.

Высокая точность нанесения штрихов лимбов и совпадения осей измерительного круга и алидады позволяет в технических оптиче-

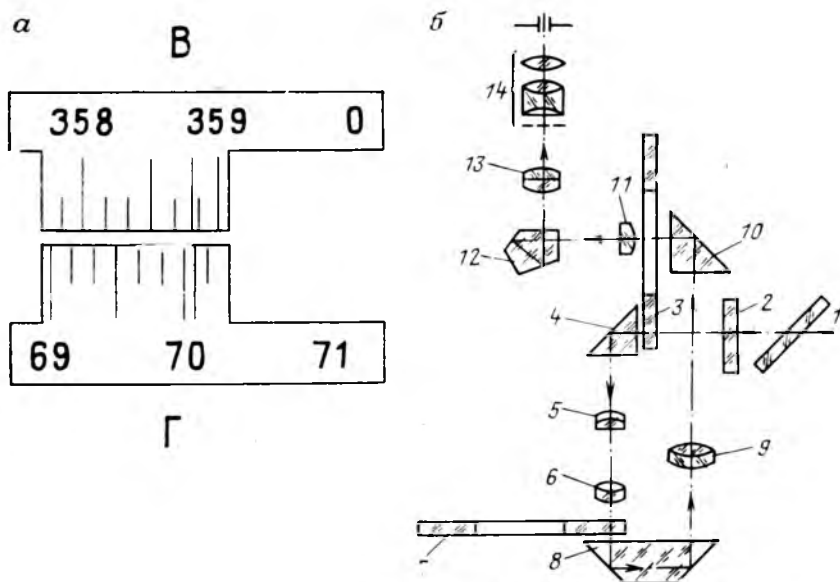


Рис. 33

ских теодолитах производить отсчеты только по одной стороне лимба.

Штриховой микроскоп представляет собой отсчетное устройство, в поле зрения которого видны отсчетный штрих и деления лимба, причем одновременно изображения шкал лимбов вертикального и горизонтального кругов (рис. 33, а). На рис. 33, а отсчет по вертикальному кругу $358^{\circ}48'$, по горизонтальному $70^{\circ}05'$.

В штриховом микроскопе теодолита Т30 луч света, отраженный зеркалом 1 (рис. 33, б), через защитное стекло 2 поступает на стеклянный (прозрачный) лимб 3 вертикального круга. При помощи призмы 4 и линз 5, 6 изображение шкалы лимба вертикального круга совмещается с плоскостью шкалы лимба горизонтального круга 7, которые затем через призмы 8, 9, 10 попадают на плоскость коллектива 11, на которую нанесен штрих. Полученное изображение шкал лимбов со штрихом передается при помощи пентапризмы 12 в микроскоп 13, 14, в котором производится отсчет (см. рис. 33, а). Десятые доли деления берутся на глаз с точностью до $1'$.

Шкаловой микроскоп. Шкаловой микроскоп представляет собой оптическое устройство, состоящее из микроскопа и отсчетной шкалы, нарезанной на стеклянной пластинке. Изображения делений лимбов вертикального и горизонтального кругов совмещаются с плоскостью шкалы. Конструктивно микроскоп выполнен таким образом, чтобы при совмещенном изображении длина

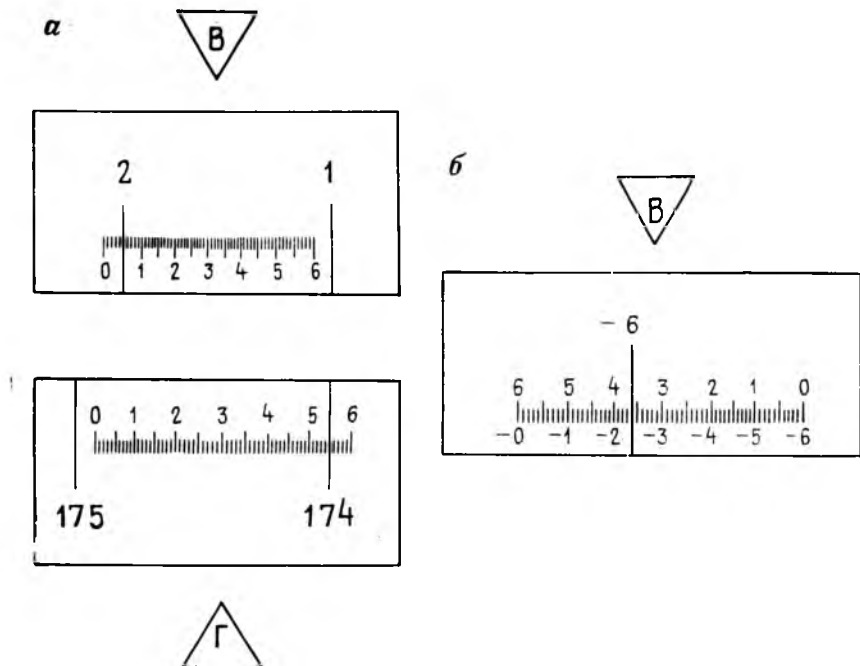


Рис. 34

шкалы была равна величине изображения одного деления лимба. На рис. 34, а показано поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т15, имеющего две шкалы: для вертикального и горизонтального измерительных кругов, каждая из которых разделена на 60 частей. Поскольку цена деления лимба 1° , одно деление шкалы соответствует $1'$. Доли делений шкалы берутся на глаз с точностью до $0,1'$. Отсчет по вертикальному кругу составляет $2^\circ 05,2'$, отсчет по горизонтальному кругу $174^\circ 55,0'$ (см. рис. 34, а). На рис. 34, б показано поле зрения теодолита Т15К. Отсчет по вертикальному кругу составляет $-6^\circ 24,0'$.

Зрительные трубы. В геодезических и маркшейдерских инструментах для визирования на наблюдаемые предметы используются зрительные трубы, при помощи которых наблюдаемые предметы видны под большим углом, чем невооруженным глазом.

Зрительная труба состоит из объектива и окуляра, расположенных так, чтобы задний фокус объектива почти совпадал с передним фокусом окуляра и сетки нитей — плоскопараллельной

пластинки, расположенной в передней фокальной плоскости окуляра, на которой выгравированы пересекающиеся линии. По устройству фокусирующих устройств зрительные трубы могут быть с внешней и внутренней фокусировкой.

Ход лучей в зрительной трубе с внешней фокусировкой показан на рис. 35. При геодезических измерениях наблюдаемые предметы, как правило, удалены на значительные расстояния от объектива, поэтому рассматриваемый предмет располагается на расстоянии большем, чем двойное фокусное расстояние объектива. Для

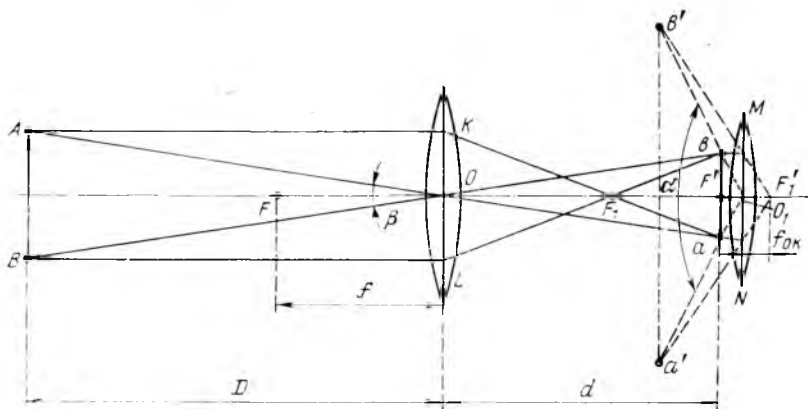


Рис. 35

построения изображения предмета AB через две его крайние точки проводим лучи AO и BO , которые, не преломляясь, проходят через центр объектива O . Два других луча AK и BL , проходящих параллельно главной оптической оси, преломляясь в точках K и L , проходят через задний фокус объектива F_1 и пересекаются соответственно с лучами AO и BO в точках a и b , образуя даваемое объективом действительное, обратное и уменьшенное изображение предмета AB .

Полученное уменьшенное изображение ab увеличивается окуляром MN , который в данном случае выполняет роль лупы. Для этого изображение предмета помещается между фокусом и линзой окуляра, в результате получают мнимое и увеличенное изображение $a'b'$ предмета AB .

В трубе с внешней фокусировкой изменение расстояния D от предмета AB до объектива ведет к изменению расстояния d от объектива до изображения предмета ab . Для совмещения плоскости изображения предмета ab с передней фокальной плоскостью окуляра последний перемещается при помощи кремальеры.

Отрезки D и d связаны с фокусным расстоянием объектива следующей формулой:

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}. \quad (7.4)$$

Таким образом, при визировании на удаленный предмет, когда D можно принять бесконечно большим по отношению к величинам d и f , формула (7.4) приобретает вид

$$d = f, \quad (7.5)$$

т. е. при визировании на удаленный предмет его изображение получается в задней фокальной плоскости объектива. Во всех остальных случаях это изображение располагается за задним фокусом объектива.

В современных геодезических инструментах используются зрительные трубы с внутренней фокусировкой. Трубы с внутренней

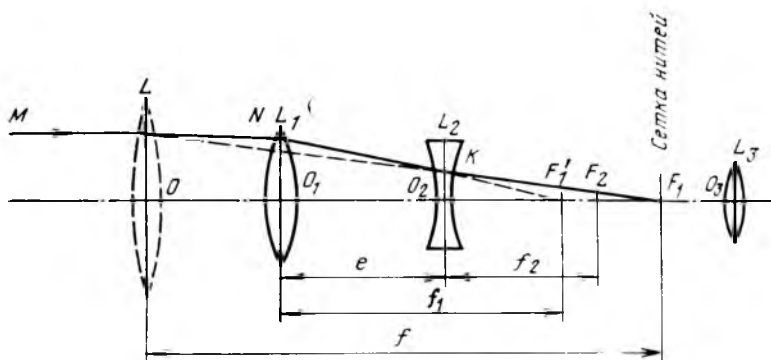


Рис. 36

фокусировкой являются более совершенными конструкциями, помимо того, что у них не изменяется длина во время фокусирования, трубы герметичны, в них не попадают грязь, вода, пыль. Принцип, положенный в создание оптической схемы такой трубы, показан на рис. 36 и отличается от оптической схемы трубы с внешней фокусировкой тем, что между объективом L_1 и окуляром L_2 помещается перемещающаяся рассеивающая линза L_2 .

Сочетание неподвижного объектива с отрицательной линзой L_2 образует объектив с изменяющимся фокусным расстоянием.

Луч MN , идущий параллельно оптической оси $O_1O_2O_3$, после преломления в объективе L_1 должен пойти по направлению NKF_1' , т. е. должен пройти через задний фокус F_1' объектива. Линза L_2 отклоняет луч от этого направления, и на самом деле оптическую ось он пересечет в точке F_1 , где помещена сетка нитей. Заменим линзы L_1 и L_2 эквивалентной им линзой L , оптический центр которой находится в точке O . Положение последней определяется направлением F_1K , фокусное расстояние которой, называемое эквивалентным, обозначим f .

Из оптики известно, что для выражения эквивалентного фокусного расстояния системы линз используется формула

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - e}, \quad (7.6)$$

где f_1 — фокусное расстояние линзы L_1 ; f_2 — фокусное расстояние линзы L_2 ; e — расстояние между линзами L_1 и L_2 .

Сетка нитей. Для визирования в зрительной трубе устанавливается сетка нитей, представляющая собой тонкую плоскопараллельную пластинку, на которую нанесены тонкие штрихи. Сетка нитей гравится на пластинке диафрагмы поля зрения трубы, которая размещается в переднем фокусе окуляра. На рис. 37 показаны виды сеток нитей теодолитов ТЗ0(а) и маркшейдерского теодолита ТЗ0М(б).

Точка пересечения основных штрихов сетки нитей и осей бисекторов называется перекрестием сетки нитей. Дополнительные

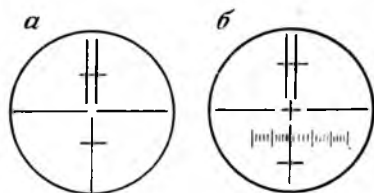


Рис. 37

короткие горизонтальные штрихи называются дальномерными и используются в нитяных дальномерах для измерения расстояний.

Воображаемая прямая линия, соединяющая оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей, называется визирной осью. Она должна совпадать с оптической осью трубы, представляющей собой линию, соединяющую оптические центры объектива и окуляра.

У зрительных труб имеется геометрическая ось, т. е. линия симметрии трубы, проходящая через характерные ее поперечные разрезы.

Для исправления положения сетки нитей в зрительной трубе пластина диафрагмы крепится в трубе при помощи двух пар юстировочных винтов, регулирующих положение пластинки по горизонтали и вертикали.

Увеличение зрительной трубы. Увеличением зрительной трубы называют отношение угла α , под которым виден предмет в зрительную трубу, к углу β , под которым виден предмет невооруженным глазом:

$$\Gamma = \alpha/\beta. \quad (7.7)$$

Если зрительная труба наведена на бесконечность, то задний фокус объектива и передний фокус окуляра совпадают, в этом случае можно записать

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} \alpha/2}{\operatorname{tg} \beta/2}.$$

но, так как

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = bc/f_{\text{ок}}, \quad \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = bc/f_{\text{об}},$$

будем иметь

$$\Gamma = f_{\text{об}}/f_{\text{ок}}. \quad (7.8)$$

Увеличение зрительной трубы равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра.

Поле зрения трубы. Важным свойством зрительной трубы является ее способность охватить наблюдаемое пространство (поле зрения), под которым понимают пространство, наблюдаемое в трубу при неподвижном ее положении. Величина поля зрения трубы, характеризуемая углом ε , определяется размером так называемой диафрагмы сетки нитей, диаметр которой по конструктивным соображениям принимается равным $2/3$ фокусного расстояния окуляра, так как при большем ее размере изображение у краев сильно искажается.

Если принять диаметр диафрагмы $d = 2/3 f_{\text{ок}}$ и положить, что диафрагма расположена от объектива на расстоянии, равном фокусному расстоянию объектива, то

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = \frac{d/2}{f_{\text{об}}},$$

но так как $d = 2/3 f_{\text{ок}}$, то получим

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{f_{\text{ок}}}{f_{\text{об}}}. \quad (7.9)$$

Если учесть формулу (7.8), то

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} = \frac{1}{3\Gamma}. \quad (7.10)$$

В современных приборах угол ε является небольшой величиной, поэтому можно принять $\operatorname{tg} \varepsilon/2 \approx \varepsilon/2 \cdot 57,3^\circ$, откуда

$$\frac{\varepsilon^\circ}{57,3^\circ} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\Gamma}$$

или

$$\varepsilon = 38^\circ/\Gamma, \quad (7.11)$$

где Γ — увеличение трубы.

Последняя формула показывает, что поле зрения связано с увеличением зрительной трубы и равно $1-2^\circ$.

Разрешающая способность зрительной трубы. Точность визирования. Под разрешающей способностью зрительной трубы понимают способность оптической системы изобразить раздельно две точки. Характеризуется разрешающая способность наименьшим углом r , под которым две точки не сливаются в одну. Если разрешающую способность невооруженного глаза принять равной $1'$, то разрешающая способность зрительной трубы

$$r'' = 60''/\Gamma,$$

откуда разрешающая способность зрительной трубы при увеличении $20\times$ равна $3''$.

Разрешающая способность зрительной трубы связана с точностью визирования, т. е. точностью совмещения визирной оси трубы с направлением на точку визирования, а также зависит от освещенности и контрастности наблюдаемого объекта.

Параллакс нитей. Параллаксом нитей называется несоответствие изображения предмета с плоскостью сетки нитей зрительной трубы. Параллакс проявляется при изменении положения глаза наблюдателя. Если при этом положение наблюдаемого предмета изменяется относительно сетки нитей, то параллакс имеется, в противном случае его нет. Параллакс устраняется более точной фокусировкой зрительной трубы.

Установка трубы для наблюдений. Зрительная труба перед ее использованием устанавливается по глазу и затем по предмету. Установка по глазу сводится к тому, что наблюдатель добивается отчетливого изображения сетки нитей, для чего вращением диоптрийного кольца помещают ее в передний фокус окуляра. Для установки трубы по предмету, т. е. фокусирования, ее визируют на предмет с помощью кремальеры таким образом, чтобы в зрительной трубе было отчетливое, лишенное параллакса изображение наблюдаемого предмета.

§ 48. Оптические технические теодолиты

Теодолиты технической группы являются наиболее распространенными и широко применяются как в геологических изысканиях, так и в горном деле.

Теодолит ТЗ0 — малогабаритный оптический теодолит (массой 2 кг) повторительного типа, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов со средней квадратической погрешностью 30". Прибор может использоваться в топографо-геодезических работах, при решении задач прикладной геодезии изыскательских, разбивочных и трассировочных работах, при измерениях в горных выработках.

Теодолит имеет одностороннюю систему отсчитывания по кругам. Фокусировка зрительной трубы осуществляется вращением головки, расположенной на одной из колонок.

Подставка теодолита наглухо прикреплена к основанию, служащему одновременно дном футляра прибора. В отвесное положение ось вращения прибора приводится при помощи цилиндрического уровня. Зрительная труба теодолита имеет закрепительный и наводящий винты. Рядом со зрительной трубой расположен окуляр штрихового микроскопа, при помощи которого производятся отсчеты по лимбам горизонтального и вертикального кругов. Прибор снабжен наводящими винтами горизонтального круга и алидады. Цена деления лимбов 10'.

В поле зрения микроскопа видны одновременно участки шкал лимбов горизонтального и вертикального кругов с отсчетным штрихом. Точность отсчитывания 1'.

Вертикальный круг теодолита не имеет уровня, поэтому перед отсчитыванием по вертикальному кругу необходимо следить за тем, чтобы пузырек уровня при алидаде горизонтального круга был в середине ампулы.

К штативу теодолит крепится станковым винтом. Центрирование производится механическим отвесом или визированием верти-

кальной зрительной трубой через отверстие в вертикальной оси теодолита (оси алидады). Для грубого визирования на предмет зрительная труба снабжена оптическим визиром.

Теодолит Т30М. Теодолит Т30М (рис. 38) повторительного типа и предназначен для измерения углов в съемочных сетях горных выработок, а также может быть использован в маркшейдер-

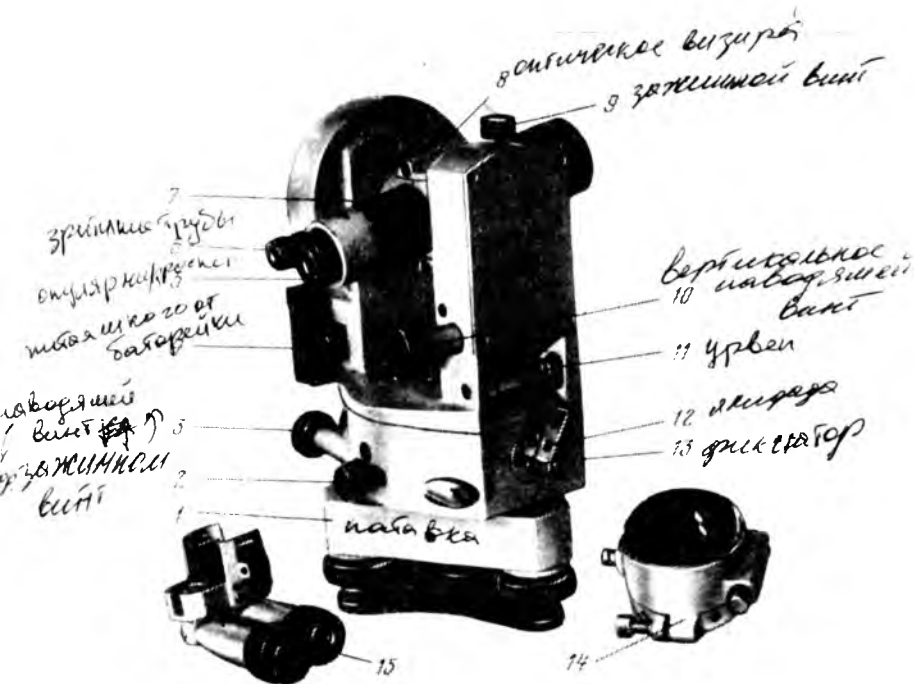


Рис. 38

ско-геодезических работах на поверхности. Конструктивные особенности вертикальной оси вращения прибора и применение реверсионного уровня позволяют устанавливать теодолит с подставкой *1* как на штативах, так и консолях трубой вниз (в подвешенном состоянии). Теодолит удобен в работе, так как наблюдатель в стесненных условиях в горных выработках может визировать зрительной трубой, снимать отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, наблюдать за установкой уровня *II*, не сходя с места.

Теодолит имеет полую вертикальную ось, что позволяет его центрировать над точкой при помощи зрительной трубы, для центрирования над точкой используется коленчатый окуляр 15. Для измерения углов наклона более 45° теодолит снабжен зенитной насадкой 14.

Для подсвечивания отсчетной системы в шахтных условиях прибор имеет осветительное устройство, питающееся от батарейки 4. Фокусировка зрительной трубы осуществляется кремальерой 7. Окуляр зрительной трубы 5 и окуляр микроскопа 6 расположены рядом. По обе стороны (сверху и снизу) зрительной трубы имеются оптические визиры 8, на расстоянии 20—25 см от

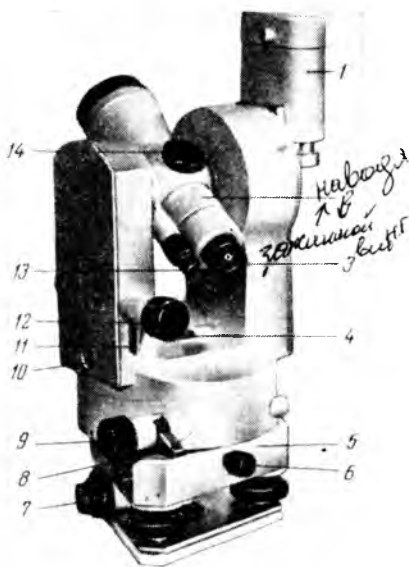


Рис. 39

которых располагается глаз наблюдателя. В поле зрения визира виден светлый крест, который вращением зрительной трубы грубо наводится на предмет. Точное наведение на предмет зрительной трубы в вертикальной плоскости осуществляется наводящим винтом 10, зажимной винт 9 при этом должен быть зажат. Точное наведение теодолита на предмет в горизонтальной плоскости производится при зажатом зажимном винте 2 наводящим винтом 3.

Скрепление горизонтального круга с алидадой выполняется нажатием рычага 12, имеющего фиксатор 13.

Стеклянные лимбы горизонтального и вертикального кругов имеют цену деления $10'$ и оцифровку каждого градуса. Для отсчета используется шкаловая микроскоп с ценой деления $1'$, точность отсчитывания по которому составляет $0,1-0,15'$, что позволяет производить измере-

ние углов со средней квадратической погрешностью, не превышающей $30''$. Отсчеты по микроскопу берутся аналогично отсчетам в теодолите Т15.

Теодолит Т15. Теодолит Т15 предназначен для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при создании съемочных сетей и для выполнения различного рода инженерно-геодезических изысканий. При снабжении теодолита электрической подсветкой 1 (рис. 39) он может применяться в подземных условиях.

Теодолит Т15 имеет зажимные винты алидады 8, зрительной трубы 11 и соответствующие им наводящие винты 9 и 12.

Для приведения оси вращения прибора в вертикальное положение используется уровень 4, исправление которого осуществляют винтом 10. Фокусировка зрительной трубы производится кремальерой 2. Окуляры зрительной трубы 3 и шкалового микроскопа 13 расположены рядом.

Для центрирования под точкой прибор снабжен верхним центром (керном) 14, над точкой — оптическим центриром 7.

С подставкой 5 теодолит скрепляется закрепительным винтом 6. Прибор снабжен шкаловым микроскопом. Одна из призм оптической системы вертикального круга подвешена на плоской пружине и выполняет роль компенсатора, автоматически приводящего оптическое устройство в рабочее положение. В приборах без компенсаторов для этих целей используются цилиндрические уровни.

Изображение штрихов обоих лимбов и отсчетных шкал сводятся в поле зрения отсчетного микроскопа (см. рис. 34). Цена деления лимбов 1° , шкалы имеют по 60 делений, что соответствует $1'$. Учитывая, что точность отсчитывания микроскопа $0,1$ деления, отсчет у теодолита Т15 производится с точностью до $0,1'$. Средняя квадратическая погрешность измерения угла не превышает $15''$.

§ 49. Вертикальный круг

В теодолите для измерения углов наклона — вертикальных углов между направлением визирной оси зрительной трубы и горизонтальной плоскостью — используется угломерный круг, укрепленный на оси вращения зрительной трубы так, что его ось и ось вращения трубы совпадают, а плоскость угломерного круга пер-

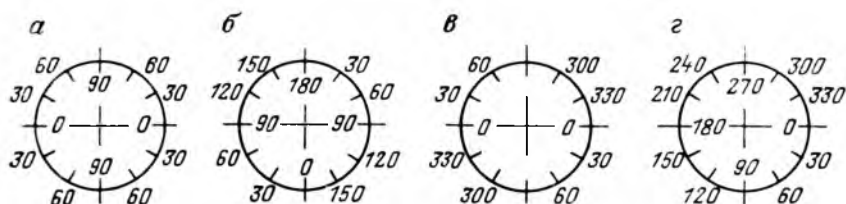


Рис. 40

пендикулярна к оси вращения трубы. На внешней части угломерного круга нанесены деления лимба, оцифровка которых может быть различной. На рис. 40, а показана оцифровка, возрастающая в обе стороны от нулевых штрихов диаметра, расположенного параллельно визирной оси зрительной трубы. На рис. 40, б изображен вертикальный круг, у которого оцифровке диаметра соответствуют числа $90-90^\circ$. Оцифровка лимба на рис. 40, в является довольно распространенной, нулевые штрихи его диаметра расположены параллельно визирной оси зрительной трубы. На рис. 40, г оцифровка возрастает от 0 до 360° и при одном положении круга отсчет соответствует углу наклона, при втором — дополнению до 180° . Роль горизонтальной плоскости в теодолитах выполняет алидада, осуществляющая фиксирование начального (отсчетного) горизонтального положения. Угломерный круг и алидаду принято называть вертикальным кругом.

На рис. 41, а показана конструкция вертикального круга верньерного теодолита, которая хорошо иллюстрирует существо измере-

ния углов наклона. Изображение дано при положении круг право (КП), когда вертикальный круг, если смотреть со стороны окуляра, находится справа от зрительной трубы. В противном случае положение вертикального круга называется круг лево (КЛ).

На рис. 41, а: 1 — лимб, имеющий деления по всему кругу, возрастающие по ходу часовой стрелки, 2 — алидада с верньерами 3, к которой крепится цилиндрический уровень 4, имеющий юстировочный винт 5. Для того чтобы алидада оставалась неподвижной, при вращении оси зрительной трубы ее рычаг 6 крепится к ко-

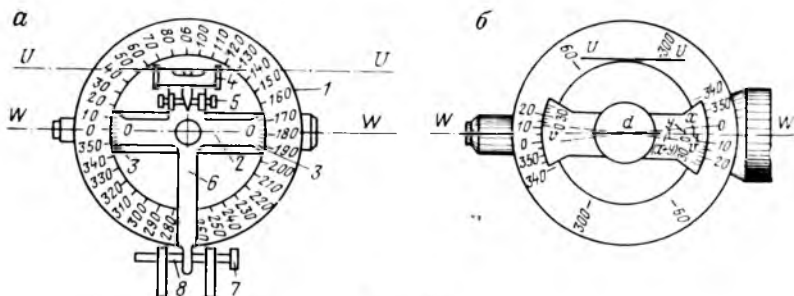


Рис. 41

лонке (стойке) зрительной трубы при помощи приспособления, состоящего из наводящего винта алидады 7 и пружины 8.

Главное условие, которое должно соблюдаться в вертикальном круге, заключается в том, чтобы при совмещении нуля верньера с нулем вертикального круга визирная ось зрительной трубы WW была параллельна оси цилиндрического уровня UU . При соблюдении этого условия отсчет по лимбу вертикального круга дает непосредственное значение угла наклона визирной оси зрительной трубы. Если же ось уровня не параллельна нулевому диаметру алидады, то при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и оси уровня нуль лимба не совпадает с нулем верньера, т. е. отсчет по вертикальному кругу не равен нулю.

Отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси зрительной трубы, когда пузырек уровня выведен на середину, принято называть местом нуля, обозначаемым МО.

На рис. 41, б показано горизонтальное положение визирной оси зрительной трубы WW и оси уровня алидады UU вертикального круга; нулевой диаметр odo с горизонтальной линией составляет угол y , линия нулей алидады — x . В данном случае отсчет по вертикальному кругу равен $(x+y)$ или $360^\circ + (x+y)$. В соответствии с определением места нуля можно написать

$$МО = 360^\circ + (x+y). \quad (7.12)$$

Для вывода формулы вычисления угла наклона рассмотрим рис. 42. На рис. 42, а рассматривается положение круг право

(КП), угол наклона определяется

$$v = b_1 - (x + y), \quad (7.13)$$

где b_1 — отсчет по вертикальному кругу при КП.

Переведем трубу через зенит, визируя на эту же точку при круге лево (КЛ). Если иметь в виду те же углы несовпадения осей,

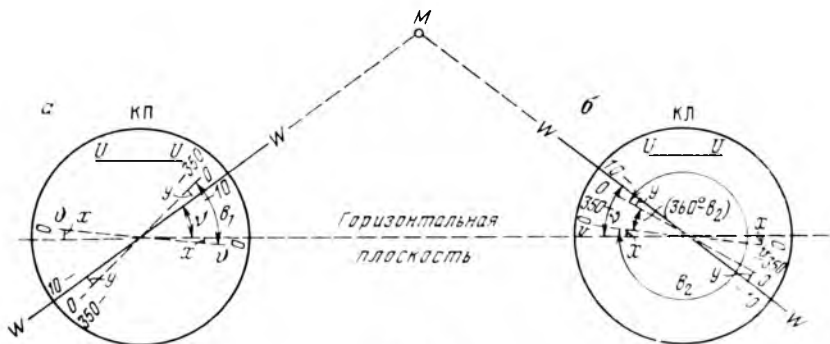


Рис. 42

т. е. углы x и y , то при положении КЛ получится схема, показанная на рис. 42, б, согласно которой угол наклона равен

$$v = 360^\circ - b_2 + (x + y). \quad (7.14)$$

Найдем выражение для суммы полученных значений угла наклона по (7.13) и (7.14)

$$v = (b_1 + 360^\circ - b_2)/2. \quad (7.15)$$

Если ввести обозначения $b_1 + 360^\circ = \text{КП}$ — отсчет при круге право, $b_2 = \text{КЛ}$ — отсчет при круге лево, то получим

$$v = \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2}. \quad (7.16)$$

Если в формуле (7.13) к правой части добавить и вычесть 360° , т. е.

$$v = b_1 + 360^\circ - [360^\circ + (x + y)], \quad (7.17)$$

то угол наклона определится

$$v = \text{КП} - \text{МО}. \quad (7.18)$$

Используя формулу (7.14) и учитывая, что $360^\circ + (x + y) = \text{МО}$ (7.12), а $b_2 = \text{КЛ}$, получим

$$v = \text{МО} - \text{КЛ}. \quad (7.19)$$

Приравнявая правые части формул (7.17) и (7.18), т. е. $\text{КП} - \text{МО} = \text{МО} - \text{КЛ}$, найдем выражение

$$\text{МО} = \frac{\text{КП} + \text{КЛ}}{2}. \quad (7.20)$$

Если место нуля известно, то угол наклона может измеряться при одном положении вертикального круга. В таком случае используются формулы (7.18), (7.19). Если место нуля неизвестно, то угол наклона измеряют при круге право и круге лево, для вычисления угла используется формула (7.16). Последнее измерение угла наклона называется измерением полным приемом.

При отсчитывании по вертикальному кругу при двух положениях КП и КЛ отсчеты бывают небольшие, в пределах 0—60°, называемые малыми отсчетами, и большие отсчеты, значения которых близки к 360°. Для того чтобы иметь одинаковые по размерности отсчеты, принято малые отсчеты увеличивать до больших путем прибавления 360°.

Пример. Отсчеты по вертикальному кругу при измерении угла наклона: $KП = 1^{\circ}33'$; $KЛ = 358^{\circ}29'$.

Место нуля равно

$$МО = \frac{KП + KЛ}{2} = \frac{(1^{\circ}33' + 360^{\circ}) + 358^{\circ}29'}{2} = 360^{\circ}01'$$

или $МО = 0^{\circ}01'$.

Определим угол наклона ν по формуле (7.16)

$$\nu = \frac{KП - KЛ}{2} = \frac{361^{\circ}33' - 358^{\circ}29'}{2} = +1^{\circ}32'$$

и по формуле (7.18)

$$\nu = KП - МО = 1^{\circ}33' - 0^{\circ}01' = +1^{\circ}32'.$$

Выполним вычисления через большие отсчеты:

$$\nu = KП - МО = 361^{\circ}33' - 360^{\circ}01' = +1^{\circ}32';$$

$$\nu = МО - KЛ = 360^{\circ}01' - 358^{\circ}29' = +1^{\circ}32'.$$

Приведенные выше формулы для вычисления угла наклона и места нуля выведены для теодолитов, у которых шкала лимба оцифрована по схеме рис. 40, в. Этими формулами можно пользоваться также при измерении углов наклона теодолитами, у которых лимбы имеют возрастающую по часовой стрелке оцифровку от 0 до 360°. В оптических теодолитах с односторонними отсчетами формулы для вычисления углов наклона и места нуля имеют следующий вид:

$$МО = \frac{KП + KЛ + 180^{\circ}}{2}; \quad (7.21)$$

$$\nu = \frac{KП - (KЛ + 180^{\circ})}{2}; \quad (7.22)$$

$$\nu = KП - МО; \quad (7.23)$$

$$\nu = МО - (KЛ + 180^{\circ}). \quad (7.24)$$

У теодолитов, имеющих лимб вертикального круга с оцифровкой от 0 до 360° против часовой стрелки (например, Т30), рассматриваемые формулы следующие:

$$МО = \frac{KЛ + KП + 180^{\circ}}{2}, \quad (7.25)$$

$$v = \frac{КЛ - КП - 180^\circ}{2}, \quad (7.26)$$

$$v = МО - КП - 180^\circ, \quad (7.27)$$

$$v = КЛ - МО. \quad (7.28)$$

Исправление места нуля. Перед началом измерений необходимо убедиться в том, что место нуля действительно близко к нулю. Для этого несколько раз определяют место нуля из измерений разных углов наклона при обоих положениях вертикального круга. При этом колебания места нуля не должны превышать двойной точности отсчетного устройства. В тех случаях, когда место нуля постоянно, но существенно отличается от нуля, оно исправляется.

Возможны два способа исправления места нуля теодолитов.

1. Из наблюдений на удаленный предмет при КП и КЛ вычисляя значение места нуля. При положении КП приводят пузырек уровня вертикального круга в нуль-пункт и наводящим винтом зрительной трубы устанавливают значение МО на лимбе вертикального круга. Визирная ось зрительной трубы при этом займет горизонтальное положение. Установочным винтом алидады вертикального круга добиваются совпадения нуля отсчетного устройства с нулем лимба вертикального круга (пузырек уровня при этом сместится с нуль-пункта). Юстировочным винтом уровня пузырек приводит в нуль-пункт. Для контроля повторно определяют значение МО.

2. Производится измерение угла наклона при двух положениях вертикального круга. Вычисляется значение места нуля и угла наклона. Если место нуля оказалось больше допустимого, то при одном из положений зрительной трубы (например, КП) опять визируют на точку и при помощи установочного винта уровня алидады устанавливают штрих на отсчет по лимбу, соответствующий величине вычисленного угла наклона. Юстировочным винтом уровня приводят пузырек на середину. Для контроля измерения повторяют.

У теодолитов Т30 место нуля исправляется перемещением сетки нитей зрительной трубы. Для этого вычисляют значение измеренного на некоторую точку угла наклона; действуя наводящим винтом зрительной трубы, устанавливают его на лимбе. Перед установкой необходимо убедиться в том, что пузырек уровня при алидаде горизонтального круга находится в нуль-пункте. После этого при помощи вертикальных юстировочных винтов сетку нитей перемещают до тех пор, пока перекрестие не совпадает с изображением наблюдаемого предмета.

Оптические компенсаторы. В ряде современных теодолитов вместо уровня при алидаде вертикального круга имеется самоустанавливающийся оптический компенсатор места нуля. Наличие компенсатора ускоряет процесс измерения вертикальных углов, так как отпадает необходимость приведения пузырька уровня на середину перед взятием каждого отсчета.

Компенсаторы, применяемые в вертикальных кругах теодолитов, используют систему чувствительного элемента с пружиной, у которой один конец консольно закрепляется на колонке зрительной трубы, ко второму прикрепляется призма. При наклоне вертикальной оси теодолита на угол ϵ пружина под действием силы тяжести изгибается и наклоняет призму на угол ϵ' , пропорциональный коэффициенту механической стабилизации, который подбирается с таким расчетом, чтобы при помощи чувствительных элементов компенсатора луч в оптическом центре теодолита был автоматически приведен в положение, соответствующее месту нуля.

У теодолита Т15К в качестве компенсатора служит прямоугольная призма, подвешенная на плоской пружине, прикрепленной к колонке зрительной трубы. При наклоне вертикальной оси теодолита оптическая система компенсатора смещает изображение штрихов лимба относительно изображения шкалы измерительного микроскопа так, что отсчет по вертикальному кругу соответствует отвесному положению оси вращения теодолита.

Вертикальный круг теодолита Т15К имеет оцифровку, состоящую из четырех секторов: пара противоположных секторов имеет отрицательную оцифровку, другая пара — положительную (не имеет знака). Таким образом, отсчетная шкала вертикального круга имеет две оцифровки: положительную и отрицательную. В поле зрения микроскопа в зависимости от угла наклона появляется шкала с соответствующим знаком. Так, на рис. 34,б отсчет по вертикальному кругу — $6^{\circ}24,0'$.

Вертикальный круг теодолита Т15К устроен таким образом, что знак угла наклона соответствует истинному только при положении КЛ. При наблюдении при КП надо иметь в виду, что отсчитываемому отрицательному углу на местности соответствует положительный угол и наоборот: положительному — на местности отрицательный угол наклона.

Компенсаторы у современных теодолитов работают в пределах наклона вертикальной оси до $\pm 3'$, обеспечивают компенсацию места нуля с погрешностью, не превышающей $2''$.

Проверка оптического компенсатора теодолита Т15К. При проверке компенсатора должна быть установлена неизменность отсчетов по вертикальному кругу при отклонении оси вращения теодолита от отвесной линии на величину не более $\pm 3'$.

На удаленном расстоянии от теодолита выбирают точку, прибор устанавливают так, чтобы перпендикулярно к выбранному направлению располагались два подъемных винта. Пузырек уровня при алидаде горизонтального круга выводится на середину. Действуя подъемными винтами, последовательно производят наклон оси вращения теодолита в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Наклон оси задают по уровню алидады горизонтального круга на 4—5 делений, что составляет $2-3'$. После наклона в каждую сторону берут отсчеты по вертикальному кругу, которые не должны отличаться более чем на $0,1'$. При большем расхождении исправление компенсатора производится в мастерской.

До проведения полевых работ необходимо провести поверку теодолита, т. е. установить выполнение у него ряда геометрических условий, и, если окажется необходимым, то сделать юстировку, т. е. его наладку, заключающуюся в установлении правильного взаимного положения отдельных его частей.

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита (ось $ZZ \perp$ к оси UU , рис. 43). Геометрически ось вращения теодолита — это перпендикуляр к плоскости горизонтального круга, проходящий через его центр. Таким образом, если плоскость горизонтального круга приведена в строго горизонтальное положение, то ось вращения автоматически — в отвесное.

Для приведения в горизонтальное положение плоскости горизонтального круга (алидады) и одновременно в отвесное положение оси вращения теодолита горизонтальный круг снабжен цилиндрическим уровнем, ось которого должна быть параллельна плоскости горизонтального круга. Однако в процессе эксплуатации это условие может быть нарушено, и тогда угол между осью уровня и осью вращения теодолита отличается от прямого угла.

Предположим, что ось цилиндрического уровня U_1U_2 (рис. 44) не перпендикулярна к оси вращения теодолита ZZ_1 , т. е. ось U_1U_2 отклоняется от перпендикуляра к оси ZZ_1 на угол ε . Если подъемными винтами теодолита привести пузырек уровня на середину, то ось уровня U_1U_2 займет горизонтальное положение, а вертикальная ось отклонится от вертикали на угол ε (рис. 44, а). Повернем алидаду на 180° вокруг вертикальной оси ZZ_1 , последняя при этом не меняет своего положения в пространстве, а ось уровня займет в пространстве наклонное положение, причем ее наклон к горизонту равен 2ε . Соответственно пузырек уровня сместится на дугу l , определяемую углом 2ε (рис. 44, б). Для устранения неперпендикулярности следует изменить положение оси уровня относительно оси вращения прибора на половину дуги отклонения пузырька уровня.

При проверке этого условия вращением алидады устанавливают цилиндрический уровень по направлению двух подъемных винтов и выводят пузырек на середину. Поворачивают алидаду на

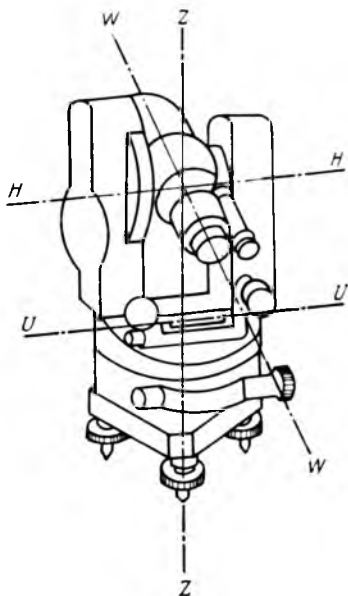


Рис. 43

180° и замечают величину дуги, на которую сместился пузырек уровня. Юстировочным винтом уровня смещают пузырек к середине на половину дуги отклонения, после чего ось уровня U_1U_2 станет перпендикулярна к вертикальной оси, т. е. рассматриваемое условие выполнится. Далее, действуя теми же подъемными винтами, выводят пузырек на середину и, повернув алидаду на 90°, третьим подъемным винтом снова приводят пузырек уровня на

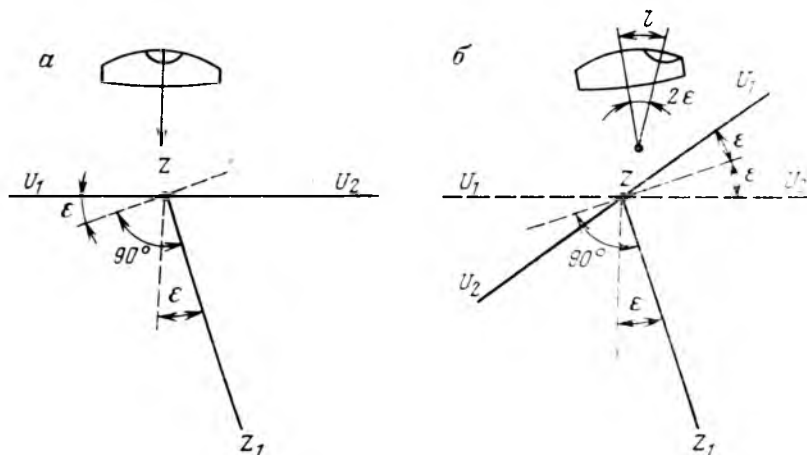


Рис. 44

середину, после чего вертикальная ось ZZ_1 установится отвесно. Поверку повторяют несколько раз, добиваясь, чтобы после поворота алидады на 180° и при произвольной ее установке пузырек уровня остался в нуль-пункте или отклонялся от него не более чем на одно деление.

2. Вертикальный штрих сетки нитей должен находиться в коллимационной плоскости. Для выполнения этого условия устанавливают отвесно ось вращения теодолита и визируют зрительную трубу на некоторую точку. Наводящим винтом перемещают зрительную трубу по вертикали. Если при этом изображение точки не смещается более чем на $1/3$ величины биссектора, то условие выполнено. В противном случае для юстировки необходимо снять колпачок, закрывающий винты окуляра, слегка отпустить винты и повернуть окуляр с сеткой нитей так, чтобы вертикальный штрих сетки занял вертикальное положение. После выполнения проверка повторяется.

3. Изображение интервалов горизонтального и вертикального кругов должно быть равно длинам соответствующих шкал отсчетного микроскопа. Разность между запроектированным (номинальным) числом делений шкалы и отсчитанным по шкале называется реном. Для определения рена совмещают штрих лимба угломерного кру-

га с нулевым штрихом шкалы и берут отсчет по правому концу шкалы. Такие определения выполняют на разных частях лимба через каждые 60° и находят среднее значение рена. Если величина рена больше двойной точности отсчитывания, то исправление рена производит механик мастерской.

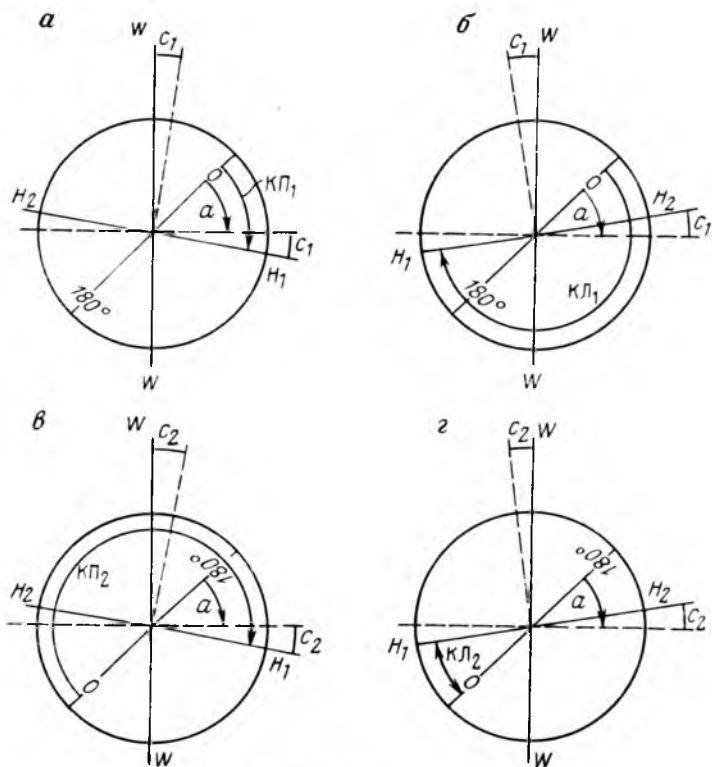


Рис. 45

4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита (ось $WW \perp$ к оси HH , см. рис. 43). Если это условие не выполняется, то между направлениями визирной оси WW и перпендикуляром к горизонтальной оси теодолита HH образуется угол c , называемый коллимационной ошибкой.

Для проверки приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение и визируют на удаленную цель, расположенную приблизительно на уровне высоты теодолита. На рис. 45 предполагается, что проекция нулевого штриха алидады совпадает с проекцией горизонтальной оси трубы в точке H_1 . Пунктиром показаны перпендикуляры к визирной оси и к горизонтальной оси теодолита, образующие с данными линиями угол c_1 . Визируя на цель при положении круг право (рис. 45, а), получим отсчет $КП_1$ (дуга от ну-

левого штриха лимба до проекции нулевого штриха алидады). Правильный отсчет, лишенный коллимационной ошибки, будет

$$a = \text{КП}_1 - c_1. \quad (7.29)$$

Аналогично, визируя на ту же цель при положении круг лево (рис. 45, б), получим отсчет КЛ_1 , правильный отсчет равен

$$a = \text{КЛ}_1 - 180^\circ + c_1. \quad (7.30)$$

Вычтя из (7.29) равенство (7.30), получим

$$2c_1 = \text{КП}_1 - \text{КЛ}_1 + 180^\circ,$$

или коллимационная ошибка равна

$$c_1 = \frac{\text{КП}_1 - \text{КЛ}_1 \pm 180^\circ}{2}. \quad (7.31)$$

В теодолитах с верньерными отсчетными приспособлениями для исключения влияния эксцентриситета отсчеты берут по двум диаметрально противоположным штрихам алидады и выводят среднее арифметическое значение. Современные оптические теодолиты имеют односторонние отсчетные приспособления, поэтому величина c_1 характеризует не только влияние коллимационной ошибки, но также влияние эксцентриситета алидады. Чтобы его исключить, открепляют горизонтальный круг, поворачивают его примерно на 180° и повторяют измерения, получая соответственно отсчеты КП_2 и КЛ_2 (рис. 45, в, г). При этом правильный отсчет соответственно будет

$$a = \text{КП}_2 - 180^\circ - c_2,$$

$$a = \text{КЛ}_2 + c_2,$$

откуда коллимационная ошибка

$$c_2 = \frac{\text{КП}_2 - \text{КЛ}_2 \pm 180^\circ}{2}. \quad (7.32)$$

Без влияния эксцентриситета величина коллимационной ошибки равна

$$c = (c_1 + c_2)/2.$$

Подставив значения c_1 и c_2 из формул (7.31) и (7.32), получим

$$c = \frac{(\text{КП}_1 - \text{КЛ}_1 \pm 180^\circ) + (\text{КП}_2 - \text{КЛ}_2 \pm 180^\circ)}{2}. \quad (7.33)$$

Если коллимационная ошибка превышает допустимую величину (для теодолитов Т15— $0,5'$, Т30— $1'$, Т60— $1,5'$), то юстировку выполняют в следующем порядке:

а) вычисляют правильный отсчет

$$a = \frac{\text{КЛ}_2 + \text{КП}_2 \pm 180^\circ}{2},$$

б) наводящим винтом алидады устанавливают правильный отсчет на лимбе горизонтального круга; при этом центр сетки сме-

стится с наблюдаемой цели на величину, соответствующую коллимационной ошибке; боковыми юстировочными винтами сетки нитей совмещают ее центр с наблюдаемой целью.

5. Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси (ось $HH \perp$ оси ZZ , см. рис. 43). Установив теодолит недалеко от какого-либо высокого предмета (например, стена здания), выбирают на нем цель с таким расчетом, чтобы при наведении перекрестия сетки нитей на эту точку визирная ось трубы была направлена вверх под углом не менее 30° ; при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ) дважды проектируют наблюдаемую точку M , опуская трубу вниз примерно на такой же угол и отмечая на стене проекцию изображения вертикального штриха сетки в точках m_1 и m_2 ; измерив отрезок m_1m_2 (миллиметровой линейкой) и расстояние Mm (приблизленно, с помощью рулетки или рейки), вычисляют угловую погрешность невыполнения данного условия по формуле

$$i = \rho' \frac{m_1m_2}{2Mm}.$$

Предельная величина угла i не должна превышать $0,5'$. Если условие не выполняется, то юстировку производят в механической мастерской.

§ 51. Измерение горизонтальных углов способом приемов

Для измерения горизонтального угла в его вершине (точка 4, рис. 46) устанавливают теодолит и приводят в рабочее положение.

Направление сторон угла обозначают вехами, установленными на соседних точках (точки 3 и 5). Вехи ставят сзади этих точек по направлениям сторон угла. При коротких сторонах вместо вех устанавливают шпильки от ленты, если характер местности позволяет на них визирование.

Установка теодолита в рабочее положение состоит из двух операций: центрирования и горизонтирования.

Центрирование заключается в размещении вертикальной оси теодолита над вершиной угла (точкой) и осуществляется при помощи отвеса. Теодолит устанавливают над точкой так, чтобы верхняя плоскость головки штатива была горизонтальна и острие отвеса, подвешенного на крючке станого винта, проектировалось на точку. Погрешность центрирования над точкой не должна превышать 5 мм (при стороне угла менее 100 м). Современные теодолиты, как правило, оснащены оптическими центрами, которые облегчают центрирование, особенно при сильном ветре, и повышают его точность.

После центрирования выполняют горизонтирование, заключающееся в приведении вертикальной оси теодолита в отвесное положение. Для этого устанавливают уровень при алидаде горизон-

тального круга по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, выводят пузырек уровня на середину; открепив алидаду, устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и вращением последнего снова выводят пузырек на середину.

После этого поворотом диоптрийного кольца фокусируют сетку нитей по глазу так, чтобы видеть ее четкое изображение в поле зрения трубы; отпустив закрепительные винты алидады и трубы, предварительно с помощью оптического визира визируют на вежу, установленную в точке 3 (см. рис. 46); путем вращения кремальеры получают четкое изображение наблюдаемой вежи. Убедившись, что последняя находится в поле зрения, закрепляют винтами трубу и алидаду; с помощью наводящих винтов алидады и трубы совмещают вертикальный штрих сетки нитей с изображением наружного центра знака или нижней части вежи или шпильки; осветив зеркалом поле зрения отсчетного микроскопа, получают четкое изображение штрихов лимба путем вращения окуляра микроскопа, после чего берут отсчет по горизонтальному кругу a_3 .

Аналогично визируют по другой стороне угла, т. е. на точке 5, и берут отсчет a_5 .

Учитывая, что деления на лимбе возрастают по часовой стрелке, измеренный угол β равен разности отсчетов: $\beta = a_3 - a_5$. Данный угол, полученный как разность отсчетов на правую и левую точки, называют правым углом ($\beta_{пр}$). В том случае, если отсчет на правую точку окажется меньше отсчета на левую точку, то к нему прибавляют 360° .

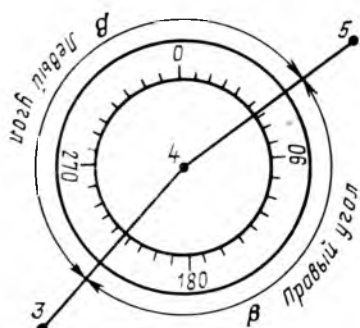


Рис. 46

Номер точки стояния, высо- та прибора <i>i</i> , м	Номер точки наблюдения, высота вех <i>v</i> , м	КП КЛ	Отсчеты по лимбу градус мин	Горизонтальные углы	
				КП и КЛ градус мин	средние градус мин
1	2	3	4	5	6
4 (1) 1,38 (11)	3(2)	КП	219 11,0(4)	163 06,0(8)	163 06,2(10)
	5(3)		56 06,0(5)		
	3(2)	КЛ	37 09,5(6)	163 06,5(9)	
	2,00(12) 5(3) 2,00(13)		234 03,0(7)		

Если вычесть из отсчета на левую точку 5 отсчет на правую точку 3, то по разности отсчетов получим левый угол $\beta_{\text{л}}$, являющийся дополнением правого угла до 360° . Однократный результат измерения угла (при одном положении вертикального круга) может содержать грубые погрешности (промахи), вызванные невниманием исполнителя (например, неверно взятый отсчет, неточное наведение на цель, ошибки в записи отсчетов, вычислении угла и др.), а также инструментальные погрешности, возникающие из-за остаточного влияния невыполнения в полной мере юстировки угломерного прибора. Поэтому, чтобы обнаружить грубые промахи в измерениях и исключить влияние инструментальных погрешностей, горизонтальный угол измеряют повторно при втором положении вертикального круга.

При переходе к повторному измерению горизонтальный круг смещают (в теодолитах с верньерами на 90° , в оптических теодолитах с односторонним отсчетом — на $1-3^\circ$), затем меняют положение вертикального круга и выполняют измерения в описанном выше порядке.

Такое двукратное измерение угла с изменением положения лимба называют полным приемом, а каждое из измерений (например, при КП или КЛ) — полуприемом.

Если расхождение между результатами в полуприемах не превышает $0,7'$ для теодолита Т15 и $1,5'$ для теодолита Т30, то за окончательное значение угла принимают среднее арифметическое.

Результаты измерений и вычислений записывают в журнал полевых измерений (табл. 6), в котором в скобках указаны очередность отсчетов и вычислений.

В графе 1 записывают номер точки стояния (станции) 4 (1). В скобках показана очередность операций. В графе 2 — номера точек наблюдения (2, 3). В графе 3 — положение вертикального круга. В графе 4 — отсчет по лимбу вначале при КП на заднюю точку 3 (4), затем отсчет при том же круге на переднюю точку 5 (5); ниже — отсчет при КЛ на заднюю точку 3 (6) и переднюю

Таблица 6

Длина линий: 1-ое изм., 2-ое изм., среднее, гори- зонтальное проложение, м	Углы наклона отрез- ков	Отсчеты по вер- тикальному кругу градус мин	Место нуля градус мин	Углы наклона градус мин	$H' = s \operatorname{tg} \alpha$	$h = H' + i - b$
7	8	9	10	11	12	13
4—5 61,22 61,18 61,20 60,93	$5^\circ 20'$ "	+5 34,0(14) —5 51,0(15) —5 32,5(16) +5 51,8(17)	 +0 00,8(18) +0 00,4(19)	 —5 33(20) +5 51,4(21)	 —8,05 +6,25	 —8 67 +5,63

точку 5 (7). В графе 5 — значения углов (8, 9), полученных из полуприемов; в графе 6 — угол (10) из полного приема.

§ 52. Измерение углов наклона

Углы наклона измеряют при проложении теодолитных ходов для определения превышений между точками, если последние должны служить высотным съемочным обоснованием топографической съемки, для вычисления горизонтальных проложений линий, а также при съемке рельефа местности.

Высоту прибора i измеряют с помощью рулетки от верха торца точки теодолитного хода до горизонтальной оси прибора и высоты вех v и v' на смежных точках от верха торца точки теодолитного хода до некоторой отметки на вехе. Результаты измерений с округлением до 1 см записывают в графы 1 и 2 (11, 12, 13) против соответствующих точек (см. табл. 6).

В целях повышения точности измерения углов наклона на смежных точках устанавливают заранее изготовленные переносные вехи с прибитыми к ним вверху поперечными перекладинами (прямоугольными дощечками). Обе вехи изготовляют одинаковой длины, например 2 м от верха перекладки до метки в нижней части вехи. Веху устанавливают в землю так, чтобы эта метка совпала с торцом закрепленной точки.

Для определения превышений углы наклона измеряют одновременно с измерением горизонтальных углов одним полным приемом при двух положениях вертикального круга, визируя на заднюю и переднюю точки сначала при одном положении круга, а затем на те же точки при другом положении круга. Измерение углов наклона на точке стояния (станции) производится следующим образом. После наведения вертикального штриха сетки нитей на низ вехи и получения отсчета по лимбу горизонтального круга наводящим винтом трубы совмещают средний горизонтальный штрих сетки с изображением верхнего среза вехи или верха перекладки и берут отсчет по вертикальному кругу, приведя перед отсчетом пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину установочным винтом уровня. В теодолите Т30, имеющем один уровень при алидаде горизонтального круга, положение пузырька уровня уточняют каждый раз перед отсчетом подъемными винтами. В теодолите Т15К установка отсчетного штриха вертикального круга выполняется автоматически с помощью компенсатора. Отсчеты по вертикальному кругу (14, 15, 16, 17) записывают в 9 графу журнала измерений (см. табл. 6).

Значения места нуля (18) и (19) и углов наклона (20) и (21) вычисляют по формулам, приведенным в § 49.

В нашем примере измерение углов выполнялось теодолитом Т15. Поэтому

$$MO = (KP + KЛ) / 2 = (+5^{\circ}34,0' - 5^{\circ}32,5') / 2 = +0^{\circ}00,8' \quad (\text{на веху 3}):$$

$$MO = (KP + KЛ) / 2 = (-5^{\circ}51,0' + 5^{\circ}51,8') / 2 = +0^{\circ}00,4' \quad (\text{на веху 5}).$$

Угол наклона на веху 3

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} = \frac{-5^{\circ}32,5' - 5^{\circ}34,0'}{2} = -5^{\circ}33,3'.$$

Контроль:

$$v = \text{МО} - \text{КП} = +0^{\circ}00,8' - 5^{\circ}34,0' = -5^{\circ}33,2';$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = 5^{\circ}32,5' - 0^{\circ}00,8' = -5^{\circ}33,3'.$$

Угол наклона на веху 5

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} = \frac{+5^{\circ}51,8' + 5^{\circ}51,0'}{2} = 5^{\circ}51,4'.$$

Контроль:

$$v = \text{МО} - \text{КП} = +0^{\circ}00,4' + 5^{\circ}51,0' = +5^{\circ}51,4';$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = 5^{\circ}51,8' - 0^{\circ}00,4' = +5^{\circ}51,4'.$$

Контролем измерения углов наклона является постоянство значения места нуля при наблюдении с данной станции задней и передней точек. Допустимое расхождение двух значений МО не должно превышать 0,7' для теодолитов Т15, Т15К и 1,5' для теодолита Т30.

Глава 8

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

§ 53. Приборы для непосредственного измерения линий

Непосредственным называют измерение при помощи мерного инструмента, укладываемого последовательно в пределах измеряемой линии. Для этих измерений применяют ленты, рулетки, проволоки, длинмеры.

Мерные ленты (рис. 47, а), имеющие наибольшее распространение, представляют собой тонкую полосу из стали длиной обычно 20 м, шириной 10—15 мм и толщиной 0,4—0,5 мм. За длину ленты принимается расстояние между штрихами, нанесенными на концевых пластинках у прорезей. Такая лента называется штриховой. Длина ленты при нормальной температуре не должна отличаться больше чем на ± 2 мм от номинального значения. Каждый метр с обеих сторон ленты обозначен приклепанными к ней плашками, оцифрованными с одной стороны метрами в прямом порядке—1, 2, 3, ..., 19, с другой—в обратном порядке, т. е. 19, 18, 17, ..., 1. Полуметры обозначены заклепками, дециметры—круглыми отверстиями. Сантиметры при измерении линий отсчитывают на глаз. Положение конечных штрихов ленты при измерении линии отмечают на земле. Для этого на концах ленты в пластинках против штрихов сделаны прорезы, через которые при измерении линии вставляют шпильки, вдавливаемые в землю.

К ленте придается комплект из 5, 6, 10 или 11 шпилек, надетых на кольцо (рис. 47, в). Шпильки изготовляют из стальной проволоки диаметром 5 мм, длиной 30 см. Для натяжения лент к ним при-

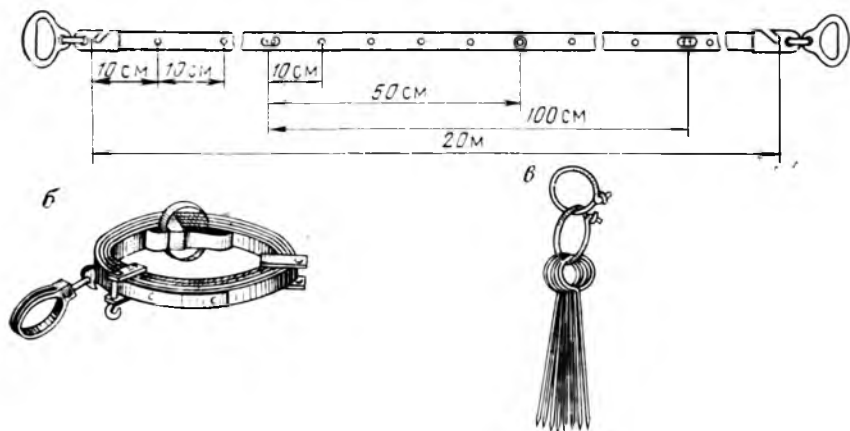


Рис. 47

креплены ручки. В нерабочем положении ленту наматывают на железное кольцо со скобами (рис. 47, б).

Рулетки РВ-20 и РВ-30 имеют соответственно длины 20 и 30 м, рулетка РК-50—50 м. Изготавливаются из нержавеющей ста-

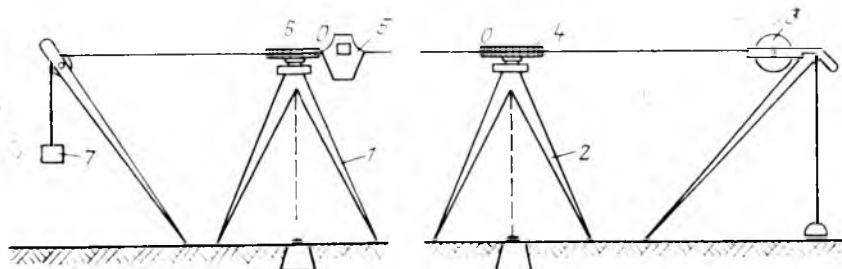


Рис. 48

ли. Деления на рулетке бывают сантиметровые или миллиметровые. Точность измерения 50-метровыми рулетками более высокая, чем 20-метровыми лентами.

Для измерения небольших расстояний и при менее точных работах применяются тесьмяные рулетки РТ-10 длиной 10 м, изготавливаемые из ткани с вплетенными металлическими нитями.

Прибор с проволокой применяется для производства высокоточных и точных измерений. Основной частью прибора являются стальные или инварные проволоки длиной 24 м, диамет-

ром 1,65 мм. На концах проволок закреплены 8-сантиметровые шкалы с миллиметровыми делениями.

Проволоку используют как подвесной мерный инструмент, при некотором постоянном натяжении она принимает форму цепной линии. Длинной проволоки называют горизонтальную хорду между нулевыми штрихами шкал.

Длиномер АД-1М (рис. 48) относится к автоматическим проволочным длиномерам, у которого основными элементами служат стальная проволока, натягиваемая между двумя фиксированными точками, и прокатываемое по проволоке измерительное устройство, в котором размещены мерный диск, счетный механизм, два направляющих ролика и тормозное устройство.

Сущность измерения длиномером заключается в определении длины линий по количеству оборотов мерного диска прибора.

Длиномер АД-1М применяется для измерения длин в полигонометрии с относительной погрешностью измерений до 1 : 10 000.

§ 54. Компарирование мерных приборов

Перед измерением линий мерной лентой должна быть определена ее рабочая длина. Для этого ее сравнивают с нормальной мерой, принимаемой за эталон. Такое сравнение называется компарированием, и его выполняют на компараторе, который может быть как полевым, так и лабораторным.)

Полевой компаратор представляет собой линию на ровной местности длиной около 100 или 200 м. Концы компаратора закрепляют металлическими штырями, устанавливаемыми вровень с землей, на которых нанесены крестообразные штрихи. Длину компаратора (расстояние между штрихами) определяют при помощи нормальной ленты (проволоки), откладываемой в створе компаратора при известной температуре $t_{\text{комп}}$ и с определенным натяжением. Остаток измеряют миллиметровой линейкой.

Если длину компаратора обозначить через S , а через S' — расстояние между штрихами, измеряемое рабочей лентой, то поправка рабочей ленты за компарирование определится по формуле

$$\Delta S_k = (S' - S)/n, \quad (8.1)$$

где n — количество уложений рабочей ленты в длине компаратора. Например, $S' = 119,864$ м; $S = 119,954$ м; $n = 6$; $\Delta S_k = (119,864 - 119,954)/6 = -0,018$ м.

Простейший лабораторный компаратор можно сделать на поверхности пола длиной несколько больше 20 м. На расстоянии примерно 20 м закрепляют две шкалы с миллиметровыми делениями. При помощи эталонной ленты (рулетки) определяют точное расстояние между нулевыми штрихами шкал. Длина рабочей ленты определяется при ее сравнении с длиной компаратора, поправка вычисляется по формуле

$$\Delta S_k = S' - S, \quad (8.2)$$

где S' — длина компаратора, S — номинальная длина рабочей ленты ($S=20$ м).

Результат измерения линии с поправкой за компарирование вычисляют по формуле

$$S = S_{\text{изм}} + n\Delta S_k. \quad (8.3)$$

§ 55. Вешение линий

При измерении линии между двумя закрепленными точками ленту (рулетку) укрепляют по створу. Створом линии называется вертикальная плоскость, проходящая через закрепленные веха-ми концы линии. На длин-

ных линиях для повышения точности измерения в зависимости от рельефа местности устанавливают через 50—100 м дополнительные вехи в створе линии. Установка вех в створе линии называется вешением линии. Для вешения линии наблюдатель встает перед вехой A (рис. 49, а) и смотрит на веху B . По его указанию помощник устанавливает веху 1 так, чтобы она закрывала собой веху B . Таким же образом устанавливается веха 2 , затем — веха 3 . Такой метод называется вешением на себя. Если первую веху выставляют в точке 3 , затем в точке 2 и т. д., то такой метод называют вешением от себя. Последний

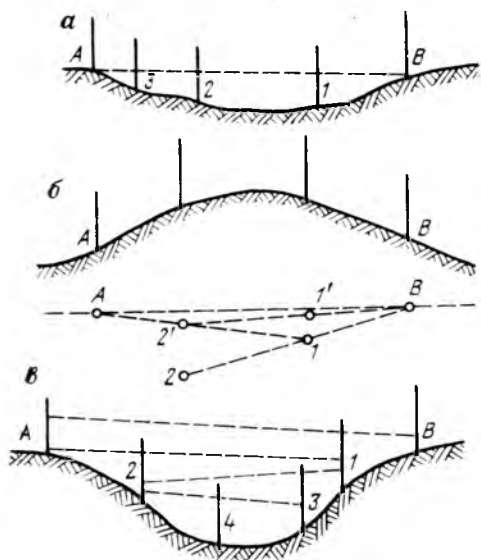


Рис. 49

метод менее точен. Более точное вешение выполняют при помощи теодолита или полевого бинокля.

При вешении линии через возвышенность, когда нет видимости между концами линии, используется постепенное приближение к створу, заключающееся в том, что в точках A и B (рис. 49, б) становятся наблюдатели, в точках 1 и 2 — рабочие с вехами, которым видны вехи A и B . Рабочий с вехой 1 устанавливает веху 2 в створе $1-A$ (положение $2'$), после этого рабочий с вехой 2 устанавливает в створе $2'-B$ веху 1 в положение $1'$ и т. д. до тех пор, пока вехи $1, 2$ не окажутся в створе линии AB .

Один из возможных способов вешения линий через овраг показан на рис. 49, в. В створе вех A и B выставляется вначале веха 1 . Используя ее, в створе $1-A$ выставляют веху 2 , затем в створе $2-1$ веху 3 , в створе $3-2$ веху 4 и т. д.

При измерении линий по различным причинам возникают случайные погрешности, поэтому для контроля и повышения точности результатов измерения каждую линию измеряют дважды (в прямом и обратном направлениях). Точность измерения линии 20-метровой лентой оценивается относительными погрешностями, которые не должны превышать 1 : 3000 при весьма благоприятных условиях измерений (ровная дорога, твердый грунт); 1 : 2000 — при благоприятных условиях (слабо всхолмленная местность, рыхлый грунт, пашня, луг); 1 : 1000 — при неблагоприятных условиях (заросли, болота, пески и т. д.). Если расхождение не выходит за допустимые пределы, то из двух измерений вычисляют среднее арифметическое, принимаемое за окончательное значение. В случае недопустимых расхождений линию измеряют в третий раз.

Измерение линий мерной лентой (или рулеткой) заключается в последовательном укладывании ленты в створ линии. Измерения проводят двое рабочих. Задний рабочий совмещает нулевой штрих ленты с началом линии (центром знака), а передний, взяв в левую руку ручку ленты и комплект из 5 или 10 шпилек, протягивает ленту в направлении линии. Следуя указаниям заднего рабочего, передний рабочий укладывает ленту в створ линии, и, натянув ее одной рукой, второй через прорезь в ленте вертикально вставляет шпильку в землю. После этого передний рабочий снимает ленту со шпильки, и оба рабочих перемещают ее вперед по линии. Задний рабочий, подойдя к оставленной шпильке, задевает свой конец ленты через прорезь за эту шпильку и направляет по линии переднего рабочего. Последний укладывает ее в створ линии и втыкает в землю через прорезь вторую шпильку, после чего задний рабочий вынимает первую шпильку. Затем измерения продолжают в таком же порядке. После того как у переднего рабочего не останется ни одной шпильки, он прижимает конец ленты к земле, задний рабочий передает все 5 или 10 шпилек переднему и измерения продолжают в прежнем порядке. Каждая передача шпилек отмечается в журнале измерений. Когда передний рабочий подходит к концу линии и остается отрезок, не кратный 20 м, ленту протягивают за конец линии, и остаток линии не менее 20 м отсчитывают по ленте с округлением до сантиметра.

Длина измеренной линии определяется по формуле

$$S_{\text{изм}} = (km + n) 20 + q,$$

где k — число шпилек в комплекте (5 или 10); m — число передач комплектов шпилек; n — число шпилек у заднего рабочего после последней передачи; q — длина остатка. Например, если в результате измерения комплект из 10 шпилек передавался дважды, у заднего рабочего имеется 3 шпильки и отсчет по ленте равен 1,08 м, то длина измеряемой линии $S_{\text{изм}} = [10 \cdot 2 + 3] \cdot 20 + 1,08 = 461,08$ м. Во избежание грубых погрешностей при измерении ли-

нии следует при передаче шпилек и по окончании измерения линии сверить число шпилек у обоих рабочих. При отсчитывании остатка линии надо проследить, какой стороной лежит лента (подписи метров должны возрасти по направлению измеряемой линии).

Измерение линий проволоками производится с использованием штативов с целиками, устанавливаемыми в створе линии на расстояниях, равных $24 \text{ м} \pm 1\text{--}2 \text{ см}$. Целики—цилиндрические стержни со сферической поверхностью, на которые нанесены два взаимно перпендикулярных штриха. При помощи блочных станков проволоку подвешивают над целиками двух смежных штативов так, чтобы шкалы проволок располагались над целиками. После того как проволокам сообщается необходимое натяжение, берут одновременно отсчеты против штрихов на целиках по передней и задней шкалам.

Если нумерация сантиметровых делений на обеих шкалах возрастает в одном направлении и по направлению хода измерения линии, то длина пролета (отложения) равна

$$S = l + (p - z), \quad (8.4)$$

$$l = l_0 + \Delta l,$$

где l_0 — номинальная длина проволоки (24 м); Δl — поправка за компарирование; p и z — отсчеты по передней и задней шкалам проволоки.

Значение S длины линии (без поправок за наклон линии и температурные влияния) определяется по формуле

$$S = nl + \sum (p - z) + q,$$

где n — число отложений проволоки; q — величина остатка.

Остаток измеряют при помощи рулетки.

Измерение линий длиномером АД-1 выполняют в следующей последовательности (см. рис. 48). Над точками устанавливаются штативы 1, 2 с целиками, на одном из штативов крепится бобина 3 с проволокой, конец которой вводится в длиномер 5. Над целиками укрепляются шкалы 4, 6 нулями навстречу друг другу. Проволока натягивается грузом 7. После этого производится предварительная прокатка длиномера вдоль проволоки.

Фиксатор длиномера совмещается с нулем задней (передней) шкалы и берется начальный отсчет по длиномеру. Прокатывается мерный диск по проволоке в одном направлении до совмещения фиксатора длиномера с нулем передней (задней) шкалы и берется отсчет по длиномеру. После этого освобождается мерный диск и производится отсчитывание по задней и передней шкалам относительно центров пунктов, между которыми измеряется расстояние. Приведенная последовательность операций представляет собой один полуприем измерений расстояния. Для выполнения второго полуприема указанные операции повторяются.

вого импульса по отношению к моменту излучения этого импульса.

Косвенное определение времени прохождения волн основано на измерении разности фаз двух электромагнитных колебаний. Такие светодальномеры называются фазовыми.

В общем случае при фазовом методе измерение расстояний определяется числом волн, укладывающихся в этом расстоянии. Если количество волн, уложившихся в двойном расстоянии от передатчика до отражателя, $N+r$, где N — целое число волн, r — дробное, то расстояние

$$S = 0,5 (N+r) \lambda, \quad (8.12)$$

или

$$S = (N+r) c/2F. \quad (8.13)$$

В приведенных формулах скорость распространения электромагнитных колебаний определяется из выражения

$$c = c_0/n, \quad (8.14)$$

где c_0 — скорость распространения волн в вакууме; n — показатель преломления воздуха, зависящий от температуры и влажности воздуха и атмосферного давления.

Частота F известна или измеряется, длина волны определяется по формуле $\lambda = c/F$. Таким образом, для определения расстояния S по формулам (8.12) и (8.13) необходимо измерить N и r .

Определение целого числа волн N в измеряемом расстоянии, называемое разрешением неоднозначности, может быть выполнено двумя способами.

Первый заключается в том, что изменяют частоту колебаний в некотором интервале, т. е. изменяется частота колебаний F , а следовательно, и длина волны λ . Делается это до тех пор, пока не исчезнет дробная часть волны r . В этом случае в расстоянии $2S$ укладывается целое количество волн N с некоторой частотой F_1 , а расстояние S определяется по формуле

$$S = Nc/2F_1. \quad (8.15)$$

Если продолжать изменение частоты, то вновь при некотором F_2 получим целое количество волн $N+1$. Таким образом, можно получить n измерений, причем для n -го измерения, имеющего частоту F_n , формула для определения расстояний имеет вид

$$S = (N+n) c/F_n. \quad (8.16)$$

Уравнения (8.15) и (8.16) позволяют определить N из выражения

$$N = nF_1/(F_n - F_1), \quad (8.17)$$

и, таким образом, решить задачу неоднозначности.

Дальномеры с приведенным способом разрешения неоднозначности (определения целого числа волн) носят название дальномеров с переменной частотой модуляции.

Во втором способе для отыскания целого числа волн используется несколько фиксированных частот.

Предположим, что некоторая длина S измерена дважды при F_1 и F_2 . Соответственно запишем

$$S = (N_1 + r_1) \lambda_1 / 2, \quad (8.18)$$

$$S = (N_2 + r_2) \lambda_2 / 2. \quad (8.19)$$

Если обозначить $N_2 - N_1$ через n , где n — также целое число, то можно написать выражение $N_2 = N_1 + n$; подставив его в (8.19), получим выражение для S без N_2 . Подставив последнее в уравнение (8.18), получим

$$S = n \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot (r_2 - r_1). \quad (8.20)$$

В уравнении (8.20) неизвестным является n , однако оно определяется введением третьей фиксированной частоты, близкой к F_1 .

Дальномеры со вторым способом разрешения неоднозначности носят название дальномеров с фиксированными частотами модуляции.

В светодальномерах используются модулируемые волны. Для этого волны сверхвысокой частоты модулируются по синусоидальному закону с частотой модуляции несколько десятков (10—80) мегагерц. Сверхвысокую частоту излучения принято называть несущей частотой, частоту модуляции — измерительной частотой. Измеряемое расстояние в светодальномерах определяется по разности фаз измерительной частоты.

Использование двух частот позволяет обеспечить высокую точность измерения разности фаз.

Возвращенные в приемное устройство колебания измерительной частоты должны быть отделены от колебаний несущей частоты. Эти функции выполняет радиотехническое устройство, называемое демодулятором.

Основными частями светодальномеров являются: 1) излучатель света; 2) преобразователь (модулятор) электромагнитных волн; 3) подающее устройство, направляющее модулированные волны на отражатель; 4) отражающее устройство (отражатель); 5) приемник возвратившихся от отражателя волн; 6) устройство для прямого или косвенного измерения времени прохождения измеряемого расстояния электромагнитными волнами; 7) источник энергии дальномера.

Светодальномер 2СМ-2. Светодальномер предназначен для геодезических измерений, может также использоваться маркшейдерами при работе на поверхности. Дальномер позволяет измерять расстояния до 2000 м со средней квадратической погрешностью 2 см. Он имеет цифровой отсчет измеряемых расстояний.

Светодальномер состоит из двух блоков, приемопередатчика, включающего электронные и оптические узлы и наводящие устройства, и электронного блока, состоящего из узла управления

счета и индикации. В комплект светодальномера входят два трипельпризменных отражателя и два блока питания.

Светодальномер СМ-5. Светодальномер предназначен для измерения длин линий в теодолитных ходах и полигонометрии, а также при выполнении различных линейных изысканий. Светодальномер может применяться как самостоятельный прибор, так и как насадка на теодолит типа 2Т.

Измерение расстояний обеспечивается сочетанием двух частот: в режиме «Грубо» — 149,85 кГц и в режиме «Точно» — 14 985 кГц. В качестве излучателя служит полупроводниковый светодиод на арсениде галлия с длиной волны 0,9 мкм. Результаты измерений автоматически регистрируются на световом табло с дискретностью до 1 мм. При использовании одной призмы дальность действия прибора до 300 м и при использовании трех призм до 700—800 м.

Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний в диапазоне до 500 м составляет около 20 мм.

Маркшейдерский светодальномер МСД-1М. Маркшейдерский светодальномер МСД-1М является взрывобезопасным и поэтому может применяться в подземных условиях в любых шахтах.

Пределы измерения от 1 до 300 м со средней квадратической погрешностью $(2 \pm 5 \cdot 10^{-6} S)$ мм, где S — измеряемое расстояние, мм. Светодальномер МСД-1Д является прибором фазового типа с полупроводниковым источником излучения (светодиод), модулируемого тремя фиксированными частотами ($F_1 = 150, 1549$ МГц, $F_2 = 142,3624$ МГц и $F_3 = 149,8552$ МГц).

Оптическая система прибора состоит из двух частей, расположенных одна над другой. Верхняя является передающей, нижняя используется одновременно для визирования на отражатель и приема возвращенного сигнала, демодуляция которого осуществляется фазовым демодулятором (детектором).

Блок-схема прибора состоит из кварцевого генератора, генерирующего масштабную частоту, поступающую на манипулятор. Сигнал, модулированный светодиодом, через объектив передающего устройства направляется на отражатель и через объектив приемного устройства поступает в фотоумножитель, куда одновременно от кварцевого генератора подается опорное напряжение масштабной частоты, что позволяет сравнивать фазы.

При измерении расстояний светодальномер МСД-1М устанавливают над точкой и наводят на отражатель. После включения питания, системы измерения уровня сигнала, приема отраженного света уточняют наводку по максимальному уровню отраженного сигнала. Затем производится измерение фазы. По шкале оптической линии задержки берут отсчет l_1 при первой фиксированной частоте F_1 . Повторяются те же измерения при второй и третьей частотах, в результате получают соответственно отсчеты l_2 и l_3 .

По проведенным отсчетам вычисляют искомое расстояние в следующей последовательности:

$$S_1' = (l_1 - l_3) 500; \quad S_2' = 0,02 (l_3 - l_2) + 0,001 l_2.$$

Полное расстояние S равно

$$S = S_1' + S_2' + l_3,$$

где S_1' округлено до целых двадцаток метров, S_2' округлено до целых метров, l_3 является точным значением долей метра в измеряемом расстоянии.

Светодальномер ЭОК-2000. Фазовый светодальномер ЭОК-2000 выпускается в ГДР предприятием «Карл Цейсс», Йена и предназначен для измерения расстояний от 0 до 2500 м со средней квадратической погрешностью 1 см.

Источником излучения служит полупроводниковый светодиод из арсенида галлия. Светодальномер работает на трех частотах: $F_1 = 30$ МГц, $F_2 = 33$ МГц и $F_3 = 30,3$ МГц. Основной измерительной частотой является $F_1 = 30$ МГц, две другие частоты служат для разрешения многозначности. Однако однозначность определения расстояния обеспечивается только до 500 м. Для более длинных линий должна быть предварительно определена измеряемая длина с точностью до 0,5 км.

В комплект светодальномера входит трипельпризменный отражатель, состоящий из девяти съемных трипельпризм диаметром 8 см каждая. Отражатель снабжен оптическим визиром для наведения на прибор и для горизонтирования имеет круглый уровень.

Отражатель из девяти призм применяется для измерения расстояний более 1 км. При измерении расстояний от 0,4 до 1 км достаточно иметь три призмы. Расстояния длиной до 400 м могут измеряться по отражателю, состоящему из одной призмы.

Приближенное наведение оптической системы светодальномера ЭОК-2000 на отражатель осуществляется при помощи оптического визира; точное наведение — при помощи второго излучателя, работающего в видимом диапазоне электромагнитных волн. Оптическая система дальномера сконструирована так, что передающая оптическая система при включении видимого излучения играет роль прожектора, а приемная система — роль трубы-искателя. Появление в приемной системе отраженного сигнала, наблюдаемого через окуляр, свидетельствует о правильности наведения.

§ 60. Оптические дальномеры

В оптических дальномерах расстояние определяют из решения равнобедренного треугольника ADC (рис. 52), в котором высоту AB (определяемое расстояние) определяют по формуле

$$S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2},$$

где l — основание треугольника, называемое базисом; β — параллактический угол.

Возможны два случая:

- 1) постоянный угол β и переменный базис l (рис. 52, а);
- 2) постоянный базис l и переменный параллактический угол β (рис. 52, б).

Таким образом, возможны две принципиальные конструкции дальномеров: с постоянным углом и с постоянным базисом.

Нитяные дальномеры. Наиболее распространенными являются нитяные дальномеры, у которых постоянный угол обеспечивается дополнительными дальномерными штрихами xx , yy , нанесенными на стеклянную пластинку сетки нитей (рис. 53). Лучи от этих штрихов, пройдя через объектив, пересекаются в переднем главном фокусе объектива F , образуя постоянный угол β .

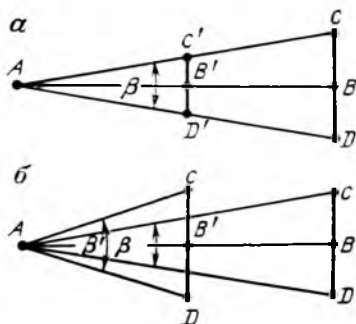


Рис. 52

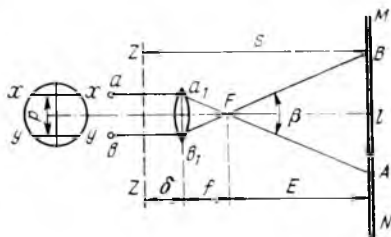


Рис. 53

Если перпендикулярно к визирному лучу зрительной трубы (см. рис. 53) установить рейку MN , то в точках A и B пересекутся с ней дальномерные лучи. Длина $AB=l$ обозначается дальномерным отсчетом: ZZ — вертикальная ось вращения прибора; δ — расстояние от оси вращения прибора до центра объектива; p — расстояние между дальномерными нитями; f — фокусное расстояние объектива; E — расстояние от переднего главного фокуса до рейки; S — общее расстояние от оси вращения прибора до рейки.

В соответствии с принятыми обозначениями можно написать

$$S = \delta + f + E. \quad (8.21)$$

Из подобных треугольников a_1Fb_1 и AFB найдем

$$E = \frac{f}{p} l. \quad (8.22)$$

Если $\delta + f$ обозначить через s , в дальнометрах эта величина носит название слагаемой дальнометра, f/p — через k , называемое коэффициентом дальнометра, то выражение (8.22) примет вид

$$S = kl + s. \quad (8.23)$$

Полученная формула показывает, что для определения расстояния нитяным дальномером необходимо знать отсчет l по рейке, коэффициент дальнометра k и слагаемое дальнометра s . Применение нитяного дальнометра позволяет значительно ускорить процесс из-

мерения расстояний, однако относительная погрешность сравнительно невелика и в среднем равна 1 : 300.

В современных приборах коэффициент k равен 100, а величина слагаемого s близка к нулю, поэтому

$$S = 100l. \quad (8.24)$$

У зрительной трубы с внутренней фокусировкой используется эквивалентное фокусное расстояние, которое зависит от длины луча визирования, поэтому изменяются слагаемая дальномера s и коэффициент дальномера k . В связи с этим определение расстояний по формуле (8.23) сопровождается некоторыми погрешностями, для исключения которых применяется формула

$$S = 100l + \Delta, \quad (8.25)$$

где Δ — опытная величина, учитывающая изменение k и s в зависимости от расстояния от прибора до рейки. Для ее определения на местности разбивают базис длиной 100—150 м и измеряют его лентой с относительной погрешностью не ниже 1 : 3000. На каждом из отрезков базиса, кратном 10 или 20 м, ставят рейку и определяют до нее расстояние по дальномеру.

Пользуясь формулой (8.25), получают ряд выражений для поправки Δ :

$$\Delta_{10} = S_{10} - 100l_{10};$$

$$\Delta_{20} = S_{20} - 100l_{20};$$

$$\Delta_{30} = S_{30} - 100l_{30};$$

.....

по которым составляется таблица поправок (величин Δ) в зависимости от измеряемых расстояний.

Практика показала, что изменения величины Δ небольшие. В некоторых приборах старых конструкций, например теодолите ТТ-50, при измерениях линий длиной 200 м поправка колеблется от 0 до 1,3 м. В современных приборах оптические системы зрительных труб с внутренней фокусировкой рассчитываются так, чтобы значение k сохранялось постоянным и практически не отличалось от 100 при любых длинах визирования, а значение s было равно нулю.

§ 61. Оптический дальномер двойного изображения

Измерение расстояний нитяным дальномером выполняется в съемочных работах, когда точности таких измерений невысокие. В тех случаях, когда требования к точности выше, применяются оптические дальномеры более совершенной конструкции, наиболее распространенные среди которых — дальномеры двойного изображения.

В основе дальномеров двойного изображения используется свойство стеклянной призмы (клина) отклонять проходящий через нее луч к основанию клина.

Пусть перед объективом зрительной трубы (рис. 54) помещен оптический клин l с малым преломляющим лучом. Если перпендикулярно к визирной оси установить рейку параллельно главной плоскости клина, то изображение точки K , лежащей на визирной оси, сместится в положение K_1 . Таким образом, в дальномерах с двойным изображением через одну оптическую систему можно получить два изображения одного предмета, но смещенные относительно друг друга на некоторое расстояние l , равное KK_1 . Согласно рис. 54, при решении треугольника FKK_1 можно определять расстояние E по формуле

$$E = l \operatorname{ctg} \beta. \quad (8.26)$$

В дальномерах двойного изображения оптический клин занимает половину поля зрения трубы, поэтому наблюдатель видит два изображения одной и той же точки. Клинья подбираются таким образом, чтобы котангенс преломляющего угла был равным 100, следовательно, коэффициент дальномера $K = \operatorname{ctg} \beta = 100$.

В нашей стране выпускаются следующие дальномерные насадки: ДН-04, ДНР-06, ДН-08, ДН-10. В шифрах насадок цифры обозначают точность измерения в см расстояния длиной 100 м.

Оптический дальномер ДН-04. Оптический дальномер ДН-04 предназначен для измерения расстояний до 125 м по горизонтальной рейке со средней квадратической погрешностью не более 4 см на 100 м. Дальномер выполнен в виде насадки на объектив зрительной трубы теодолита, содержащей два клина и плоскопараллельную пластинку, заключенные в оправу, прикрепленную к корпусу насадки.

В комплект дальномера входят две дальномерные рейки, которые можно устанавливать вертикально или горизонтально. К шкалам реек прикреплены верньеры.

Клиновой компенсатор насадки, создающий постоянный параллактический угол, перекрывает половину светового отверстия объектива трубы. Одновременно он является оптическим микрометром, принцип действия которого основан на разности увеличения изображений верньера дальномерной рейки и ее основной шкалы.

Оптический дальномер ДНР-06. Дальномер ДНР-06 изготовлен в виде насадки на объектив зрительной трубы и предназначен для измерения расстояний до 200 м со средней квадратической погрешностью не более 6 см на 100 м. Буква «Р» обозначает, что дальномерная насадка редуccionная, т. е. позволяет измерять горизонтальные проложения.

В качестве измерительной базы используется вертикальная дальномерная рейка, представляющая собой деревянный брус, с

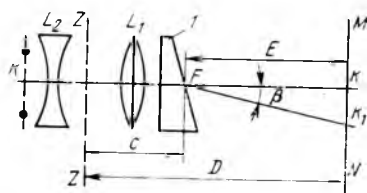


Рис. 54

обеих сторон которого помещена инварная полоса с делениями, нанесенными через 2 см. На рейке имеются нониусы. Нулевым штрихом является верхний штрих нониуса. Шкала и нониус окрашены в черный и белый цвет. Для исключения ошибок отсчитывания на контрольной стороне рейки нониус сдвинут на величину, соответствующую 11,111 м.

Оптический компенсатор дальномера включает в себя дальномерный клин, создающий параллактический угол $\beta = 34'22,6''$, подвесной клин, редуцирующий наклонные расстояния при угле наклона $\nu = \pm 12^\circ$, и телескопическую линзу, являющуюся основой микрометра. Наличие подвесного клина позволяет автоматически преобразовывать наклонные расстояния в горизонтальные проложения.

В комплект дальномера входят две рейки.

Оптический дальномер ДН-8. Оптический дальномер ДН-8 предназначен для измерения расстояний до 700 м со средней квадратической погрешностью не более 8 см на 100 м. Дальномер изготовлен в виде насадки на трубу теодолита Т5 и относится к приборам с переменным параллактическим углом и постоянной базой в виде горизонтальной рейки длиной 1 м.

Измерение параллактических углов обеспечивается линзовым компенсатором, состоящим из двух положительных и двух отрицательных полулинз.

Оптический дальномер ДН-10. Дальномер представляет собой насадку на зрительную трубу малогабаритного теодолита с посадочным диаметром 38 мм и предназначен для измерения расстояний от 20 до 200 м с относительной погрешностью 1 : 1000.

Насадка ДН-10 имеет оптический линзовый компенсатор, состоящий из двух отрицательных и двух положительных полулинз, создающий постоянный параллактический угол $\beta = 17'11,3''$. Коэффициент дальномера равен 200.

Дальномер снабжен вертикальной двусторонней рейкой, на одной стороне которой деления нанесены через 1 см, на другой — через 5 см. Шкалы рейки изготовлены из инварных полос. Нониусы прямые.

Оптический дальномер ОТД. Дальномер ОТД относится к оптическим дальномерам с переменным параллактическим углом и постоянным базисом у цели и предназначен для измерения расстояний от 35 до 400 м с относительной погрешностью 1 : 5000. Возможно применение дальномера для измерения расстояний до 700 м, но в этом случае относительная погрешность измерения составляет 1 : 1500—1 : 2000.

Оптический дальномер ОТД конструктивно оформлен как самостоятельный прибор, включающий дальномерное устройство, вертикальный круг для измерения углов наклона линии визирования, алидадную часть, съемную подставку и дальномерную рейку длиной 2 м. Во время работы рейка может быть установлена как горизонтально, так и вертикально на подставке, имеющей оптический центрир.

Измерение расстояний дальномером ОТД основано на решении равнобедренного треугольника по известным острому углу β и базе b . Рабочая формула для определения расстояния, приведенного к горизонту, имеет вид

$$S = \frac{Nk}{\beta} + c + \delta S_v + \delta S_t, \quad (8.27)$$

где N — количество интервалов рейки, использованных при измерении параллактического угла; k — коэффициент дальномера; δS_v — поправка за наклон линии визирования, для горизонтального положения рейки

$$\delta S_v = -2S \sin^2 v/2, \quad (8.28)$$

для вертикального положения рейки

$$\delta S_v = -S \sin^2 v, \quad (8.29)$$

δS_t — поправка за температуру.

Глава 9

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 62. Общие сведения

Под теодолитной съемкой понимают съемку местности, при которой в качестве угломерного прибора используется теодолит, а для измерения линий — мерная лента, рулетка или оптический дальномер, обеспечивающие необходимую точность.

Съемочным обоснованием теодолитной съемки обычно служат теодолитные ходы в виде системы линий (полигонов), образующих один или несколько сомкнутых ходов (рис. 55, а), разомкнутый ход, опирающийся своими концами на геодезические пункты и стороны съемки более высокой точности или систему пересекаю-

Таблица 8

Масштаб съемки	Длина хода, км		Удаленность узловых точек от исходных пунктов, км
	на застроенной территории	на незастроенной территории	
1:5000	4	5	3
1:2000	2	3	2
1:1000	1,2	2	1,3

щихся разомкнутых ходов (рис. 55, б), имеющих одну или несколько узловых точек (на рис. 55 точки с).

Для съемки ситуации внутри замкнутых теодолитных ходов прокладываются дополнительные ходы, называемые диагональными.

Предельно допустимые длины теодолитных ходов зависят от масштаба съемки и не должны превышать величин, указанных в табл. 8.

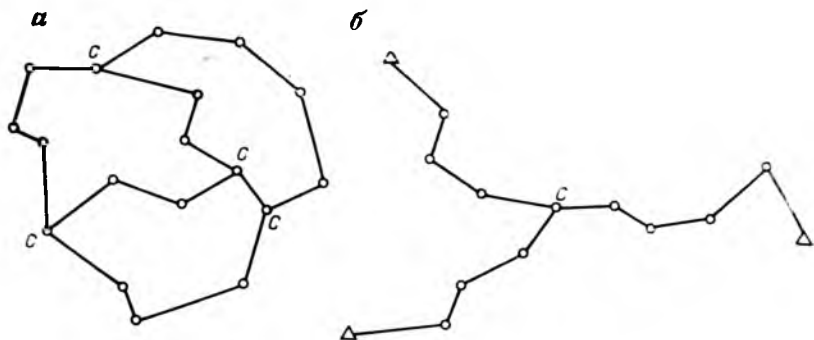


Рис. 55

Длина ходов между узловыми точками не должна превышать $\frac{2}{3}$ соответствующих величин длин хода. Длины линий теодолитных ходов (полигонов) не должны быть больше 350 м и меньше 20 м.

Точки поворота теодолитных ходов отмечаются на местности простейшими геодезическими пунктами в виде забитых в землю деревянных кольев, металлических стержней и т. п.

Съемка подробностей при теодолитной съемке может выполняться несколькими способами: прямоугольных координат, полярным, угловых и линейных засечек и др.

При теодолитной съемке определяется только плановое положение снимаемых точек.

Работы по прокладке теодолитных ходов заключаются в камеральной подготовке, рекогносцировке и полевых измерениях.

Камеральная подготовка включает в себя изучение задания, изучение имеющегося картографического материала и составление проекта будущих теодолитных ходов.

Рекогносцировка проводится на местности, и в результате ее выполнения уточняются места поворота хода, отыскиваются сохранившиеся на местности пункты плановой геодезической основы предыдущих съемок и выбирается окончательный вариант проекта теодолитных ходов.

Прокладка теодолитных ходов включает в себя закрепление на

местности вершин, измерение горизонтальных углов, измерение длин и углов наклона сторон хода. Прокладываются теодолитные ходы обычно вдоль шоссе, грунтовых, железных дорог или по ровной местности. Делается это для того, чтобы повысить точность и облегчить измерение длин линий. Стороны теодолитных ходов, по возможности, должны быть одинаковыми; вершины необходимо располагать в местах, удобных для установки теодолита и производства угловых измерений.]

Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряют одним полным приемом теодолитом, обеспечивающим погрешность измерения не более $30''$. Если при измерении окажется недопустимая разница в значениях из полуприемов (более $0,8'$), записи в журнале зачеркиваются и измерения производятся заново. Результаты угловых измерений заносятся в полевой журнал, образец которого показан в табл. 6.

Для контроля грубых погрешностей, возникающих при угловых измерениях, на каждой линии на задней точке определяют буссолью обратный магнитный азимут, на передней — прямой магнитный азимут. Длины сторон теодолитного хода измеряются дважды: в прямом и обратном направлениях.

Инструменты, применяемые для измерения линий, компарируются. Поправка за компарирование вводится в тех случаях, если ее влияние на длину измеряемой линии более, чем $1:10\,000$.

Если наклон линий превышает $1,5^\circ$, то измеряют углы наклона одним приемом и вводят поправки за приведение длин линий к горизонту. В тех случаях, когда в измеряемой линии наблюдается несколько точек перегиба и используется лента (рулетка), при измерении линии в прямом направлении измеряют углы наклона отдельных отрезков линии (см. § 57).

Горизонтальное проложение линии s при измеренной ее наклонной длине S вычисляется по формулам (8.5), (8.6). Для линий, имеющих отдельные участки с разными углами наклона, общее горизонтальное проложение находится суммированием горизонтальных проложений отдельных участков. Если при измерении расстояний лентой (рулеткой) встречаются недоступные для прямого измерения отрезки, используются косвенные методы определения расстояний (см. § 58).

Перед измерением линий, длина которых больше 200 м, в их середине вешением по теодолиту выставляют створные точки.

Расхождения между двумя измерениями одной и той же линии не должны быть больше $1:3000$ при измерении в благоприятных условиях (например, по асфальту), $1:2000$ — при менее благоприятных условиях и $1:1000$ в неблагоприятных условиях (кустарник, кочки, болотистые места и пр.). Если длины линий не могут быть измерены лентой с приведенной выше точностью, то их определение должно быть произведено одним из косвенных методов (см. § 58).

Результаты линейных измерений записывают в журнал или абрис.

§ 63. Привязка теодолитных ходов

Координаты вершин теодолитных ходов должны вычисляться в существующей системе координат, для этого теодолитные ходы привязывают к пунктам опорной сети.

Привязка теодолитных ходов осуществляется включением в них пунктов сети (например, B и C рис. 56, а), координаты которых известны, так называемые исходные пункты. Также должны быть известны дирекционные углы сторон опорной сети (например, BA , BN , CD , CM) — исходные дирекционные углы. В приведенных случаях привязка состоит в том, что на начальном B и конечном C пунктах (см. рис. 56, а) измеряются горизонтальные углы β_n и β_k , называемые примычными углами. Этого достаточно, чтобы вычислить дирекционные углы и координаты x , y точек теодолитного хода.

Для контроля на начальном и конечном исходных пунктах измеряются по два примычных угла (см. рис. 56): между первой и последней линией теодолитного хода и направлениями на два пункта существующей сети (β_n , β'_n и β_k , β'_k).

В теодолитных ходах, являющихся замкнутыми, для привязки в них достаточно включить один пункт существующей сети, с которого имеется видимость на два пункта этой сети (рис. 56, б).

В тех случаях, когда теодолитный ход ($1-2-3...8-1$; рис. 56, в) расположен в стороне от пунктов существующей сети и последние не могут быть непосредственно включены в теодолитный ход, для привязки может быть проложен теодолитный ход ($B-e-2-1-f-B$); (см. рис. 56, в), который должен быть замкнутым, или использована прямая или обратная геодезическая засечка.

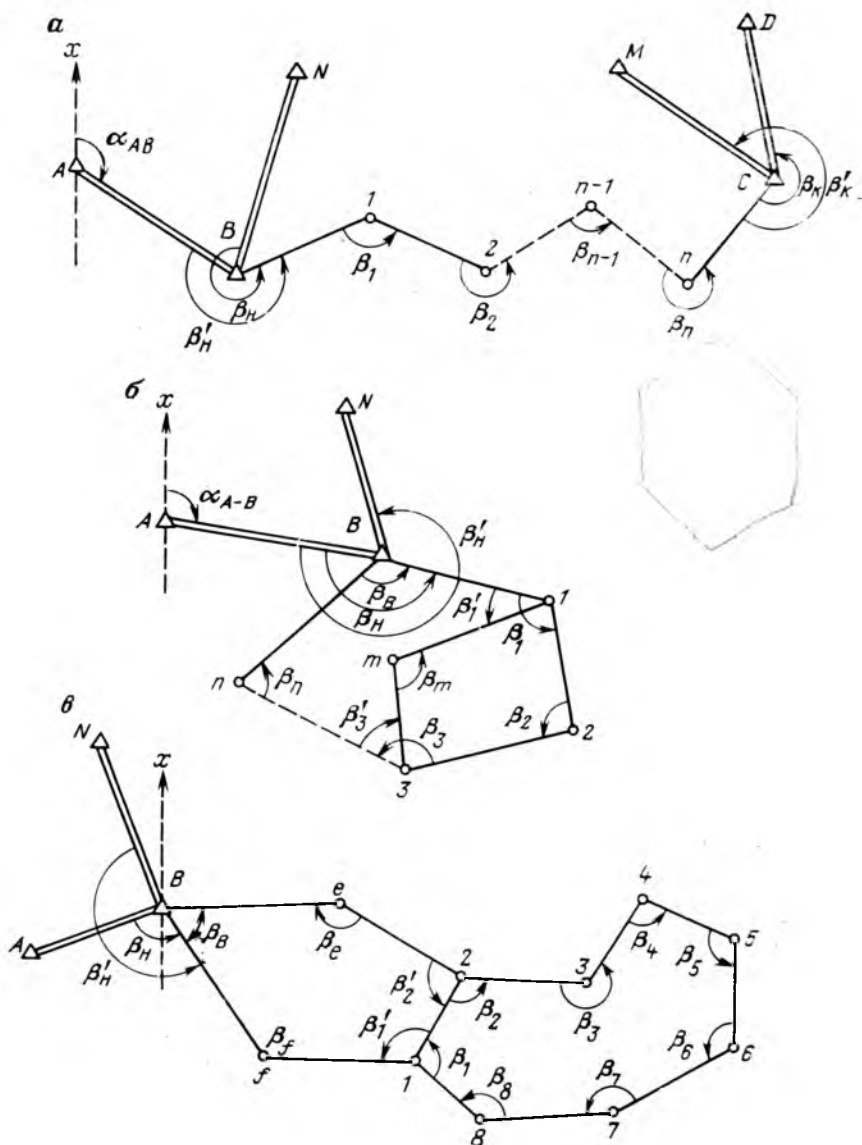
Теодолитный ход, не привязанный к пунктам опорной геодезической сети, носит название свободного, привязанный лишь в начальной точке называется *висячим*.

§ 64. Съёмка подробностей (ситуации)

(После проложения теодолитных ходов производят съёмку контуров ситуации (съёмка подробностей),) которая чаще всего выполняется одновременно с проложением теодолитных ходов. Съёмка контуров местности выполняется с меньшей точностью, чем определение точек теодолитного хода, поэтому для съёмки подробностей используются методы, не обладающие высокой точностью, но отличающиеся быстротой работ. Съёмка подробностей заключается в измерениях, позволяющих определять положение контуров и точек ситуации, которые в соответствии с масштабом съёмки должны быть изображены на плане.)

Применяются следующие способы съёмки подробностей.

Способ прямоугольных координат, применяемый в открытой местности для съёмки контуров, имеющих вытянутую форму и распо-



ложенных вблизи сторон теодолитного хода. Одна из линий теодолитного хода принимается за ось абсцисс, начальная ее точка — за начало оси абсцисс. При помощи эккера из характерных точек ситуации опускают на линию теодолитного хода перпендикуляры (рис. 57, а); длины перпендикуляров (ординат) измеряют рулеткой, а абсциссы от начала линии до основания перпендикуляра отсчитывают по мерной ленте.

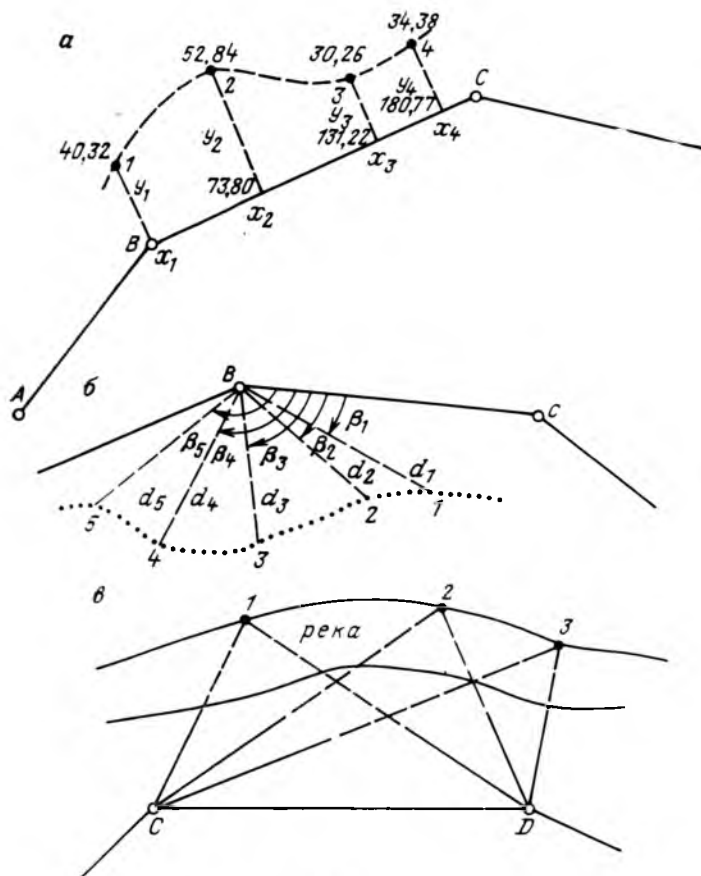


Рис. 57

Результаты съемки подробностей заносятся в абрис.

Полярный способ. Он применяется на открытой местности. Положение точек контуров ситуации определяется горизонтальными (полярными) углами $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$, измеряемыми от линии теодолитного хода (например, BC; рис. 57, б), и горизонтальными расстояниями $d_1, d_2, d_3 \dots$ от точек ситуации до вершины теодолитного хода, принятой за полюс.

Полярные углы измеряются теодолитом. Для удобства обработки съемки перед ее началом нулевой штрих алидады совмещают с нулем лимба и вращением лимба визируют зрительную трубу на точку *С*. После этого визируют трубу на точки местности при неподвижном лимбе. В результате на последнем получают значения горизонтальных углов, которые транспортиром откладывают на плане от направления *ВС*.

Расстояния до снимаемых точек определяют при помощи нитяного дальномера. Предельные расстояния, которые могут измеряться при этом способе нитяным дальномером, составляют для масштаба 1:5000 150—200 м, для масштаба 1:1000 — 250 м.

Способ засечек. Засечки могут быть угловые и линейные. Сущность угловых засечек заключается в том, что для определения положения точки, лежащей в стороне от теодолитного хода, измеряются направления на нее с двух (или трех) точек теодолитного хода. Направления могут определяться азимутами или горизонтальными углами, измеренными между стороной теодолитного хода и направлением на определяемую точку (рис. 57, в).

Наиболее точно положение точки получается при засечке, имеющей угол при определяемой точке, близкий к 90° . Угловые засечки применяют, если углы при определяемых точках лежат в пределах от 30° до 120° .

При линейных засечках с концов стороны теодолитного хода вместо углов измеряются расстояния до определяемых точек, при помощи которых последние наносятся на план.

§ 65. Эккер

Наиболее распространенным является зеркальный эккер, состоящий из двух зеркал *Б* (рис. 58, а), помещенных в трехгранную металлическую оправу *1*, к которой прикреплена ручка *З* с приспособлением *4* для крепления отвеса, при помощи которого эккер центрируется над снимаемой точкой. В верхних частях стенок вырезаны два окна *2*.

Теория зеркального эккера заключается в следующем. Пусть два зеркала M_1 и M_2 (рис. 58, б) поставлены друг к другу под некоторым углом γ . Луч света, выходящий из точки *А*, попадает на зеркало M_2 в точке *С* под углом ω , отражаясь от него под этим же углом, попадает на зеркало M_1 в точке *Д* под углом ν . Отражается луч от зеркала M_1 под углом ν по направлению *Е*, попадая в глаз наблюдателя. Угол δ , образованный падающим и отраженным лучами, равен двойному углу γ , так как в треугольнике *DCF* сумма углов $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$, но $\beta = 90^\circ - \omega$, $\alpha = 90^\circ - \nu$, поэтому $(90^\circ - \omega) + (90^\circ - \nu) + \gamma = 180^\circ$ или $\gamma = \nu + \omega$. Угол δ , как внешний треугольника *DEC*, равен сумме двух внутренних, не смежных с ним: $\delta = 2\omega + 2\nu$. Но $\omega + \nu = \gamma$, следовательно, $\delta = 2\gamma$.

Если угол γ , т. е. угол между зеркалами, принять равным 45° , то линия *DE* перпендикулярна к линии *АС*.

Для того чтобы опустить из точки A перпендикуляр на прямую DE , в точках A , B и K устанавливают веши. Наблюдатель с эккером перемещается по линии AB до тех пор, пока вежа K , которую видно через окно над зеркалом M_1 , окажется на одной вертикальной линии (рис. 58, в) с изображением вежи A в зеркале M_1 , от-

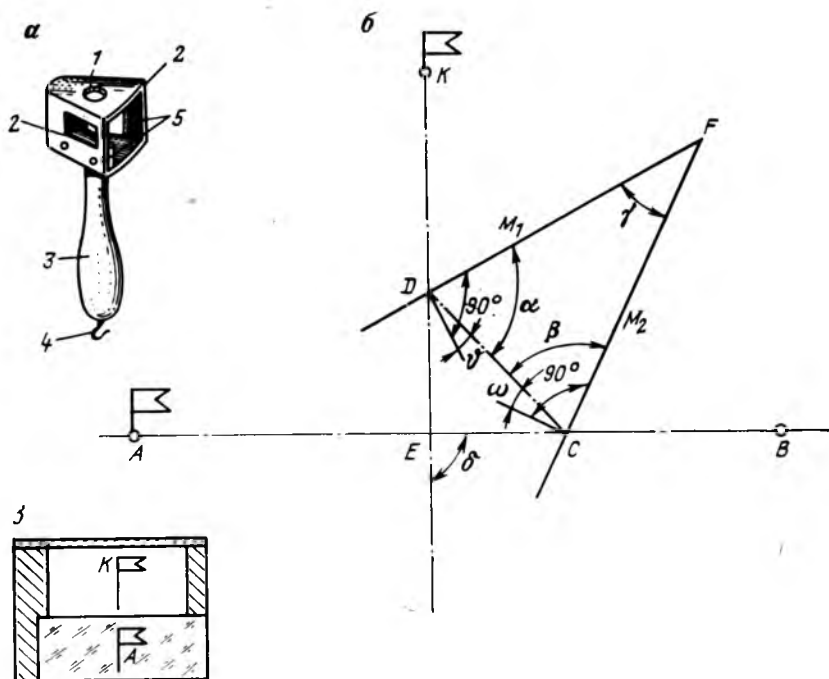


Рис. 58

раженном от зеркала M_2 . В этом случае точка E представляет собой основание перпендикуляра, опущенного из точки K на прямую AB — сторону теодолитного хода.

Эккер позволяет восстановить перпендикуляр к прямой в определенной точке. Для этого наблюдатель становится над точкой, эккер помещается так, чтобы зеркало M_2 было направлено к точке B (см. рис. 58, б) и в нем было видно изображение вежи. После этого рабочий постепенно устанавливает в поле вежу K так, чтобы наблюдатель видел ее в окне эккера над изображением вежи A в зеркале M_1 .

§ 66. Обработка результатов измерений при теодолитных ходах

По результатам полевой съемки проводят камеральные работы, заключающиеся в вычислительной обработке теодолитных ходов и построении плана теодолитной съемки.

Вычислительные работы при теодолитной съемке включают обработку измеренных углов, вычисление дирекционных углов, вычисление горизонтальных проложений, вычисление приращений координат и координат вершин теодолитного хода.

Обработка результатов полевых измерений выполняется для получения координат точек теодолитного хода и начинается с тщательного просмотра и проверки всех полевых журналов для выявления неправильных подсчетов, описок и т. п. Проверенные значения средних углов и длин линий записываются чернилами. Далее составляется схематический чертеж теодолитных ходов и на нем из полевого журнала выписываются средние значения всех измеренных горизонтальных углов и длин линий.

В связи с тем что измерения углов и длин производятся с различного рода погрешностями, результаты измерений не согласуются с их теоретическими значениями, например, сумма измеренных внутренних углов замкнутого теодолитного хода не совпадает с теоретической суммой внутренних углов многоугольника. Разницы между практической и теоретической суммами называются невязками, которые могут быть допустимыми и недопустимыми. Недопустимые невязки являются результатом или недостаточно точных измерений, или погрешностей вычислений. Вычислительная погрешность ликвидируется повторными вычислениями. Измерения, проведенные с недопустимыми невязками, должны быть выполнены заново.

Допустимая невязка распределяется на измеренные величины таким образом, чтобы исправленные значения были наиболее близки к теоретическим.

Процесс распределения невязок и получения исправленных значений углов носит название увязывания или уравнивания результатов измерений.

Обработка угловых измерений. После проверки правильности вычислений в полевом журнале средние значения углов из полу-приемов записывают в ведомость координат (табл. 9), где сумма измеренных углов сравнивается с теоретической.

Сомкнутый теодолитный ход. Пусть в замкнутом теодолитном ходе (рис. 59, а) измерено n внутренних левых углов,

обозначим их сумму через $\sum_{i=1}^n \beta_{\text{п}}$ (сумма практическая). Теоретическая сумма внутренних углов многоугольника определяется по формуле

$$\sum_{i=1}^n \beta_{\text{т}} = 180^\circ (n - 2), \quad (9.1)$$

где n — количество вершин многоугольника (замкнутого теодолитного хода).

Номер точки	Горизонтальные углы		Дирекционные углы α	Табличные углы α'	Горизонтальные проложения, s	Натуральные		
	измеренные	исправленные				$\cos \alpha'$	$\sin \alpha'$	
1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>B</i>								
<i>A</i>	+0,2 212 17,3		166 24,6					
<i>I</i>			198 42,1					
<i>A</i>	-0,4		198 42,1	18 42,1	78,09	0,94720	0,32064	
<i>I</i>	111 01,5	111 01,1						
<i>A</i>	-0,4		129 43,2	50 16,8	145,01	0,63904	0,76918	
<i>2</i>	79 25,3	79 24,9	29 08,1	29 08,1	156,29	0,87348	0,48687	
<i>3</i>	-0,4 106 17,8	106 17,4	315 25,5	44 34,5	105,17	0,71233	0,70184	
<i>4</i>	-0,4 107 39,2	107 38,8	243 04,3	63 04,3	99,46	0,45283	0,89157	
<i>A</i>	-0,4 135 38,2	135 37,8	198 42,1		[s] = = 584,02			
$\Sigma \beta_{\Pi}$	540 02,0	540 00						
$\Sigma \beta_{\Gamma}$	540 00,0	540 00						

$$f_{\beta} = +02,0$$

$$f_{\text{доп}} = 1' \sqrt{n} = 2,2'$$

Угловая невязка f_{β} вычисляется по формуле

$$f_{\beta} = \sum_1^n \beta_{\Pi} - \sum_1^n \beta_{\Gamma} = \sum_1^n \beta_{\Gamma} - 180^{\circ} (n-2). \quad (9.2)$$

После вычисления невязки определяется значение допустимой невязки.

Для теодолитных ходов, в которых угловые измерения производятся тридцатисекундными теодолитами, допустимая угловая

значения	Приращения координат					Координаты		Номер точки
	вычисленные		конт- роль- ные Δx или Δy	исправленные		x	y	
	$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$		$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$			
$\operatorname{tg} \alpha'$ или $\operatorname{ctg} \alpha'$	$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$		$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$			
9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,33851	—73,97	—25,04	25,04	—73,94	—25,05	2212,25	6165,08	A
						2141,31	6140,08	1
0,83076	—92,67	+111,54	92,66	—92,61	+111,52			
0,55739	+136,52	+76,09	75,09	+136,59	+76,06	2048,70	6251,55	2
0,98527	+74,92	—73,81	73,82	+74,96	—73,83	2185,29	6327,61	3
0,50795	—45,04	—8,68	45,05	—45,00	—88,70	2260,25	6253,78	4
	+211,44 —211,68	+187,63 —187,63	0,00	0,00	0,00	2215,25	6165,08	A

$$f_x = -0,24; f_y = +0,10$$

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,24^2 + 0,10^2} = 0,26 \text{ м};$$

$$f_{отн} = \frac{f_{abc}}{[s]} = \frac{0,26}{584,02} = \frac{1}{2200} \leq \frac{1}{2000}$$

невязка определяется по формуле

$$f_{\text{доп}} \leq 1' \sqrt{n}, \quad (9.3)$$

где n — количество углов.

Если невязка меньше или равна допустимой, то угловые измерения должны быть уравнены, т. е. невязка по определенным законам введена в значения измеренных углов.

При точном рассмотрении уравнивания углов учитывают, что угловые невязки зависят от длин сторон измеряемых углов, т. е.

погрешности измерения больше в углах, имеющих более короткие стороны. В теодолитных ходах этой закономерностью пренебрегают, кроме того, при распределении невязок иногда допускается упрощение, когда поправки вводятся с таким расчетом, чтобы уг-

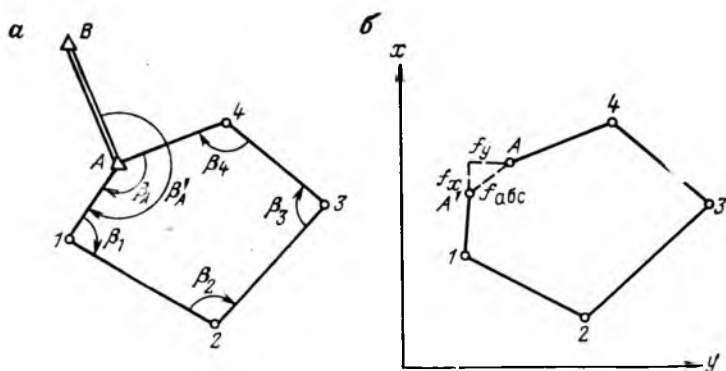


Рис. 59

лы оказались округленными до целых минут. Для этого поправкам приходится придавать различные знаки. Однако в этом случае надо помнить, что происходит искажение теодолитного хода, поэтому для длинных ходов этот прием уравнивания применять не следует.

В теодолитных ходах (съемке, выполняемой с относительно невысокой точностью) принято считать, что угловые измерения выполнены с одинаковой точностью, поэтому если невязка допустимая, то ее распределяют с обратным знаком поровну на все измеренные углы, пользуясь формулой

$$\delta = -f_{\beta}/n, \quad (9.4)$$

где δ — поправка в угол; n — количество углов.

Сумма поправок в углы должна быть равна невязке, взятой с обратным знаком. В примере, приведенном в табл. 9, угловая невязка составляет $f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{п}} - \Sigma\beta_{\text{т}} = 540^{\circ}02,0' - 540^{\circ}00,0' = 2,0'$; допустимая невязка $f_{\beta_{\text{доп}}} = 1'\sqrt{n} = 2,2'$ (при $n=5$), т. е. невязка меньше допустимой, и она в виде поправок $\delta = -2,0'/5 = -0,4'$ распределена поровну на все измеренные углы (графа 2, табл. 9). С учетом поправок вычислены исправленные горизонтальные углы (графа 2, табл. 8).

Разомкнутый теодолитный ход. В теодолитном ходе, проложенном между двумя твердыми направлениями (разомкнутым теодолитным ходом), одно из них принято называть начальным (AB , см. рис. 56, а), другое конечным (CD , см. рис. 56, а).

Контролем правильности угловых измерений является совпадение вычисленного и известного значений дирекционного угла конечного направления.

Если в теодолитном ходе измерялись правые по ходу углы, то согласно схеме, показанной на рис. 56, а, можно написать равенство

$$\alpha_{CD} = \alpha_{AB} + 180^\circ n - \sum_1^n \beta, \quad (9.5)$$

где n — количество измеренных углов; β — измеренные углы.

Из-за погрешностей, допущенных при измерении углов, дирекционный угол, вычисленный по формуле (9.5), не совпадает с заданным, вследствие чего возникает угловая невязка

$$f_\beta = (\alpha_{CD}^{\text{выч}} - \alpha_{CD}^{\text{зад}}). \quad (9.6)$$

Распределение допустимой угловой невязки для разомкнутых теодолитных ходов производится таким же образом, как и для замкнутого теодолитного хода. При правильном введении поправок вычисленный дирекционный угол должен в точности совпасть со значением заданного дирекционного угла конечной линии хода.

Вычисление привязки. В рассматриваемом примере (рис. 59, табл. 9) передача дирекционного угла на одну из сторон теодолитного хода (сторону $A-I$) осуществлена при помощи левого угла BAI , измеренное значение которого показано в графе 2 табл. 9 ($212^\circ 17,3'$). Измерение для контроля правого угла BAI показало, что сумма правого и левого углов составляет $359^\circ 59,6'$. Таким образом, получена угловая невязка, равная $359^\circ 59,6' - 360^\circ 00' = -0,4'$, которая должна быть разделена пополам (поровну для каждого угла) и в виде поправки с обратным знаком введена в левый измеренный угол. В результате исправленное значение примычного угла составит $212^\circ 17,5'$.

При дирекционном угле исходной стороны $\alpha_{BA} = 166^\circ 24,6'$ дирекционный угол первой стороны теодолитного хода, вычисленный по формуле (3.9), равен $\alpha_{AI} = \alpha_{BA} + \angle BAI - 180^\circ = 166^\circ 24,6' + 212^\circ 17,5' - 180^\circ = 198^\circ 42,1'$.

Вычисление дирекционных углов сторон теодолитного хода. Определение дирекционных углов сторон теодолитного хода в рассматриваемом примере выполнено по формуле (3.9) по значению вычисленного в результате привязки дирекционного угла, исходной стороны $A-I$ и уравненным измеренным углам:

$$\begin{aligned} \alpha_{1-2} &= \alpha_{A-1} + \beta_1 - 180^\circ; & \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + \beta_2 - 180^\circ; \\ \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} + \beta_3 - 180^\circ; & \alpha_{4-A} &= \alpha_{3-4} + \beta_4 - 180^\circ. \end{aligned}$$

Для контроля правильности вычислений определяется также дирекционный угол исходной стороны через внутренний угол теодолитного хода β_A :

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{4-A} + \beta_A - 180^\circ.$$

Если в результате контрольных вычислений дирекционный угол α_{4-1} не совпал со значением дирекционного угла, полученного из привязки, необходимо проверить вычисления, так как они выполнены с погрешностью.

Значения дирекционных углов заносятся в ведомость координат (графа 4 табл. 9).

Вычисление табличных углов. Табличные углы, представляющие собой значения румбов, используются для вычисления приращений координат, так как значения дирекционных углов изменя-

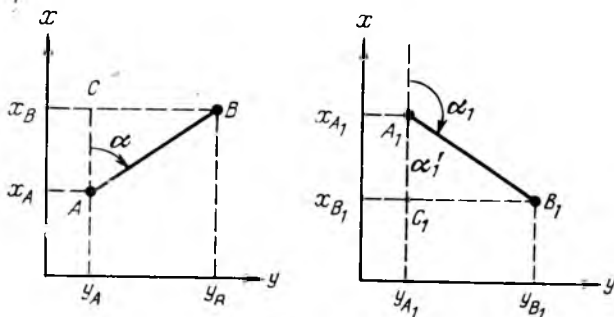


Рис. 60

ются от 0 до 360°, а таблицы величин тригонометрических функций построены для углов в пределах от 0 до 90°. Величина дирекционного угла определяет знаки приращений координат, зависящие от знаков тригонометрических функций (sin, cos), используемых для вычисления приращений координат.

Таблица 10

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

Формулы для вычисления табличных углов приведены в § 16 и на рис. 15; в соответствии с ними составлена табл. 10, облегчающая определение знаков приращения координат.

Вычисление приращений координат. *Прямая геодезическая задача.* Для определения координат точки необходимо иметь координаты исходной точки, горизонтальное проложение линии, соединяющей эти точки, и дирекционный угол этой линии. Такая задача в геодезии называется прямой геодезической задачей. Решение ее сводится к следующему.

Пусть на плоскости (рис. 60, а) дана исходная точка A , плоские координаты которой x_A , y_A известны, определено горизонтальное проложение между определяемой точкой B и исходной A (отрезок $AB=s$) и вычислен дирекционный угол α_{AB} направления AB .

Через точки A и B проведем линии, параллельные осям x и y . В результате получим прямоугольный треугольник ABC и на осях координат отметки, представляющие соответственно x_A , x_B , y_A , y_B .

На основании схемы, показанной на рис. 60, а можно написать, что катеты

$$AC = x_B - x_A = \Delta x; \quad BC = y_B - y_A = \Delta y. \quad (9.7)$$

Из треугольника ABC можно написать выражения

$$AC = AB \cos \alpha; \quad BC = AB \sin \alpha. \quad (9.8)$$

Учитывая (9.7), получим

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= AB \cos \alpha = s \cos \alpha; \\ \Delta y &= AB \sin \alpha = s \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (9.9)$$

Полученные выражения (9.9) позволяют написать формулы для решения прямой геодезической задачи

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x = x_A + s \cos \alpha; \\ y_B &= y_A + \Delta y = y_A + s \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (9.10)$$

Выше был рассмотрен случай для северо-восточного направления линии AB , когда дирекционный угол численно совпадает со значением румба (табличного угла). Рассмотрим случай, когда сторона теодолитного хода имеет юго-восточное направление (рис. 60, б). Угол α'_1 при вершине A_1 представляет собой табличный угол, следовательно, можно написать, что

$$A_1C_1 = A_1B_1 \cos \alpha'_1; \quad C_1B_1 = A_1B_1 \sin \alpha'_1,$$

по

$$A_1C_1 = x_{B_1} - x_{A_1} = \Delta x; \quad C_1B_1 = y_{B_1} - y_{A_1} = \Delta y.$$

Таким образом,

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= A_1B_1 \cos \alpha'_1 = s \cos \alpha'_1; \\ \Delta y &= A_1B_1 \sin \alpha'_1 = s \sin \alpha'_1. \end{aligned} \right\} \quad (9.11)$$

откуда, согласно рис. 60, б, напомним

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x = x_A + s \cos \alpha'_1; \\ y_B &= y_A + \Delta y = y_A + s \sin \alpha'_1. \end{aligned} \right\} \quad (9.12)$$

т. е. формулы для вычисления приращения координат и координат последующих точек одинаковые в обоих случаях.

Аналогичными рассуждениями можно легко убедиться, что структуры формул для вычисления приращения координат для всех четвертей одинаковые. Однако необходимо помнить, что приращения координат в зависимости от величины дирекционного угла могут иметь положительное и отрицательное значения.

В приведенном примере значения приращения координат, вычисленные по формулам (9.9), приведены в графах 10 и 11 табл. 9.

Для контроля правильности определения приращений координат вычисляется или $\Delta y = \Delta x \operatorname{tg} \alpha'$, или $\Delta x = \Delta y \operatorname{ctg} \alpha'$. В примере (табл. 9, графы 9 и 12) выполнены контрольные определения значений Δy по первой приведенной формуле.

Уравнивание приращений координат. Приращения координат являются проекциями сторон теодолитного хода на координатные оси. Из аналитической геометрии известно, что сумма проекций сторон на координатные оси равна нулю, следовательно,

$$\sum \Delta x = 0; \quad \sum \Delta y = 0.$$

На практике из-за погрешностей, являющихся неизбежными при измерении длин и углов в замкнутых теодолитных ходах, суммы приращений координат по осям не равны нулю, и в связи с этим возникают невязки по оси x (f_x), по оси y (f_y), т. е.

$$f_x = \sum \Delta x; \quad f_y = \sum \Delta y. \quad (9.13)$$

В результате замкнутый теодолитный ход оказывается разомкнутым (см. рис. 59, б) на некоторую величину $A-A'$, называемую абсолютной линейной невязкой ($f_{абс}$), которая с невязками по осям x и y связана выражением

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(\sum \Delta x)^2 + (\sum \Delta y)^2}. \quad (9.14)$$

Абсолютная невязка пропорциональна периметру теодолитного хода, поэтому чем больше его длина, тем больше величина абсолютной невязки. В связи с этим оценка точности теодолитного хода производится по относительной невязке ($f_{отн}$), определяемой как отношение абсолютной невязки к периметру $[s]$ теодолитного хода:

$$f_{отн} = f_{абс} / [s], \quad (9.15)$$

где под периметром понимается сумма горизонтальных проложений сторон теодолитного хода. Относительная невязка 1:2000 считается допустимой в благоприятных условиях и 1:1000 — для неблагоприятных, таким образом,

$$f_{отн} = f_{абс} / [s] \leq 1/1000 \div 1/2000. \quad (9.16)$$

Если относительная невязка получена допустимой, то абсолютные невязки по осям x и y распределяются с обратным знаком на каждое приращение пропорционально горизонтальным проложениям длин линий:

$$\delta_{x_i} = -f_x s_i / [s]; \quad \delta_{y_i} = -f_y s_i / [s], \quad (9.17)$$

где s_i — соответствующие горизонтальные проложения сторон хода.

После увязывания приращений координат суммы приращений координат по оси x и по оси y должны быть равны нулю. При недопустимой линейной невязке определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = f_y / f_x \quad (9.18)$$

дирекционный угол линии, при измерении которого наиболее вероятно была допущена погрешность.

Если при повторном измерении этой линии окажется, что она была определена с достаточной точностью, необходимо перемерить остальные линии.

В приведенном примере вычисленные приращения координат и их уравнивание показаны в графах 10, 11, 13 и 14 (см. табл. 9).

Вычисление координат вершин теодолитного хода. Вычисление координат x и y вершин теодолитного хода производится последовательным сложением координат предыдущей точки с соответствующим приращением координат:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + \Delta x_{1-2}; & y_2 &= y_1 + \Delta y_{1-2}; \\ x_3 &= x_2 + \Delta x_{2-3}; & y_3 &= y_2 + \Delta y_{2-3}; \\ x_4 &= x_3 + \Delta x_{3-4}; & y_4 &= y_3 + \Delta y_{3-4}. \\ \dots & & \dots & \end{aligned} \right\} \quad (9.19)$$

Для замкнутого хода контролем правильности вычислений является равенство заданных и вычисленных координат начальной точки.

Вычисление координат диагонального теодолитного хода. Вычисление приращения координат производится по формулам (9.19). Если бы измерения были проведены без погрешностей, то суммы приращений координат были бы равны разностям координат конечной и начальной точек диагонального хода, принимаемых за исходные, таким образом,

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta x &= x_k - x_n; \\ \sum \Delta y &= y_k - y_n, \end{aligned} \right\} \quad (9.20)$$

где x_k, y_k — координаты конечной точки; x_n, y_n — координаты начальной точки. Однако на практике возникают невязки

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x - (x_k - x_n); \\ f_y &= \sum \Delta y - (y_k - y_n). \end{aligned} \right\} \quad (9.21)$$

Если невязки получены допустимыми, то они в соответствии с формулами (9.17) в виде поправок распределяются в приращения координат диагонального хода. Допустимая невязка вычисляется по формуле (9.16) при исходных данных диагонального хода.

§ 67. Решение обратной геодезической задачи

При выполнении различного рода геодезических работ возникает необходимость по известным координатам двух точек определить дирекционный угол и горизонтальное проложение линии, соединяющей эти точки. Такая задача называется обратной геодезической.

Пусть даны две точки A и B (см. рис. 60), координаты которых соответственно x_A, y_A, x_B, y_B . Катеты треугольников ABC и $A_1B_1C_1$ являются приращениями координат x и y . Согласно схемам, показанным на рис. 60, дирекционный угол линии AB (A_1B_1) определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_{A-B} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (9.22)$$

Непосредственно в результате расчетов по формуле (9.22) получают значение табличного угла. По знакам приращений координат определяется четверть и по данным § 16 — дирекционный угол.

Горизонтальные расстояния между точками (проложения) могут быть определены по формуле

$$s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (9.23)$$

или по формулам

$$s = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha}; \quad s = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha}. \quad (9.24)$$

Рассмотрим конкретный пример решения обратной геодезической задачи. Пусть даны координаты точек A и B : $x_A = 375,68$ м; $y_B = 105,23$ м; $x_B = 237,33$ м; $y_B = 54,18$ м.

Приращения координат соответственно равны $\Delta x = x_B - x_A = -138,35$ м, $\Delta y = y_B - y_A = -51,05$ м.

Значение табличного угла определится по формуле (9.22): $\operatorname{tg} \alpha' = -51,05 / -138,35 = 0,368992$, откуда $\alpha' = 20^\circ 15,3'$.

Учитывая, что оба приращения координат имеют отрицательное значение, для определения дирекционного угла, расположенного в третьей четверти, используем формулу $\alpha = \alpha' + 180^\circ$. Таким образом, $\alpha = 20^\circ 15,3' + 180^\circ = 200^\circ 15,3'$.

Для определения горизонтального проложения используем формулу (9.23):

$$s_{AB} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{(-138,35)^2 + (-51,05)^2} = 147,47 \text{ м.}$$

Определение координат точки прямой засечкой. Пусть даны координаты двух точек A и $З$. Требуется вычислить координаты третьей точки 4 , если измерены углы β_1 и α_1 в точках A и $З$ (см. рис. 51, а).

Угол γ_1 вычисляется как дополнение до 180° :

$$\gamma_1 = 180^\circ - (\beta_1 + \alpha_1).$$

Определяется дирекционный угол направления $AЗ$

$$\operatorname{tg} \alpha_{A3} = (y_3 - y_A) / (x_3 - x_A),$$

и длина линии $AЗ$

$$\overline{A3} = (y_3 - y_A) / \sin \alpha_{A3} = (x_3 - x_A) / \cos \alpha_{A3}.$$

Из решения треугольника $A34$ по теореме синусов находятся длины линий $A4$ и 34 по формулам

$$\overline{A4} = \frac{\overline{A3}}{\sin \gamma_1} \sin \alpha_1; \quad \overline{34} = \frac{\overline{A3}}{\sin \gamma_1} \sin \beta_1.$$

Вычисляются дирекционные углы линий $A4$ и 34 :

$$\alpha_{A4} = \alpha_{A3} - \angle \beta_1; \quad \alpha_{34} = \alpha_{3A} + \angle \alpha_1.$$

При помощи прямой геодезической задачи вычисляются координаты точки 4 :

с использованием стороны $A4$

$$x_4 = x_A + \Delta x_{A4} = x_A + \overline{A4} \cos \alpha_{A4};$$

$$y_4 = y_A + \Delta y_{A4} = y_A + \overline{A4} \sin \alpha_{A4}.$$

с использованием стороны 34

$$x_4 = x_3 + \Delta x_{34} = x_3 + \overline{34} \cos \alpha_{34};$$

$$y_4 = y_3 + \Delta y_{34} = y_3 + \overline{34} \sin \alpha_{34}.$$

Решение задачи из одного треугольника не дает контроля определения координат точки 4 . Ошибка, допущенная при измерении угла β_1 или α_1 , а также ошибка в координатах исходных пунктов вычислениями не обнаруживаются. Поэтому необходимо для контроля иметь еще один треугольник $34B$, в котором измеряют угол α_2 и угол β_2 при точке B и вычисляют сторону $B4$. Вычислив

дирекционный угол стороны *В4*, определяют еще раз координаты точки 4 и при допустимых расхождениях берут среднее арифметическое из них.

§ 68. Построение плана теодолитной съемки

Расчет размеров координатной сетки. Для построения плана теодолитной съемки должна быть вычерчена координатная сетка со стороной квадрата 100 мм, от точности нанесения которой на лист бумаги во многом зависит точность всего плана.

Для того чтобы план теодолитной съемки разместился симметрично внутри границ координатной сетки, производится расчет ее размеров, который обычно выполняется по координатам точек теодолитного хода. Для этого из координатной ведомости выписываются максимальные и минимальные значения *x* и *y*. Пусть, таким образом, получено: $x_{\max}=6\,254\,307,76$; $y_{\max}=5\,328\,623,28$; $x_{\min}=6\,253\,983,35$; $y_{\min}=5\,328\,261,11$.

Предположим, что масштаб построения плана 1:1000, тогда сторона квадрата координатной сетки размером 10 см соответствует длине 100 м на местности. В связи с тем, что в этом случае подписи линий координатной сетки кратны 100, и для того, чтобы точка теодолитного хода с максимальным значением $x=6\,254\,307,76$ оказалась внутри координатной сетки, северная (верхняя) горизонтальная линия сетки нитей должна иметь подпись 6 254 400, а соответственно нижняя (южная) 6 253 900. Рассуждая аналогичным образом, легко прийти к выводу, что западная линия координатной сетки должна иметь подпись 5 328 200, восточная—5 328 700. Таким образом, размеры координатной сетки должны быть пять на пять квадратов.

По размерам координатной сетки и рассчитанным площадям, необходимым для зарамочного оформления, определяется общий размер листа бумаги, на котором будет построен план теодолитной съемки.

Построение координатной сетки при помощи линейки Дробышева. Линейка Дробышева представляет собой металлическую полосу шириной 50 мм и толщиной 5 мм, в которой вырезано шесть прямоугольных окон, расстояние между которыми 100 мм. Сторона окна, направленная к началу линейки, скошена. Через середины скосов проведены штрихи, составляющие одну прямую линию, параллельную длинной скошенной стороне линейки. Скошен также конец (торец) линейки.

Скошенные края окон (кроме первого) и скошенный конец линейки выполнены в виде дуг, имеющих радиусы, равные расстоянию между окнами, т. е. $r_1=100$ мм, $r_2=200$ мм, $r_3=300$ мм, $r_4=400$ мм, $r_5=500$ мм; радиус дуги скошенного конца линейки равен диагонали квадрата со стороной 500 мм, т. е. $R=707,11$ мм. При помощи линейки Дробышева можно построить квадрат со

сторонами 500×500 мм или прямоугольник со сторонами 400×300 мм.

Построение координатной сетки выполняется следующим образом.

Линейку накладывают приблизительно параллельно нижнему концу листа бумаги и по скошенному краю проводят горизонтальную линию AB . Поместив на этой линии линейку так, чтобы она была видна в окошки, отмечают на ней штрихи, проводя каранда-

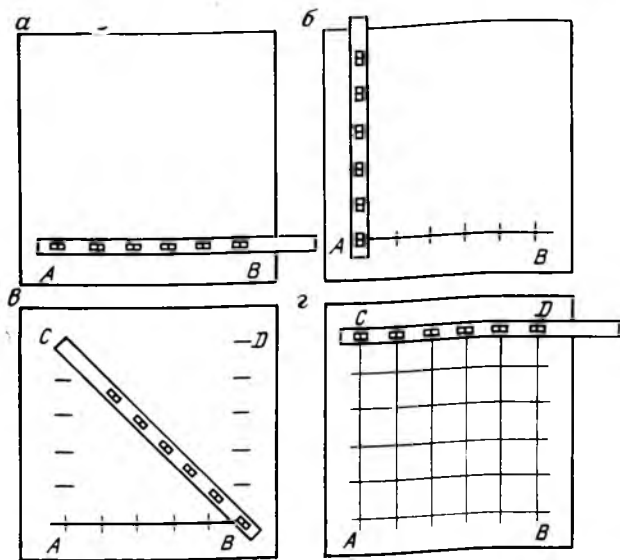


Рис. 61

шом по скошенным краям окон (рис. 61, а). Поворачивают линейку на 90° , совмещая скошенный край первого окна с первым штрихом линии AB , и проводят дугу по скошенному краю шестого окошка (рис. 61, б). После этого укладывают линейку по диагонали от правого штриха линии AB до только что проведенного штриха и проводят штрих по скошенному краю торца линейки. В результате отмечается точка C (рис. 61, в). Аналогичные построения производятся для точки D . Затем линейка прикладывается окнами вдоль линий AC , CD и DB , на которых по скошенным краям окон через 100 мм отмечают штрихами промежуточные точки, через которые проводятся линии, образующие координатную сетку со сторонами малых квадратов 10 см (рис. 61, г).

Не представляется сложным построить координатную сетку размером 300×400 мм. Диагональю в данном случае будет служить расстояние между первым и шестым окнами, равное 500 мм.

Правильность построения координатной сетки может быть проверена двумя способами. Первый способ: линейка Дробышева

укладывается по диагонали большого квадрата, вершины малых квадратов должны лежать на одной прямой. Во втором способе используется циркуль-измеритель, которым проверяются диагонали малых квадратов, они не должны отличаться друг от друга более чем на 0,3 мм. Или в раствор измерителя по поперечному масштабу берут длину, соответствующую диагонали квадрата со стороной 100 мм, т. е. 141,4 мм, и проверяют диагонали квадратов координатной сетки. Расхождения не должны быть более 0,2 мм.

Рис. 62

которые должны пройти через точку пересечения диагональных прямых. От середины каждой стороны измерителем с использованием поперечного масштаба откладываются отрезки длиной 100 м. Полученные точки на противоположных сторонах соединяются прямыми, в результате получается координатная сетка.

Для нанесения вершин теодолитного хода на план определяется прежде всего квадрат, в котором он находится, например, для точки D , координаты которой $x_D = 6\,254\,241,22$ и $y_D = 5\,328\,371,78$, таким является квадрат, координаты юго-западного угла которого $x_0 = 6\,254\,200$; $y_0 = 5\,328\,300$. После этого из координаты x_D точки вычисляют координату x_0 юго-западного угла квадрата. Разность $x_D - x_0 = x$, выраженную в масштабе плана, при помощи измерителя откладывают от южной стороны квадрата на его вертикальных сторонах. Полученные точки d' и d'' соединяют прямой, вдоль которой от западной стороны квадрата при помощи измерителя откладывается выраженное в масштабе плана расстояние $y = y_D - y_0$.

Таким образом, на плане определено положение точки *D*. Аналогично производится построение точки *C* и последующих точек. Для контроля правильности нанесения точек *D* и *C* в раствор измерителя по поперечному масштабу берут горизонтальное проложение s_{CD} и сравнивают его с отложенным на плане. Если расхождение не более 0,2 мм, то точки нанесены правильно. Аналогичным образом определяется положение остальных точек теодолитного хода.

Нанесение ситуации на план. После построения точек теодолитного хода на план наносится ситуация. Если ее съемка производилась различными методами, то целесообразно начинать накладку с контуров, снятых методом ординат. Для этого, используя абрис съемки подробностей, на сторонах теодолитного хода в масштабе плана откладывают расстояния до оснований перпендикуляров, восстанавливают перпендикуляры и на них откладывают ординаты. Полученные точки в соответствии с полевыми зарисовками соединяют плавными кривыми.

При работе по способу ординат используются линейка, треугольник и измеритель. Линейка располагается параллельно стороне теодолитного хода, при помощи треугольника восстанавливаются перпендикуляры. Расстояния до основания перпендикуляров и длины перпендикуляров определяются при помощи линейного масштаба.

Затем наносят точки, снятые методом полярных координат. Для этого используются транспортир и измеритель. В точке, принятой за полюс, укладывается транспортир, ориентированный вдоль соответствующего направления, и при его помощи строят углы, которые были измерены в поле. Вдоль прочерчиваемых направлений откладывают в масштабе плана расстояния до точек ситуации.

Точки, снятые при помощи засечек, наносятся построением треугольников по основанию и прилежащим углам (угловые засечки) или по расстояниям (линейные засечки).

Все контуры и местные предметы после их нанесения на план вычерчиваются тушью в соответствующих условных знаках.

Глава 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

§ 69. Общие сведения

В решении многих задач, связанных с геологией, горным делом, строительством, земледелием и т. д., необходимо знание площадей, изображенных на планах и картах. В зависимости от формы, размеров, хозяйственного значения участка, а также наличия средств измерения возможно применение нескольких способов измерения площадей.

Графический, в котором площади вычисляются по результатам измерения на плане (карте) углов и длин соответствующих элементов (высот, оснований и др.) фигур. К графическому способу также относится определение площадей при помощи палеток. Аналитический — площади участков вычисляются по результатам непосредственных измерений на местности углов и линий или по координатам вершин полигонов. Механический — площадь измеряется специальными приборами (планиметрами). Иногда применяется комбинация нескольких способов, например, площадь полигона вычисляется аналитическим способом, а площади участков, расположенных между линиями полигона и границей участка, определяются при помощи планиметра или палетки. Из способов определения площадей наибольшей точностью обладает аналитический, так как он включает только погрешности полевых измерений; на точность же остальных способов оказывают влияние деформация бумаги, погрешности составления планов, измерения длин линий на плане и т. п.

§ 70. Определение площадей графическим способом

В этом способе участок (рис. 63, а), изображенный на плане, разбивается на простейшие геометрические фигуры, преимущественно треугольники, реже прямоугольники и трапеции. При этом криволинейные контуры заменяются отрезками прямых таким об-

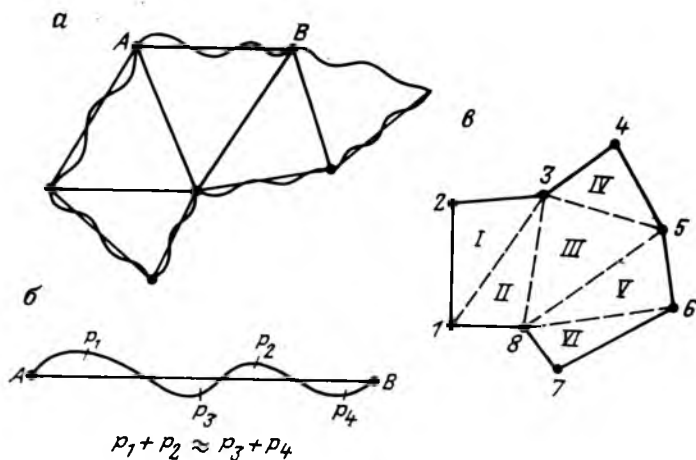


Рис. 63

разом, чтобы площади участков вне аппроксимирующей фигуры были бы приблизительно равны площади участков, расположенных внутри (рис. 63, б).

В треугольниках измеряются высота и основание, в прямоугольниках — две стороны, в трапециях — основания и высота или сред-

няя линия и высота. Затем по соответствующим формулам геометрии вычисляются площади фигур и их суммированием — площадь участка (рис. 63, в).

Основные погрешности графического способа определения площадей зависят от неточного измерения линий по плану. Погрешность измерения линии по плану принимается равной 0,2 мм. Отсюда следует, что точность измерения площади зависит от масштаба плана: чем мельче масштаб, тем больше погрешность измерения длин и, следовательно, тем больше погрешность определения площади.

В связи с тем что относительная погрешность определения по плану короткой стороны больше, чем длинной, целесообразно при измерении площадей вытянутых участков короткие линии определять полевыми измерениями. По этой же причине при определении площадей двух равновеликих участков, имеющих вытянутую и компактную формы, получают различную погрешность, т. е. площади вытянутых участков получают с большими погрешностями, чем компактных. Также следует помнить, что наименьшая погрешность определения площади треугольников получается при равенстве основания и высоты.

Для контроля и повышения точности определения площади каждый треугольник вычисляется два раза по двум различным основаниям и высотам. Кроме того, для повышения точности определения площади графическим способом необходимо в измерениях на плане величины ввести поправки за деформацию бумаги, вычисляемые по формуле

$$\Delta L = (L_0 - L)/L, \quad (10.1)$$

Таблица 11

Номер фигуры	Номер вершин фигуры	Номер из- мерений	Основа- ние, м	Высота, м	Удвоенная площадь, га	Среднее значение удвоенной площади, га	Допусти- мые рас- хождения, га
I	1—2—3	I	447,2	789	35,28	35,20	0,18
		II	792,7	443	35,12		
II	1—3—8	I	483,9	863	41,76	41,81	0,19
		II	960	436	41,86		
III	3—5—8	I	778	815	63,41	63,32	0,24
		II	858	737	63,23		
IV	3—4—5	I	593,3	503,0	29,84	29,84	—
		II	503,0	593,3	29,84		
V	5—6—8	I	439,8	796	35,01	35,03	0,18
		II	804	436	35,05		
VI	6—7—8	I	785,4	286	22,46	22,44	0,14
		II	287,1	781	22,42		
Итого					455,28	227,64	

$$P = 113,82 \text{ га}$$

где L_0 — длина линии, измеренная в натуре или вычисленная по координатам; L — длина линии, измеренная на плане.

Допустимое расхождение между двумя результатами вычисления площади определяют по формуле

$$f_{\text{доп}} = 0,04 \frac{M}{10000} \sqrt{P}, \quad (10.2)$$

где M — знаменатель масштаба; P — средняя площадь фигуры в тектарах.

Пример вычисления площади, показанной на рис. 63, в, приведен в табл. 11.

§ 71. Определение площадей палетками

Палетки обычно используются для определения небольших по размерам площадей, имеющих криволинейные контуры, и представляют собой прозрачную пластинку из целлулоида, плексигласа, стекла или кальку, на которые нанесены сетка квадратов, точек или параллельных прямых (рис. 64).

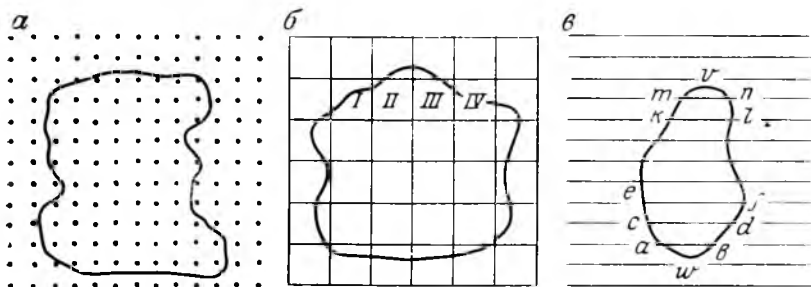


Рис. 64

Размеры квадратов точечной или квадратной палеток показаны в табл. 12, расстояние между параллельными прямыми чаще всего принимается равным 2 мм.

Точечная палетка представляет собой сетку точек, обозначающих центры квадратов.

При определении площади точечной палеткой ее произвольно накладывают на контур (рис. 64, а) и подсчитывают число точек, оказавшихся внутри контура. Определение повторяется при втором положении палетки, подсчитывается новое число точек палетки, заключенных внутри измеряемой площади. Находится среднее значение из результатов двух определений. Полученное число точек умножают на основание палетки, которое равно площади квадрата палетки, выраженной в масштабе плана. В результате получают площадь измеряемой фигуры. К примеру, пусть в результате первого положения палетки оказалось $N_1=75$ точек, второго — $N_2=77$, среднее значение $N=76$ точек. При размере квадра-

Размер квадратов палеток		Масштаб планов							
		1 : 5000		1 : 10 000		1 : 25 000		1 : 50 000	
мм	мм ²	м ²	га	м ²	га	м ²	га	м ²	га
1 × 1	1	25	0,0025	100	0,01	625	0,0625	2 500	0,25
2 × 2	4	100	0,01	400	0,04	2 500	0,25	10 000	1,0
5 × 5	25	625	0,0625	2 500	0,25	15 625	1,5625	62 500	6,25
10 × 10	100	2500	0,25	10 000	1,0	62 500	6,25	250 000	25,0

тов палетки 5×5 мм и масштабе плана 1 : 10 000 площадь основания равна $p=2500$ м², откуда измеряемая площадь $P=p \cdot N=2500 \cdot 76=190\,000$ м², или 19 га.

Квадратная палетка. При определении небольших площадей целесообразно использовать квадратные палетки (рис. 64, б).

Палетка накладывается на измеряемую площадь, и вначале считают целое количество квадратов палетки (в приведенном примере их 12); затем определяются площади, находящиеся под квадратами, неполностью лежащими на измеряемой площади. Их значения выражают в долях единицы, например, квадрат I занят измеряемой площадью на 0,6 площади квадрата, квадрат II — 0,9; квадрат III — 0,97; квадрат IV — 0,5 и т. д. В сумме их оказалось 6,3 квадрата. Таким образом, всего $N=18,3$ квадрата, что при масштабе съемки 1 : 5000 и размере квадрата 10×10 мм равно площади $P=p \cdot N=2500 \cdot 18,3=45\,800$ м², или 4,58 га.

Параллельная палетка. Точечная и квадратная палетки обладают недостатком, заключающимся в том, что необходимо подсчитывать большое количество точек, квадратов и их частей, что часто сопровождается ошибками. В отличие от рассмотренных в данном параграфе палеток определенным достоинством обладает палетка с параллельными линиями (рис. 64, в). Для определения площади контура палетку на него накладывают так, чтобы крайние точки v и w оказались посредине между параллельными линиями палетки. В этом случае контур будет расчлененным на фигуры, близкие к трапециям, в которых все высоты h одинаковые, а отрезки ab , cd , ef ... kl , mn представляют средние линии трапеций.

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

$$\begin{aligned}
 P &= abh + cdh + efh + \dots + klh + mn h = \\
 &= h(ab + cd + ef + \dots + kl + mn).
 \end{aligned}
 \quad (10.3)$$

Сумму отрезков определяют измерителем, для чего берут в его раствор первый отрезок ab , затем совмещают правую ножку измерителя с левым концом следующего отрезка и при неподвижной левой ножке разводят правую до конца отрезка cd . В резуль-

тате раствор измерителя равен сумме двух первых отрезков. Измерения продолжаютсЯ до тех пор, пока в раствор измерителя не будут набраны все отрезки вплоть до последнего mn .

§ 72. Аналитический способ вычисления площадей

Вычисление площадей в этом способе производится по формулам геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии по измеренным в натуре углам и линиям. Например, площадь треугольника (рис. 65, а) по формуле:

$$P = 0,5ab \sin \alpha, \quad (10.4)$$

четырехугольника (рис. 65, б) по формуле:

$$P = 0,5 (ab \sin \alpha + cd \sin \beta). \quad (10.5)$$

Если известны координаты x, y вершин замкнутого полигона (рис. 65, в), то его площадь может быть определена из выражения площадей трапеции:

$$P = p_{AB B_1 A} + p_{B_1 B C C_1} - p_{A_1 A D D_1} - p_{D_1 D C C_1}. \quad (10.6)$$

Выражение (10.6) позволяет получить формулу, площадь полигона в которой выражена через координаты его вершин:

$$P = 0,5 [(x_A + x_B)(y_B - y_A) + (x_B + x_C)(y_C - y_B) - (x_A + x_D)(y_D - y_A) - (x_D + x_C)(y_C - y_D)], \quad (10.7)$$

которое легко приводится к виду

$$2P = (x_A + x_B)(y_B - y_A) + (x_B + x_C)(y_C - y_B) + (x_C + x_D)(y_D - y_C) + (x_D + x_A)(y_A - y_D). \quad (10.8)$$

В уравнении (10.8) наблюдается закономерность, формулируемая следующим образом: двойная площадь замкнутого

в

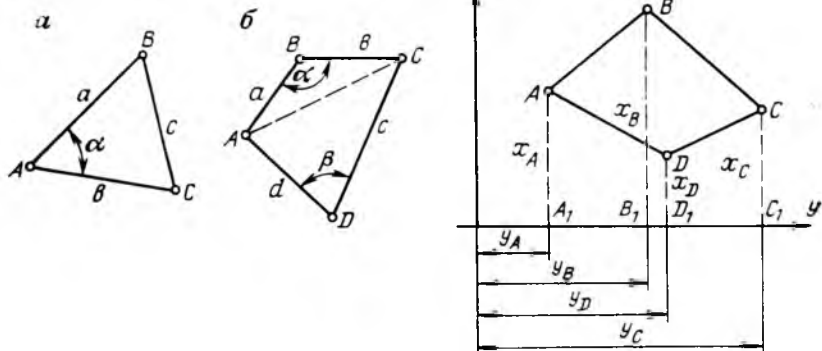


Рис. 65

полигона равна сумме стольких произведений, сколько вершин имеет полигон, при этом каждое произведение состоит из двух сомножителей: суммы значений координат x предыдущей и последующей точек и разности значений координат y , соответствующих последующей и предыдущей точкам, т. е.

$$2P = \sum_1^n (x_k + x_{k+1}) (y_{k+1} - y_k). \quad (10.9)$$

Относительная погрешность определения площади аналитическим способом находится в пределах 1 : 1000 — 1 : 2000.

Ниже приведены значения координат x и y вершин полигона, имеющего 8 вершин, для которого произведено определение площади по формуле (10.9): $P = 1776,6(-132,6) + 2486,4(122,5) + + 2870,0(101,0) + 2806,1(419,0) = 2502,0(247,1) + 2046,3(-207,2) + + 1381,3(-138,6) + 1191,1(-411,2) = 1047,6$ тыс. м², или 104,76 га.

Номер вершин	1	2	3	4	5	6	7	8
Координаты, м:								
x	666,6	1110,0	1376,4	1493,6	1312,5	1189,5	856,8	524,5
y	242,6	110,0	232,5	333,5	752,5	999,6	792,4	653,8

§ 73. Определение площади при помощи планиметра

Планиметр. Наибольшее распространение получили полярные планиметры (рис. 66, а), состоящие из двух рычагов — полюсного 1 и обводного 6. В нижней части груза 2 полюсного рычага имеется игла для крепления полюса к листу бумаги. На другом конце полюсного рычага имеется штифт 14, вставляемый в гнездо каретки обводного рычага, имеющей счетный механизм 8, 9, 10, 11, на другом конце обводного рычага имеется обводной шпиль 5, которым за ручку 3 обводят контур участка. Штифт 4 является одной из точек опоры планиметра.

Счетный механизм состоит из счетного колесика 10, имеющего 100 делений, верньера 11 с десятью делениями, что позволяет делать отсчет до 1 : 1000 доли окружности колесика. Ось колесика винтом соединена с циферблатом 8, регистрирующим полные обороты колесика. Отсчет по счетному механизму — всегда четырехзначное число, и производится он в следующей последовательности: вначале снимается цифра с циферблата 8, затем две цифры со счетного колесика и, наконец, определяется совпадающий штрих верньера.

Каретка со счетным механизмом может перемещаться по обводному рычагу, за счет этого меняется его длина. Для точной установки необходимой длины обводного рычага используются шкала делений 15 на обводном рычаге, верньер 13, расположенный на каретке, и винт 7.

Измерение площади планиметром. При измерении площадей планиметром возможны два случая: плюс планиметра 0 поме-

шен внутри (рис. 67) и вне измеряемой (заштрихованной) площади. В первом случае, установив обводной шпиль в какой-нибудь точке контура (например, f_0), берут первоначальный отсчет по

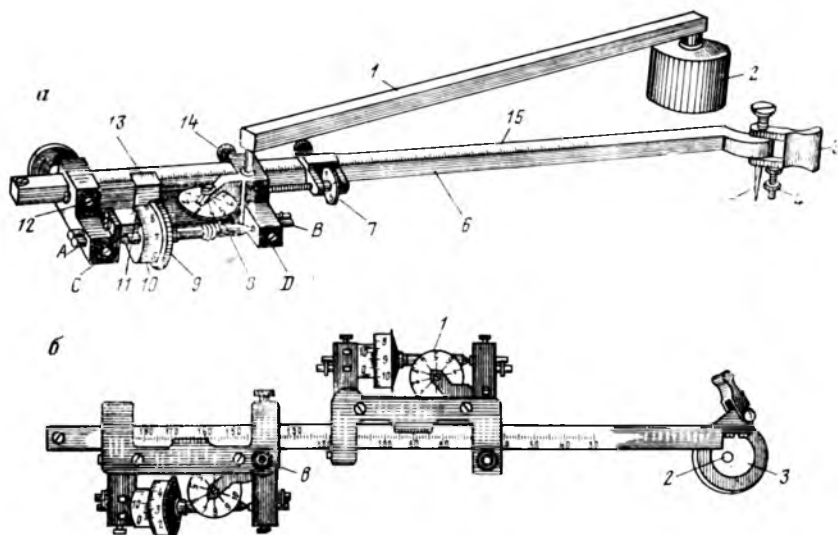


Рис. 66

счетному механизму M_1 . Обводят острием шпилья контур площади, последовательно попадая в точки $f_1, f_2, \dots$, с возвратом в начальную точку $f_0 (f_n)$, по счетному механизму берут конечный отсчет M_2 . Разность в отсчете $M_2 - M_1$ представляет собой величину площади, выраженную в делениях планиметра, для случая, когда его полюс расположен вне измеряемой площади; если полюс расположен внутри измеряемой площади, должна быть добавлена постоянная планиметра q .

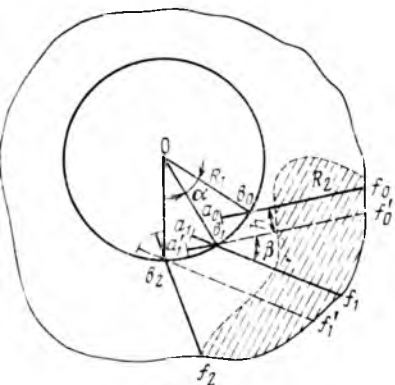


Рис. 67

Измерения выполняются двумя полуприемами, положение полюса между которыми изменяется. В каждом полуприеме измерения выполняются дважды, расхождения между ними не должны превы-

шать при площади до 200 делений 2 деления, при площади от 200 до 1000 делений — 3 деления, при площади от 1000 до 2000 делений — 4 деления, при площади больше 2000 делений — 5 делений. При допустимом расхождении за окончательное принимается среднее арифметическое. Точность определения площадей планиметром в зависимости от формы и размеров фигур характеризуется относительной погрешностью 1 : 200—1 : 400.

Теория полярного планиметра. Пусть необходимо определить площадь фигуры, изображенной на рис. 67. Предположим, что острое шпилья планиметра прошло по контуру площади расстояние от f_0 до f_1 , в соответствии с чем получено два положения рычагов планиметра Ob_0f_0 и Ob_1f_1 . Сложные перемещения рычагов можно разложить на следующие простые движения: 1) поворот полюсного рычага ($Ob_0=R_1$) вокруг полюса 0 на угол α ; 2) перемещение обводного рычага b_0f_0 параллельно самому себе в положение $b_1f'_0$; 3) поворот обводного рычага $b_0f_0=R_2$ вокруг точки b_1 на угол β . Это позволяет написать, что площадь фигуры $Ob_0f_0f'_0b_10$ равна сумме площадей:

$$\text{сектора } Ob_0b_1 = 0,5R_1\alpha R_1 = \alpha R_1^2/2;$$

$$\text{сектора } b_1f_1f'_0 = 0,5R_2\beta R_2 = \beta R_2^2/2,$$

при этом принимая перемещения рычага R_2 из положения f_0 в положение f_1 бесконечно близким площади параллелограмма $b_1b_0f_0f'_0 = R_2h$, где h — высота параллелограмма.

Таким образом, площадь фигуры равна

$$p_i = \frac{\alpha R_1^2}{2} + \frac{\beta R_2^2}{2} + R_2h. \quad (10.10)$$

Приспособлением, передающим движение планиметра на счетный механизм, является счетное колесико 9 на рис. 66. При перемещении рычага R_1 из положения b_0f_0 в положение $b_1f'_0$ счетное колесико переместится из положения a_0 в a'_1 , но так как оно расположено перпендикулярно к обводному рычагу, вращается оно только при его перемещении по направлению, перпендикулярному к b_0f_0 , и в результате зафиксируется расстояние, равное высоте параллелограмма h . При повороте обводного рычага вокруг точки b_1 на угол β счетное колесико переместится назад на дугу $a'_1a_1=r\beta$, где r — расстояние от обода счетного колесика до центра соединения полюсного и обводного рычагов. Таким образом, фактический путь, зафиксированный счетным колесиком, равен $h - r\beta$. Если обозначить через ω цену деления счетного колесика, а через m_0 и m_1 — отсчеты по планиметру, соответствующие положению рычагов Ob_0f_0 и Ob_1f_1 , то путь, проделанный колесиком, можно определить выражением $\omega (m_1 - m_0)$, откуда $h - r\beta = \omega (m_1 - m_0)$ или

$$h = \omega (m_1 - m_0) + r\beta. \quad (10.11)$$

Подставляя (10.11) в (10.10), получим

$$p_i = \frac{\alpha R_1^2}{2} + \frac{\beta R_2^2}{2} + R_2\omega (m_1 - m_0) + R_2r\beta. \quad (10.12)$$

Уравнение (10.12) представляет собой выражение для оценки элементарной площади, измеренной планиметром при двух бесконечно близких положениях рычагов планиметра. Очевидно, что площадь всей фигуры равна сумме элементарных площадей:

$$P = \sum_1^n p_i = \frac{\alpha R_1^2}{2} + \frac{\beta R_2^2}{2} + R_2 \beta r + R_2 \omega (m_1 - m_0) + \\ + \frac{\alpha_1 R_1^2}{2} + \frac{\beta_1 R_2^2}{2} + R_2 \beta_1 r + R_2 \omega (m_2 - m_1) + \dots$$

Приведенное выражение позволяет написать следующее равенство:

$$P = \frac{R_1^2}{2} \sum_1^n \alpha + \frac{R_2^2}{2} \sum_1^n \beta + R_2 r \sum_1^n \beta + R_2 \omega (m_n - m_0). \quad (10.13)$$

В формуле (10.13) m_n — конечный отсчет по планиметру.

Для случая, когда полюс планиметра расположен внутри измеряемой площади, после полного оборота обводного рычага, т. е. его возвращения в точку f_0 , полюсный рычаг R_1 опишет окружность вокруг полюса 0, а обводной рычаг опишет полный оборот вокруг подвижной точки b , что позволяет написать $\Sigma \alpha = \Sigma \beta = 2\pi$. Таким образом, формула (10.13) примет вид

$$P = (R_1^2 + R_2^2 + 2R_2 r) \pi + R_2 \omega (m_n - m_0). \quad (10.14)$$

Если обозначить $\pi(R_1^2 + R_2^2 + 2R_2 r) = q$; $R_2 \omega = c$, то (10.14) можно переписать следующим образом:

$$P = c(m_n - m_0) + q. \quad (10.15)$$

Формула (10.15) выведена для случая, когда полюс планиметра расположен внутри фигуры; в ней q является постоянной планиметра, c — ценой деления, зависящей от цены деления счетного колесика (ω) и радиуса обводного рычага (R_2).

Если полюс планиметра расположить за пределами фигуры, площадь которой измеряется (например, заштрихованная площадь на рис. 67), то нетрудно заметить, что в этом случае суммы углов α и β равны нулю, так как обводной и полюсный рычаги сначала перемещались в одном направлении (по часовой стрелке), затем в обратном, уменьшая постепенно накопленные суммы углов до нуля при возвращении обводного рычага в точку f_0 , откуда значение постоянной планиметра q при $\Sigma \alpha = 0$, $\Sigma \beta = 0$ обращается в ноль. Таким образом, для измерения площади, когда полюс планиметра находится за ее контуром, должна применяться формула

$$P = c(m_n - m_0). \quad (10.16)$$

Цена деления планиметра c выражает собой площадь в мм^2 на листе карты (плана), соответствующую одному делению планиметра. Для определения c чаще всего используют квадрат со стороной 100 мм. Обводят его планиметром при двух положениях по-

люса: полюс право (ПП) и полюс лево (ПЛ), при каждом положении полюса площадь измеряется дважды. Расхождение в разностях отсчетов не должно превышать 4 делений.

В геологии, горном деле, строительстве, сельском хозяйстве и т. д. площадь выражается в квадратных метрах или гектарах, поэтому для определения цены деления планиметра площадь квадрата выражается в масштабе плана:

$$c = P/m, \quad (10.17)$$

где P — площадь квадрата, m^2 (га); m — число делений планиметра.

Например, была определена цена деления планиметра обводом двух квадратов сетки координат при двух положениях полюса плана масштаба 1:5000. В каждом положении выполнялось два обвода, их результаты приведены в табл. 13.

Таблица 13

Планиметр 1071		Отсчет по рычагу 159,8	
Отсчеты по счетному меха- низму	Разность отсчетов	Отсчеты по счетному ме- ханизму	Разность отсчетов
Полюс право		Полюс лево	
1885	2090	8223	2089
3675	2090	0312	2091
6065		2403	

Среднее из разностей отсчетов 2090

Цена деления планиметра

$$c = 500\,000 \text{ м}^2 / 2090 = 239,2 \text{ м}^2/\text{дел}$$

Постоянная величина планиметра q вычисляется по формуле $q = \pi(R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2r)$ или может быть определена опытным путем, для чего некоторая площадь измеряется с положением полюса внутри площади и вне ее. Пусть в первом случае получена разность отсчетов $m_2 - m_1$, во втором $m'_2 - m'_1$. Измеряемая площадь выразится дважды:

$$P = c(m_2 - m_1) + q$$

и

$$P = c(m'_2 - m'_1),$$

откуда

$$q = c(m'_2 - m'_1) - c(m_2 - m_1). \quad (10.18)$$

Планиметр ПП-2К. Планиметр ПП-2К (рис. 66, б) представляет собой полярный планиметр, имеющий, помимо основного, дополнительный счетный механизм 1 и вместо обводного шпилья обводное стекло 3 с обводной точкой 2, выгравированной на нижней поверхности стекла.

Планиметр ПП-2К за счет второго счетного механизма позволяет в два раза снизить число обводов контуров измеренных фигур, что позволяет уменьшить количество непроизводительного труда и за счет обводного стекла с обводной точкой повысить точность обвода, следовательно, измерения площади.

В связи с тем что цена деления планиметра зависит от длины обводного рычага и радиуса счетного колесика, при равных диаметрах счетных колесиков обоих счетных механизмов их цена деления должна быть одинаковой. Однако из-за того, что диаметры колесиков иногда незначительно различаются, цены делений иногда немного не совпадают. При обводе фигуры в таких случаях цена деления планиметра принимается как среднее арифметическое для обоих счетных механизмов.

В целях повышения точности работы планиметра необходимо, чтобы расстояние от точки соединения обводного и полюсного рычагов до плоскостей счетных колесиков было одинаковым.

Проверки и юстировка планиметра. Планиметр должен удовлетворять следующим условиям.

1. Счетное колесико должно свободно вращаться на оси. Вращение колесика может тормозиться из-за того, что оно слишком плотно прижато к верньеру. Для проверки этого условия колесико приводится в движение пальцем. Оно должно вращаться 3—4 с. Если условие не выполнено, то регулировка производится винтами *A* и *B* (см. рис. 66), но предварительно следует отпустить стопорные винты *C* и *D*.

2. Направление штрихов на счетном колесике должно быть параллельно оси обводного рычага. Для проверки этого условия некоторая фигура обводится при положениях полюса ПП и ПЛ. Если при обводах окажется, что количество отсчетов ПП и ПЛ не отличается более чем на 3 деления, то условие считается выполненным. В противном случае при помощи исправительного винта *12* (см. рис. 66, *a*) следует повернуть ось вращения счетного колесика относительно оси обводного рычага. Как правило, исправления достигают после нескольких приемов.

Глава 11

НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 74. Общие сведения

Под нивелированием понимают вертикальную съемку, в результате которой определяют превышение одних точек местности над другими. По высотам исходных точек и превышениям вычисляют искомые высоты точек.

В зависимости от применяемых приборов и методов различают следующие виды нивелирования:

1) геометрическое, выполняемое при помощи горизонтального луча визирования;

2) тригонометрическое (геодезическое), выполняемое наклонным лучом визирования;

3) барометрическое, основанное на свойстве атмосферного давления менять свою величину в зависимости от высоты точки над уровнем моря;

4) механическое, выполняемое приборами, автоматически вычерчивающими профиль местности;

5) гидростатическое, основанное на использовании свойств уровней жидкости в сообщающихся сосудах;

6) аэрорадионивелирование, выполняемое с самолетов или вертолетов;

7) стереофотограмметрическое, осуществляемое по стереоскопическим парам фотографических снимков.

Из перечисленных способов ниже рассматривается геометрическое нивелирование.

§ 75. Сущность геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование выполняют с помощью приборов (нивелиров), создающих горизонтальную визирную ось, и нивелирных реек.

Главными частями нивелира являются зрительная труба и цилиндрический уровень или компенсатор, при помощи которых визирную ось зрительной трубы устанавливают в горизонтальное положение.

Нивелирные рейки представляют собой деревянные бруски, на которые нанесены обычно сантиметровые деления с подписями, возрастающими от нижнего конца рейки к верхнему. Нижний срез рейки («пятка») соответствует нулевому штриху.

Сущность геометрического нивелирования заключается в определении превышения одной точки местности над другой непосредственно из отсчетов по отвесно установленным рейкам, взятых в местах пересечения реек горизонтальным визирным лучом.

Различают два метода геометрического нивелирования: нивелирование из середины и нивелирование вперед.

При нивелировании из середины (рис. 68, а) в точках *A* и *B* устанавливают отвесно рейки, а на одинаковых расстояниях от них — нивелир. Направляют горизонтально визирную ось нивелира поочередно на обе рейки и берут по ним отсчеты. Если точку *A* считать задней, а точку *B* передней, соответственно отсчет по задней рейке обозначить *a*, по передней — *b*, то превышение будет

$$h = a - b. \quad (11.1)$$

Таким образом, при нивелировании из середины превышение передней точки над задней равно «отсчету назад» минус «отсчет вперед».

Если передняя точка расположена выше задней, то превышение положительно, если передняя точка ниже задней, то превышение отрицательно.

При нивелировании вперед (рис. 68, б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился на одной отвесной линии с точкой A , а в точке B отвесно устанавливают рейку. Визирную ось нивелира приводят в горизонтальное положение, измеряют при помощи рулетки или рейки высоту нивелира v , т. е.

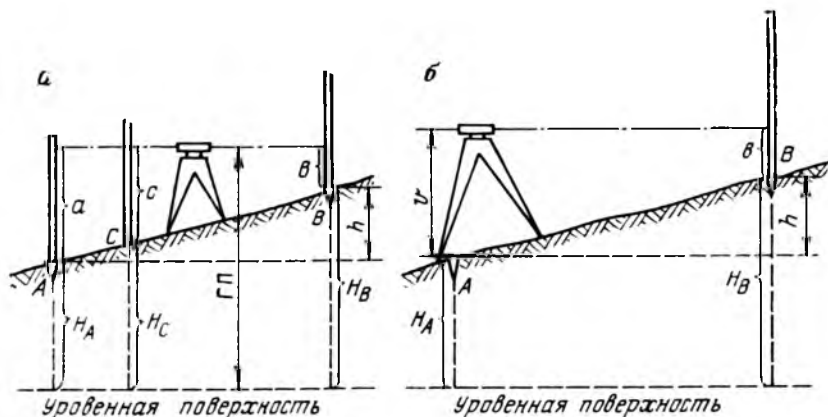


Рис. 68

расстояние от центра окуляра до точки A , и берут отсчет b по передней рейке. Превышение определяется из выражения

$$h = v - b, \quad (11.2)$$

т. е. превышение между двумя точками при нивелировании вперед равно высоте прибора минус отсчет по рейке. Зная высоту одной из точек, например точки A (см. рис. 68), и превышение между точками A и B , можно вычислить высоту точки B по формуле

$$H_B = H_A + h, \quad (11.3)$$

т. е. высота последующей точки равна высоте предыдущей плюс превышение между ними.

§ 76. Горизонт прибора

Высоты точек могут быть также получены через горизонт прибора, т. е. отвесное расстояние от исходной уровенной поверхности до визирной оси нивелира.

На рис. 68, а видно, что горизонт прибора равен высоте точки плюс отсчет по рейке, установленной на этой точке, т. е.

$$\text{ГП} = H_A + a \quad \text{или} \quad \text{ГП} = H_B + b. \quad (11.4)$$

Если установить в какой-либо точке рейку, например в точке C , взять по ней отсчет c , то высота точки C

$$H_C = \text{ГП} - c, \quad (11.5)$$

т. е. высота точки равна горизонту прибора минус отсчет по рейке, установленной на этой точке.

Вычисляют высоты точек с использованием горизонта прибора в тех случаях, когда с одной станции (установки нивелира) необходимо получить высоты нескольких точек.

§ 77. Связующие и промежуточные точки

Нивелирование с одной станции возможно выполнить в том случае, если нивелируемые точки находятся одна от другой на близком расстоянии (100—200 м) и превышение между ними небольшое.

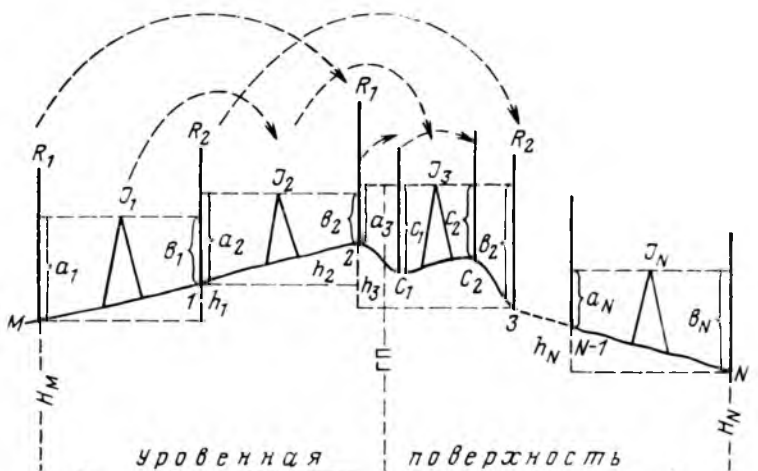


Рис. 69

Часто для определения превышения между двумя точками, расположенными на значительном расстоянии одна от другой, приходится вести последовательное нивелирование с ряда станций $J_1, J_2, \dots, J_N$ (рис. 69), образующих нивелирный ход.

После того как на первой станции J_1 взяты отсчеты по задней рейке a_1 и передней рейке b_1 и получено превышение h_1 , заднюю рейку R_2 из начальной точки M переносят в точку 2, рейку R_2 оставляют в точке 1, а нивелир устанавливают на второй станции J_2 , с которой берут отсчеты по рейкам a_2, b_2 . В том же порядке продолжают нивелирование со следующих станций вплоть до конечной точки N (на рис. 69 стрелками указан порядок переноса нивелира и реек с одной точки на другую). Отметим, что точка 1

при нивелировании со станции J_1 является передней, а при нивелировании со станции J_2 — задней. Также точка 2 при нивелировании со станции J_2 является передней, а со станции J_3 — задней. Точки, общие для двух смежных станций, называются связующими.

Если между связующими точками окажутся характерные точки, высоты которых необходимо определить (например, точки C_1 , C_2 , рис. 69), то такие точки называют промежуточными, и их нивелируют на станции после связующих точек. Для этого при переносе задней рейки на переднюю точку последующей станции ее устанавливают на промежуточных точках и по ней берут отсчеты.

Рис. 69 показывает, что превышения между связующими точками на станциях $J_1, J_2, \dots, J_N$ соответственно равны

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1; \\ h_2 &= a_2 - b_2; \\ &\dots \dots \dots \\ h_N &= a_N - b_N. \end{aligned}$$

Сложив превышения отдельных станций, получим превышение конечной точки хода над начальной

$$h = \sum_1^n h_i = \sum_1^n a_i - \sum_1^n b_i, \quad (11.6)$$

т. е. превышение конечной точки хода над начальной равно алгебраической сумме превышений всех станций или сумме всех отсчетов по задней рейке минус сумма всех отсчетов по передней рейке.

Высоты связующих точек хода вычисляют последовательно по известной высоте начальной точки и по превышениям станций

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H_M + h_1; \\ H_2 &= H_1 + h_2; \\ &\dots \dots \dots \\ H_N &= H_{N-1} + h_N. \end{aligned} \right\} \quad (11.7)$$

Высоту конечной точки можно вычислить сразу по сумме превышений хода

$$H_N = H_M + \sum_1^n h_i \quad \text{или} \quad H_N = H_M + \sum_1^n a_i - \sum_1^n b_i. \quad (11.8)$$

После определения высот связующих точек вычисляют с использованием горизонта прибора высоты промежуточных точек. На станции J_3 (см. рис. 69) $\text{ГП} = H_2 + a_3$, высоты точек C_1 и C_2 соответственно $H_{C_1} = \text{ГП} - c_1$ и $H_{C_2} = \text{ГП} - c_2$. Горизонт прибора при этом должен вычисляться по задней точке.

§ 78. Погрешность геометрического нивелирования

Отметка конечного пункта геометрического нивелирования, если известна отметка начального пункта, определяется по формуле

$$H_k = H_n + \sum h_i,$$

где H_k — отметка конечного пункта; H_n — отметка начального пункта; $\sum h_i$ — сумма превышений хода, полученных, как правило, при нивелировании из середины.

Каждое из превышений определяется как разность отсчетов по рейкам, т. е. $h_i = a_i - b_i$.

Определим среднюю квадратическую погрешность определения суммы превышений.

Обозначим средние квадратические погрешности превышения через $m_1, m_2, \dots, m_n$. В связи с тем что при нивелировании расстояния между связующими точками хода практически равны, работа выполняется одним прибором, и в одних и тех же условиях погрешности определения превышений можно считать равными:

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_n = m.$$

Таким образом, средняя квадратическая погрешность суммы превышений равна $m^2_x = nm^2$.

Преобладающее влияние на погрешность определения превышения оказывают погрешности отсчетов по двум рейкам, таким образом,

$$m^2 = m_o^2 + m_o^2 = 2m_o^2,$$

где m_o — средняя квадратическая погрешность отсчитывания.

Погрешность отсчитывания обусловлена двумя причинами — погрешностью визирования и погрешностью установки уровня.

Погрешность отсчитывания, возникающая за счет погрешности визирования, рекомендуется определять из выражения

$$m_v = \frac{60''}{\Gamma \rho''} l, \quad (11.9)$$

где Γ — увеличение трубы; l — расстояние визирования (до рейки), м; $\rho'' = 206\,000''$.

Точность установки уровня принимается равной $0,15\mu''$ (здесь μ — цена деления уровня). Погрешность отсчитывания из-за неточной установки уровня, таким образом, определится из выражения

$$m_\mu = \frac{0,15\mu''}{\rho''} l. \quad (11.10)$$

Общая же погрешность отсчитывания равна

$$m_o = \sqrt{m_v^2 + m_\mu^2}.$$

Например, средняя квадратическая погрешность отсчета по рейкам, если увеличение трубы $\Gamma = 20\times$, расстояние до рейки 50 м, $\mu'' = 20''$, равна

$$m_0 = \sqrt{m_v^2 + m_h^2} = 1,0 \text{ мм.}$$

Откуда средняя квадратическая погрешность превышения, определяемого нивелированием из середины, когда расстояние от нивелира до рейки 50 м,

$$m = \sqrt{m_0^2 + m_0^2} = 1,4 \text{ мм.}$$

Таким образом, по приведенным выше формулам можно пред-
рассчитать среднюю квадратическую погрешность нивелирования
при заданных характеристиках прибора или, наоборот, исходя из
необходимой точности, выбрать прибор и методику работ, кото-
рые обеспечат требуемую точность.

§ 79. Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования

При рассмотрении методов геометрического нивелирования из середины и вперед за уровенные поверхности были приняты горизонтальные плоскости, а за лучи визирования — прямые линии. В действительности необходимо учитывать кривизну уровенной поверхности и рефракцию визирного луча.

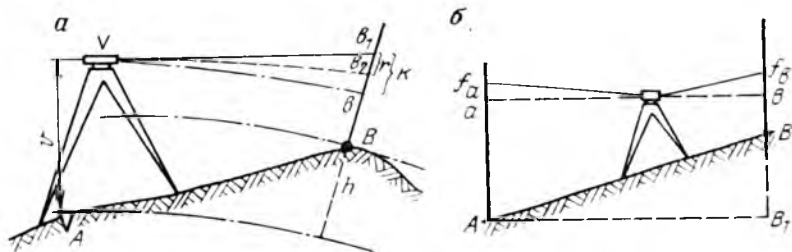


Рис. 70

При условии совпадения визирного луча Vb с кривой, параллельной уровенной поверхности, отсчет по рейке равен b (рис. 70, a). Если бы визирный луч шел по касательной в точке V к этой кривой, то отсчет по рейке был бы равен b_1 . Поскольку визирный луч проходит через атмосферу, плотность которой различна, он искривляется. Это явление называют рефракцией, а траекторию луча — рефракционной кривой. Пусть отсчет по рейке, соответствующей такому лучу, равен b_2 . Из рис. 70 видно, что превышение h определяется как

$$h = v - b = v - (b_2 + r - k), \quad (11.11)$$

где k — поправка за кривизну Земли; r — поправка за рефракцию.

Обозначив

$$k - r = f, \quad (11.12)$$

где f — поправка за кривизну Земли и рефракцию, получим

$$h = v - b_2 + f. \quad (11.13)$$

Согласно § 8 поправка за кривизну Земли вычисляется по формуле (2.2)

$$\Delta h = k = s^2/2R,$$

где R — средний радиус Земли; s — расстояние от нивелира до рейки.

Поправку за рефракцию вычисляют по формуле

$$r = s^2/2R_1, \quad (11.14)$$

где R_1 — радиус рефракционной кривой.

Считают, что $R_1 = 6R$. Тогда

$$r = s^2/12R = k/6. \quad (11.15)$$

Общая поправка за кривизну Земли и рефракцию будет

$$f = k - k/6 = 0,42s^2/R. \quad (11.16)$$

При геометрическом нивелировании длину визирного луча в зависимости от класса нивелирования ограничивают 50—150 м. В таком случае поправка за кривизну Земли и рефракцию в отсчет по рейке соответственно равна 0,3 и 1,7 мм.

Пусть при нивелировании методом из середины визирная ось горизонтальная и отсчеты по рейкам будут a и b (рис. 70, б). Если же визирная ось отклонится от горизонтального положения вследствие кривизны Земли и рефракции, то отсчеты по рейкам будут $a + f_a$ и $b + f_b$. Тогда превышение

$$h = (a + f_a) - (b + f_b) = (a - b) + (f_a - f_b). \quad (11.17)$$

При равенстве расстояний от нивелира до реек, т. е. $f_a = f_b$, поправка в превышение исключается. Это одно из основных преимуществ нивелирования методом из середины перед нивелированием методом вперед.

§ 80. Нивелиры

Существующим стандартом (ГОСТ 10528—76) по точности нивелиры подразделяются на следующие типы.

Н-05 — высокоточный нивелир для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 0,5 мм на 1 км двойного хода. Применяется преимущественно при нивелировании I и II классов в государственных геодезических сетях.

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

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

По способу установки визирной оси в горизонтальное положение современные нивелиры всех типов выпускаются двух исполнений: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. У нивелиров с компенсаторами к шифру добавляется буква К, например, Н-10К по ГОСТ 10528—76. Нивелиры типа Н-3, Н-10 могут выпускаться с лимбом для измерения горизонтальных углов, в этом случае к шифру добавляется буква Л, например Н-10КЛ по ГОСТ 10528—76.

§ 81. Нивелиры с уровнем при зрительной трубе

Нивелир Н-3. Нивелир (рис. 71, а) предназначен для нивелирования III и IV классов, но его применяют и при техническом нивелировании. Основными частями нивелира являются зрительная труба 13 с прикрепленным к ней цилиндрическим уровнем, опор-

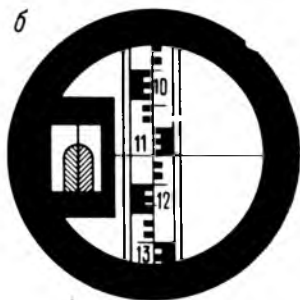


Рис. 71

ная площадка 10 с осью, подставка 7 с подъемными винтами 6 и пружинящая пластинка 5 с отверстием и резьбой для станкового винта.

Цилиндрический уровень с ценой деления 15'' расположен в коробке 1 вместе с призматическим устройством, при помощи которого изображение концов пузырька уровня в виде двух его половинок передается в поле зрения трубы (рис. 71, б). Точное приведение визирной оси трубки в горизонтальное положение выполняется элевационным винтом 9 и заключается в совмещении изображений концов пузырька уровня. Цилиндрический уровень имеет четыре юстировочных винта, закрытых крышкой.

Круглый уровень 8, предназначенный для приближенной установки вертикальной оси нивелира в отвесное положение, снабжен

тремя юстировочными винтами. Грубое перемещение зрительной трубы нивелира в горизонтальном положении производится от руки при открепленном зажимном винте 3, а точное — наводящим винтом 4 при закрепленном зажимном винте. Резкого изображения сетки нитей добиваются вращением диоптрийного кольца окуляра 12; резкого изображения рейки — вращением маховичка 11 фокусирующего устройства. Грубая наводка трубы на рейку производится по мушке 2.

Нивелир Н-10Л. Нивелир Н-10Л является малогабаритным прибором, предназначенным для технического нивелирования.

Увеличение зрительной трубы $23\times$, цена деления цилиндрического уровня (на 2 мм) $45''$, круглого — $10'$, коэффициент дальности $100 \pm 1\%$, цена деления лимба 1° .

Нивелир состоит из вращающейся части со зрительной трубой цилиндрического уровня с системой призм круглого уровня, элевационного винта для точного приведения визирной оси в горизонтальное положение и неподвижной части с горизонтальным кругом, закрепляемой непосредственно на шаровой головке штатива.

Система призм передает изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы, перед отсчетом по рейке их совмещают элевационным винтом.

Сетка нитей имеет один вертикальный и три горизонтальных штриха, из которых два крайних (коротких) служат для определения расстояний. Вращением диоптрийного кольца окуляра получают резкое изображение сетки, а фокусирование изображения рейки выполняют вращением головки.

При установке нивелира на станции его закрепляют на шаровой головке штатива так, чтобы пузырек круглого уровня был в середине.

При измерении горизонтальных углов штатив устанавливают над центром при помощи отвеса. Отсчеты по лимбу берут по индексу, расположенному в окне.

§ 82. Поверки нивелиров с уровнем при зрительной трубе

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Вращением подъемных винтов приводят пузырек уровня на середину (в нивелире Н-10Л с помощью шаровой головки штатива). Верхнюю часть нивелира поворачивают на 180° . Если пузырек не сместился, то условие выполнено. В противном случае юстировочными винтами уровня перемещают его к нуль-пункту на половину дуги отклонения, затем подъемными винтами (в нивелире Н-10Л установкой шаровой головки штатива) приводят на середину. Поверку и юстировку повторяют.

Вертикальный штрих сетки должен быть параллелен оси вращения нивелира, а горизонтальный — перпендикулярен к этой оси. Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение. Наводят вертикальную нить сетки на шнур отвеса, расположенного на расстоянии 20—25 м от нивелира. Если вертикальный штрих сетки

не совпадает со шнуром отвеса, условие не выполнено. В таком случае снимают окулярную часть трубы. При этом открывается оправа с сеткой. Оправа привинчена тремя винтами. Отпускают верхний и нижний винты на целый оборот, а средний — на четверть оборота. Затем поворачивают пластинку в нужную сторону. Надевают окулярную часть трубы и проверяют положение верти-

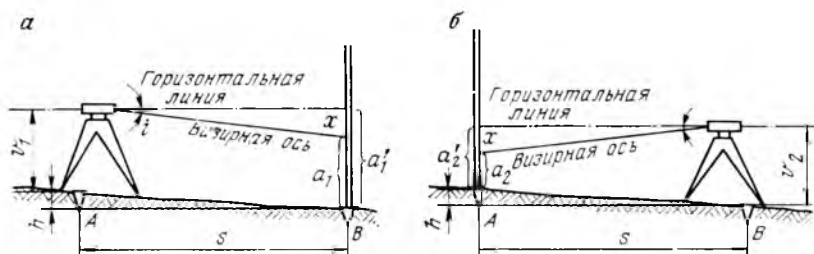


Рис. 72

кальной нити. После ее установки закрепляют средний, а затем верхний и нижний винты оправы сетки, а также окулярную часть трубы.

Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня. Это главное условие нивелира. Проверку выполняют двойным нивелированием методом «вперед» точек A и B , расположенных на расстоянии 50—75 м одна от другой и закрепляемых колышками или кольями. Над одной из точек, например B , ставят рейку, а над другой (точкой A) устанавливают нивелир (рис. 72, а). При горизонтальном положении оси уровня берут отсчет a_1 по рейке, установленной в точке B , и измеряют высоту прибора v_1 . Затем нивелир и рейку меняют местами и снова берут отсчет a_2 по рейке и измеряют высоту прибора v_2 (рис. 72, б) при его втором положении.

Если визирная ось не параллельна оси уровня и составляет с ней угол i , то при горизонтальном положении оси уровня и наклонной оси отсчеты по рейке будут содержать некоторую погрешность x , таким образом, правильные отсчеты будут

$$a_1' = a_1 + x; \quad a_2' = a_2 + x. \quad (11.18)$$

Обозначив превышение точки B над точкой A через h , из рис. 72 получим

$$h = v_1 - a_1' = v_1 - a_1 + x \quad (11.19)$$

и

$$h = a_2' - v_2 = a_2 + x - v_2, \quad (11.20)$$

откуда

$$x = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2}. \quad (11.21)$$

В зависимости от взаимного положения в пространстве визирной оси зрительной трубы и оси уровня погрешность x может иметь положительное или отрицательное значение.

Непараллельность осей характеризуется углом i , величину которого определяют по формуле

$$i = \frac{[(v_1 + v_2) - (a_1 + a_2)] \rho''}{2s}, \quad (11.22)$$

где $\rho'' = 206\,265''$, s — расстояние между точками A и B , мм. Определяют угол i не менее трех раз, расхождение между отдельными его значениями не должно превышать $5''$. За окончательное значение принимают среднее арифметическое из всех измерений.

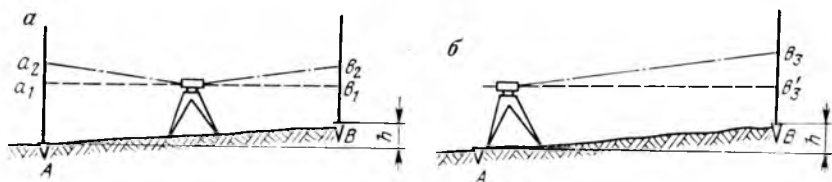


Рис. 73

Если значение угла i получилось более $10''$, то исправляют непараллельность осей следующим образом. Горизонтальную нить сетки элевационным винтом устанавливают на отсчет

$$a_2 + s_1/\rho'' \quad (11.23)$$

по рейке, установленной в точке A , или на отсчет

$$a_1 + s_1/\rho'' \quad (11.24)$$

по рейке, установленной в точке B . Затем, действуя юстировочными винтами уровня, совмещают изображение концов пузырька уровня.

Эту же проверку для нивелира Н-10 можно выполнить нивелированием тех же точек A и B из середины и вперед.

На равных расстояниях от точек устанавливают нивелир, в точках A и B ставят рейки и берут отсчеты a и b (рис. 73, а). Если визирная ось параллельна оси уровня, то $h_1 = a_1 - b_1$, в противном случае $h_2 = a_2 - b_2$. При равных расстояниях от нивелира до реек $a_2 a_1 = b_2 b_1$, следовательно, $h_1 = h_2 = h$, т. е. в этом случае, независимо от выполнения условия, получают верное превышение h . Для повышения точности превышение h определяют два-три раза, меняя горизонт прибора, и за окончательное принимают среднее значение $h_{\text{ср}}$.

Затем эти же точки нивелируют методом вперед, для чего нивелир устанавливают над одной из точек, например, точкой A (рис. 73, б). В этом случае превышение вычисляется из выражения

$$h_2 = v - b_3, \quad (11.25)$$

где v — высота нивелира; b_3 — отсчет по рейке, установленной в точке B .

Если разность между превышениями, полученными при нивелировании из середины и вперед, меньше 4 мм ($x \leq 4$ мм), то условие параллельности визирной оси зрительной трубы и цилиндрического уровня выполнено. В противном случае, используя правильное превышение ($h_{\text{ср}}$), полученное методом из середины, и высоту нивелира v , вычисляют правильный отсчет по рейке, установленной в точке B , по формуле

$$b_3' = v - h_{\text{ср}}, \quad (11.26)$$

после чего исправляют непараллельность визирной оси и оси уровня способом, описанным выше.

§ 83. Нивелиры с компенсатором угла наклона

Нивелиры с цилиндрическими уровнями требуют тщательной установки по уровню при работе с ними и постоянного контроля положения пузырька уровня при взятии отсчетов. Этого недостатка лишены так называемые авторедукционные нивелиры, у которых линия визирования автоматически устанавливается в горизонтальное положение с помощью специальных компенсаторов, которые подразделяются на механические, оптические и оптико-механические.

Рассмотрим используемые схемы стабилизации визирной линии компенсаторами в современных нивелирах. Представим положение, когда визирная линия находится в горизонтальном положении (рис. 74, а). В таком положении визирной оси zz_1 отсчет по рейке будет правильным. Пусть визирная ось зрительной трубы не горизонтальна, а составляет с горизонтальной плоскостью угол ϵ (рис. 74, б). В этом случае центр сетки нитей сместится с горизонтальной линии и будет занимать положение z_1' . Так как сетка нитей обычно располагается в заднем фокусе объектива, величину смещения ее центра zz_1' можно выразить следующим образом: $z_1z_1' \leq \text{tg } \epsilon$ или, считая угол ϵ малым по величине, $z_1z_1' \sim f\epsilon$. Для того чтобы при наклонном положении визирной линии был сделан правильный отсчет, центр сетки нитей должен быть каким-либо образом помещен на горизонтальной линии и находиться в точке z_1 . Выполнение этой операции производится с помощью компенсаторов.

1. Перемещение сетки нитей из точки z_1' в точку z_1 на величину компенсации $f\epsilon$ передвижением сетки нитей рычагом Pz_1' , вращающимся вокруг точки P , на угол поворота ϵ_1 (рис. 74, в).

2. Смещение изображения рейки (рис. 74, г) таким образом, чтобы правильный отсчет совместился с центром сетки нитей (компенсирование с поворотом визирного луча на угол ϵ_1).

3. Перемещение визирного луча параллельно своему направлению таким образом, чтобы он прошел через центр сетки нитей (рис. 74, д).

В соответствии с представленными на рис. 74 схемами компенсирования для первого и второго случаев рычаг или оптическая

система, помещаемые в точке P для компенсации угла наклона, должны удовлетворять условию $f\varepsilon = s\varepsilon_1$, в третьем случае $f = ks$, где ε_1 — угол отклонения луча компенсатором; s — расстояние от компенсатора до сетки нитей или длина хода лучей визирования от точки падения его на оптическую систему (призма, зеркало) компенсатора до сетки нитей; k — коэффициент компенсации, обозначаемый $k = \varepsilon_1/\varepsilon$.

В современных нивелирах компенсаторы работают в пределах от ± 6 до $\pm 40'$.

Нивелир Н-10КЛ. Нивелир Н-10КЛ (рис. 75, а) является прибором с самоустанавливающейся линией визирования и предназначен для выполнения технического нивелирования со средней квадратической погрешностью 8—10 мм на 1 км одиарного хода.

Зрительная труба нивелира 1, 4 прямого изображения заключена в термоизоляционный кожух. Нивелир имеет горизонтальный круг 3, цена делений лимба которого 1° . Отсчет по индексу может производиться с погрешностью $0,1^\circ$. Нивелир не имеет наводящего винта, зрительная труба наводится на предмет вращением прибора рукой, фокусировка трубы осуществляется головкой 2.

Предварительная установка нивелира (горизонтирование) осуществляется по круглому уровню 5 с ценой деления $10'$. Для исправления положения визирной оси применены юстировочные винты сетки нитей. Отклонение нитей сетки от вертикального или горизонтального положения исправляется поворотом всей окулярной части и после ослабления закрепительных винтов.

Призмный компенсатор нивелира обеспечивает установку визирной оси в горизонтальном положении при наклонах подставки в пределах $\pm 15'$. Особенность оптической схемы нивелира заключается в следующем.

Луч света, пройдя объектив 6, попадает на отражающие грани большой пентапризмы 7, изменяет направление на 90° , после чего поступает на чувствительный элемент компенсатора (рис. 75, б). После двукратного отражения в призме луч попадает в малую пентапризму 8, которая, изменив его направление еще раз на 90° , направляет луч в систему линз окуляра 10. Пентапризмы укреплены неподвижно, прямоугольная призма, заключенная в подвижную рамку, подвешена на двух подшипниках. Место подвески

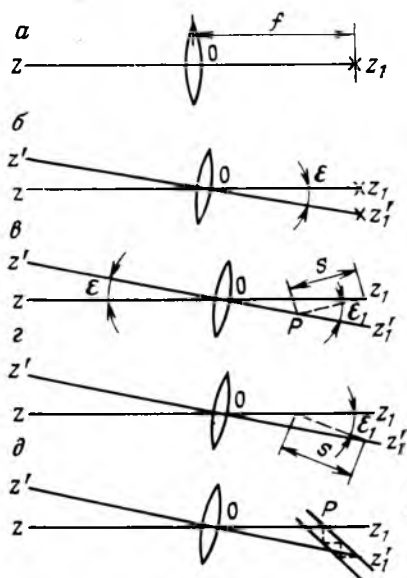


Рис. 74

прямоугольной призмы выбрано так, чтобы расстояние от главной задней плоскости до прямоугольной призмы было равно оптическому расстоянию от этой призмы до сетки нитей 9. В этом случае коэффициент углового увеличения компенсатора $k = \beta/\alpha = 2$. Здесь α — угол наклона зрительной трубы, β — угол отклонения визирного луча компенсатора.

Фокусировка зрительной трубы осуществляется перемещением призмы 11 в вертикальной плоскости в специальных салазках при помощи головки 2 фокусирующего устройства нивелира.

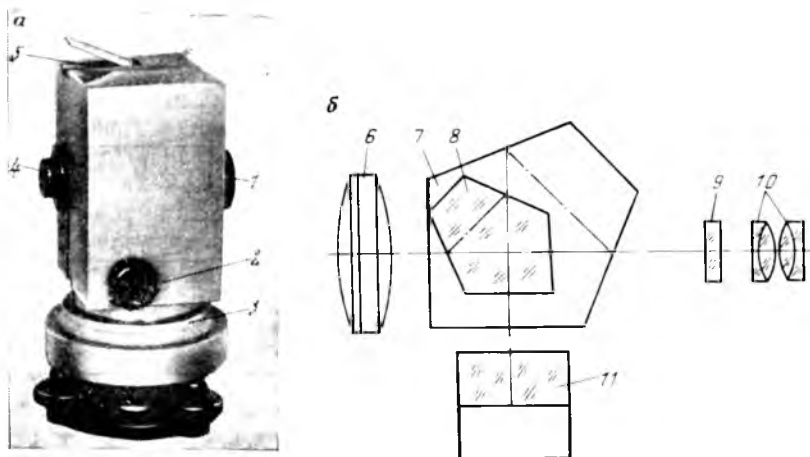


Рис. 75

Нивелир Н-3К предназначен для производства нивелирования IV класса, а также для технического нивелирования. Он обеспечивает передачу отметок со средней квадратической погрешностью ± 3 мм на 1 км хода. На станциях при расстояниях до реек от нивелира 100 м определение превышения производится со средней квадратической погрешностью ± 3 мм.

Нивелир снабжен оптическим (призменным) компенсатором, диапазон работы которого $\pm 15'$, точность автоматической установки линии визирования в горизонтальное положение $\pm 0,4''$. Для грубого приведения оси вращения прибора в вертикальное положение нивелир снабжен круглым уровнем, цена деления которого $10'$.

Нивелир Н-3К снабжен горизонтальным кругом, отсчеты по которому производятся с помощью шкалового микроскопа. Использование в нивелире горизонтального круга позволяет применить его для разбивочных работ и тахеометрической съемки на равнинной местности.

Сетка нитей имеет юстировочные винты.

§ 84. Поверки нивелиров с самоустанавливающимися линиями визирования

Проверка установочного уровня. Ось установочного (круглого) уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения нивелира.

Уровень устанавливается между двумя подъемными винтами, и их вращением пузырек уровня приводится в середину. Верхняя часть нивелира поворачивается на 180° . Если пузырек отклонился от центра, то на половину дуги отклонения его перемещают назад

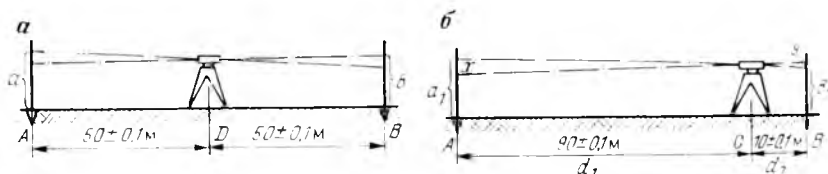


Рис. 76

при помощи юстировочных винтов уровня. После этого подъемными винтами нивелира пузырек приводится в центр ампулы.

После выполнения операции верхнюю часть нивелира поворачивают на 90° , пузырек при этом не должен сходить с центра, в противном случае проверка повторяется.

Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярной к вертикальной оси вращения нивелира. Проверка и исправление выполняются так же, как у нивелиров с уровнем при зрительной трубе.

Линия визирования должна быть горизонтальной при наклонах оси вращения прибора в пределах допустимых углов работы компенсатора. В двух точках A и B (рис. 76, а), расположенных на расстоянии $100 \pm 0,2$ м друг от друга, забиваются колышки. Посередине в точке D устанавливается нивелир. Не меняя горизонт прибора, не менее трех раз определяют превышение между точками A и B. Вычисляется среднее значение превышения $h_1 = a - b$, которое лишено всех инструментальных ошибок. После этого прибор переносится в точку C (рис. 76, б), из которой между точками A и B вторично определяется превышение h_2 . Если разность в полученных превышениях больше 2 мм, т. е. $h_1 - h_2 > 2$ мм, необходимо исправить визирную ось, предварительно определив поправку.

Для выполнения юстировки нивелир наводится на дальнюю рейку и исправительными винтами сетки нитей горизонтальный штрих сетки нитей наводится на отсчет, лишенный погрешности.

Определение ошибки недокомпенсации. В полевых условиях измеряют превышение при длине плеча 5, 25, 50 и 100 м, т. е. расстояния между рейками 10, 50, 100 и 200 м. Нивелир во время

измерений должен устанавливаться в центре нивелируемых расстояний; неравенство расстояний от нивелира до реек не должно превышать 1 м.

Поочередно измеряются превышения между точками при отсутствии наклона оси нивелира и при ее наклоне в продольном и поперечном направлении на угол, соответствующий номинальному значению диапазона работы компенсатора v . Измерения на станции проводятся при нескольких положениях пузырька. Для каждого расстояния выполняется не менее 5 приемов.

Систематическая погрешность компенсации на одну минуту наклона оси нивелира вычисляется по формуле

$$\sigma_k = \frac{(h_v - h_0) \rho''}{2sv},$$

где h_v — среднее превышение, полученное при наклоне нивелира на номинальный угол работы компенсатора; h_0 — среднее превышение, полученное при отсутствии наклона оси нивелира; s — длина луча визирования, мм; $\rho'' = 206\,265''$; v — угол наклона нивелира.

При величине $\sigma_k > 0,5''$ необходимо устранение погрешности, которое производится в заводских условиях.

§ 85. Нивелирные рейки

Согласно ГОСТ 11158—76 при техническом нивелировании применяют рейки типа РН-10 — двусторонние шашечные. Рейки выпускаются комплектами, включающими две штуки.

Нивелирные рейки представляют собой бруски из выдержанной древесины толщиной 2 см, шириной 8 см и длиной 1,5 или 3 м. В поперечном сечении рейкам придают двутавровую форму, чем обеспечивают необходимую прочность. Концы реек оковываются металлическими пластинками, что сохраняет рейку от преждевременного изнашивания.

Рейки бывают цельные и складные (рис. 77, I, II). Цельные рейки изготовляют длиной 3 м. Складные рейки составляют из двух брусков по 1,5 или 2 м и соединяют между собой шарниром и скрепляют винтом. Цельные рейки более надежны, чем складные, но последние получили наиболее широкое применение ввиду их удобной транспортировки. Рейки бывают односторонние и двусторонние (рис. 77, II). Наибольшее распространение в практике нивелирных работ получили двусторонние рейки. Лицевые стороны рейки окрашивают белой краской и наносят сантиметровые шашечные деления, с одной стороны черные (черная сторона), с другой — красные (красная сторона).

На черных сторонах каждой пары реек пулевой отсчет совпадает с их пятками. Деления на красных сторонах реек сдвинуты относительно делений на черных сторонах, так что с пяткой одной

рейки совпадает, например, отсчет 4687 мм, с пяткой другой — 4787 мм, т. е. отсчеты по красным сторонам пары реек различаются на 100 мм. Сдвиг делений позволяет контролировать правильность отсчетов по обеим сторонам каждой рейки (разность отсчетов должна быть равна 4687 или 4787), а также правильность

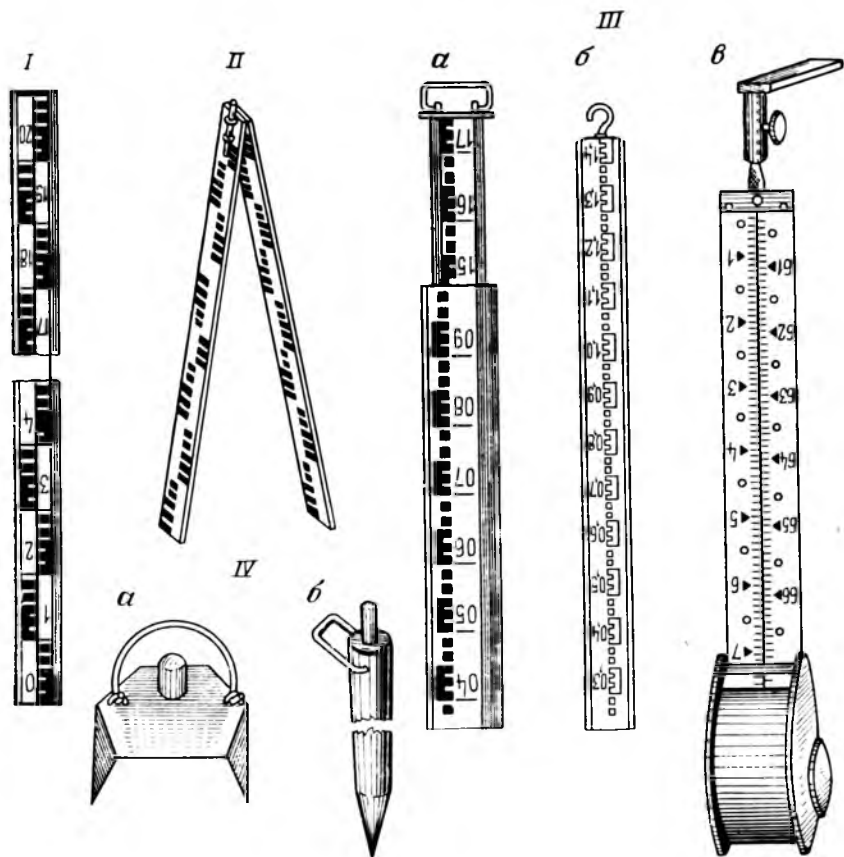


Рис. 77

определения превышений на станции (превышения, полученные по черным и красным сторонам реек, должны последовательно отличаться на $+100$ или -100 мм).

Для упрощения отсчетов по рейкам начало каждого дециметра обозначают чертой. С этой же целью первые пять делений каждого дециметра отображают в виде буквы *E*. На рейках подписывают лишь дециметровые деления [подписи цифр перевернуты (рис. 77), с тем чтобы в трубу нивелира были видны их прямые изображения].

При техническом нивелировании отсчеты по рейкам берут по среднему штриху сетки нитей в миллиметрах, оценивая доли сантиметра — миллиметры на глаз.

При нивелировании рейки устанавливают на головки башмаков (рис. 77, IV, а), костылей (рис. 77, IV, б) или верх кола. Рейки должны быть установлены отвесно, чтобы не нарушать принцип геометрического нивелирования. Для этого их снабжают круглыми уровнями. При техническом нивелировании применяют рейки без уровней. В этом случае при визировании на рейку ее медленно покачивают вдоль линии визирования. Наименьший отсчет соответствует отвесному положению рейки. При отсчетах менее 1000 мм рейку не покачивают.

Рейки, применяемые при производстве технического нивелирования, исследуют. Исследование состоит из определения: 1) случайных погрешностей дециметровых делений; 2) средней длины метра; 3) разности высот нулей реек.

Случайные погрешности дециметровых делений необходимо знать для суждения о возможности использования реек в предстоящих работах. Погрешности дециметровых делений не должны превышать 1,0 мм. Исследование выполняют при помощи контрольной линейки или выверенной стальной рулетки с миллиметровыми делениями. Для определения разности высот нулей черной и красной сторон реек берут отсчеты по черной и красной сторонам рейки, устанавливаемой на костыль на расстоянии 15—20 м от нивелира. Разность отсчетов по двум сторонам каждой рейки дает разность высот нулей его сторон. Выполняют четыре таких приема при разных горизонтах прибора и за окончательный результат принимают среднее значение, учитываемое в дальнейшей работе.

§ 86. Техническое нивелирование

Техническое нивелирование выполняется для определения высот пунктов съемочного обоснования топографических съемок, производится оно по пунктам планового съемочного обоснования и в зависимости от схемы развития образуются отдельные ходы, системы ходов и замкнутые полигоны, опирающиеся на марки и реперы нивелирования I, II, III, IV классов.

Техническое нивелирование также выполняется при изысканиях линейных сооружений (дорог, трубопроводов, каналов и т. п.) по предварительно намеченной линии (оси сооружения) с целью составления профиля местности по этой линии, используемой в дальнейшем для проектных работ. Такой вид нивелирования называется продольным нивелированием, или нивелированием трассы.

В тех случаях, когда в инженерных целях требуется иметь план участка, на котором будет производиться строительство, размещающееся на площади с соизмеримыми поперечными размерами, съемка производится или при помощи теодолитных и

нивелирных ходов, или нивелирования поверхности по квадратам (прямоугольникам), или нивелированием в комбинации с мензальной (тахеометрической) съемкой.

Для производства технического нивелирования применяются нивелиры типа Н-10, двусторонние и односторонние рейки. Расстояния от нивелира до реек должны быть по возможности равными и не превышать 150 м.

Нивелирование выполняется в одном направлении. Отсчеты по рейкам производятся по средней нити. При нивелировании по двусторонним рейкам работы на станции выполняются в следующей последовательности:

- а) отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки;
- б) отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки.

Разность превышений, вычисленная по черной и красной сторонам реек или при разных горизонтах инструмента, не должна превышать 5 мм. Невязка превышений в замкнутых полигонах и невязки в ходах между реперами высших классов не должны быть более

$$f_{\text{доп}} = 50 \sqrt{L}, \quad (11.27)$$

где L — число километров по периметру полигона или хода. При значительных углах наклона местности, когда приходится увеличивать число станций на 1 км хода до 25 и более, невязка не должна превышать

$$f_{\text{доп}} = 10 \sqrt{n}, \quad (11.28)$$

где n — число штативов (станций) в ходе.

§ 87. Трассирование

Трассированием называют комплекс геодезических работ по проложению и закреплению трассы, представляющей собой осевую линию линейного сооружения, отмеченную на плане или карте и обозначенную на местности. Сначала трассирование производится на карте (плане), затем на местности. Трассирование, выполняемое на топографической карте или плане, называется камеральным, выполняемое на местности — полевым.

Камеральное трассирование. Камеральное трассирование на ровной местности выполняют по кратчайшему расстоянию в заданном направлении. В горных условиях наиболее распространено отыскание по карте в заданном направлении линии предельно допустимого уклона для данной трассы. По намеченной оси трассы составляют продольный профиль, используя изображение рельефа на топографической карте. Для этих же целей применяют фотограмметрическое трассирование по стереомоделям местности, для чего используют аэро- или космические снимки.

При проектировании учитываются требования, предъявляемые техническими особенностями сооружений: при проектировании же-

лезных и шоссейных дорог должна быть обеспечена плавность и безопасность движения транспорта; при проектировании каналов — требования к уклонам в расчете на обеспечение необходимости расходов воды и т. п.

Трасса автомобильной или железной дороги в плане и профиле состоит из прямолинейных и криволинейных участков, сопрягаемых в главных точках кривой. Закругления трассы могут состоять

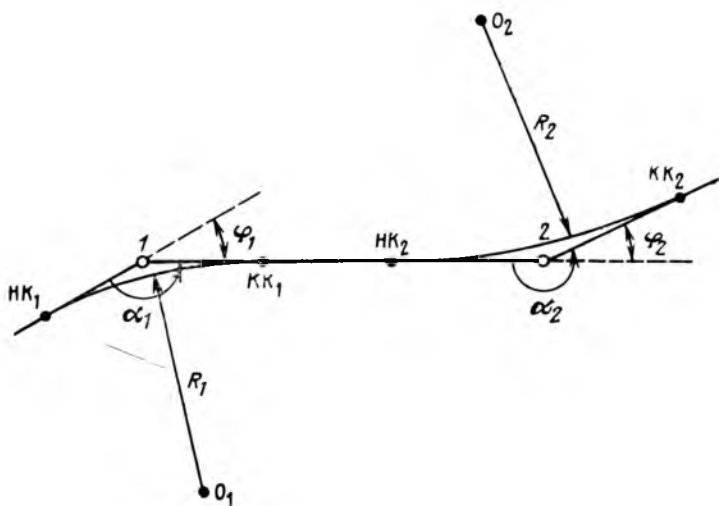


Рис. 78

из круговых кривых, кривых переменного радиуса (переходных кривых) и их сочетания.

Трассирование является одним из важных элементов проектирования сооружения. От качества трассирования будут в значительной степени зависеть стоимость строительства и эксплуатационные качества сооружений.

Полевое трассирование. Полевое трассирование включает в себя вынос трассы в натуру, разбивку пикетажа, разбивку кривых радиуса R в главных точках НК, КК, вынос пикетов на кривую, продольное и поперечное нивелирование трассы, вычислительную обработку полевых измерений и составление профиля трассы, проектирование сооружения и вынос проекта в натуру.

Вынос в натуру точек на местности производят по привязкам от пунктов геодезического обоснования или по привязкам к местным предметам. Вершины углов поворота 1, 2 трассы закрепляют столбами, которые привязывают промерами к местным предметам (телефонным столбам, деревьям и т. п.). Углом поворота трассы называют угол, составленный продолжением предыдущей и направлением последующей линии (рис. 78). Таким образом, при повороте трассы вправо $\varphi_1 = 180 - \alpha_1$, при повороте влево $\varphi_2 = \alpha_2 - 180^\circ$. Углы α измеряют теодолитом одним полным приемом.

Прямолинейные участки при помощи теодолита провешиваются вехами, устанавливаемыми через 80—100 м. Измерение расстояний между вершинами углов трассы производится мерной лентой с относительными погрешностями 1:1000—1:2000.

Если топографический план или карта на территорию строительства сооружения отсутствует, то полевое трассирование выполняют непосредственно на местности путем рекогносцировки, в процессе которой закрепляют точки углов поворота, начала и конца трассы.

Разбивка пикетажа. В процессе разбивки пикетажа на местности закрепляют пикеты и плюсовые точки (характерные точки рельефа). Пикеты устанавливают через каждые 100 м горизонтального проложения и обозначают на местности колом и сторожком, на котором подписывается номер пикета. Пикетные точки нумеруют по порядку, начиная с нуля, их номер обозначает число сотен метров горизонтального проложения от начала трассы.

К плюсовым относят точки перегиба скатов местности.

Плюсовые точки отмечаются только сторожком, их положение определяется расстоянием от ближайшего предыдущего пикета, например, ПКЗ+44, т. е. плюсовая точка расположена от пикета 3 на расстоянии 44 м по ходу трассы.

Одновременно с разбивкой оси трассы производится закрепление поперечников, по которым судят о характере профиля в направлениях, перпендикулярных к оси трассы. На поперечниках слева и справа от оси забиваются колья, которыми обозначаются расстояния до трассы с буквами л (слева) и пр (справа). Например, обозначение на сторожке ПКЗ+40+10пр показывает, что точка поперечного профиля находится с правой стороны по ходу от оси трассы на расстоянии 10 м от плюсовой точки ПКЗ+40. Длина линии поперечного профиля чаще всего бывает по 20—25 м в обе стороны от оси трассы. При разбивке трассы ведется пикетажный журнал, в который заносят пикеты и все закрепленные на местности плюсовые точки, а также точки вершин углов поворота трассы и пикеты поперечных профилей. Ось трассы показывают в виде прямой линии, а углы поворота обозначают стрелками, направленными вправо и влево в зависимости от направления трассы. Номера пикетов ставят с правой стороны оси трассы. В пикетажном журнале отмечают также результаты угловых измерений, значения углов поворота, радиусов и элементов кривых.

При трассировании производится инструментальная съемка полосы местности шириной 20—30 м с каждой стороны оси трассы, а до 50 м глазомерно зарисовывают ситуацию. Съемка производится в основном способом перпендикуляров, применяются также линейные и угловые засечки. В пикетажном журнале показывают также схему привязки к исходным реперам и маркам.

Для плавного поворота трассы в ее углы поворота вписывают кривые, представляющие чаще всего дуги окружности (рис. 79). Точки касания кривой с прямолинейными участками трассы на-

Пикеты, расположенные на линии тангенсов до вершины угла поворота, выносят от начала кривой, а после вершины угла поворота — от конца кривой.

Пусть на тангенсах кривой (рис. 80) расположены два пикета ПК7 на расстоянии l_7 от НК и ПК8 на расстоянии l_8 от КК. Эти пикеты должны занять соответствующие места на кривой, причем расстояние по кривой между пикетами должно быть равно 100 м.

Примем тангенс AB за ось x , а радиус R , перпендикулярный к нему, за ось y . Это позволяет получить координаты x и y пикета на кривой по формулам

$$x = R \sin \gamma; \quad (11.33)$$

$$y = R (1 - \cos \gamma), \quad (11.34)$$

где

$$\gamma = 180^\circ \frac{l}{\pi R}.$$

От начала кривой (НК) откладывают значение x , определенное для пикета 7, от полученной точки восстанавливают перпендикуляр, по которому откладывают значение координаты y пикета 7 ($y_{\text{ПК}7}$). Таким образом, получается положение пикета на кривой. Аналогичным образом поступают с ПК8.

На практике вместо значения x от пикета откладывают отрезок, представляющий собой разность $l - x$, которую принято называть кривой без абсциссы.

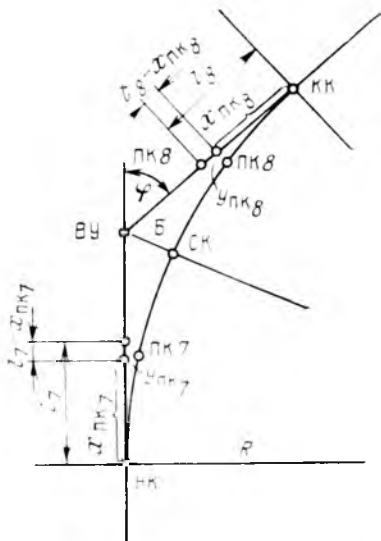


Рис. 80

§ 88. Нивелирование по пикетажу

При нивелировании трассы связующими точками являются все пикеты, все остальные точки (плюсовые и точки поперечного профиля) — промежуточными. При нивелировании крутых скатов, когда превышение между пикетами больше длины рейки, вместо одной делают две или несколько станций с дополнительными связующими точками, так называемыми иксовыми точками. Расстояние до иксовых точек не измеряют, а рейку на них устанавливают на башмак или вбитый в землю колышек. При нивелировании трассы нивелир устанавливают примерно (на глаз) на середине между связующими точками и, как правило, вне их створа.

Последовательность наблюдений на станции и точность работ показаны в § 77, 85. Результаты нивелирования заносятся в журнал (табл. 14), последовательность выполнения операций в котором показана цифрами в круглых скобках.

Таблица 14

Номер стан- ции	Номер пи- кета и иллюсовых точек	Отсчеты по рейке, мм			Превышения, мм	Средние превышения, мм	Горизонт инструмен- та, м	Высоты то- чек, м	Номер пи- кета и иллюсовых точек	Примечание
		задней	передней	промежу- точной						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Реп. 16	1243	2328		-1085	+3		193,715	Реп. 16	
		6008	7195		-1187	-1086				
	0	4765	4867		+102	-0,083		192,632	0	
2	0	0728(1)	1392(3)		-664(7)	+2	193,360			
		5597(2)	6158(4)		-561(8)	-662(11)		191,872	1	
	1 +57	4869(5)	4766(6)	0384(10)	-103(9)	-0,660		192,976	+57	
3	1	0639	2395		-1756	+2	192,511			Нивелир НЗ № 21194 Рейки дву- сторонние Разность высот нулей красной и черной сто- рон реек: № 1 = = 4768 мм № 2 = = 4868 мм
	2	5406 4767	7260 4865		-1854 +102(12)	-1755 -1,753		190,219	2	

1	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	15	1136 6006 — 4870	2575 7341 — 4766		—1439 —1335 — —104	+2 —1437 — —1,435		199,197 197,762	15 X	
25	X	2493 7262 — 4769	0676 5543 — 4867		+1817 +1719 — +98	+2 +1818 — +1,820		197,762 199,582	X реп. Рудный	
Подсчет по ходу от реп. 16 до реп. Рудный		143 475(13) 131 948(14) — +11 527(16)		131 948(14)	+11 527(15) +98 +11 625(18) +5812(19)		+5813(17)			

Разность высот исходных пунктов $H_K - H_n = 199,582 - 193,715 = -5,867$ м.

Полученная невязка хода $f = \Sigma h_{кр} - (H_K - H_n) = 5813 - 5867 = -54$ мм.

Допустимая невязка $f_{доп} = 50 \sqrt{1,8} = 65$ мм.

Поправка в превышение $\delta = \frac{54}{25} \approx +2$ мм.

Вычисление высот точек выполняется в журнале нивелирования трассы, обработка которого начинается с проверки вычислений полевых измерений на каждой станции и выполняется в следующей последовательности (см. табл. 14).

На каждой странице журнала вычисляют:

а) сумму отсчетов по черной и красной сторонам задней рейки: $35\,606\ (13) = \Sigma\ (1) + \Sigma\ (2)$;

б) сумму отсчетов по черной и красной сторонам передней рейки: $42\,871\ (14) = \Sigma\ (3) + \Sigma\ (4)$;

в) сумму превышений с учетом их знаков, полученных по черной и красной сторонам реек: $-7265\ (15) = \Sigma\ (7) + \Sigma\ (8)$;

г) сумму средних превышений: $-3582\ (17) = \Sigma\ (11)$.

Контролем правильности вычислений средних превышений должны быть равенства: $-7265\ (16) = 35\,606\ (13) - 42\,871\ (14) = -7265\ (15)$ и $(19) = (15) : 2 = (17)$ при четном числе станций на странице или ходе. При нечетном числе станций (рассматриваемый пример) к сумме $(15) = -7265$ прибавляют разность $(+100)$ на последней станции со своим знаком: $-7265\ (15) - 100 = -7365\ (18)$. Значения (19) и (17) за счет округления не должны отличаться более чем на 2 мм.

После постраничного контроля находят суммы $\Sigma\ (13)$, $\Sigma\ (14)$, $\Sigma\ (15)$ и $\Sigma\ (17)$ и производят контроль $\Sigma\ (16) = \Sigma\ (13) - \Sigma\ (14) = \Sigma\ (15)$, $\Sigma\ (15) : 2 = \Sigma\ (17)$. При нечетном числе станций в ходе $[\Sigma\ (15) + 98] : 2 = (19) = \Sigma\ (17)$.

Невязка хода определяется по формуле

$$f_{\text{доп}} = 50 \sqrt{L} = 50 \sqrt{1,8} = 65 \text{ мм},$$

где $L = 1,8$ км — длина трассы от репера 16 до репера Рудный.

Поправки в средние превышения с округлением их величин до 1 мм вычисляют по формуле

$$\delta = f/n = 54/25 \approx 2 \text{ мм},$$

где n — число станций; значения поправок подписывают в журнале нивелирования над средними превышениями; сумма поправок в превышения всех станций должна равняться невязке хода, взятой с обратным знаком.

Отметки связующих точек хода вычисляются сложением отметки предыдущей точки с уравненным превышением; контролем вычислений отметок служит вычисленная отметка конечного репера, известная из ранее проведенных работ.

Отметки промежуточных точек H_i на станции определяют через горизонт прибора (ГП) по формуле (11.5)

$$H_i = \text{ГП} - c_i,$$

где H_i — отметка промежуточной точки; c_i — отсчет по рейке на промежуточной точке.

Горизонт прибора вычисляют только для тех станций, на которых нивелировались плюсовые точки. В приведенном примере (см. табл. 14) для станции 2 горизонт прибора $ГП = 192,632 + 0,728 = 193,360$ м. Отметка промежуточной точки $+57$, $H_{57} = 193,360 - 0,384 = 192,976$ м.

§ 90. Составление профиля трассы

Составление профиля трассы (рис. 81) производится в двух различных масштабах, вертикальный масштаб крупнее (обычно в 10 раз). Это делается для того, чтобы рельефнее показать профиль трассы.

Поперечные профили располагают выше продольного профиля, а при большом их количестве вычерчивают на отдельном листе миллиметровой бумаги.

Построение профиля начинается с расчета положения линии условного горизонта. Для этого из журнала нивелирования трассы выписывают максимальную и минимальную отметки точек и принимают отметку условного горизонта такой, чтобы вертикальное расстояние от точки с минимальной отметкой до линии условного горизонта не было меньше 4 см. Высота профиля над линией условного горизонта будет равна разности отметок точек с максимальной и минимальной высотами, взятой в вертикальном масштабе профиля, плюс 4 см.

Ниже линии условного горизонта вычерчивается сетка профиля, где в графе 1 отмечается характеристика грунта. Ниже (графа 2) показывается план трассы. В графе 6 (расстояния) в заданном горизонтальном масштабе откладываются вначале пикеты, а затем плюсовые точки; подписываются расстояния между пикетами и плюсовыми точками, под нижней линией графы 6 — номера пикетов. В графу 7 (фактические отметки) из журнала нивелирования выписываются вычисленные отметки пикетов и плюсовых точек, округленные до 0,01 м. В графе 7 показываются характеристики прямых отрезков трассы и закруглений (кривых). По данным расчета главных точек кривых, взятых из пикетажного журнала, наносятся точки начала и конца кривых. Кривые обозначаются скобообразными дугами, обращенными выпуклостью вверх при повороте трассы вправо и вниз — при повороте влево. От начала и конца кривой проводятся перпендикуляры до нижней линии графы 6 и вдоль перпендикуляров по обеим сторонам подписываются расстояния до ближайших пикетов. Внутри дуги кривой выписываются значения угла поворота BV , радиуса R , тангенса T , биссектрисы B , длины кривой K и домера D . Над серединой каждой прямой вставки по данным координатной ведомости подписывают ее длину, а под ней румб.

Километровые указатели помещают ниже линии прямых и кривых и обозначают кружками диаметром 5 мм, правую половинку кружка заливают тушью. Центр кружка соединяют по перпендикуляру, с обеих сторон подписывают расстояния в метрах до ближайших пикетов.

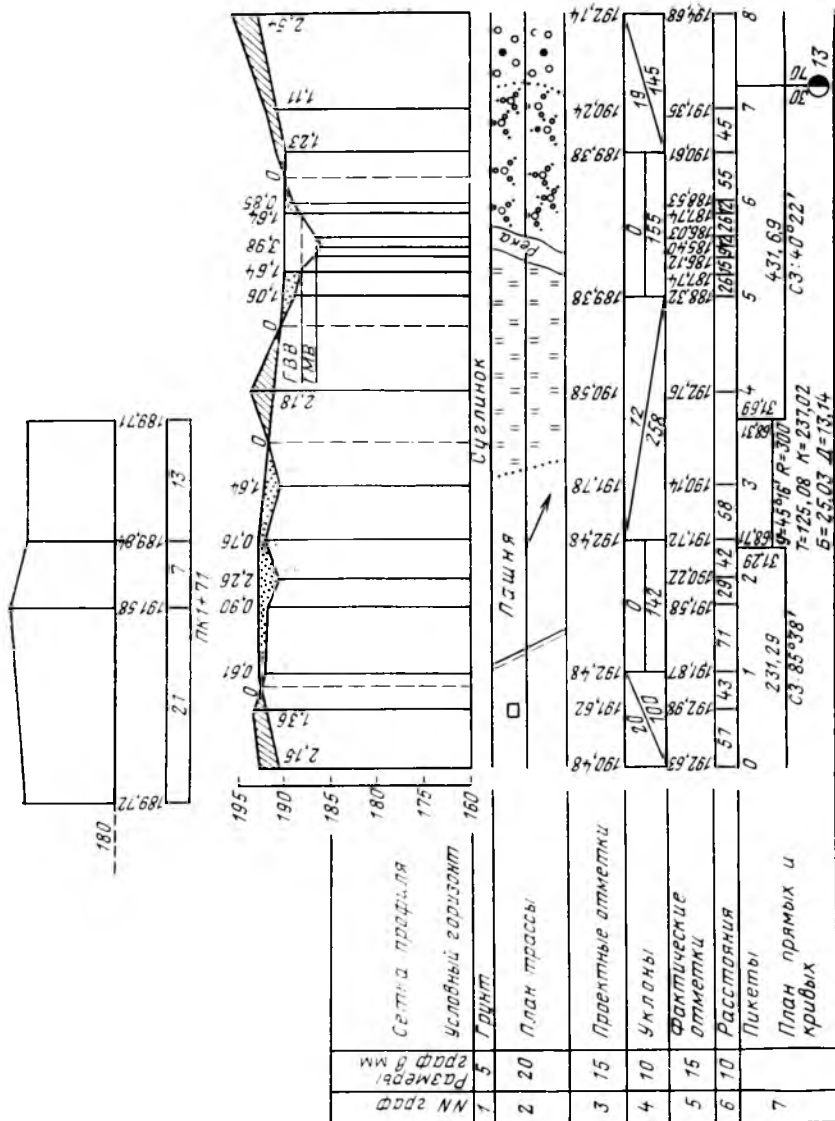


Рис. 81

Верхняя линия графы 1 является основанием профиля или линией условного горизонта. Отметку линии условного горизонта принимают кратной 10 м. От линии основания профиля восстанавливают перпендикуляры (ординаты), являющиеся по существу продолжением вертикальных линий графы 6.

На перпендикуляре нулевого пикета строят шкалу высот, при помощи которой откладывают от линии условного горизонта по ординатам отметки пикетов и плюсовых точек. Если соединить

последовательно все нанесенные точки прямыми линиями, то получится продольный профиль трассы.

Для поперечных профилей поперечный масштаб один и соответствует вертикальному масштабу продольного профиля.

§ 91. Нанесение проектной линии на профиль

Для нанесения проектной линии на продольный профиль кроме отметки начальной точки (ПК0) должны быть заданы уклоны проектной линии на каждый участок трассы. Намечают проектную линию с таким расчетом, чтобы:

объемы земляных работ по насыпям и выемкам были примерно равными, т. е. грунт из выемки можно было бы использовать для насыпей;

переход от одного уклона к другому (от положительного к отрицательному и наоборот) осуществляли через горизонтальные площадки длиной не менее 100 м;

точки перегибов проектной линии (точки, в которых изменяется уклон) находились на ординатах пикетов или плюсовых точек.

Вычисление отметок точек проектной линии. При заданном уклоне и известной отметке начальной точки трассы проектные отметки вычисляют по формуле

$$H_n = H_{n-1} + id, \quad (11.35)$$

где H_n — проектная отметка конечной точки отрезка; H_{n-1} — проектная отметка начальной точки этого отрезка; i — проектный уклон данного отрезка; d — горизонтальное проложение отрезка между точками n и $n-1$.

По формуле (11.35) с учетом знака уклона i вычисляют сначала проектную отметку последней точки отрезка линии, а затем проектные отметки всех точек трассы, имеющих фактические отметки (пикетов и плюсовых точек).

Проектные отметки точек, округленные до 0,01 м, записывают в графу 3 (проектные отметки). На горизонтальных участках отрезка проектной линии отметки подписывают только в начале и конце отрезка. В графе 4 проектную линию показывают в виде диагонали прямоугольника. При положительном уклоне диагональ проводится слева вверх направо, а при отрицательном уклоне — слева вниз. На горизонтальных участках проектную линию проводят посередине графы 4. На проектных линиях графы 4 в виде дроби подписывают уклоны в тысячных долях единицы и длину проектной линии (горизонтальное проложение) на данном участке.

Вычисление рабочих отметок. Разность проектной и фактической отметок точки профиля называют рабочей отметкой. Рабочие отметки показывают высоту насыпи или выемки в данных точках профиля и подписываются на соответствующих ординатах около проектной линии: положительные — над проектной линией (над насыпью), а отрицательные — под проектной линией (под выемкой).

Точки нулевых работ. Точку пересечения проектной линии с линией профиля местности называют точкой нулевых работ, т. е. рабочая отметка в этой точке равна нулю. Для определения положения точки нулевых работ на местности вычисляют расстояние x_1 от нее до ближайшего пикета 3 (рис. 82) или расстояние x_2 до ближайшей плюсовой точки (+78) по формулам

$$x_1 = \frac{d_1}{h_1 + h_2} h_1; \quad x_2 = \frac{d_2}{h_2 + h_3} h_3, \quad (11.36)$$

где ABC — линия профиля местности; abc — проектная линия; aA — рабочая отметка (насыпь) на ПК3; bB — рабочая отметка выемки на ПК4; cC — рабочая отметка (насыпь) на плюсовой точке (+78); d_1 и d_2 — горизонтальные проложения соответственно между пикетами 3—4 и пикетом 4 и точкой +78.

Расстояние до точек нулевых работ вычисляют до десятых долей метра. Отметку точки нулевых работ определяют так же, как и проектные отметки всех точек, т. е. по формуле

$$H_0 = H_{\text{ПК3}} + ix_1. \quad (11.37)$$

На профиле над точкой нулевых работ ставят 0 (ноль), а вдоль ординаты выписывают ее отметку. Расстояния x и $(d-x)$ выписывают над линией условного горизонта в промежутках между соответствующими ординатами.

Графическое оформление профиля. Профиль трассы вычерчивают черной тушью, красной тушью обозначают: проектные линии продольного и поперечного профилей; проектные и рабочие отметки; ось трассы в графе 2; все линии и цифры в графах 3 и 4. Синей тушью наносят: точки нулевых работ; ординаты и отметки этих точек; расстояние от точек нулевых работ до ближайших пикетов или плюсовых точек трассы. Фактические отметки наносят черной тушью. Акварельными красками слабого тона окрашивают насыпь (красным цветом) и выемку (желтым цветом). Все линии профиля проводят толщиной 0,2 мм, кроме проектной линии профиля, линии оси трассы в графе 2 и линии прямых и кривых в графе 7 (см. рис. 81). Эти линии проводят толщиной 0,5 мм.

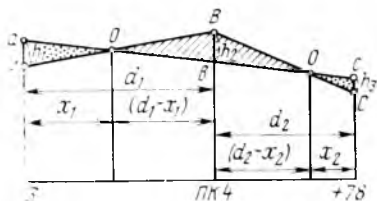


Рис. 82

§ 92. Нивелирование поверхности

Нивелирование поверхности выполняется для получения топографического плана участка местности в крупном масштабе (1:500—1:5000) с небольшой высотой сечения рельефа (0,25—0,5 м), необходимого для проектирования строительства инженерных сооружений (промплощадки шахт и рудников, заводов и т. п.), подсчета объемов земляных работ при вертикальной планировке и других целей. В зависимости от условий местности нивелирование

может быть выполнено либо проложением теодолитных и нивелирных ходов с поперечниками по характерным линиям рельефа, либо нивелированием вершин построенной на местности сетки квадратов. Первый способ применяется на открытых участках со слабо выраженным рельефом, второй — на открытых равнинных участках.

Нивелирование поверхности по квадратам. Разбивка на местности сетки квадратов обычно начинается с построения при помощи

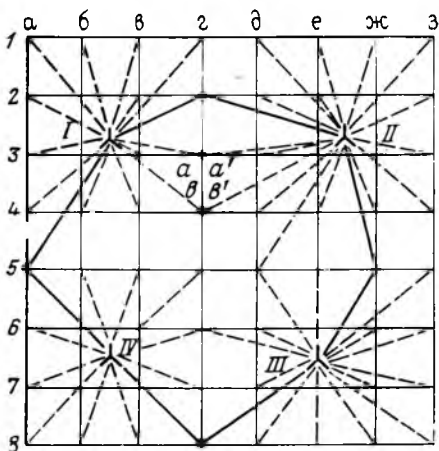


Рис. 83

теодолита двух взаимно перпендикулярных осей, на которых строятся основные квадраты со сторонами 200—400 м. Их вершины закрепляются металлическими трубами или деревянными столбами. Внутри основных квадратов разбиваются заполняющие квадраты. При съемках в масштабе 1:500 и 1:1000 стороны заполняющих квадратов принимаются равными 20 м, для масштаба 1:2000 — 40 м. В некоторых случаях, например при сложном рельефе, они могут быть уменьшены до 10 м. Вершины заполняющих квадратов закрепляются кольями со сторожками, на которых подписывают номера вершин

квадратов. Во время разбивки квадратов попутно выполняется съемка ситуации. При съемке ведут абрис, в котором наносят сеть квадратов с обозначением линий, а также зарисовывают контуры ситуации с указанием результатов измерений, определяющих положение этих контуров на плане. Перегибы местности на сторонах квадратов и характерные точки рельефа внутри квадратов отмечаются плюсовыми точками, положение которых определяют прямоугольными координатами относительно сторон квадратов.

После того как сетка квадратов разбита, приступают к нивелированию квадратов. Если квадраты небольшого размера (со стороной 10—20 м), то с одной станции прибора нивелируется несколько квадратов, для этого в пределах участка, на котором разбита сетка квадратов, прокладывается нивелирный полигон, в котором некоторые квадраты принимаются за связующие точки, остальные — промежуточные. Так, на рис. 83 за связующие приняты точки г/2, ж/5, г/8, а/5, образующие замкнутый полигон, нивелирование которого выполнялось с четырех станций (I, II, III и IV). Здесь лучи визирования на связующие точки показаны сплошными линиями, на промежуточные — пунктирными. Отсчеты по рейкам на связующих точках берутся по черной и красной сторонам, на

Таблица 15

	а	б	в	г	д	е	ж	з
1	502 551	570	602			463	488	501 520
2	209 231	276	345	183		251	249	309 370
3	1139 1107	1072	5129 1106	4967 944		1098	1043	1008 997
4	2073 1951	1907	1982	1820		1836	1923	1803 1799
5	7626 2842					2528	7335	2551
5634	850 775	739	660			435	483 5237	453 427
6	1580 1380	1301	1330	1027		1231	1126	1092 1066
7	2298 1360	1852	1845			1786	1739	1896 1890
8	2722 2640	2451	2381	2099		2382	2263	2490 2470
	7165			6883				

промежуточных точках — по черной стороне. Журнал нивелирования ведут на схеме квадратов с записью отсчетов у соответствующих вершин (табл. 15).

Контроль правильности отсчетов на промежуточных точках производится по отсчетам, сделанным на вершинах квадратов с соседних станций, например, вершинах г/3 и г/4 (см. рис. 83). Пусть на вершине г/3 получены отсчет a со станции I и a' со станции II и на вершине г/4 соответственно b и b' . Превышение между вершинами равно

$$h = b - a \quad \text{и} \quad h = b' - a'.$$

Если эти выражения приравнять $b - a = b' - a'$, то их легко можно преобразовать к виду

$$b + a' = b' + a. \quad (11.38)$$

Таким образом, контролем полевых измерений служит равенство сумм накрест лежащих отсчетов. Пусть отсчеты оказались: $a = 1106$, $b = 1982$, $a' = 944$, $b' = 1820$, сум-

Таблица 16

Номер точки	Превышения, мм		Высота, м
	вычисленные средние	исправленные	
а/5	—3 +2497	+2494	21,150
г/2	—3 —2368	—2371	23,644
ж/5	—4 —1646	—1650	21,273
т/7	—4 +1531	+1527	19,623
а/5			21,150
	+4028 —4014	+4021 —4021	

$$f_n = +0014$$

$$f_{\text{доп}} = 10 \sqrt{n} = 10 \sqrt{4} = 20 \text{ мм}$$

мы накрест лежащих отсчетов соответственно равны 2926 и 2926. Допустимым считается расхождение 4 мм.

В результате обработки журнала нивелирования, показанного в табл. 15, определяются средние превышения между связующими точками (табл. 16), их увязка и вычисляются высоты связующих точек.

Для станций нивелира вычисляются горизонты прибора:

$ГП_I = 21,150 + 2,842 = 23,992$ м; $ГП_{II} = 23,644 + 0,183 = 23,827$ м; $ГП_{III} = 19,623 + 2,099 = 21,722$ м; $ГП_{IV} = 21,150 + 0,850 = 22,000$ м, по которым определяются высоты промежуточных точек, например, вершины $a/1 H_{a/1} = ГП_I - 0,502 = 23,999 - 0,502 = 23,497$; вершины $ж/5 H_{ж/5} = 23,827 - 1,043 = 22,784$ и т. п.

Нивелирование поверхности по теодолитным и нивелирным ходам с разбивкой поперечников. На местности с выраженным рельефом и сложной ситуацией для получения плана участка, на котором будет выполнено инженерное сооружение, рекомендуется прокладка теодолитных и нивелирных ходов, располагаемых по характерным линиям рельефа (водоразделы, водосборы, подошвы скатов и т. п.).

Теодолитные и нивелирные ходы должны располагаться примерно параллельно на расстоянии друг от друга около 600 м для масштабов 1:500 и 1:1000 и на расстоянии около 1000 м для масштаба 1:2000. Кроме того, ходы должны связываться между собой при масштабах съемки 1:500, 1:1000 через 600 м, при масштабе 1:2000 — через 1000 м.

При масштабах съемки 1:500 и 1:1000 через 20 м и масштабе 1:2000 через 40 м в обе стороны от магистралей разбиваются по-

перечники, длина которых не должна быть больше 300 м для масштабов 1:500 и 1:1000 и 500 м для масштаба 1:200. Вдоль поперечников разбивается пикетаж при масштабах съемки 1:500 и 1:1000 через 20 м и масштабе съемки 1:2000 через 40 м.

Одновременно с разбивкой пикетажа при помощи стальной рулетки выполняется съемка контуров и ситуации способом перпендикуляров, створов, засечек, полярным.

§ 93. Составление плана по результатам нивелирования поверхности

После обработки полевого журнала съемки производится построение топографического плана. Для этого на бумаге в требуемом масштабе вычерчивается сеть квадратов или ходы со всеми поперечниками, в вершинах квадратов или возле пикетов с округлением до 0,01 м выписываются их высоты. С абрисов наносится ситуация. По значениям высот точек выполняется построение горизонталей.

Проведение горизонталей по высотам точек. Горизонтали строятся при помощи приема, называемого интерполированием и заключающегося в определении на плане точек, высоты которых кратны высоте сечения рельефа.

Представим случай, когда на плоском скате имеются три точки A , B и C , высоты которых известны, например, $H_A=58,2$ м, $H_B=56,7$ м, $H_C=56,5$ м (рис. 84, а), и необходимо провести горизонтали с высотой сечения рельефа 1 м.

Через одно из направлений, пусть AB , проведем секущую плоскость, на которой изобразится след ската с точками A и B .

Рассмотрим треугольник ABA' , в котором катет AA' равен разности высот $H_A - H_B$; катет $A'B$ представляет собой расстояние на плане между точками A и B . Между точками A и B на гипотенузе треугольника надо определить положения двух точек C и D , отметки которых кратны высоте сечения $h=1$ м.

Из подобных треугольников $AA'B$ и $CC'B$ следует

$$s_1/s = h_E/(H_A - H_B),$$

откуда

$$s_1 = h_E \cdot s / (H_A - H_B). \quad (11.39)$$

Согласно условию h_E должно быть равно 57,0—56,3=0,7 м. Подставляя его в формулу (11.39), определим s_1 и затем отложим его на плане на прямой AB от точки B . Аналогичным образом находится величина отрезка s_1+s_2 и положение второй точки (D'), отметка которой кратна высоте сечения. Таким же образом определяются отметки, кратные высоте сечения, на прямой AC . После этого точки с одинаковыми отметками соединяются плавными кривыми — горизонталями.

На практике отыскание точек с отметками, кратными высоте сечения, производится следующими приемами.

Интерполирование на глаз. Часто интерполирование производится на глаз. Этот способ при наличии достаточного навыка по точности не уступает описанным ранее, однако по производительности значительно их превосходит.

Составление топографического плана по результатам нивелирования по квадратам. На плане квадратов по высотам точек проводятся горизонтالي с заданной высотой сечения. Горизонтالي интерполируются только между точками, находящимися на однородном скате, чаще всего интерполирование ведется по сторонам квадратов. Если внутри квадрата или на одной из его сторон имеются плюсовые точки, то проведение горизонталей выполняется с учетом этих точек.

Глава 12

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

168

§ 94. Общие сведения

Тригонометрическое (геодезическое) нивелирование производится наклонным визирным лучом. Для определения превышения h точки B над точкой A необходимо измерить угол наклона v линии AB и длину линии AB или ее проекции AB' . Превышение h может быть вычислено по формулам

$$h = AB' \operatorname{tg} v, \quad (12.1)$$

или

$$h = AB \sin v. \quad (12.2)$$

Для измерения углов наклона используются, главным образом, теодолиты, кипрегели (см. гл. 14), тахеометры (см. гл. 13).

§ 95. Вывод общей формулы тригонометрического нивелирования

Пусть требуется определить превышение h между точками C и D (рис. 85). Для этого в точке C устанавливается теодолит, в точке D — рейка или вешка. Измеряется высота прибора i от точки C до оси вращения трубы. Угол наклона визирной линии v определяют по вертикальному кругу прибора, расстояние между точками C и D — лентой или дальномером. Горизонтальное проложение s вычисляется.

На основании рис. 85 можно составить равенство

$$MN + i = h + v,$$

где v — высота визирования по рейке (вешке).

Можно написать, что

$$MN = s \operatorname{tg} v,$$

таким образом, превышение

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v. \quad (12.3)$$

Если используется наклонная длина $OM=S$, то превышение определяется по формуле:

$$h = S \sin v + i - v. \quad (12.4)$$

С учетом суммарной поправки за кривизну Земли и рефракцию формулы (12.3) и (12.4) имеют следующий вид:

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v + f, \quad (12.5)$$

$$h = S \sin v + i - v + f, \quad (12.6)$$

где f — поправка за кривизну Земли и рефракцию визирного луча, определяемая по формуле (11.10).

Если при измерении угла наклона визирную ось трубы направить на метку на рейке, закрепленную на высоте прибора, т. е. $i=v$, то формулы (12.5) и (12.6) принимают вид

$$h = s \operatorname{tg} v + f, \quad (12.7)$$

$$h = S \sin v + f. \quad (12.8)$$

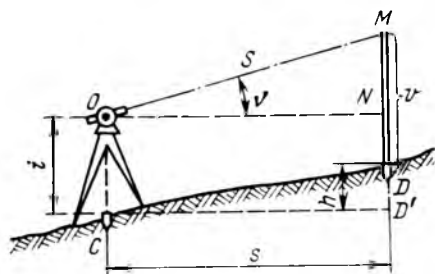


Рис. 85

Оказывается, что при расстоянии от прибора до рейки 270 м поправка f не превышает 0,01 м. Учитывая, что в тригонометрическом нивелировании превышения вычисляются с округлениями до 0,01 м, при расстояниях от прибора до рейки до 300 м поправка f может не учитываться, поэтому

формулы (12.7) и (12.8) могут быть упрощены:

$$h = s \operatorname{tg} v, \quad (12.9)$$

$$h = S \sin v. \quad (12.10)$$

§ 96. Высотные ходы

Высоты точек съемочного обоснования в большинстве случаев, например в теодолитных ходах, определяются тригонометрическим нивелированием. Линии сторон теодолитного (или другого) хода, рассматриваемые каждая в последовательности вертикальных плоскостей, образуют высотные ходы, при помощи которых определяются высоты точек.

В высотных ходах измеряются углы наклона при помощи вертикального круга прибора и расстояния между точками мерными лентами или дальномерами. Углы наклона на каждой точке измеряют при двух положениях вертикального круга на все смежные точки. Линии измеряют дважды — в прямом и обратном направ-

лениях. Таким образом, вычисляют прямое и обратное превышения. Расхождение между прямыми и обратными превышениями для одной и той же линии не должны превышать четырех сантиметров на каждые сто метров ее длины. За окончательное значение измеренных превышений принимается среднее арифметическое из их абсолютных величин со знаком прямого превышения. Невязку в сумме превышений высотного хода вычисляют по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{п}} - \sum h_{\text{т}},$$

где $\sum h_{\text{п}}$ и $\sum h_{\text{т}}$ — практическая и теоретическая суммы превышений.

Так как в замкнутом ходе $\sum h_{\text{т}} = 0$, то $f_h = \sum h_{\text{п}}$, т. е. в замкнутом ходе невязка в превышениях равна сумме измеренных превышений.

В ходе, проложенном между двумя точками с известными высотами,

$$\sum h_{\text{т}} = (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}),$$

где $H_{\text{к}}$ и $H_{\text{н}}$ — соответственно высоты конечной и начальной точек хода.

Таким образом, невязка в сумме превышений хода

$$f_h = \sum h_{\text{п}} - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}).$$

Допустимая невязка определяется по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,04s \sqrt{n}, \text{ см}, \quad (12.11)$$

где s — средняя длина линий в сотнях метров; n — количество линий в ходе.

Если невязка f_h не превышает допустимой или равна ей, то ее распределяют с обратным знаком на все превышения пропорционально линиям хода. Сумма поправок в превышениях должна быть равна невязке с обратным знаком. С учетом поправок вычисляют исправленные превышения, алгебраическая сумма которых должна быть равна сумме теоретических.

По высоте начальной точки вычисляют высоты остальных точек хода по формуле

$$H_n = H_{n-1} + h_{\text{испр}}. \quad (12.12)$$

Глава 13

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

§ 97. Общие сведения

Тахеометрическая съемка представляет собой вид топографической съемки, выполняемой на небольших площадях или в сложных условиях местности, в которой при помощи измерения вертикальных и горизонтальных углов, а также расстояний производится

Характеристика рельефа участка съемки	Масштаб съемки			
	1 : 5000	1 : 2000	1 : 1000	1 : 500
	Сечение рельефа, м			
Равнинный с углами падения до 2°	0,5 1,0	0,5 1,0	0,5	0,5
Всхолмленный с углами наклона до 4°	1,0 2,0	0,5 1,0	0,5	0,5
Пересеченный с углами наклона 6°	2,0 3,0	1,0 2,0	1,0	0,5
Горный и предгорный	2,0 5,0	2,0	1,0	1,0

определение положения по высоте и в плане точек местности. В результате тахеометрической съемки получают топографический план местности, рельеф на котором изображают горизонталями.

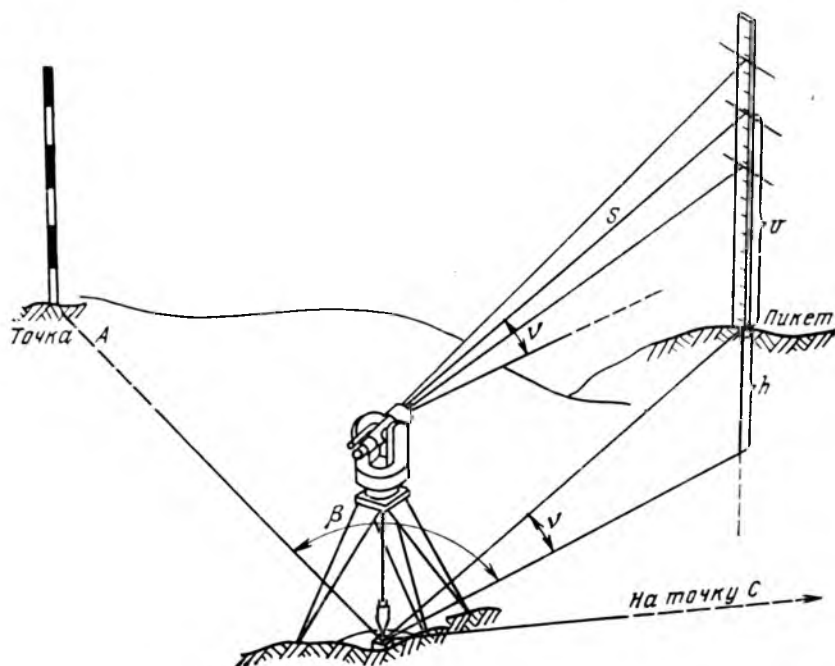


Рис. 86

Высота сечения рельефа в зависимости от назначения плана и характера рельефа для крупномасштабных планов принимается в соответствии с табл. 17.

В тахеометрической съемке с одной установки прибора, называемой станцией (рис. 86), определяются на местности пространственные полярные координаты так называемых пикетных точек:

угол наклона ν , наклонное расстояние до пикетной точки S и горизонтальный угол β между исходным направлением и направлением на пикетную (снимаемую) точку. На пикетных точках устанавливается рейка для съемки подробностей. Пикет, предназначенный для съемки подробностей, называется контурным, для съемки рельефа — высотным. Если пикет совмещает в себе обе характеристики, то его принято называть высотно-контурным.

§ 98. Съёмочные сети тахеометрической съёмки

Для топографических съёмок, выполняемых в масштабе 1:5000 и крупнее, геодезической основой в плановом отношении могут служить пункты государственной геодезической сети 1, 2, 3, 4 классов, геодезические сети сгущения и съёмочные геодезические сети; в высотном — реперы и марки государственной нивелирной сети 1, 2, 3, 4 классов, пункты сетей сгущения и съёмочных сетей, высоты которых определены геометрическим нивелированием. Если высота сечения рельефа 1 м и больше, то используются пункты, высоты которых определены тригонометрическим нивелированием. Однако чаще всего в качестве непосредственной основы для выполнения съёмочных работ в тахеометрии используют пункты основной съёмочной сети, состоящей из теодолитных ходов или их заменяющих сетей микротриангуляции. Высотное съёмочное обоснование состоит из сетей технического нивелирования (геометрического или тригонометрического).

Дополнительно к пунктам основной съёмочной сети определяются съёмочные точки, количество которых зависит от характера рельефа и контуров местности, их положение определяется тахеометрическими ходами, прокладываемыми между пунктами основной съёмочной сети.

Пункты съёмочного обоснования должны равномерно покрывать территорию, подлежащую съёмке. На незастроенных территориях количество пунктов съёмочного обоснования совместно с пунктами сетей высших классов должно быть на 1 км² площади не менее 4 при съёмке в масштабе 1:5000; 12 пунктов — 1:2000; 16 пунктов — 1:1000. Количество пунктов при съёмке в масштабе 1:500 определяется конкретными условиями снимаемой местности в результате ее рекогносцировки.

Тахеометрические ходы представляют собой систему ломаных линий, отмеченных на поверхности точками в виде забитых в землю кольев. Горизонтальные углы измеряются одним полным приемом прибором, обеспечивающим погрешность измерения не более 30". Вертикальные углы измеряются по требованиям высотных ходов (см. § 96). Длины линий определяются в прямом и обратном направлениях по дальномеру с относительной погрешностью 1:400, с применением мерных лент — 1:1000. Линии с углом наклона более 3° приводятся к горизонту. Определение превышений производится тригонометрическим нивелированием.

Тахеометрические ходы должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 18.

Таблица 18

Масштаб съемки	Предельная длина хо- да, м	Максималь- ная длина линий, м	Максимальное число точек в ходе
1:5000	1000	250	4
1:2000	500	200	4
1:1000	300	100	3

§ 99. Приборы, применяемые для тахеометрической съемки

Для тахеометрической съемки государственным стандартом предусмотрено использование приборов, называемых тахеометрами, которые изготавливаются следующих типов.

1. Тахеометр электрооптический (ТЭ), позволяющий измерять расстояния, горизонтальные и вертикальные углы. Расстояния измеряются до 2 км со средней квадратической погрешностью не более 2 см, горизонтальные углы—со средней квадратической погрешностью 3" и вертикальные—5". Преимущественно электронный тахеометр должен использоваться в полигонометрии 4 класса и I разряда, а также для съемок исполнительных генпланов крупных промышленных предприятий.

2. Тахеометр с авторедукционным дальномером двойного изображения (ТД), позволяющий определять расстояния по горизонтальной рейке с относительной погрешностью 1 : 5000, превышения со средней квадратической погрешностью 3—4 см на 100 м хода. Горизонтальные и вертикальные углы измеряются со средней квадратической погрешностью соответственно 8 и 12". Угломерная часть тахеометра ТД выполнена на базе теодолита Т5К. В нашей стране получил распространение тахеометр «Редта 002» производства предприятия «Карл Цейсс», Йена (ГДР).

3. Тахеометр номограммный (ТН), предусмотренный для определения при тахеометрической съемке расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и превышений при помощи номограмм, видимых в поле зрения зрительной трубы. Тахеометры типа ТН применяются с вертикальной рейкой, к ним относится тахеометр «Дальта 010А» предприятия «Карл Цейсс», Йена (ГДР), погрешности измерения расстояний которым 10 см на 100 м при $K=100$ и 20 см на 100 м при $K=200$, а превышений 3, 5, 10 и 15 см на 100 м соответственно при $K=10, 20, 50$ и 100.

4. Тахеометр внутрибазный (ТВ), используемый при тахеометрической съемке труднодоступных участков местности для определения расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и для определения превышений по измеряемому углу наклона при наведении зрительной трубы на местный предмет или

специальную марку. Измерение углов тахеометром ТВ выполняется со средней квадратической погрешностью не более $45''$ для горизонтальных и $60''$ вертикальных углов. Относительная погрешность измерения расстояний может достигать $1 : 1000$.

Для выполнения тахеометрической съемки также широко используются технические теодолиты типа ТЗ0 и Т15, имеющие для измерения расстояний нитяной дальномер.

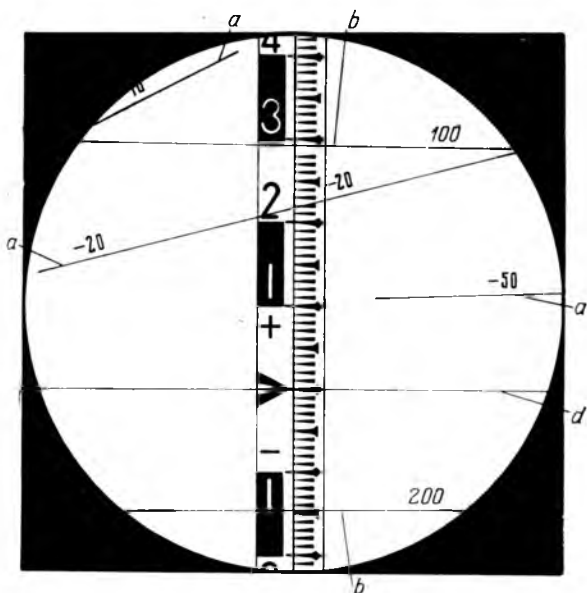


Рис. 87

Тахеометр «Дальта 010А» (Dahlta 010A). Тахеометр выпускается на базе угломерной части теодолита Theo 020A в комплекте с картографическим столиком Карти-250 и является тахеометром с видимой в поле зрения трубы дальномерной диаграммой (рис. 87), позволяющей непосредственно по вертикальной рейке отсчитывать горизонтальные проложения и превышения. Диаграмма представляет собой систему кривых, расстояние между которыми изменяется в зависимости от вертикального угла и фокусного расстояния телеобъектива трубы с оптической системой, рассчитанной таким образом, что постоянная дальномера $c=0$.

Дальномерная диаграмма с кривыми для определения расстояний и превышений нанесена на стеклянную пластинку, которая при изменении угла наклона зрительной трубы остается неподвижной. Диаграмма имеет высотные кривые a и кривые горизонтальных расстояний b , а также установочную кривую d , используемую при наведении дальномерной диаграммы на марку рейки. Разграфка рейки выполняется таким образом, чтобы нулевая марка распола-

галась на 1,4 м выше пятки рейки, т. е. ориентировочно на высоте прибора.

Высотные кривые имеют знаки плюс и минус, соответствующие положительному или отрицательному углу наклона зрительной трубы, и коэффициенты $K = \pm 10$, $K = \pm 20$, $K = \pm 50$, $K = \pm 100$, на которые должны быть умножены отсчеты по рейке, сделанные для определения превышений. Кривые для определения горизонтальных расстояний имеют коэффициенты $K = 100$ и $K = 200$.

Дальномерные отсчеты читаются в местах пересечения соответствующих кривых с вертикальной нитью сетки нитей, последняя наводится на середину рейки. На рис. 87 по верхней кривой расстояний с коэффициентом 100 сделан отсчет 0,293 м, что при $K = 100$ дает расстояние до пикета $0,293 \times 100 = 29,3$ м. Для контроля можно взять отсчет, полученный при пересечении с кривой, имеющей $K = 200 : 0,146 \text{ м} \times 200 = 29,2$ м. Отсчет, определяемый по кривой с $K = -20$, равен $0,218 \times (-20) = -4,36$ м. Если высота прибора равна расстоянию от нуля пятки рейки до ее нулевой метки, т. е. $i = v$, то превышение $h = -4,36$. В противном случае должна быть введена поправка, вычисленная по формуле $\Delta h = i - v$.

При помощи картографического столика можно прямо на местности снимать планы тахеометрических станций, по которым в дальнейшем составляется общий топографический план.

Подставка картографического столика при помощи переходной втулки соединяется с тахеометром и закрепляется винтом. Алидада соединяется с подвижной частью столика при помощи специального устройства. Соединение столика с тахеометром осуществлено таким образом, что при вращении столика совместно с алидадой тахеометра с помощью шестерен, находящихся внутри подвижной части, чертежная поверхность столика вращается в обратном направлении и, таким образом, чертеж тахеометрической станции всегда неподвижен относительно местности.

На план точки наносятся с использованием устройства, состоящего из мостика с салазками, имеющими масштабную линейку и отсчетный индекс расстояний. Салазки вместе с тахеометром вращаются относительно неподвижного плана, кроме того, они могут перемещаться вдоль коллимационной плоскости зрительной трубы. Для облегчения производства отсчетов по линейке установлена лупа.

Для смены чертежной основы (чертежная бумага, калька или какой-либо другой материал) вместе с мостиком откидывается кольцо. Чертежная основа после ее укладки закрепляется.

Нанесение результатов съемки на чертежную основу столика производится в следующем порядке. Вначале отмечается в центре круга точка стояния. Трубу наводят на известную точку съемочной сети. По этому направлению откладывают расстояние между точками съемочной сети. Полученная линия является основой для съемки местности по пикетным точкам и построения плана.

Тахеометр внутрибазный. К тахеометрам этого типа относится выпускаемый отечественной промышленностью тахеометр ТВ с

дальномером двойного изображения с базой при приборе. Предназначен прибор для тахеометрической съемки труднодоступных участков местности, где невозможно или опасно встать реечнику, открытых горных разработок, застроенных участков и т. п. При расстояниях до 60 м прибор работает без реек, визирование выполняется на различимые контуры местности, для съемки предметов, расположенных за пределами 60 м (до 180 м), используется веха с дополнительной базой длиной 60 см.

К тахеометру типа ТВ относится также редуцированный тахеометр BRT-006, изготавливаемый предприятием «Карл Цейсс», Йена (ГДР) и предназначенный для тех же целей, что и тахеометр ТВ.

Зрительная труба тахеометра BRT-006 состоит из объектива, ряда призм и окуляра. Верхнюю часть объектива перекрывает неподвижная пентапризма, нижнюю — подвижная пентапризма, последняя перемещается вдоль базисной линейки. Неподвижная пентапризма образует параллактический угол β_0 . Таким образом, неподвижная призма отклоняет от точки визирования луч на 270° , подвижная — на $270 - \beta_0$, за счет чего образуется прямоугольный треугольник с постоянным параллактическим углом β_0 и переменным базисом b_0 . При отсчитывании по базису с точностью до 0,05 мм погрешность измерения длин 1 см при коэффициенте дальности $K=200$ ($K = \text{ctg } \beta_0 = \text{ctg } 17,2'$).

Редуцирование расстояний в тахеометрах типа ТВ производится автоматическим изменением параллактического угла β_0 дальности при изменении угла наклона ν , которое определяется по формуле $\Delta\beta = \beta_0(1 - \cos \nu)$. В тахеометре BRT-006 уменьшение угла β_0 на величину $\Delta\beta$ осуществляется компенсатором.

Использование нитяного дальномера для определения расстояний и превышений при применении теодолита в тахеометрической съемке. Нитяные дальномеры имеют широкое применение в тахеометрии, так как пока еще основными приборами для проведения съемки являются теодолиты. Общие положения теории нитяного дальномера, когда визирная ось зрительной трубы перпендикулярна к рейке, рассмотрены ранее. Ниже рассмотрена теория применения нитяного дальномера при измерении наклонных расстояний. В точке A наклонной линии AB (рис. 88) помещен теодолит, в точке B — вертикально рейка R . Пусть визирная ось трубы направлена в точку O_1 рейки, расположенной на высоте прибора i . В приведенном примере отсчет по рейке представлен отрезком $AB = l$. Для определения наклонного расстояния OO_1 в точке O_1 поместим рейку R' перпендикулярно к визирной оси трубы. Если отсчет по этой рейке $A'B'$ обозначить l' , то согласно формуле (8.22) $E = kl'$, откуда расстояние

$$OO_1 = S = E + c = kl' + c. \quad (13.1)$$

В действительности производится отсчет по вертикальной рейке, поэтому найдем переход от отсчета l' к отсчету l , для этого рассмотрим треугольник $O_1B'B$, который с небольшим приближением можно считать прямоугольным по следующим соображениям.

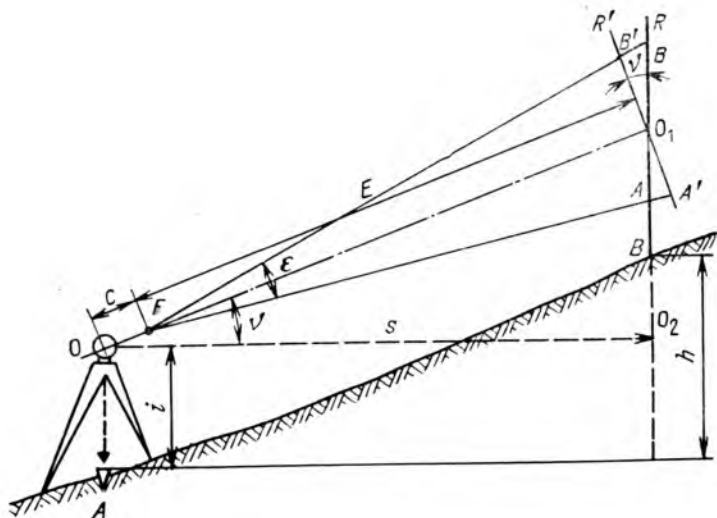


Рис. 88

Угол ϵ (см. рис. 88), создаваемый нитяным дальномером, небольшой (при $K=100$, $\epsilon=34'$), поэтому его значение по отношению к точности измерения длин дальномером можно считать равным нулю, следовательно, линии FB' и FA' параллельны визирной оси и, таким образом, перпендикулярны к рейке R' . Это позволяет считать углы B' и A' в треугольниках $O_1B'B$ и O_1AA_1 прямыми. Отличие от прямых углов составляет около $17'$, что влечет к погрешности $1/40\,000$; при общей погрешности измерения длин нитяным дальномером $1/400$ эта величина на окончательный результат не окажет влияния.

Учитывая приведенное, напишем

$$A'B' = AB \cos \nu \quad \text{или} \quad l' = l \cos \nu,$$

откуда получаем

$$S = Kl' + c = Kl \cos \nu + c. \quad (13.2)$$

Горизонтальное проложение линии OO_1 равно

$$s = OO_2 = OO_1 \cos \nu = S \cos \nu = (Kl \cos \nu + c) \cos \nu. \quad (13.3)$$

Преобразуем формулу (13.3), для чего прибавим и вычтем произведение $c \cos^2 \nu$

$$\begin{aligned} s &= Kl \cos^2 \nu + c \cos^2 \nu + c \cos \nu - c \cos^2 \nu = \\ &= \cos^2 \nu (Kl + c) + c \cos \nu (1 - \cos \nu). \end{aligned}$$

Учитывая, что $1 - \cos \nu = 2 \sin^2 \nu / 2$, получим

$$s = (Kl + c) \cos^2 \nu + 2c \cos \nu \sin^2 \nu / 2. \quad (13.4)$$

В формуле (13.4) второе слагаемое по сравнению с первым является малым числом. Действительно, если c принять равным 25 см, то при угле наклона визирования $v=20^\circ$ рассматриваемое выражение $2c \cos v \sin^2 v/2$ равно всего лишь 2 см. Это позволяет его исключить из выражения (13.4), в результате получим формулу для определения горизонтального проложения:

$$s = (Kl + c) \cos^2 v. \quad (13.5)$$

На практике вместо горизонтальных проложений s определяются поправки за наклон визирной оси и неперпендикулярность к ней рейки в расстояние $Kl + c$, измеренное по дальномеру.

Если $Kl + c$ обозначить через s' , то разность $s' - s$ будет представлять поправку для приведения измеренного расстояния к горизонту

$$\Delta s = s' - s = Kl + c - Kl \cos^2 v - c \cos^2 v.$$

Полученное выражение можно преобразовать следующим образом:

$$\Delta s = Kl(1 - \cos^2 v) + c(1 - \cos^2 v) = (1 - \cos^2 v)(Kl + c),$$

но так как $1 - \cos^2 v = \sin^2 v$,

$$\Delta s = (Kl + c) \sin^2 v. \quad (13.6)$$

По формуле (13.6) составлены таблицы, в которых по дальномерному расстоянию $(Kl + c)$ и по углу наклона v определяют горизонтальное проложение по формуле

$$s = (Kl + c) - \Delta s. \quad (13.7)$$

Вывод формулы для превышения, определяемого при использовании нитяного дальномера, может быть получен следующим образом.

Превышение в тригонометрическом нивелировании, если визирование производится на высоту прибора, вычисляется по формуле

$$h = s \operatorname{tg} v,$$

где s — горизонтальное проложение линии.

Подставим значение s (13.5), полученное для определения расстояний при помощи нитяного дальномера:

$$h = (Kl + c) \cos^2 v \operatorname{tg} v.$$

После упрощения получим

$$h = 0,5 (Kl + c) \sin^2 v. \quad (13.8)$$

Значения превышений по дальномерному расстоянию $Kl + c$ и углу наклона v определяются по таблицам (например, А. С. Никулин «Тахеометрические таблицы»).

§ 100. Порядок работы на станции при тахеометрической съемке

Тахеометр или теодолит устанавливают над точкой съемочного обоснования, центрируют и приводят в рабочее положение.

При работе с точек тахеометрического хода измеряют угол поворота и углы наклона при двух положениях вертикального круга и по дальномеру определяют расстояние до точек хода. При работе с точек теодолитного хода измеряются только углы наклона.

Вычисляется место нуля. Измеряют высоту прибора i с точностью до 1 см.

Совмещают нуль лимба горизонтального круга с нулем алидады и наводят трубу на веху, установленную на соседней точке съемочного обоснования. При неподвижном лимбе визируют на рейки, устанавливаемые в характерных точках местности. Измерения углов наклона и горизонтальных углов производятся при одном положении вертикального круга (чаще всего КЛ); расстояния до пикетных точек определяются при помощи дальномера. Для упрощения вычисления превышений визирная ось прибора наводится на метку, расположенную на рейке на расстоянии от ее пятки, равном высоте прибора. Отсчеты, производимые при измерениях на станции, заносятся в журнал тахеометрической съемки (табл. 19).

При описанной методике работы на станции получают горизонтальные углы, отсчитываемые от направления съемочной сети, принимаемого за исходное; такая методика чаще всего применяется при съемке с точек теодолитного хода. Если в качестве съемочного обоснования используются тахеометрические ходы, ориентирование лимба производится по дирекционному кругу. Для этого нуль алидады совмещают с отсчетом на лимбе, соответствующим дирекционному углу направления, например BA , и наводят зрительную трубу на точку A . После этого при неподвижном лимбе производится визирирование на пикетные точки. В данном случае при камеральной обработке на плане откладываются углы, отсчитываемые от северного направления координатной сетки.

После окончания работ на станции для контроля зрительную трубу снова визируют на исходную точку. Расхождения в отсчетах не должны быть более $2'$.

Расстояния между пикетными точками и станцией зависят от масштаба съемки и высоты сечения рельефа, их значения приведены в табл. 20.

Одновременно со съемкой пикетных точек ведется абрис, в котором зарисовывается ситуация и указываются линии рельефа (тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и т. п.). Также указываются точка стояния прибора и смежные (предыдущие и последующие) точки съемочной сети, соединяемые сплошными линиями. Пикетные точки, между которыми имеется равномерный уклон, соединяются стрелками, показывающими направление ската. При

Точка стояния В; $H_B = 108,30$ м; $i = 1,43$ м; $MO = 0^\circ 01,5''$

Наблюдал ————— 19 — г.

№ точек наблюдения	Отсчет по горизонтальному кругу		Расстояние $(KI + c)$, м	Отсчет по вертикальному кругу		Угол наклона	Горизонтальное проложение $S = (KI + c) \cos^2 v$	Превышение $h = (KI + c) \times \sin v$, м	Высота точки H , м	Примечание
	°	'		°	'					
1		2	3	4	5	6	7	8	9	

Определение места нуля (МО)

А	0	00		178	КЛ	50				
	5	31	34,6	357		56	—2	05,5	34,6	107,03
	28	17	34,8	0	06	06	+0	04,5	34,8	108,34
	56	55	25,5	1	07	07	+1	05,5	25,5	108,78
А										
	0	01								

Тропинка

Водораздел

Водораздел

Масштаб съемки	Высота сече- ния рельефа, м	Максималь- ное расстоя- ние между пикетами, м	Максималь- ное расстоя- ние от при- бора до рей- ки при съемке рельефа, м	Максимальное расстояние от инструмента до рейки при съемке ситуации, м	
				при съемке твердых кон- туров, м	при съемке нетвердых контуров, м
1:5000	5	120	350	150	200
	2	100	350	150	200
	1	80	300	150	200
	0,5	60	250	150	200
1:2000	2	60	250	100	150
	1	60	250	100	150
	0,5	40	200	100	150
1:1000	1	50	200	80	100
	0,5	20	150	80	100
1:500	1	20	150	80	80
	0,5	15	100	60	80

построении плана между пикетами, соединенными стрелками, производят интерполирование.

От правильного ведения абриса во многом зависит точность изображения снимаемой местности на плане, поэтому ситуация на абрисах поясняется надписями, кроме того, в наиболее сложных местах схематически показывается рельеф.

§ 101. Обработка результатов тахеометрической съемки

Камеральная обработка тахеометрической съемки включает в себя:

- проверку полевых журналов и составление схемы тахеометрических ходов;
- камеральную обработку результатов съемки тахеометрического хода. Допустимая угловая невязка определяется по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1' \sqrt{n},$$

где n — количество углов.

Относительная линейная невязка тахеометрических ходов не должна превышать

$$f_{s_{\text{доп}}} = [s]/400 \sqrt{n},$$

где $[s]$ — длина хода, м; n — число линий в ходе.

Предельная невязка в сумме превышений тахеометрического хода не должна превышать

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,04 \cdot s \sqrt{n}, \text{ см,}$$

где s — средняя длина сторон в сотнях метров; n — число сторон;

— вычисление высот пикетов и горизонтальных расстояний до них. Если используются номограммные тахеометры, превышения и горизонтальные проложения снимаются непосредственно с номограмм; при использовании нитяного дальномера по тахеометрическим таблицам определяются превышения и горизонтальные проложения до пикетов. Отметки пикетов вычисляются по формуле

$$H_i = H_{\text{ст}} + h_i,$$

где $H_{\text{ст}}$ — высота станции тахеометрической съемки; h_i — превышения между станцией тахеометрической съемки и пикетными точками;

— накладку на план точек хода и пикетных точек, нанесение ситуации, интерполирование и проведение горизонталей.

План тахеометрической съемки вычерчивается на планшете, сначала строится координатная сетка, затем по координатам наносятся точки съемочной сети. После чего с помощью транспортира и масштабной линейки наносятся пикетные точки, возле которых выписываются с округлениями до 0,1 м их высоты. По абрису съемки наносится ситуация, выполняется интерполирование и затем проводятся горизонтали.

План тахеометрической съемки до его вычерчивания в туши тщательно проверяется в поле путем глазомерного сличения с местностью контуров и рельефа, нанесенных на план. Кроме того, проводится выборочная инструментальная проверка.

Средние погрешности построения рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования не должны превышать $\frac{1}{4}$ принятой высоты сечения рельефа при углах наклона до 2° , $\frac{1}{3}$ — при углах наклона от 2 до 6° . Средние погрешности в плановом положении предметов и контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм, в горных районах — 0,6 мм.

Глава 14

МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

§ 102. Сущность мензульной съемки

Мензульная съемка выполняется при помощи мензулы (столика) и кипрегеля (рис. 89) с целью получения топографического плана местности. Отличается она от других видов съемки тем, что план составляется на местности в процессе самой съемки. Это позволяет существенно повысить его достоверность. Для построения

горизонтальной проекции bca некоторого угла BCA (рис. 90) точку c , отмеченную на мензуге, помещают над вершиной C угла BCA . Для этого используется центрировочная вилка. Плоскость

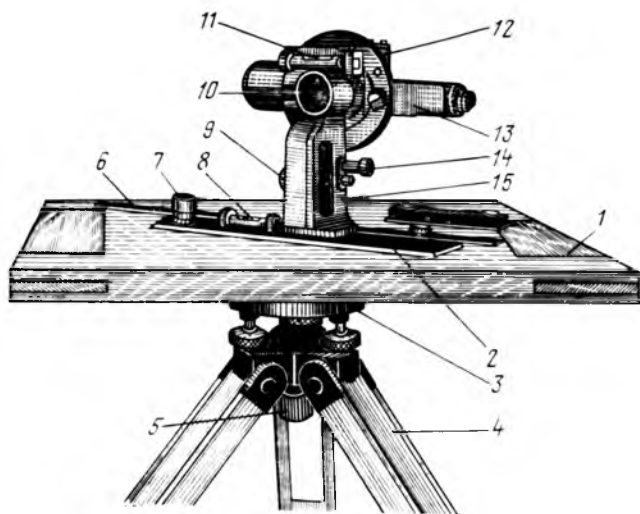


Рис. 89

мензулы приводится в горизонтальное положение, и при помощи кипрегеля строятся вертикальные плоскости, проходящие через стороны углов CA и CB . Следы пересечения этих плоскостей с

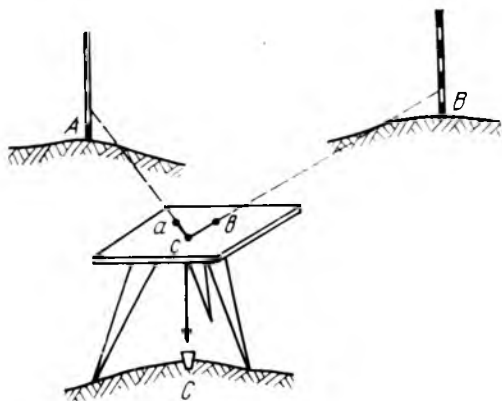


Рис. 90

плоскостью мензулы cb и ca отмечаются на чертеже, представляя горизонтальную проекцию угла ACB .

В настоящее время мензурная съемка производится для съемки в крупных масштабах небольших участков местности.

§ 103. Мензула

Мензулой называется столик, состоящий из мензульной доски 1, штатива 4 и подставки 3 (см. рис. 89), соединяющей доску с головкой штатива. После установки мензулы на местности на ней выполняют измерительные и чертежные работы, связанные с составлением плана.

Мензульные доски изготовляют из сухого дерева в виде квадрата со стороной 60 см при толщине 2—3 см. На верхнюю плоскость доски наклеивают чертежную бумагу, на которой составляют план. Часто для предохранения плана от деформации чертежную бумагу наклеивают не непосредственно на доску, а на лист высококачественной фанеры или алюминия, которые затем прикрепляются к доске. Мензульную доску с наклеенной на нее бумагой называют планшетом. Различают мензулы с деревянной и металлической подставками. В настоящее время используются металлические подставки (рис. 91), состоящие из корпуса 6 с тремя винтами 5 для закрепления планшета и основания подставки 1, опирающегося на три подъемных винта 3 и снабженного закрепительным винтом 4 и наводящим устройством (винт 2). Вращение планшета по азимуту в небольших пределах осуществляется винтом 2. Подставку закрепляют на головке штатива при помощи станкового винта 5 (см. рис. 89). Подъемные винты позволяют приводить плоскость планшета в горизонтальное положение.

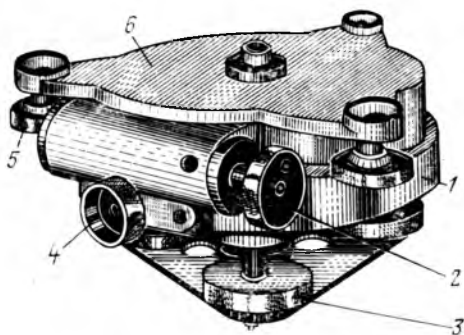


Рис. 91

§ 104. Кипрегели

Кипрегель — прибор, при помощи которого графическим способом строят на планшете горизонтальные направления местности, измеряют расстояния и углы наклона по отдельным направлениям, а также накладывают пикеты.

В настоящее время применяются номограммные кипрегели, позволяющие отсчитывать превышения и горизонтальные проложения при наведении зрительной трубы на вертикальную рейку.

Кипрегель КА-2. Основанием кипрегеля (см. рис. 89) служит основная линейка 2, к которой при помощи двух шарниров, образующих переменный параллелограмм, присоединена дополнительная линейка 6, позволяющая наносить на планшет снимаемые точки без передвижения всего прибора. На основной линейке укреплены цилиндрический уровень 8 для приведения планшета в горизонтальное положение.

горизонтальное положение, масштабная линейка и роликовое приспособление 7 для небольших углов поворотов кипрегеля на планшете.

К основной линейке прикреплена колонка 15 с вращающейся, как у теодолита, зрительной трубой 13, вертикальным кругом и уровнем 11 при вертикальном круге. Пузырек уровня приводится на середину установочным винтом 9 перед отсчетом по лимбу. Зрительная труба дает обратное изображение предметов и переводится через зенит объективным концом; она имеет закрепительное 10 и наводящее 14 устройства. Кипрегель КА-2 позволяет ра-

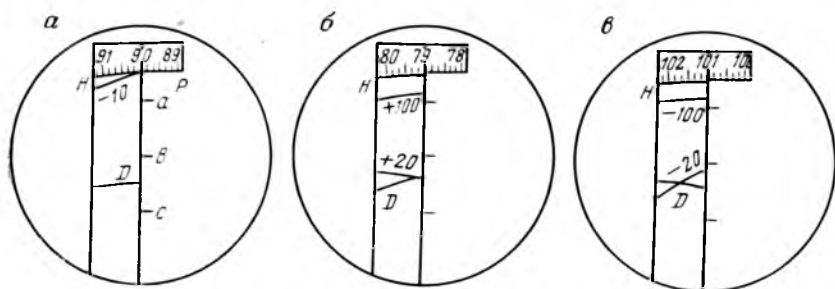


Рис. 92

ботать им, как нивелиром, горизонтальным лучом визирования. Используется для этого уровень 12, расположенный на трубе.

На стеклянном вертикальном круге нанесены деления через $10'$ с оцифровкой через 1° и номограммы для определения по рейке горизонтальных проложений и превышений. Деления круга и номограммы оптической системой передаются при положении КЛ в поле зрения трубы (рис. 92) на Г-образную непрозрачную пластинку, на которой видны деления вертикального круга, основная кривая H , кривая горизонтальных проложений D с коэффициентом дальномера $K_D=100$ и кривые превышений h_{10} , h_{20} , h_{100} с коэффициентами дальномера $K_{h_{10}}=\pm 10$, $K_{h_{20}}=\pm 20$ и $K_{h_{100}}=\pm 100$. Правая сторона пластинки служит вертикальным штрихом сетки нитей, а пересечение этой стороны с основной кривой H является центром сетки нитей. На рис. 92 приведены 3 случая изображения номограммных кривых превышений в зависимости от угла наклона зрительной трубы:

a — при горизонтальном положении зрительной трубы (отсчет по вертикальному кругу равен $90^\circ 00'$);

$б$ — при угле наклона $v=+11^\circ 00'$ (отсчет $79^\circ 00'$);

$в$ — при угле наклона $v=-11^\circ 00'$ (отсчет $101^\circ 00'$).

При КП номограммы не видно, видны только деления лимба и дальномерные штрихи a , b , c (рис. 92, a). Определение горизонтальных проложений и превышений производится после совмещения правой стороны пластинки с левым краем изображения рейки

(рис. 93) и приведения пузырька уровня при алидаде вертикального круга на середину.

Место нуля вертикального круга кипрегеля КА-2 равно 90° и определяется по формуле

$$MO = \frac{KP + KJ - 180^\circ}{2};$$

углы наклона — по формулам

$$v = \frac{KP - KJ - 180^\circ}{2};$$

$$v = KP - MO - 180^\circ;$$

$$v = MO - KJ.$$

Чтобы определить горизонтальное проложение линии и превышения, надо основную кривую навести на нулевой штрих рейки, соответствующей высоте прибора, и произвести отсчеты по кривой расстояний и превышений, а затем умножить эти отсчеты на соответствующие коэффициенты дальномера.

Если обозначить s — горизонтальное проложение, h — превышение, K_D и K_h — соответственно коэффициенты дальномера для определения горизонтальных проложений и превышения, l_D — отсчет по рейке между основной кривой и кривой горизонтальных проложений, l_h — отсчет по рейке между основной кривой и кривыми превышений, то

$$s = K_D l_D \quad \text{и} \quad h = K_h l_h.$$

На рис. 93 показан случай, когда превышения можно определить по двум кривым с коэффициентами -20 и -100 . Согласно рис. 93 будем иметь: $s = 100 \times 0,192 = 19,2$ м; $h = 34,4 \times (-20) = -6,88$ м и $0,069 \times (-100) = -6,90$ м.

Кипрегель КН. Кипрегель КА-2 обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что ограничивается поле зрения Г-образной диафрагмой, из-за чего снижается производительность труда наблюдателя, ухудшаются эксплуатационные качества прибора. Этого недостатка лишен выпускаемый номограммный кипрегель КН.

Зрительная труба кипрегеля (рис. 94) прямого изображения снабжена ломаным окуляром 2, что повышает удобство наблюдений. Закрепительное 3 и наводящее 4 устройства совмещены на одной оси и расположены в верхней части колонки. Зрительная труба снабжена реверсивным цилиндрическим уровнем и уровнем при вертикальном круге с установочным винтом 1, при помощи

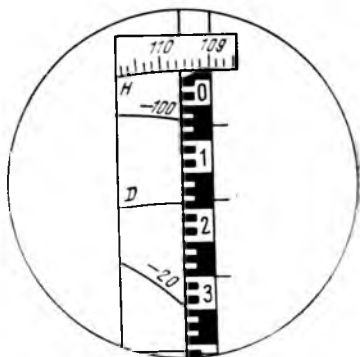


Рис. 93

которого пузырек уровня приводится на середину перед отсчетом по лимбу.

Углоначертательное устройство представлено линейкой, являющейся основанием прибора, к которой прикреплены цилиндрический уровень и поперечный масштаб.

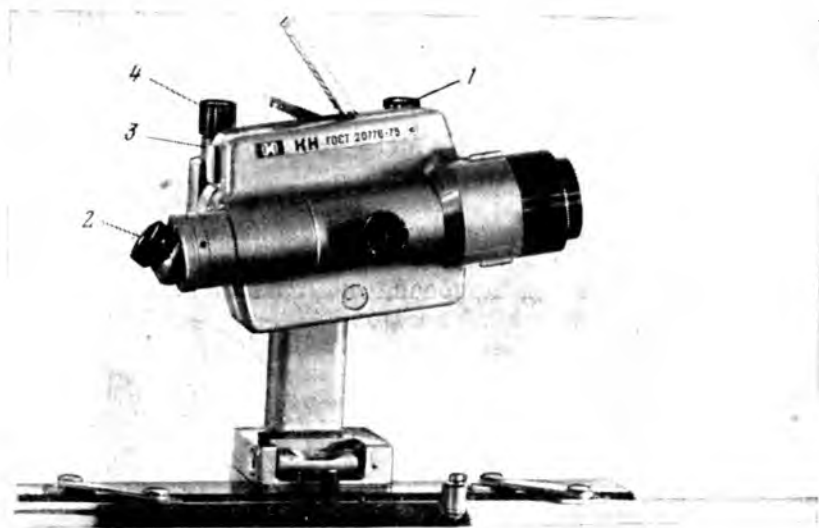


Рис. 94

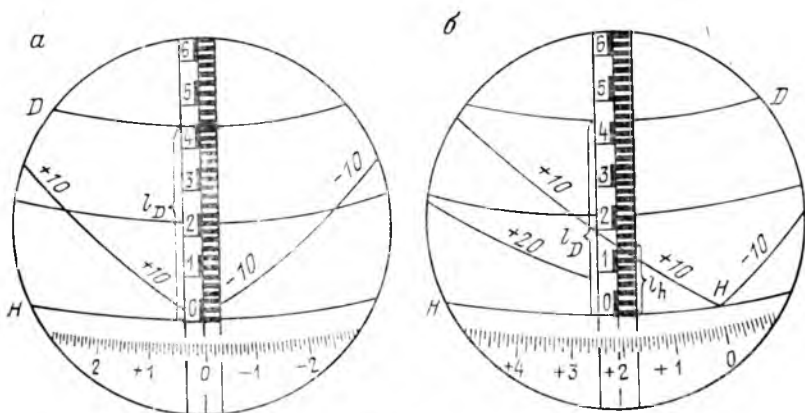


Рис. 95

Номограмма (рис. 95) состоит из кривых превышений с коэффициентами $K_h = \pm 10, \pm 20$ и ± 100 , кривой горизонтальных проложений с коэффициентом $K_D = 100$ и основной кривой H , расположенной в нижней части поля зрения трубы, где также видна часть

лимба с ценой деления 5'. Изображение кривых номограммы видно только при положении трубы КЛ при углах наклона трубы не более 40°. На рис. 95 показаны положения кривых номограммы при угле наклона $v=0$ (рис. 95, а) и угле наклона $v=+2^{\circ}04'$ (рис. 95, б).

Место нуля вертикального круга кипрегеля КН должно быть равно нулю и вычисляется из выражения

$$МО = (КП - КЛ)/2,$$

угол наклона — по формулам

$$v = (КП + КЛ)/2;$$

$$v = КП - МО;$$

$$v = КЛ + МО.$$

При работе на станции зрительную трубу наводят на рейку так, чтобы вертикальный штрих сетки совпал с серединой рейки, а основная кривая H — с нулем рейки, установленным на высоте кипрегеля. Отсчеты l_D и l_h по кривым D и H берут в точках пересечения этих кривых с вертикальным штрихом. Умножив эти отсчеты на соответствующий коэффициент, получают горизонтальное проложение s и превышение h . На рис. 95, б отсчеты $l_D=45,0$ см и $l_h=16,0$ см, следовательно, $s=100 \cdot (45,0 \text{ см})=45,0 \text{ м}$, $h=+10 (16,0 \text{ см})=+1,60 \text{ м}$. Перед отсчетом пузырек уровня вертикального круга приводится на середину.

§ 105. Поверки мензулы и центрировочной вилки

Мензула должна удовлетворять следующим условиям:

1. Мензула должна быть устойчивой. Для проверки условия на мензулу ставят кипрегель и визируют его на хорошо видимый удаленный предмет местности. Затем легким нажимом доску мензулы выводят из неподвижного положения. При этом изображение предмета в трубе кипрегеля смещается с вертикальной нити сетки. Если после прекращения воздействия мензульный столик вернется в первоначальное положение, т. е. изображение предмета в трубе вновь окажется на вертикальном штрихе сетки, то мензула считается устойчивой. В противном случае мензула должна быть отправлена в мастерскую для исправления.

2. Поверхность доски должна быть плоскостью. Для проверки этого условия к верхней поверхности доски прикладывают скошенное ребро выверенной линейки кипрегеля. Если между ребром линейки и доской в любом направлении не окажется просветов, то условие выполнено. Если будут просветы, то доска должна быть направлена в мастерскую для исправления.

3. Верхняя плоскость доски должна быть перпендикулярна к оси вращения мензулы. По выверенному уровню линейки кипрегеля при помощи подъемных винтов плоскость доски приводят в горизонтальное положение. Затем

мензультную доску вращают вокруг оси мензулы. Если пузырек уровня смещается с центра ампулы более чем на 2—3 деления, то условие выполнено; если смещается на большее количество делений, то исправление этого недостатка производится в мастерской.

4. Поверка мензультной вилки. На местности устанавливается мензула и нивелируется ее доска, на которой отмечается точка. К ней прикладывается острое вилки, а под отвесом забивается колышек. После этого острое вилки прикладывается к этой же точке, но с противоположной стороны мензультной доски. Если при втором положении отвес совпадает с колышком, то острое вилки и отвес находятся на одной отвесной линии. В противном случае забивается второй колышек, отмечается середина расстояния между колышками и смещается точка крепления отвеса таким образом, чтобы он находился над центром расстояния между колышками.

§ 106. Поверки кипрегеля

Кипрегели должны удовлетворять следующим общим для всех конструкций приборов требованиям:

1. Скошенный край линейки должен представлять линию, а нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью. Для выполнения поверки кипрегель устанавливают на планшет и карандашом по скошенному краю проводят линию. Затем перекадывают кипрегель на 180° , приставляют его к прочерченной линии и вторично проводят линию. Если обе линии совпадут, то условие выполнено. Исправление в случае необходимости производится в мастерской.

Для поверки нижней плоскости линейки кипрегель ставится на планшет и проверяется, есть ли просвет между линейкой и планшетом.

2. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельной нижней плоскости линейки. Кипрегель ставят на мензультную доску по направлению двух подъемных винтов и приводят ими в середину пузырек уровня линейки. Прочерчивают на планшете у концов линейки две черточки (длиной по 2—3 см) и переставляют кипрегель на планшете на 180° , т. е. прикладывают к прочерченным черточкам ребро линейки с другой стороны. Если пузырек уровня отклонился от середины ампулы, то юстировочными винтами уровня возвращают его на половину отклонения, на вторую половину дуги отклонения пузырек возвращается подъемными винтами мензулы. Поверка повторяется до тех пор, пока пузырек будет отклоняться на два деления уровня.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. Верхняя поверхность планшета приводится в горизонтальное положение, на нее устанавливают кипрегель и визируют зрительную трубу на удаленный предмет. Вдоль скошенного края линейки ка-

рандашом прочерчивается прямая, на которой произвольно отмечается точка. После этого труба переводится через зенит, кипрегель устанавливается около отмеченной точки и труба вновь визируется на предмет. Вдоль скошенного края линейки второй раз проводится прямая. Если обе прямые совпадают, то условие выполнено. При неперпендикулярности визирной оси вращения трубы угол, заключенный между двумя прямыми, равен двойному значению коллимационной ошибки. Для ее исправления прочерчивают биссектрису этого угла, совмещают с ней скошенное ребро линейки и боковыми исправительными винтами сетки нитей перемещают последнюю до тех пор, пока изображение предмета не совпадает с пересечением сетки нитей.

4. Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки. При проверке этого условия на доску мензулы, приведенную в горизонтальное положение, устанавливают кипрегель, визируют на удаленную высоко расположенную точку, назовем ее точкой M . Трубу опускают приблизительно до ее горизонтального положения, и на стене отмечают точку M_1 . Затем трубу переводят через зенит, кипрегель поворачивают на 180° и производят повторное визирование на точку M и ее проектирование на стену приблизительно при горизонтальном положении трубы. Отмечают точку M_2 . Если условие выполнено, то точки M_1 и M_2 должны совпасть. Если окажется, что ось вращения зрительной трубы не параллельна плоскости линейки, то кипрегели КА-2, КН для исправления отправляются в мастерскую, кипрегели старых конструкций исправляются. Для этого, отметив середину интервала M_1M_2 , исправительными винтами колонки добиваются такого положения, чтобы перекрестие сетки нитей было совмещено с центром отрезка M_1M_2 .

5. Вертикальная нить сетки нитей зрительной трубы должна быть вертикальна. Для выполнения проверки мензультную доску приводят в горизонтальное положение, на нее устанавливают кипрегель, а вертикальный штрих сетки нитей наводят на отвес, подвешенный на расстоянии 20—40 м от мензулы. Если вертикальный штрих сетки нитей не совпадает с отвесом, то при ослабленных исправительных винтах сетка поворачивается до выполнения условия.

6. Коллимационная плоскость зрительной трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или должна быть параллельна ему. При проверке планшет приводят в горизонтальное положение, устанавливают на него кипрегель и зрительную трубу наводят на хорошо видимый невооруженным глазом предмет. У концов скошенного края линейки вертикально ставят две иглы, образующие вертикальную плоскость, которая также должна пройти через наблюдаемый предмет. Если этого нет, то колонка кипрегеля должна быть повернутой относительно линейки. Однако у современных кипрегелей колонка не поворачивается. Но это не вносит погрешности в построение плана, так как непараллельность кол-

лимационной плоскости скошенному краю линейки входит систематической погрешностью во все наблюдения, включая исходное направление.

7. Определение фактических значений коэффициентов кривой горизонтальных проложений. Для определения фактических значений коэффициента кривой горизонтальных проложений сравниваются горизонтальные проложения, полученные в результате определения по дальномеру и при помощи мерной ленты, по формуле

$$K_{\phi} = 100 \frac{s_{\text{лент}}}{s_{\text{ном}}}.$$

Если полученное значение K_{ϕ} отличается от 100 больше чем на 0,2, то в определяемые горизонтальные проложения должна вводиться поправка.

§ 107. Съёмочные сети, выполняемые при мензульной съёмке

При производстве мензульной съёмки в качестве съёмочной сети используются пункты триангуляции, трилатерации, полигонометрии, точки теодолитных ходов. В тех случаях, когда имеющиеся пункты не обеспечивают необходимую густоту для съёмки местности, строится дополнительная съёмочная сеть в виде геометрической сети, представляющей систему треугольников, в которой положение пунктов получают на планшетах построением графических прямой или боковой засечек, мензульных ходов, в которых углы между сторонами хода строят на планшете по вычерченным направлениям, переходных точек, определяемых чаще всего полярным способом и применяемых для съёмки местности, снять которую с пунктов геометрической сети из-за удаленности или отсутствия видимости невозможно.

Густота пунктов съёмочной сети вместе с исходными пунктами должна быть доведена при масштабе съёмки 1:5000 до 1—12 точек на 1 км², 1:2000 до 22—50 точек, 1:1000 до 48—80 точек и при масштабе съёмки 1:500 до 80—140 точек.

Прямая и боковая засечки. При построении съёмочного обоснования положение точек часто определяют прямой или боковой засечками, позволяющими определить положение на планшете точки местности по двум имеющимся на нем точкам, принимаемым за исходные.

Прямая засечка. Предположим, что нанесенные на планшете точки a и b соответствуют точкам A и B местности (рис. 96, a). Требуется определить на планшете точку C местности. Устанавливают мензулу сначала, например, в точке A , центрируют ее, приводят планшет в горизонтальное положение и ориентируют его по точкам a и b . Затем, приложив ребро линейки кипрегеля к точке a планшета, визируют на точку C местности и по

линейке прочерчивают прямую линию. После этого переходят с мензулой в точку B . Ориентировав планшет по линии ba , визируют через точку b планшета на точку C местности и по линейке проводят прямую линию. В точке c пересечения обеих линий находится определяемая точка.

Боковая засечка. При определении точки C боковой засечкой работу на одной из исходных точек, например на точке A , выполняют в том же порядке, что и в случае прямой засечки. За-

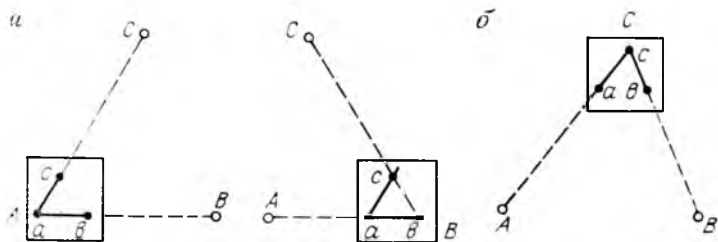


Рис. 96

тем переносят мензулу в определенную точку C , приблизительно центрируют планшет, приводят в горизонтальное положение и ориентируют его по ранее прочерченной линии ac (рис. 96, б). Далее прикладывают линейку кипрегеля к точке b планшета, визируют на точку B местности и по линейке прочерчивают линию до пересечения с линией ac . Точка c пересечения обеих линий является определяемой точкой.

Геометрические сети. Геометрическая сеть является одним из видов геодезической опоры для съемки в открытой местности масштаба $1 : 10\,000$ и иногда $1 : 5000$. Построение геометрической сети выполняется графическим способом созданием на мензульном планшете последовательных засечек.

Проект сети составляется по карте наиболее крупного масштаба и уточняется рекогносцировкой на местности. В результате должна быть проверена сохранность пунктов главной геодезической сети и наличие взаимной видимости между этими пунктами и точками проектируемой сети. Точки геометрической сети по возможности должны быть расположены равномерно на снимаемой территории.

При создании геометрической сети вехи устанавливаются на возвышенных местах с хорошим обзором и с таким расчетом, чтобы каждая из них надежно определялась не менее чем с трех точек, а углы между направлениями при определяемых точках были не менее 30° и не более 150° . Как правило, вехи устанавливаются по всей площади съемочного планшета. При установке вех одновременно измеряется их высота.

Определение точек геометрической сети начинается с установки мензулы над центром одного из опорных геодезических пунктов, нивелирования и ориентирования планшета по наиболее удаленному пункту. Правильность ориентирования контролируется визи-

рованием на другие точки съемочной сети. Визирование осуществляется на все видимые точки геометрической сети, при этом визируемые направления прочерчиваются на планшете. После проведения направлений выполняется контрольная проверка ориентировки планшета.

Высоты точек геометрической сети при построении плана с сечением горизонталей 1 м определяются геометрическим техническим нивелированием, при сечении больше 1 м — тригонометрическим нивелированием. В этих случаях измеряются углы наклона полным приемом и высота прибора. Горизонтальные проложения для вычисления превышений снимаются с плана. Для тех направлений геометрических сетей, где превышения определялись в прямом и обратном направлениях, допустимое расхождение между ними не должно превышать 4 см на каждые сто метров длины линии. За окончательное принимается среднее арифметическое.

После окончания работы на первом пункте переходят на следующий пункт геодезической сети.

Положение точек геометрической сети считается надежно определенным, если три направления пересеклись в одной точке.

Мензульные ходы. В закрытой и полузакрытой местности съемочное обоснование создают проложением мензульных ходов. Мензульные ходы прокладываются между пунктами геодезической сети. Пусть имеются исходные пункты A, C, B, D и от пункта A требуется проложить ход к пункту B (рис. 97). Для этого устанавливают мензулу в пункте A и ориентируют планшет по линии AC . После этого, приложив ребро линейки кипрегеля к точке a , визируют на рейку, установленную в выбранной точке 1 хода, определяют горизонтальное проложение до нее по дальномеру и прочерчивают на планшете направление $a1$. При этом для более точного обратного ориентирования планшета с точки 1 на пункт A направление $a1$ отмечают на краях планшета.

Для вычисления превышения между пунктами A и точкой 1 измеряют угол наклона при двух положениях вертикального круга, визируя на верх рейки или на какой-либо ее штрих, находящийся от пятки на высоте, например, 2 м или 1,5 м. Кроме того, с помощью рулетки с округлением до 0,01 м измеряют высоту прибора от верхнего среза кола (столба), которым закреплен пункт A , до оси вращения трубы кипрегеля. Результаты всех измерений записывают в журнал топографической съемки. Затем переносят мензулу в точку 1 , а рейку поочередно устанавливают на пункт (точку) A и точку 2 .

Определив приблизительно положение точки 1 на планшете (по расстоянию $a1$), центрируют его, приводят в горизонтальное положение и ориентируют по обратному направлению $1a$, приложив линейку кипрегеля к линиям, отмеченным на краях планшетов. Измеряют горизонтальное проложение $a1$ в обратном направлении, которое не должно отличаться от прямого более чем на 1 : 200.

Из результатов прямого и обратного измерений определяют среднее значение горизонтального проложения, откладывают его в

принятом масштабе плана от точки a по прочерченной на планшете линии al и получают точку $1'$ (рис. 97, положение 2).

Прикладывают ребро линейки кипрегеля к точке $1'$, наводят трубу на точку $2'$ хода, прочерчивают направление и определяют

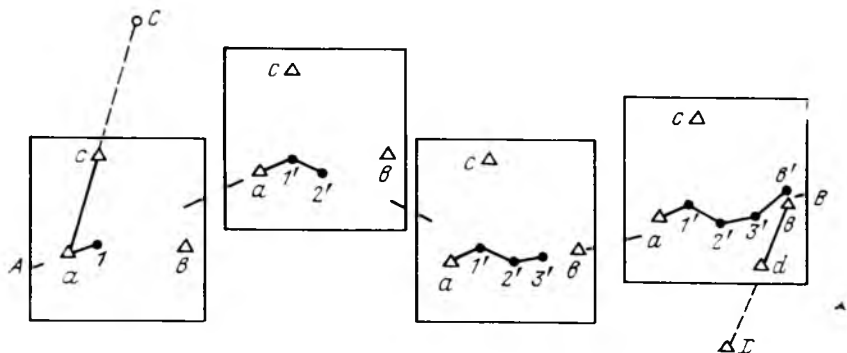


Рис. 97

горизонтальное проложение $1'—2'$. Определив высоту прибора, измеряют углы наклона при двух положениях вертикального круга на точки A (назад) и $2'$ (вперед). Контролем измерения углов наклона служит постоянство значения места нуля. Расхождение двух его значений не должно превышать $1,5'$. Вычисляют прямое и обратное превышения по формуле $h = \text{stg } v$. Расхождение между прямым и обратным значениями превышения не должно быть более чем 4 см на 100 м расстояния. Выполнив аналогичную работу на точке $2'$, переходят с мензурой на предпоследнюю точку $3'$ хода.

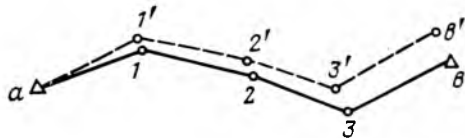


Рис. 98

После ориентирования планшета и нанесения на нем точки $3'$ прикладывают ребро линейки кипрегеля к ней, визируют на конечный пункт (точку) B , измеряют горизонтальное проложение стороны $3'—B$ хода, откладывают его на планшете и получают точку b' , которая в общем случае не совпадает с нанесенной на планшете исходной точкой b . Полученную линейную невязку $bb' = f_s$, если она не превышает $1:300$ длины хода s , распределяют (рис. 98) так, чтобы точки $1'$, $2'$ и $3'$ были смещены параллельно направлению невязки. Величины этих смещений (поправки) рассчитывают пропорционально расстояниям от начальной точки A до точки, в положение которой вводится поправка.

Для точки $1'$ поправка

$$\delta_1 = \frac{f_s}{\sum s} s_{a1'},$$

для точки 2'

$$\delta_2 = \frac{f_s}{\sum s} (s_{a1'} + s_{1'2}),$$

для точки 3'

$$\delta_3 = \frac{f_s}{\sum s} (s_{a1'} + s_{1'2} + s_{2'3'}).$$

Поправки откладывают от соответствующих точек параллельно направлению невязки и получают исправленное положение точек 1, 2 и 3. Чтобы не устанавливать мензулу в конечном пункте *B* для измерения угла наклона на точку 3 и не вычислять обратное превышение, с точки 3 на точку *B* измеряют два угла наклона, визируя на две разные высоты рейки, и вычисляют два прямых превышения; расхождение между ними допускается в таких же пределах, как для прямого и обратного превышений.

Невязку в сумме превышений хода вычисляют по формуле

$$f_h = \sum h_{ср} - (H_k - H_n),$$

где $\sum h_{ср}$ — сумма средних превышений; H_k и H_n — соответственно высоты конечного и начального пунктов (точек хода).

Допустимую невязку определяют по формуле

$$f_{h_{доп}} = 0,04s / \sqrt{n},$$

где s — число сотен метров в мензульном ходе; n — число линий хода. Если невязка допустима, то ее распределяют с обратным знаком на каждое превышение пропорционально длинам линий хода. По исправленным превышениям вычисляют высоты точек хода. Длина мензульного хода для съемки масштаба 1:1000 допускается 250 м с тремя сторонами, для масштаба 1:2000—500 м с пятью сторонами, для масштаба 1:500 — до 200 м с двумя сторонами, длину которых измеряют рулеткой.

Переходные точки. При построении геометрических сетей не всегда с ее пунктов можно провести съемку всей территории: опускаются отдельные участки «окна», до которых расстояния от пунктов более максимально допустимых от прибора до рейки. В таких случаях определяются переходные точки. Существует несколько способов их определения, наиболее распространенными являются полярный и прямой или обратной засечек. Более простой полярный способ, состоящий в том, что с пункта геометрической сети *I* проводится на планшете направление на переходную точку *A*, дальномером измеряют до нее расстояние, определяют угол наклона и откладывают его от пункта *I*. Затем с мензулой становятся на точке *A*, ориентируют планшет по направлению *A—I*, определяют обратное горизонтальное положение и превышение, вычисляют среднее арифметическое значение длины линии *I—A*, отмечают окончательное положение переходной точки, вычисляют ее высоту и производят с нее съемку ситуации и рельефа.

Углы наклона кипрегеля КА-2 и КН измеряются дважды при положении вертикального круга КЛ, расхождение между прямым и обратным превышениями не должно быть более 4 см на каждую сотню метров длины линии.

§ 108. Установка мензулы на станции (пункте)

При установке мензулы на станции ее центрируют, приводят планшет в горизонтальное положение и ориентируют. При центрировании мензулы планшет приближенно приводят в горизонтальное положение, а затем ориентируют на глаз по нанесенным на нем точкам. После этого перемещением мензулы устанавливают при помощи вилки точку *c*, нанесенную на планшете, над точкой *С* местности (см. рис. 90). Приводят плоскость планшета в горизонтальное положение и планшет ориентируют с необходимой точностью.

Для приведения планшета в горизонтальное положение ставят кипрегель на планшет по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, устанавливают пузырек уровня на середину. Затем кипрегель ставят по направлению третьего подъемного винта и его вращением пузырек уровня устанавливают на середину. Горизонтальное положение планшета контролируют, передвигая линейку по произвольным направлениям, при этом пузырек уровня не должен отклоняться от середины более чем на два деления.

Ориентировать планшет — это значит установить его так, чтобы линии на нем были параллельны горизонтальным проложениям соответствующих линий на местности. Ориентирование осуществляют обычно, используя опорные точки (теодолитных ходов, пунктов геодезических сетей), закрепленные на местности и нанесенные на планшет. Допустим, что на планшете (см. рис. 90) нанесены по координатам точки *b*, *c* и *a*, соответствующие точкам *В*, *С* и *А* на местности. Для ориентирования планшета в точке *С* мензулу центрируют и приводят планшет в горизонтальное положение. Затем, выбрав наиболее удаленную точку *В* (чем длиннее линия на планшете, тем точнее выполняется ориентирование), прикладывают скошенное ребро линейки кипрегеля к точкам *c* и *b*, вращают планшет, пока изображение точки *В* не совместится с вертикальным штрихом поля зрения трубы, после чего планшет закрепляют. В результате планшет будет ориентирован по направлению *СВ*. Ориентирование планшета проверяют по другой, менее удаленной точке *А*. Если ребро линейки кипрегеля пройдет через точку *a* на планшете или отойдет от нее не более чем на 0,2 мм, то ориентирование выполнено правильно.

§ 109. Проведение полевых работ

Мензульная съемка выполняется на планшетах из бумаги ручного отлива, наклеенной на фанерную или алюминиевую основу.

Фанерные листы размером 60×60 см перед наклейкой обрабатываются шкуркой. Бумага наклеивается столярным клеем, для этого она намазывается тонким слоем горячим, средней густоты клеем, который должен какое-то время пропитать бумагу. При наклейке лист бумаги тщательно протирается чистой тряпкой для того, чтобы удалить пузырьки воздуха. После наклейки бумаги на фанеру планшеты выдерживаются под грузом в течение 4—6 мес.

На алюминиевые листы вначале крахмальным клеем наклеивается писчая бумага № 2, которой дают просохнуть около суток. После просушки крахмальным клеем наклеивается чертежная бумага, которую выдерживают под прессом около 1 ч. После этого планшеты готовы к использованию.

Перед проведением мензульной съемки на планшетах разбивается координатная сетка и по координатам наносятся пункты основной съемочной сети, подписываются их номера или названия и высоты с округлением до 0,01 м.

Порядок работы на станции, как правило, принимается следующий:

1. Устанавливают вешки на двух точках съемочного обоснования, на которые есть хорошая видимость со станции.

2. Мензулу устанавливают над точкой стояния, при этом вначале производится грубое ее ориентирование и центрирование. Затем верхнюю поверхность планшета приводят в горизонтальное положение, после чего центрируют планшет при помощи вилки. Точность центрирования при масштабе съемки 1:500 и 1:1000 — 5 см, при масштабах 1:2000 и 1:1000 — 25 см, в более мелких масштабах центрирование выполняется на глаз.

3. Выполняют точное ориентирование мензулы, для этого прикладывают скошенный край линейки к двум удаленным точкам и при помощи наводящего винта мензулы совмещают вертикальную нить сетки нитей с вешкой. Для контроля ориентирование проверяется по другому направлению. После этого проверяют центрирование планшета, если оно вышло за допускаемые пределы, то планшет центрируют и ориентируют заново.

Ориентирование по линиям, имеющим длину на плане менее 5 см, не допускается.

4. Определяют место нуля по двум-трем точкам, расположенных на разных зенитных расстояниях и удалениях. Расхождения между полученными значениями места нуля не должны быть более 1', за окончательное берется средняя величина.

5. На рейке фиксируется высота прибора, при использовании реек с выдвижным концом нуль рейки устанавливается на высоте прибора.

6. Визирование на пикеты производится при одном положении зрительной трубы, как правило, КЛ. Расстояния между пикетами не должны превышать величин, приведенных в табл. 21.

Масштаб съемки	Высота сече- ния рельефа, м	Максималь- ное расстоя- ние между пикетами, м	Максималь- ное расстоя- ние от прибо- ра до рейки при съемке рельефа, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съем- ке ситуаций, м	
				при съемке твердых кон- туров	при съемке не- твердых кон- туров
1:500	0,5	20	100	60	80
	1,0	30	150	60	80
1:1000	0,5	30	150	80	100
	1,0	60	200	80	100
1:2000	0,5	50	200	100	150
	1,0	70	250	100	150
	2,0	70	250	100	150
1:5000	0,5	70	250	150	200
	1,0	100	300	150	200
	2,0	120	350	150	200
	5,0	150	350	150	200

При съемке прямолинейных и резко очерченных объектов тща-тельно снимаются угловые точки, которые затем соединяются пря-мыми линиями. Съемка грунтовых дорог ведется только с одной стороны и измеряется ширина дороги. Если ширина дороги не вы-ражается в масштабе, то пикеты берутся по ее центру. При съемке ситуации с неопределенными очертаниями (кустарник, редколесье и т. п.) границы наносятся на планшет с точностью их установле-ния в натуре.

Отдельно стоящие предметы, не выражающиеся в масштабе, снимаются так, чтобы их центры совпадали с точкой изображения положения условного знака.

При съемке рельефа прежде всего необходимо определять ли-нии водораздела и тальвегов, для этого рейки ставят на вершинах и у подошв скатов, у вершин и устьев лощин и на их разветвлени-ях, на перегибах седловин и скатов, на водоразделах, в ямах и котловинах и по их краям, у берегов рек, озер, прудов. При этом места для пикетов выбираются так, чтобы они характеризовали местность не только по высоте, но и отражали направление скатов и между соседними пикетами были заключены однородные участ-ки скатов.

С каждой станции изображается только та часть рельефа, кото-рая непосредственно с нее видна; зарисовка рельефа без сличения его с натурой при мензольной съемке не разрешается.

Отметки урезов воды водных объектов определяются с таким расчетом, чтобы на плане они были показаны не реже, чем через 15 см.

Определяются также высотные отметки различных искусственных сооружений: мостов, путепроводов, пересечения осей дорог с покрытием, плотин, дамб, шлюзов, фундаментов металлических мачт линий электропередач, карьеров, курганов, углов кварталов, канав, шурфов и т. п.

Отметки пикетов при сечении рельефа 1 м и больше вычисляют с точностью до 0,01 м, а выписывают на планшет до 0,1 м; при сечении рельефа 1 м отметки вычисляют и выписывают на планшет с точностью до 0,01 м.

Глава 15

БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ. ГЛАЗОМЕРНАЯ СЪЕМКА

§ 110. Основные принципы барометрического нивелирования

Барометрическое нивелирование, основанное на зависимости между высотой местности и атмосферным давлением, широко применяется при геологоразведочных работах, особенно в труднодоступных, горных и залесенных районах страны и отличается простотой, мобильностью, высокой производительностью. Опыт работ, научные исследования показывают, что при правильной постановке и организации съемок возможно методом барометрического нивелирования получение высот с точностью $\pm 0,5—1,0$ м.

В производственных условиях распространение получила формула

$$h = h_{\text{ст}} \Delta B, \quad (15.1)$$

где $\Delta B = B_1 - B_2$ — разность атмосферного давления в определяемых точках; $h_{\text{ст}}$ — барометрическая ступень высоты, определяемая по формуле

$$h_{\text{ст}} = 8000 (1 + \alpha t) 1/B \quad (15.2)$$

при $t = (t_1 + t_2)/2$; $B = (B_1 + B_2)/2$ и соответствующая расстоянию по вертикали, при изменении атмосферного давления на единицу*. Значения $h_{\text{ст}}$ выбираются из таблиц барометрических ступеней высот, составленных по средним значениям давления B и температуры t , измеренным в двух точках. Вследствие неравномерного распределения температуры воздушные массы непрерывно перемещаются, что приводит к неравномерному распределению плотности, а следовательно, и различному давлению в точках, лежащих на одном уровне относительно моря. Таким образом, в действитель-

* За единицу измерения атмосферного давления принимается 1 мм рт. ст. В соответствии с СИ давление выражается в паскалях т. е. 1 мм рт. ст. = 133 Па; средняя величина атмосферного давления на уровне моря принимается 101 кПа (760 мм рт. ст.).

ности изобарические поверхности, т. е. поверхности, на которых атмосферное давление имеет одно и то же значение, не будут параллельны уровенным поверхностям, а будут располагаться под некоторым углом к ним. Расстояние между линиями, полученными от пересечения изобарических поверхностей с уровенной, т. е. линиями равных значений атмосферного давления — изобарами, не остается постоянным. Изменение давления по направлению нормали к изобарам на отрезке в 111 км (длина дуги меридиана в 1° на экваторе) называется барическим градиентом. Среднее значение барического градиента составляет $0,01 \div 0,02$ мм рт. ст./км, достигая в отдельных случаях весьма больших величин.

Неравновесие атмосферы приводит к тому, что давление в одной и той же точке земной поверхности не остается постоянным во времени. Изменение давления во времени (в метеорологии такой промежуток принят равным 3 часам) называется барометрической тенденцией. Ее величина составляет в течение часа в среднем 0,3 мм. рт. ст./ч., достигая в отдельных случаях в зависимости от времени года и района работ $\pm 1,5$ мм рт. ст./ч.

§ 111. Приборы, применяемые при барометрическом нивелировании

Приведенные в § 110 формулы показывают, что определяемое превышение является функцией атмосферного давления и температуры. Для измерения давления в настоящее время используют приборы, которые в зависимости от принципа их работы подразделяются на жидкостные, пружинные и газовые барометры и гипсотермометры. В полевых условиях для наблюдений на опорных точках применяют ртутный барометр.

Для определения окончательного значения атмосферного давления в показания ртутного барометра вводятся поправки: за температуру b_t ; изменение силы тяжести в зависимости от широты b_ϕ и высоты места определения атмосферного давления b_H , а также инструментальная поправка a .

К разряду пружинных барометров, основанных на принципе деформации пружины в зависимости от величины давления, относится широко применяемый в практике барометр — anerонд.

В последние годы находят широкое применение барометры, называемые оптическими микробарометрами. Так, микробарометр ОМБ, принципиальная схема которого представлена на рис. 99, состоит из чувствительного трехкоробчатого anerондного блока 2, основание которого крепится к металлическому каркасу 1, а к верхней части — неподвижное 3 и вращающееся 5 зеркало, опирающееся свободным концом на шток 4 anerондного блока. При изменении давления измеряется высота anerондного блока, приводящая к повороту зеркала 5 относительно неподвижного зеркала 3. Разность давлений приборами данного типа в поле зрения отчетного микроскопа измеряют с точностью $\pm 0,03—0,05$ мм рт. ст.

При работе с барометром-анероидом его показания приводят к показаниям ртутного барометра при температуре 0° , силе тяжести на широте 45° на уровне моря. Для этого перед началом полевых работ показания барометра-анероида сравниваются с данными ртутного барометра, на основании которых составляется аттестат-паспорт анероида. В процессе полевых работ для контроля показания анероида необходимо периодически сравнивать с показанием ртутного барометра.

Чтобы привести показания анероида A к показаниям ртутного барометра P_0 , вводятся три поправки: шкаловая, температурная и добавочная.

Для определения постоян-

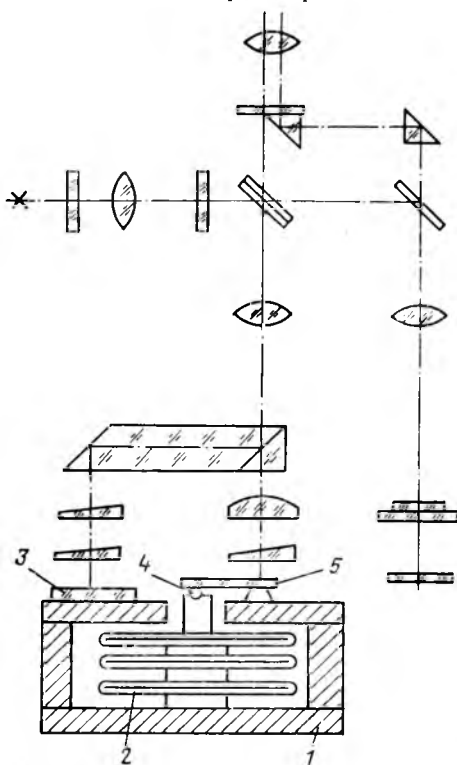


Рис. 99

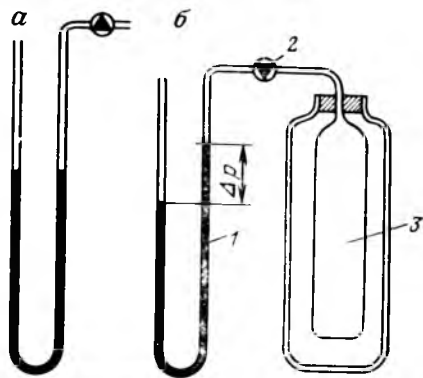


Рис. 100

ных поправок барометров-анероидов, микробарометров нашли применение приборы, принцип действия которых основан на изменении температуры кипения жидкости с изменением давления, т. е. гипсотермометра.

К классу газовых барометров относится дифференциальный барометр или топографический высотометр, в котором внешнее атмосферное давление уравнивается упругим действием газа, находящегося в замкнутом сосуде под определенным давлением. Газовый барометр состоит из баллона $З$ (рис. 100, б), заполненного воздухом и соединенного с манометром 1 , в котором находится маслянистая жидкость с определенной плотностью; между баллоном и манометром имеется кран 2 .

Для определения превышения между двумя точками на исходной точке открывается кран, в результате положение жидкости в

левом и правом коленях манометра уравнивается (рис. 100, а). Затем, закрыв кран, переходят на вторую точку, расположенную на другой высоте по отношению исходной. Поскольку давление на исходной (давление воздуха в баллоне) и определяемой точках будет различно, уровень жидкости в манометрических трубках изменится на величину Δp , соответствующую разности давлений в этих точках, определяемую по шкале манометра. Инструментальная точность высотомера составляет $\pm 0,05—1$ мм рт. ст.

§ 112. Организация работ при барометрическом нивелировании

Выбор способа барометрического нивелирования зависит от объемов работ, наличия приборов, количества наблюдателей и требуемой точности.

Способ замкнутых ходов с опорой на высотную точку. При работе с одним анероидом, чтобы ослабить влияние неравновесия атмосферы, длины ходов, как правило замкнутых, должны быть ограничены 5—7 км, а продолжительность по времени — в пределах 4—5 ч.

Выполняя нивелирование одним анероидом, наблюдатель, измерив давление A_n , температуру воздуха T_n , анероида t_n и время наблюдения h_n на исходной опорной точке, последовательно обходит промежуточные точки маршрута 1, 2, 3, ..., в которых производит наблюдения T_i, A_i, t_i, h_i , и возвращается в исходную точку (рис. 101, а). Данные наблюдений A_k, T_k, t_k, h_k после возвращения на исходную точку будут несколько отличаться от начальных наблюдений. Полученное расхождение является результатом влияния погрешностей отсчитывания по анероиду на исходной точке, а также неравновесия атмосферы. Невязка распределяется с обратным знаком на все станции пропорционально времени наблюдения.

Более строгого учета неравновесия атмосферы добиваются, выполняя барометрическое нивелирование двумя комплектами анероидов, способом замкнутых ходов с опорой на временную барометрическую станцию (ВБС), как правило, организуемую на исходной точке маршрута. На ней берут отсчеты по анероидам, измеряют температуру анероидов и воздуха, после чего один из наблюдателей на ВБС через определенные промежутки времени (20—30 мин) измеряет давление и температуру воздуха и анероида, а второй, следуя по маршруту, выполняет наблюдения в намеченных точках. После выполнения наблюдений на всех точках второй наблюдатель возвращается на исходную точку (ВБС), где производит контрольные наблюдения. Расхождения в показаниях анероидов, находящихся на ВБС и в маршруте, являются результатом неизбежных ошибок отсчетов по анероидам в начале и конце хода, а также влияния неравновесия атмосферы.

Нивелирование по способу передвижной станции с использованием двух комплектов анероидов

дов выполняется в следующей последовательности. На исходной точке *A* (рис. 101, б) наблюдатели снимают показания по anerоидам, определяют температуру воздуха и anerондов, после чего один из наблюдателей остается в точке *A* и фиксирует показания anerоида, его температуру и температуру воздуха через определенные промежутки времени. Второй наблюдатель производит аналогичные наблюдения в промежуточных точках. Через условленный промежуток времени, достигнув точки *C*, он прекращает движение и выполняет стационарные наблюдения за показаниями

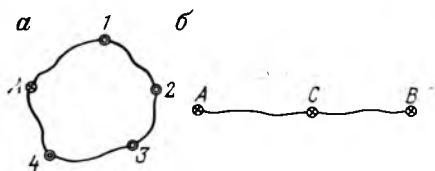


Рис. 101

анероида и температурой воздуха, образуя новую ВБС. Первый наблюдатель, закончив наблюдения на точке *A*, движется по маршруту, производя наблюдения в тех же точках маршрута, что и первый наблюдатель. Встретившись в точке *C*, наблюдатели сравнивают показания anerондов,

после чего один из наблюдателей направляется дальше, а второй остается на точке и продолжает вести на ней наблюдения до тех пор, пока первый наблюдатель не достигнет точки *B*. Дальше наблюдения проводятся аналогичным образом.

§ 113. Вычисление превышений и высот точек барометрического нивелирования

Обработку хода барометрического нивелирования начинают с приведения показаний anerоида к показаниям ртутного барометра. По данным полевых наблюдений и паспорта anerоида определяют три поправки bt_A , c (760—*A*) и a и вводят их в показания anerоида на каждой из определяемых точек (журнал барометрического нивелирования, табл. 22). Вычисление высот точек производят в зависимости от способа нивелирования. Так, при способе нивелирования по замкнутому полигону с ВБС вычисления сводятся к следующему: определив показания ртутного барометра (графа 9 табл. 22 и графа 4 табл. 23), вычисляют величину изменения давления (невязку) на станции 1 как разность показаний ртутного барометра в начале работ и после возвращения на нес, $739,86 - 739,30 = +0,56$ мм рт. ст.

В графе 5 табл. 23 помещены поправки за изменение давления во времени (барометрическая тенденция), значения которых определяют по графикам, построенным по данным наблюдений на ВБС.

В графе 6 записывают приведенные показания ртутного барометра.

В графах 7 и 8 даны средние значения давления и температуры воздуха между смежными точками хода.

По средним значениям давления и температуры воздуха из таблиц [14] находят значения барометрических ступеней (гра-

Журнал барометрического нивелирования

Наблюдатель: Петров

Анероид № 00214

8 мая 1979 г.

Погода: солнечно, слабый ветер

Номер станции	Время наблюдения (ч, мин)	Температура (в градусах)		Показания анероида А (мм рт. ст.)	Поправки (мм рт. ст.)			Показания ртутного барометра В ₀ (мм рт. ст.)	Примечание
		воздуха	анероида		bt _A	c (760-A)	a		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ст. I	08—40	18,2	17,5	738,6	+0,35	+0,41	+0,50	739,86	Анероид
т. 1	09—50	18,6	17,5	743,4	+0,35	+0,37	+0,50	744,62	№ 00214
т. 2	10—45	18,4	18,0	745,2	+0,36	+0,35	+0,50	746,41	b = +0,02
Рп 68	11—25	19,0	18,6	741,4	+0,37	+0,39	+0,50	742,66	a = +0,50
т. 3	12—10	19,5	19,0	740,2	+0,38	+0,40	+0,50	741,48	c (760-A)
т. 4	13—20	19,8	19,2	743,3	+0,138	+0,37	+0,50	744,55	730 + 0,50
Ст. I	13—50	19,8	19,2	738,2	+0,38	+0,42	+0,50	739,30	740 + 0,40 750 + 0,30

Ведомость вычисления высот станций барометрического хода

Номер станции	Время наблюдения (ч, мин)	Температура воздуха $T_{\text{в}}$	Показания ртутного барометра B_0 (мм рт. ст.)	Поправка за барометрическую тенденцию (мм рт. ст.)	Приведенное давление (мм рт. ст.)	Среднее для двух станций		Барическая ступень высоты (мм рт. ст.)	Разность давлений (мм рт. ст.)	Превышения (м)	Высота станции (м)	Примечание
						давление (мм рт. ст.)	температура (градус)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ст. I	08—40	+18,2	739,86	—	739,86	742,24	+18,4	11,52	—4,77	—1 —55,0	148,5	
т. 1	09—50	+18,6	744,62	+0,02	744,63	745,55	+18,5	11,47	—1,84	—21,1	93,4	
т. 2	10—45	+18,47	746,41	+0,08	746,47	744,62	+18,7	11,49	+3,69	+42,4	72,3	
Рп 68	11—25	+19,0	742,66	—3 +0,15	742,78	742,24	+19,2	11,55	+1,09	+12,6	114,7	
т. 3	12—10	+19,5	741,48	+0,25	741,69	743,32	+19,6	11,55	—3,26	—37,6	127,3	
т. 4	13—20	+19,8	744,55	—5 +0,45	744,95	742,40	+19,8	11,57	+5,09	—1 +58,9	89,7	
Ст. I	13—50	+19,8	739,30 +0,56	—6 +0,62	739,86						148,5	
									+9,87 —9,87 0	+113,9 —113,7 +0,2		

фа 9). Разности давлений ΔB между смежными точками заносят в графу 10. По значениям разностей давлений и величинам барометрических ступеней по формуле (15.3) вычисляют превышения между точками хода. Сумма превышений теоретически должна быть равна нулю. Полученную невязку с обратным знаком распределяют пропорционально превышениям и вычисляют отметки определяемых точек, значения которых заносят в графу 12.

Точность барометрического нивелирования зависит от многих факторов: типа прибора, применяемого для наблюдений, выбранного способа нивелирования, равновесия атмосферы и других. Точность определения высот методом барометрического нивелирования находится в пределах $\pm 0,5$ — $2,0$ м, а в отдельных случаях достигает $\pm 0,25$ м.

§ 114. Глазомерная съемка

Глазомерная съемка не обладает высокой точностью, дает наглядное представление о местности и отличается быстротой исполнения, что важно в ряде случаев при геологическом картографировании. По назначению глазомерные съемки подразделяются на общие, когда производится сплошная съемка значительных территорий, и специальные — для съемки незначительных участков местности.

Глазомерная съемка производится на специальном планшете, к которому крепится компас. Для упрощения съемки на листе чертежной бумаги, прикрепляемой к планшету, разбивают сетку квадратов со сторонами 1 или 2 см. Для визирования применяется трехгранная визирная линейка. При съемке план ориентируется по географическому или магнитному меридианам. В случае когда используется географический меридиан, компас укрепляется на планшете так, чтобы его диаметр 0 — 180° совпал с северным направлением линии, проведенной к одной из сторон сетки квадратов под углом, равным склонению магнитной стрелки. Если планшет ориентируется по магнитному меридиану, диаметр 0 — 180° укрепляется вдоль северного направления одной из вертикальных линий сетки квадратов.

Расстояния в глазомерной съемке измеряют шагами либо на глаз. В первом случае известный отрезок на местности измеряют шагами несколько раз и определяют средний размер шага. Для удобства перевода количества шагов, определенных на местности, в масштаб плана строится диаграмма, называемая масштабом шагов. На горизонтальной линии откладывают ряд отрезков по 15,0 мм, соответствующих основанию 200 пар в масштабе $1:10\,000$, левое крайнее основание делят на 10 равных частей, что соответствует цене деления масштаба в 20 пар шагов. Для удобства работы масштаб шагов составляют на узкой плотной бумаге либо на прозрачной основе.

Производство съемки начинают с ориентирования планшета, для чего, наметив на планшете начальную станцию I с таким рас-

четом, чтобы намеченный участок уместился в пределах планшета, поворачивают планшет в горизонтальном положении до тех пор, пока северный конец стрелки компаса не совместится с нулем кольца компаса. Не нарушая ориентировки с помощью визирной линейки, прочерчивают направление на станцию II. Одновремен-

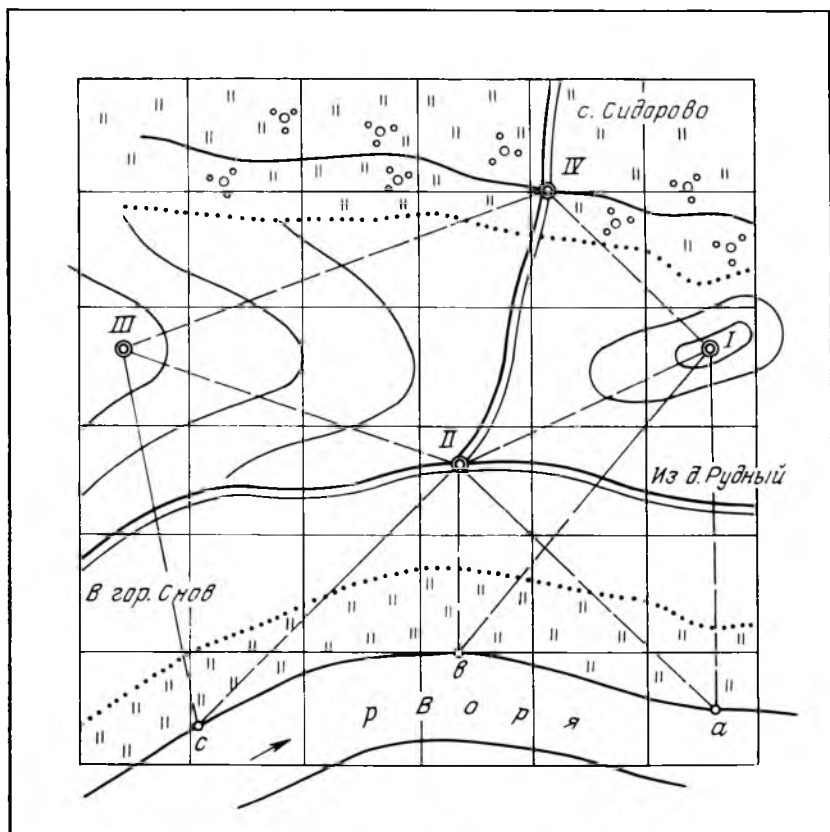


Рис. 102

но прочерчивают направления на характерные точки местности (a, b), положение которых предполагается получить методом засечек (рис. 102). Съемка контуров и рельефа ведется с точек хода способами полярным, перпендикуляров, засечек, створов и т. п., расстояния определяются шагами или на глаз. При съемке ситуации обращают внимание на изображение важнейших предметов местности — дорог, населенных пунктов; при съемке рельефа — на характерные линии и точки рельефа — расположение вершин, водоразделов, тальвегов и пр. Отметки точек рельефа, превышения

и крутизну ската оценивают на глаз путем их сравнения с предметами известной высоты (столбы, постройки и т. д.).

При съемке необходимо обращать особое внимание на точное и наглядное изображение «ориентирующих» предметов. В открытых местах это отдельно стоящие деревья, столбы, башни и т. д., в закрытых — различные ответвления и развилки дорог, их указатели, просеки и др. В процессе съемки используется информация, получаемая путем опроса местных жителей (названия населенных пунктов, рек, сведения о наличии переправ через реки и др.). При изображении рельефа основным требованием является достоверность изображения его форм горизонталями, тщательность в отображении крутизны скатов.

По окончании съемки на первой станции съемщик переходит на вторую. После того как положение станции *II* намечено на планшете, последний ориентируется или по направлению *II—I*, или с помощью компаса, затем прочерчивается направление на станцию *III*. На станции *II* выполняется съемка ситуации и рельефа. Для повышения точности съемки она сочетается с барометрическим нивелированием. Возможно также расстояния до определяемых точек определять с помощью биноклей, дальномеров, при движении на автомашине — по спидометру.

В том случае, если съемка ведется по замкнутому маршруту, вследствие ошибок ориентирования планшета и измерения расстояний получается невязка, величина которой не должна превышать $1/50$ длины хода.

Глава 16

ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

§ 115. Общие сведения

Геологоразведочные работы проводятся в последовательности, определяемой следующими этапами.

I этап. Региональная геологическая съемка, включающая геологическую съемку масштабов $1:1\,000\,000$ — $1:500\,000$ для изучения геологических показателей, обнаружения полезных ископаемых, районирования исследуемых территорий по комплексам полезного ископаемого и условий ведения поисковых работ, а также для постановки поисковых и поисково-разведочных работ; геологическую съемку масштабов $1:200\,000$ — $1:100\,000$, осуществляемую комплексно с поисками всех видов полезных ископаемых; геологическую съемку масштабов $1:50\,000$ — $1:25\,000$, проводимую с целью детального изучения геологического строения территории, изучения условий нахождения полезных ископаемых, выбора участков для постановки поисковых и поисково-разведочных работ.

II этап. Поиски месторождений полезных ископаемых, которые проводятся в две стадии:

— поиски, оформляемые на картах в масштабе 1:50 000—1:10 000, позволяющие уточнить геологические карты, проверить геофизические аномалии, контуры рудных полей и т. п.;

— поиско-разведочные работы, оформляемые на картах в масштабах 1:25 000—1:5000, в результате которых производят обоснование выбора объектов предварительной разведки.

III этап. Разведка месторождений полезных ископаемых. В результате определяется количество и качество полезного ископаемого месторождений, данные об их структуре, условиях залегания, обоснование промышленной оценки месторождений.

Все этапы геологоразведочных исследований обеспечиваются топографо-геодезическими работами, которые выполняются с целью:

1. Создания геодезической основы геологоразведочных работ, на базе которых производятся разбивочные, привязочные и геологосъемочные работы, обоснование топографических съемок в случае необходимости последних, решение различных технических задач, возникающих при проходке горных и горноразведочных выработок или производстве геофизических и буровых работ.

2. Создания топографической основы геологоразведочных работ, под которой понимают топографическую карту или план земной поверхности, на которые нанесены точки полевых геологических наблюдений и убраны некоторые элементы ситуации и рельефа, не являющиеся необходимыми для построения геологических границ.

Топографо-геодезический материал, собранный на стадии разведки, в дальнейшем используется при проектировании горного предприятия и эксплуатации месторождения.

§ 116. Геодезическая основа геологоразведочных работ

При выполнении геологоразведочных работ в качестве геодезической основы могут служить:

- государственные геодезические сети (см. § 40);
- геодезические сети сгущения (см. § 40);
- съемочное обоснование, выполняемое в виде плановых, высотных и планово-высотных съемочных сетей и отдельных пунктов (см. § 41), а также в виде опорных геодезических сеток;
- четкие контурные точки местности, координаты которых могут быть определены по топографическим картам (планам) или фотопланам с требуемой точностью;
- объекты геологоразведочных наблюдений, координаты которых определены с требуемой точностью.

При геологической съемке, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых координаты и высоты объектов геологической карты определяются в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 24.

Этапы и стадии геологоразведочных работ	Исходные пункты	Средняя квадратическая погрешность положения объектов геологических наблюдений относительно исходных пунктов		
1. Геологическая съемка, поиски и поисково-разведочные работы в масштабах: 1 : 100 000 и мельче 1 : 50 000 1 : 25 000	Ближайшие точки съемочного обоснования	0,8 мм в масштабе отчетной карты	10 м 5 м 2 м	
2. Поиски, поисково-разведочные работы в масштабе 1 : 10 000 и предварительная разведка при расстояниях между выработками более 500 м	Пункты геодезических сетей сгущения	5 м	1 м	
3. Поисково-разведочные работы в масштабах 1 : 5000 и крупнее, а также предварительная и детальная разведка при расстояниях между выработками менее 500 м	То же	2 м	0,5 м	

Плановые координаты и высоты объектов геологоразведочных объектов при геологосъемочных, поисковых и поисково-разведочных работах в масштабе 1 : 25 000 и мельче определяются по топографическим картам и материалам аэрофотосъемки.

Погрешность в определении планового положения объектов гидрогеологических наблюдений не должны превышать допусков, установленных для привязки объектов геологических наблюдений:

— при гидрогеологической съемке половины принятого сечения гидроизогипс — отчетной гидрогеологической карты;

— при детальных гидрогеологических изысканиях с целью определения уклонов подземных потоков, обводненных участков и т. п. допусков технического нивелирования.

Пункты государственной геодезической сети, геодезических сетей сгущения и съемочных сетей, закрепленных на местности постоянными центрами (см. § 46), используются для разбивочных, привязочных и геологосъемочных работ, для планового и высотного обоснования топографических съемок, а также для решения инженерно-геодезических задач обслуживания геологоразведочных работ.

Точки геодезического съемочного обоснования, закрепленные временными центрами, пункты опорной геодезической сети, а также четкие контурные точки местности, координаты которых определены с топографической карты, могут использоваться только для разбивочных, привязочных и геологосъемочных работ.

Координаты объектов геологоразведочных наблюдений используются для нанесения положения этих точек на карты, разрезы и т. п. с точностью, обеспечивающей надежность изображения результатов наблюдений и достоверность подсчета запасов полезного ископаемого; для определения границ месторождений полезного ископаемого, выявления геофизических аномалий и т. п.; для со-

ставления специальных карт, разрезов, разведочных профилей и другой графической документации.

При выполнении гравиметрической съемки высоты пунктов геодезических сетей сгущения должны определяться, как правило, из нивелирования IV класса и технического нивелирования, опирающегося на пункты государственной нивелирной сети.

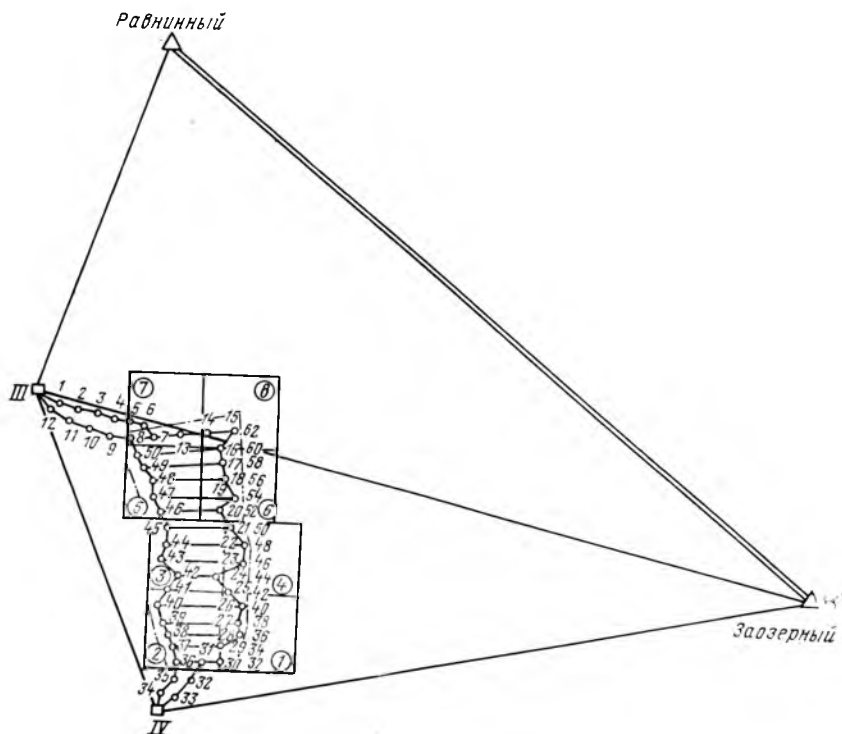


Рис. 103

Для специализированных крупномасштабных топографических съемок в качестве геодезического съемочного обоснования создается опорная геодезическая сетка в виде:

— прямых, обратных и комбинированных геодезических засечек;

— системы теодолитных ходов-магистралей (8—50, ..., 42, ..., 37—36), включая и профильные линии (50—16, 49—17, ..., рис. 103);

— системы теодолитных ходов в комбинации с геодезическими засечками;

— фотограмметрических съемок.

Опорные геодезические сетки должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Средняя квадратическая погрешность положения точек опорных геодезических сеток относительно геодезических сетей сгущения в плане при поисково-разведочных работах масштаба 1 : 10 000 и при предварительной разведке — 4 м; при поисково-разведочных работах масштаба 1 : 5000 и крупнее — 1,8 м.

2. Относительная погрешность теодолитных (магистральных) ходов не должна быть ниже 1 : 500—1 : 1000 при поисках, поисково-разведочных работах масштаба 1 : 10 000; при поисково-разведочных работах в масштабе 1 : 5000 и крупнее — не ниже 1 : 1000—1 : 2000. Соответственно максимально допустимая длина ходов между исходными пунктами в первом случае 6—10 км, во втором — 5—8 км.

3. В геодезических засечках расхождения в значениях измерения горизонтального угла не должны превышать 1,5' при съемках масштаба 1 : 10 000 и 1' при масштабе 1 : 5000 и крупнее. Невязки в треугольниках не должны превышать соответственно 3' и 2'. Расхождения в значениях плоских координат, вычисленных для точки из двух комбинаций засечек, не должны превышать 6 м при геологических съемках масштаба 1 : 10 000 и при масштабе 1 : 5000 и крупнее — 2,5 м.

§ 117. Топографическая основа геологоразведочных работ

В качестве топографической основы геологоразведочных работ могут использоваться:

— топографические карты (планы), созданные по инструкциям ГУГК при СМ СССР. Причем при геологосъемочных, поисковых и поисково-разведочных работах в масштабе 1 : 10 000 и мельче исходным материалом могут быть только государственные топографические карты масштаба 1 : 10 000 и мельче;

— крупномасштабные планы, созданные различными ведомствами;

— специализированные топографические планы.

При геологических, поисковых и поисково-разведочных работах масштаб топографической основы должен соответствовать масштабу отчетной карты.

При предварительной и детальной разведках масштаб топографической основы определяется согласно табл. 25.

Для топографических основ масштаба 1 : 10 000 и мельче погрешность положения контуров, ориентиров и горизонталей может превышать допустимые для топографических карт государственных изданий, но не более чем в 2,5 раза.

Погрешности в положении контуров местности и предметов относительно ближайших точек съемочной сети на специализированных топографических планах, представляющих топографическую основу, могут превышать допуски соответствующих топографических карт, но не более чем в 1,5 раза для масштаба 1 : 5000 и в 2 раза для более крупных масштабов.

Погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек высотного обоснования на топоосновах не должны превышать

№ п/п	Стадии геологоразведочных работ	Масштаб топографических работ
1	Предварительная разведка	1:10 000—1:5000
2	Детальная разведка месторождений:	
	а) металлических полезных ископаемых;	1:10 000—1:1000
	б) карбонатных пород, фосфоритов, песка и гравия;	1:25 000—1:5000
	в) солей;	1:25 000—1:10 000
	г) углей и горючих сланцев;	1:1000—1:2000
	д) подземных вод;	1:1000—1:5000
	е) прочих неметаллических полезных ископаемых	1:10 000—1:5000

0,5 м при высоте сечения 1,0 м и $\frac{1}{3}$ высоты сечения рельефа в остальных случаях.

Для повышения читаемости геологической карты топографическая нагрузка основ масштабов 1:10 000 и крупнее упрощается. Для этого координатная сетка изображается в виде выходов километровых линий через 10 см. Наносятся только те пункты геодезической сетки и геологоразведочных наблюдений, которые используются при составлении геолого-геофизических карт; пункты государственной геодезической основы показываются только в тех случаях, если это предусмотрено проектом. Рельеф изображается горизонталями и отметками отдельных высот. Для основы масштаба 1:10 000 сечение рельефа применяется то же, что и для государственных топографических карт. Для более крупных масштабов должно быть выбрано следующее сечение рельефа: масштаб 1:5000, сечение 2,0 м; масштаб 1:2000, сечение $2,0 \div 1,0$ м; масштаб 1:1000, сечение 1,0 м. В горном и предгорном участках поверхности земли сечение рельефа соответственно принимается 5,0; 5,0—2,0; 1,0. Гидрография на топографическую основу наносится без ее характеристик в виде береговых линий морей, озер, рек и т. п. Растительный покров на топооснове не показывается. Лес обозначается контуром. Болота обозначаются соответствующим условным знаком без их характеристики. Остальные характерные особенности поверхности и грунты на топографической основе не изображаются.

На топографических основах геофизических карт показывается только та ситуация, с которой связан текст отчета, рельеф изображается в редких случаях.

§ 118. Перенесение в натуру проекта геологоразведочных выработок. Привязка объектов геологических наблюдений

Перенесение в натуру геологоразведочных выработок осуществляется в соответствии с проектом на топографо-геодезические работы. В зависимости от местных условий и особенностей проведе-

ния разведки проекты могут включать различные виды и объемы топографо-геодезических работ. Например, на рис. 103 показан проект развития топографо-геодезических работ для обеспечения детальной разведки месторождения полезного ископаемого бурением разведочных скважин, расположенных по профильным линиям. Здесь предусмотрено развитие триангуляции (пункты Заозерный и Равнинный, III, IV); прокладка магистралей (теодолитных ходов) для разбивки профильных линий, привязка магистралей (замкнутыми теодолитными ходами) к пунктам триангуляции III и IV; мензуральная съемка на восьми планшетах территории месторождения площадью 4,9 км²; вынос точек бурения скважин с последующей их привязкой.

Перенесение в натуру и привязка геологоразведочных выработок и объектов геологических наблюдений осуществляется от точек опорных сеток, включающих в себя магистральные ходы, профильные линии и пункты съемочной сети и государственной геодезической сети.

Разбивочные работы выполняются с точностью, обеспечивающей погрешность привязки. Если же перенесение проекта в натуру выполнено с недостаточной для привязки точностью, то последнюю необходимо дополнительно выполнить от ближайших точек обоснования.

При геофизических работах наблюдения обычно проводят вдоль прямолинейных маршрутов, называемых профилями, которые задаются, как правило, вкрест предполагаемого простираения изучаемого геологического объекта.

Разбивке профилей предшествуют работы по прокладке магистрального (теодолитного) хода, обычно выполняемого прямолинейно и ориентировочно вдоль простираения изучаемого геологического объекта. На линиях магистральных ходов отмечаются точки профильных линий, с которых направления профилей при предварительной и детальной разведках задаются теодолитом, в остальных случаях — глазомерно или при помощи бинокля.

Интервалы между пикетами (точками наблюдений) по профильным линиям измеряются в одном направлении при помощи дальномера, ленты или рулетки. Углы наклона более 5° измеряются теодолитами или эклиметром, в этих случаях в откладываемую между пикетами длину вводятся поправки за наклон. Координаты конечных пикетов профилей определяются прокладкой теодолитных ходов, соединяющих концы профилей.

Точки наблюдений или геологоразведочные выработки, не совпадающие с точками опорной сетки, привязываются прокладкой тахеометрических или мензуральных ходов, промерами, засечками.

Привязка и перенесение в натуру объектов геологических наблюдений по топографической карте.

При геологических съемках и поисках, выполняемых в масштабе 1 : 25 000 и мельче, перенесение в натуру и привязка объектов геологических наблюдений производится путем опознавания по топографической карте или аэрофотоснимкам, засечкам, проклад-

кой мензульных или тахеометрических ходов от геодезических пунктов или контуров, опознанных на местности.

Привязка объектов геологических наблюдений или вынос их в натуру по топографической карте могут быть выполнены одним из следующих способов.

1. Если проектная точка совпадает с контурной точкой карты, то опознаванием этой точки.

2. Если проектная точка расположена между двумя контурными точками карты, то промером в створе этих точек от одной из них до определяемой точки.

3. Если определяемая точка просматривается с контурных точек, то ее положение может быть определено прямыми засечками.

4. Если с определяемой точки видны три характерные точки местности, отмеченные на карте, то ее положение может быть определено обратной засечкой.

Перенесение в натуру и привязка объектов геологических наблюдений по опорной сетке. При поисково-разведочных работах, выполняемых в масштабе 1 : 10 000 и крупнее, а также при привязке месторождений перенесение в натуру и привязка выработок и объектов геологических наблюдений производится инструментально от пунктов государственной геодезической сети, сетей сгущения, пунктов съемочных сетей и точек опорной сетки. Если проектируемые выработки расположены от опорной сетки не более чем на 300 м, то их положение определяется полярным способом (теодолитом или мензулой) с определением расстояния по дальномеру. Определение положения точек, близко расположенных от профильных линий, может производиться способом перпендикуляров с измерением расстояний рулеткой (мерной лентой) или дальномером.

Определение положения устьев закрепленных буровых скважин и горных выработок производится аналитическими методами от пунктов государственной геодезической сети, сетей сгущения, съемочных сетей, магистральных ходов. При этом погрешность положения точек в плане не должна превышать 1 м, а по высоте 0,3 м.

§ 119. Методы перенесения проекта в натуру

Работы по перенесению проекта геологоразведочных работ в натуру, носящие название разбивочных работ, заключаются в воспроизведении на местности точной геометрической формы запроектированных объектов. Для этого на местности находят и обозначают характерные точки проектируемых сооружений (профили, разведочные выработки и т. п.).

Разбивочные работы производятся как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях и состоят из ряда специфических геодезических работ: перенесения в натуру точки, проектного расстояния, проектного горизонтального угла, высотной отметки осей и т. п.

Перенесение в натуру проектного горизонтального угла. Для перенесения в натуру проектного угла $ABC = \beta$ (рис. 104, а) надо знать на местности положение его вершины и направление одной из сторон, например BA . Для разбивки угла в натуре устанавливают теодолит в рабочее положение в вершине B , совмещают нулевой штрих отсчетного устройства с нулевым штрихом лимба и, скрепив алидаду с горизонтальным кругом, вращением последнего визируют на точку A . Точное наведение на точку A осуществляют

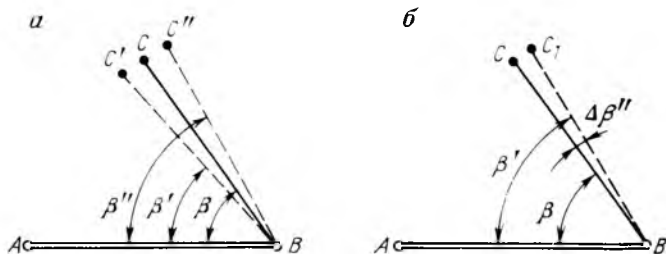


Рис. 104

наводящим винтом горизонтального круга. Далее открепляют алидаду и, вращая ее, устанавливают на лимбе отсчет, близкий к проектному углу. Затем наводящим винтом алидады устанавливают отсчет, равный проектному углу β , и по заданному направлению отмечают точку C' .

Подобным образом строят этот же угол при другом положении вертикального угла. Вследствие влияния различных погрешностей вновь полученное направление может не совпадать с первым и его отмечают точкой C'' . В этом случае расстояние $C'C''$ делят пополам и получают положение точки C , определяющей направление второй стороны проектного угла β .

Если требуется построить угол с точностью, превышающей точность отсчетного устройства данного теодолита, например ТЗ0, то поступают следующим образом. Пусть требуется построить угол β (рис. 104, б). Сначала его строят от стороны BA вышеописанным способом и получают точку C_1 . Затем этот угол измеряют несколькими приемами и вычисляют из результатов измерений среднюю величину угла β' , которую сравнивают с величиной заданного угла, и определяют разность $\Delta\beta = \beta' - \beta$. Отложить угловую величину $\Delta\beta$ по ее малости теодолитом ТЗ0 невозможно. Поэтому, измерив расстояние BC_1 рулеткой, вычисляют линейное смещение точки C_1 по формуле

$$C_1C = BC_1\Delta\beta''/206\,265.$$

Отложив отрезок C_1C от точки C_1 по перпендикуляру к линии BC_1 в соответствующую сторону, получают точку C , лежащую на стороне проектного угла β .

Перенесение в натуру проектных линий. Длины проектных линий являются горизонтальными проложениями, которые получают путем непосредственного измерения по плану или из решения обратных геодезических задач. Пусть дано горизонтальное проложение s , соответствующее длине наклонной линии $AB=S$, и требуется отложить ее на местности по заданному направлению. Если линия AB проходит по местности с одним и тем же углом наклона, то в точке A устанавливают теодолит и измеряют угол наклона линии AB .

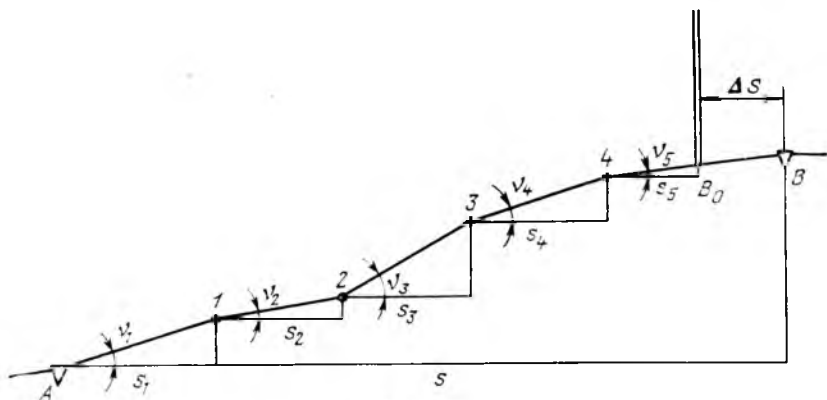


Рис. 105

Вычисляют длину наклонной линии $AB=S$ по формуле

$$AB=S=s/\cos v, \quad (16.1)$$

которую откладывают с требуемой точностью от точки A в направлении AB , и полученную точку B закрепляют.

Если относительная погрешность откладываемого расстояния составляет величину порядка $1:1500$ — $1:2000$, а угол наклона v не более $1,5^\circ$, то расхождение между S и s не учитывают и на местности откладывают горизонтальное проложение s .

В тех случаях, когда проектная линия имеет значительную длину и состоит из нескольких отрезков с разными углами наклона v (рис. 105), работу по перенесению такой линии в натуру начинают с того, что в точке A устанавливают теодолит и в заданном направлении при помощи дальномера предварительно отмечают точку B_0 , вблизи от проектной точки B . Затем в этом направлении производят вешенные линии AB_0 , при этом кольями отмечают отрезки с различными значениями углов наклона. От точки A до точки B_0 измеряют длины и углы наклона каждого наклонного отрезка S_i . После вычисления горизонтальных проложений отдельных отрезков по формуле $s_i=S_i \cos v_i$ определяют их сумму. Сравнивая сумму горизонтальных проложений с длиной проектной линии s , получают величину $\Delta s=\sum s_i-s$, т. е. отрезок, на который перемещают ранее отмеченную точку B_0 , чтобы она заняла проектное положение точки B .

Перенесение точек с проекта в натуру. При разбивке в натуру точек применяется несколько способов.

Полярный способ. Для перенесения в натуру проектной точки C (рис. 106, а) предварительно из решения обратной геодезической задачи вычисляют горизонтальное проложение линии $BC = s_{BC}$ и ее дирекционный угол α_{BC} по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_{BC} = \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B},$$

$$s_{BC} = \frac{y_C - y_B}{\sin \alpha_{BC}} = \frac{x_C - x_B}{\cos \alpha_{BC}},$$

где x_C и y_C — координаты проектной точки, взятые по плану; x_B и y_B — исходные координаты точки B .

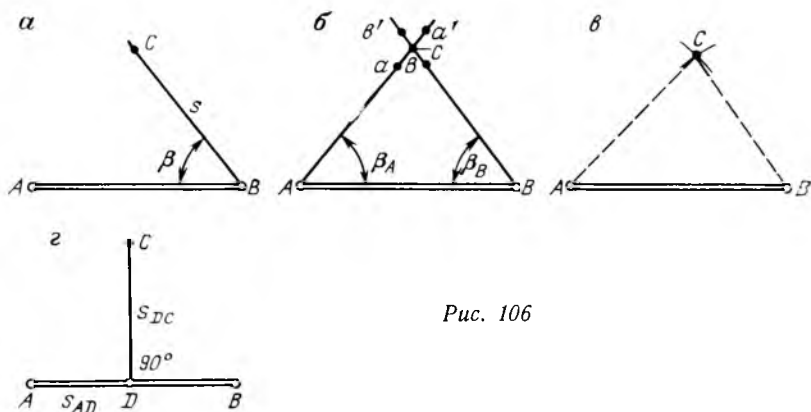


Рис. 106

Если угол наклона линии больше $1,5^\circ$, то вычисляют длину наклонной линии S_{BC} по формуле (16.1). Далее вычисляют величину полярного угла $\beta = \alpha_{BC} - \alpha_{BA}$, где α_{BA} — исходный дирекционный угол, взятый из ведомости вычисления координат съёмочного обоснования. Установив теодолит над точкой B и приведя его в рабочее положение, строят угол β , по полученному направлению откладывают горизонтальное проложение s_{BC} (если угол наклона линии BC менее $1,5^\circ$) или длину наклонной линии S_{BC} , закрепляя точку C .

Полярный способ применяется в открытой местности, когда возможны промеры линий от пунктов геодезического обоснования до проектных точек.

Способ угловой засечки. Если определены графически по плану координаты точки C (рис. 106, б), которую необходимо вынести на местность, и известны координаты опорных геодезических пунктов A и B , то из решения двух обратных задач определяют дирекционные углы α_{AC} и α_{BC} . Зная дирекционный угол исходной линии α_{AB} , определяют углы β_A и β_B из выражений $\beta_A = \alpha_{AB} - \alpha_{AC}$; $\beta_B = \alpha_{BC} - \alpha_{BA}$. Углы β_A и β_B строят от линии AB и

получают в натуре направления AC и BC . Каждое направление обозначают колями a и a' и b и b' , по которым при помощи двух шнуров находят на их пересечении положение проектной точки C .

Способ угловой засечки применяют, когда затруднены линейные измерения от опорных до проектной точки.

Способ линейной засечки. Положение проектной точки C на местности определяют пересечением дуг (рис. 106, в), описанных из точек A и B радиусами AC и BC . Расстояния AC и BC могут быть определены графически по плану или вычислены по координатам точек A, B, C . С целью повышения точности определения положения точки C угол при ней должен быть не менее 40° и не более 140° . Способ применяют в том случае, когда расстояния от опорных пунктов A и B до проектной точки C не более длины мерного прибора (ленты, рулетки).

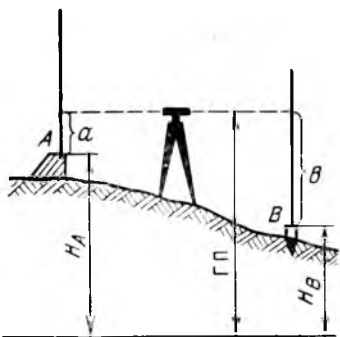


Рис. 107

Способ прямоугольных координат. На плане измеряют расстояние s_{AD} (рис. 106, г) по направлению опорной линии AB и длину перпендикуляра s_{DC} , опущенного из проектной точки C на опорную линию AB . Если углы наклона этих линий больше $1,5^\circ$, то расстояния s_{AD} и s_{DC} исправляют за наклон по формуле (16.1) и получают соответственно длины на-

клонных линий на местности S_{AD} и S_{DC} . Для получения на местности точки C устанавливают в точке A теодолит, визируют на точку B , в створе линии откладывают линию длиной s_{AD} и получают точку D , которую закрепляют колом. В точке D при помощи теодолита к линии AB строят прямой угол и по полученному направлению откладывают длину перпендикуляра s_{DC} , в результате чего получают проектную точку C , которую закрепляют. Способ применяют, когда проектные точки расположены близко от опорных линий геодезической сети.

Способ промеров по створу. Для вынесения на местность проектных точек A и B , находящихся в створе некоторой линии 1—2 съёмочного обоснования, устанавливают теодолит, например, в точке 2 и приводят его в рабочее положение. Затем визируют на веху, установленную в точке 1, в полученном направлении на эту точку откладывают мерным прибором от точки 2 проектные расстояния s_{2A} и s_{2B} , в результате чего получают положения точек A и B , которые закрепляют.

Перенесение в натуру точек с проектными отметками. При проведении горноразведочных выработок, строительстве сооружений и других работах возникает необходимость вынесения точек с проектными отметками. Эти точки переносят в натуру геометрическим нивелированием методом из середины при помощи горизон-

та прибора. Для этого нивелир устанавливают посередине между репером A с известной высотой H_A и выносимой точкой B , отметка которой H_B задана проектом (рис. 107).

Взяв отсчет a по рейке, установленной на репере A , вычисляют горизонт прибора по формуле $ГП = H_A + a$ и рассчитывают отсчет b по рейке в точке B , при котором пятка рейки будет находиться на проектной отметке.

При вынесении проектной отметки на стенку выработки или какое-либо сооружение рейку, установленную в месте выноса, поднимают вверх или опускают вниз, добиваясь того, чтобы отсчет b по ней равнялся расчетному. После этого под пяткой рейки проводят черту, которая будет находиться на проектной отметке.

Если проектную отметку выносят на верх колышка (штыря), то его постепенно забивают до тех пор, пока отсчет по рейке, установленной на нем, не будет равен b .

§ 120. Разбивка разведочной траншеи

Разбивка открытых геологоразведочных выработок (траншей, капавы и т. п.) заключается в перенесении в натуру проектного положения оси разведочной выработки и ее бровок. Разбивку начинают с вынесения на местность концов оси. В зависимости от условий измерений и наличия геодезической опоры разбивка может быть произведена различными способами, которые были описаны выше, или их комбинациями. Однако в закрытой (залесенной, всхолмленной) местности целесообразно применить способ проектного теодолитного хода.

На плане (рис. 108, а) точки K и N — концы запроектированной оси траншеи, а A и B — пункты геодезической опоры. Для перенесения точек K и N в натуру способом проектного теодолитного хода необходимо знать значения углов β_B и β_K и горизонтальные проложения $BK = s_{BK}$, $KN = s_{KN}$, которые получают из решения обратных геодезических задач по формулам

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{BK} &= \frac{y_K - y_B}{x_K - x_B}, & s_{BK} &= \frac{y_K - y_B}{\sin \alpha_{BK}} = \frac{x_K - x_B}{\cos \alpha_{BK}}, \\ \operatorname{tg} \alpha_{KN} &= \frac{y_N - y_K}{x_N - x_K}, & s_{KN} &= \frac{y_N - y_K}{\sin \alpha_{KN}} = \frac{x_N - x_K}{\cos \alpha_{KN}}, \\ \beta_B &= \alpha_{BA} - \alpha_{BK}, & \beta_K &= \alpha_{KB} - \alpha_{KN}, \end{aligned}$$

где x_K, y_K, x_N, y_N — координаты точек K и N , определенные графически с плана измерителем по масштабной линейке; x_B, y_B — координаты точки B , взятые из ведомости вычисления координат геодезической сети; α_{BA} — исходный дирекционный угол, взятый из ведомости вычисления координат пунктов геодезической сети.

Установив теодолит над точкой B и приведя его в рабочее положение, строят от направления BA при двух положениях круга примычный угол β_B (см. § 119), а затем по полученному направлению откладывают длину линии s_{BK} (см. § 116) и закрепляют точку K .

Затем в точке K строят угол β_K по направлению KN , откладывают проектную длину дна траншеи s_{KN} и закрепляют точку N .

Для разбивки верхних бровок траншеи используют ряд профилей, которые строят на миллиметровой бумаге в крупном масштабе, например 1:200. При этом ширину l дна траншеи (на

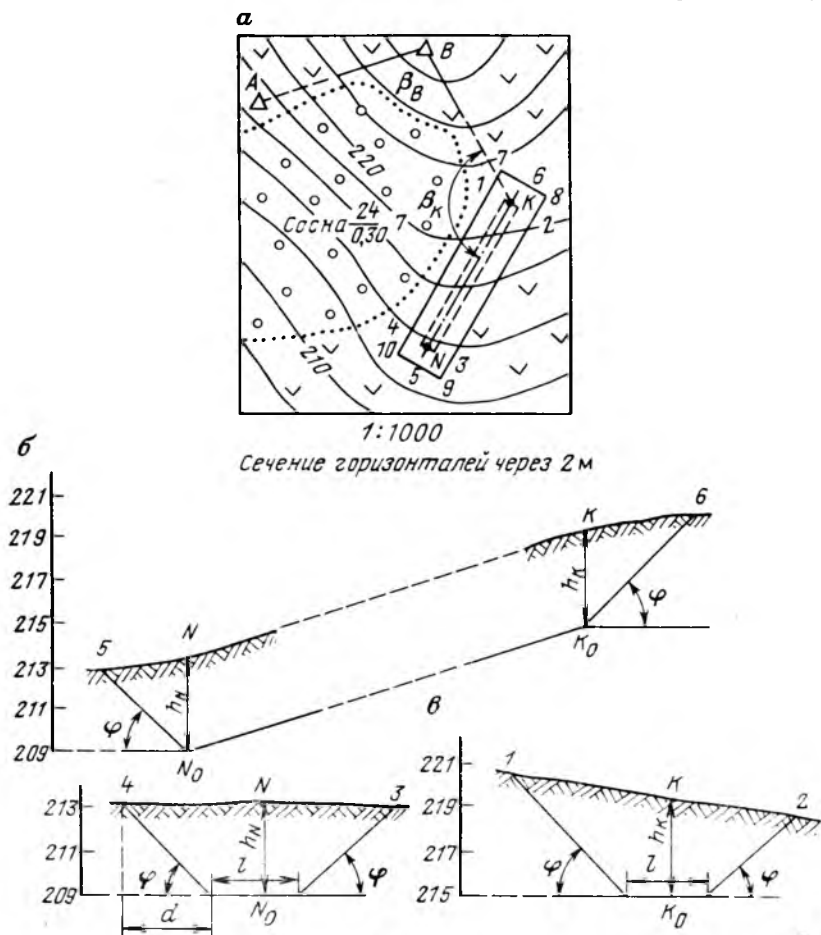


Рис. 108

рис. 108, а дно траншеи показано пунктиром), ее глубину h и угол наклона φ бортов траншеи берут из проекта, а высоты точек, необходимые для получения профиля земной поверхности, — с плана. В данном случае построено три профиля: один продольный по оси KN (рис. 108, б) и два поперечных по перпендикулярам к оси в точках K и N (рис. 108, в).

В результате построения профилей находят точки 1, 2, 3, 4, 5 и 6 пересечения бровок траншеи с земной поверхностью. Опреде-

лив по поперечным профилям наклонные расстояния $K-1$, $K-2$, $N-3$ и $N-4$ и по продольному профилю $K-6$ и $N-5$, откладывают их на местности от точек K и N ; первые четыре — по перпендикулярам к оси траншеи, вторые два — в ее створе и закрепляют точки 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

Углы верхних бровок траншеи — точки 7, 8, 9, 10 (см. рис. 108, а) получают в пересечении продолженных створов линий 1—4, 2—3 и перпендикуляров, восстановленных к оси траншеи в точках 5 и 6.

Если местность ровная, то профили проектных разрезов не составляют, а расстояние от оси траншеи до ее бровки определяют по формуле $N-4 = N-3 = \frac{l}{2} + d$, где d — заложение борта траншеи, вычисленное по формуле $d = h/\operatorname{tg} \varphi$.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

АЭРОФОТОСЪЕМКА

Глава 17

ОСНОВЫ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

§ 121. Общие сведения

Аэрофотосъемка — процесс получения фотографического изображения местности с летательного аппарата. Аэрофотосъемка находит самое широкое применение в различных областях науки и производства, особенно в геологии. На ее основе выполняются геологические и поисковые работы, изучение тектоники, геологическое изучение морских мелководий, гидрогеологические, инженерно-геологические изыскания и другие.

По существу ни одно геологическое задание, так или иначе связанное с изображением его на топографической основе, не может быть правильно и объективно решено без применения аэрофотосъемки.

Особое место в геологии начинают занимать съемки земной поверхности из космического пространства. Полученные снимки с искусственных спутников Земли и управляемых аппаратов открывают широкие возможности для геологического картографирования, выявления глубинных структур земной коры, закономерностей размещения природных ресурсов.

Создание топографических планов и карт по материалам аэрофотосъемки включает комплекс процессов, основными из которых являются летно-съёмочные работы, полевые фотолабораторные работы, полевые топографо-геодезические и камеральные фотограмметрические работы.

В задачу летно-съёмочных работ входит подготовка летно-съёмочной и навигационной аппаратуры, фотографирование местности.

Полевые фотолабораторные работы включают фотографическую обработку с целью получения контактных отпечатков (аэро-снимков), оценку их качества и качества аэрофотосъемки.

Полевые топографо-геодезические работы выполняют для определения координат и высот отдельных точек местности, отобразившихся на аэроснимке. Проводят также полевое дешифрирование, состоящее в выявлении, распознавании и определении характеристик объектов, изобразившихся на фотоснимке местности.

Составление топографических планов по аэроснимкам на специальных стереофотограмметрических приборах с использованием данных полевых топографо-геодезических работ составляет предмет камеральных фотограмметрических работ.

§ 122. Летно-съемочные работы

В зависимости от условий съемки, т. е. масштаба съемки и аппаратуры, физико-географических условий района, применяются различные типы летательных аппаратов. Так, при съемке ограниченной площади местности, в основном для специального назначения, применяются вертолеты типа К-26, в остальных случаях используют серийные, специально оборудованные для съемки самолеты ИЛ-14 ФКМ, АН-6, АН-30. Фотографирование местности с воздуха выполняется аэрофотоаппаратом (АФА), состоящим из трех частей (рис. 109): кассеты 1, корпуса 2 и объектива 3.

К основным характеристикам оптической системы АФА относят фокусное расстояние аэрофотоаппарата f' — расстояние, определяемое вдоль оптической оси от задней узловой точки объектива до фокальной плоскости аэрофотокамеры. По величине фокусного расстояния объективы можно условно подразделить на короткофокусные с фокусным расстоянием не более 150 мм, среднефокусные — от 150 до 300 мм и свыше 300 мм — длиннофокусные. В табл. 26 приведены основные технические характеристики топографических АФА.

АФА устанавливают внутри самолета на специальную аэрофотоустановку (АФУ) — устройство, с помощью которого производится крепление, автоматическое горизонтирование и ориентирование камеры в пространстве.

Для автоматического дистанционного управления работой АФА служит командный прибор.

Время, затраченное на производство одного аэроснимка (цикл работы АФА), составляет 1,2—2,3 с. В зависимости от условий съемки интервал между экспозициями может устанавливаться от 2,3 до 100 с.

Одновременно с фотографированием местности фиксируются на специальную пленку показания радиовысотомера, необходимые для определения высоты полета в момент фотографирования. Радиовысотомер, основанный на принципе измерения времени прохождения радиоволн от самолета до поверхности Земли и обрат-

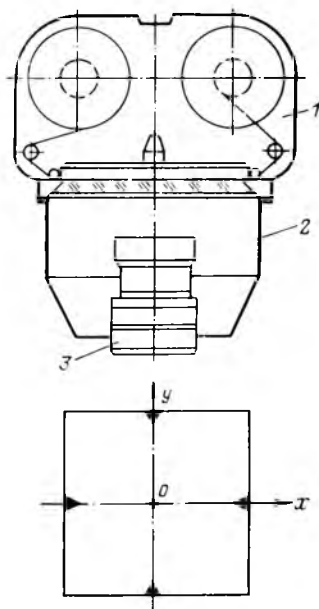


Рис. 109

Технические характеристики топографических АФА

Параметры	Аэрофотоаппараты					
	АФА-ТЭ/100	АФА-41/100	АФА-ТЭС-7	АФА-ТЭС-10	АФА-ТЭ-70	АФА-ТЭС-5
Фокусное расстояние, мм	100	100	72	100	70	50
Угол поля зрения, °	104	104	120	103	122	136,5
Формат кадра, см	18×18	18×18	18×18	18×18	18×18	18×18
Минимальная разрешающая способность, лин/мм	15—30	10—47	26	26	15	16
Цикл работы, с	2	2	1,2—2,3	1,2—2,3	1,2	2

но, позволяет определить высоту фотографирования с точностью порядка 3 м.

Для определения изменения высоты самолета в момент фотографирования местности используется статоскоп, работающий по принципу жидкостного дифференциального барометра — высотомера Д. И. Менделеева (см. § 111). Показания статоскопа фиксируются в момент фотографирования на непрерывно движущуюся пленку (статограмму). При высоте полета 1000 м и выше разности высот (превышения) определяются с точностью $\pm 1,0—1,5$ м.

§ 123. Масштаб горизонтального снимка. Основные условия аэрофотосъемки местности

Фотографирование местности, произведенное при строго отвесном положении оптической оси АФА, т. е. линии S_{10} , соединяющей главную точку аэрофотоснимка с задней узловой точкой объектива (рис. 110), позволяет получить горизонтальный снимок.

Масштаб горизонтального снимка для равнинной местности определяется как отношение фокусного расстояния АФА к высоте H фотографирования (расстояние вдоль оптической оси АФА от передней узловой точки объектива до средней плоскости фотографируемого участка поверхности):

$$1/m = ab/AB = f'/H, \quad (17.1)$$

где ab — длина изображения отрезка на аэрофотоснимке; AB — соответствующее горизонтальное проложение этой линии на местности. В процессе работ привести оптическую ось АФА в отвесное положение практически невозможно. С применением гидростабилизирующих установок для крепления АФА получают аэроснимки с углами наклона до $30—40'$.

При отклонении оптической оси АФА относительно вертикали на угол не более 3° получаем плановый снимок, а выше 3° — перспективный снимок (см. рис. 110). Для целей картографирования

в ~~съемке~~ используется в основном плановая аэрофотосъемка. При фотографировании местности вдоль сооружений линейного типа (каналы, реки, дороги и т. п.) применяется маршрутная аэрофотосъемка. Фотографируя местность, самолет пролетает по заданному маршруту и через определенные интервалы времени производит съемку таким образом, чтобы на последующем снимке была сфотографирована часть местности, сфотографированная уже на предыдущем, за счет чего получается перекрытие снимков.

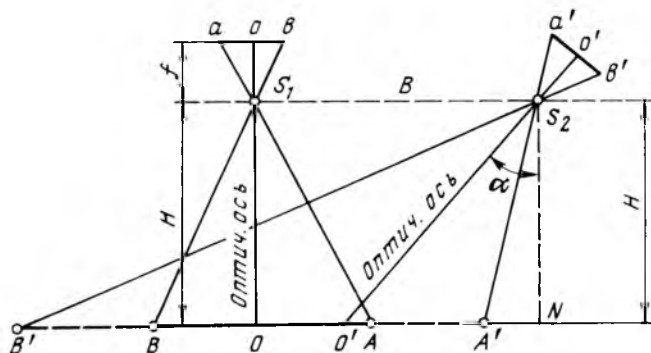


Рис. 110

Взаимное перекрытие двух смежных снимков маршрута называется продольным и выражается в процентах от размера снимка l :

$$p_x = \frac{a_x}{l} \cdot 100, \quad (17.2)$$

где a_x — величина перекрытия между снимками в мм.

При фотографировании участка местности, значительного по своей площади, возникает необходимость в проложении ряда параллельных между собой маршрутов с соблюдением взаимного перекрытия между ними. Такое фотографирование местности называется площадным, а взаимное перекрытие снимков смежных маршрутов — поперечным (рис. 111, а). Величина поперечного перекрытия p_y , выраженная в процентах, вычисляется по формуле

$$p_y = \frac{a_y}{l} \cdot 100, \quad (17.3)$$

где a_y — величина перекрытия между снимками в мм. Расчетное значение продольного перекрытия выбирают в зависимости от назначения съемки равным 56—90%, а поперечного — не менее 20%.

Величина продольного перекрытия связана с базисом фотографирования, под которым понимают линию, соединяющую центры проектирования фотоснимков местности, составляющих стереопару, т. е. два фотоизображения одного участка местности, принад-

лежащие фотоснимкам, полученным при разных положениях центра проектирования. Практически базис фотографирования в масштабе аэроснимка — расстояние между главными точками* двух смежных аэроснимков (рис. 111, б), величина которого определится как

$$b = l \frac{(100 - p_x)}{100} \quad (17.4)$$

или на местности

$$B = bm = lm \frac{(100 - p_x)}{100},$$

где m — знаменатель численного масштаба.

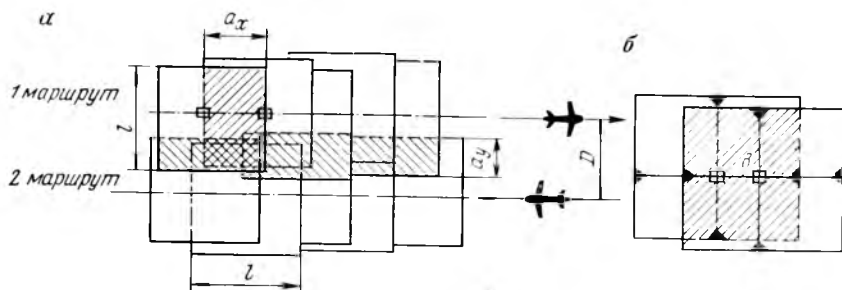


Рис. 111

Расстояние D_y между смежными маршрутами на местности определяется из выражения

$$D_y = lm \frac{(100 - p_y)}{100}. \quad (17.5)$$

В процессе работы используется не весь аэроснимок, а только его центральная часть, называемая рабочей или полезной площадью аэроснимка. На снимке полезная площадь ограничивается линиями, проходящими через середины перекрывающихся частей. Полезная (рабочая) площадь аэроснимка $S_{\text{пол}}$ на местности может быть определена по формуле

$$S_{\text{пол}} = BD_y. \quad (17.6)$$

Число снимков n_1 в маршруте определится как

$$n_1 = \frac{D_m}{B} + 2, \quad (17.7)$$

где D_m — длина маршрута.

* Главная точка аэрофотоснимка — основание перпендикуляра, опущенного из центра проектирования на плоскость аэрофотоснимка местности.

Число маршрутов n_2

$$n_2 = \frac{L}{D_y} + 1, \quad (17.8)$$

где L — ширина фотографируемого участка.

Тогда общее количество аэрофотоснимков N на фотографируемую площадь будет равно

$$N = n_1 \times n_2. \quad (17.9)$$

§ 124. Накладной монтаж и оценка качества материалов аэрофотосъемки

Оценку качества аэрофотосъемки производят по накладному монтажу, являющемуся результатом монтажа фотоснимков местности, осуществляемому наложением друг на друга их перекрывающихся частей. Основным критерием качества залета является соблюдение технических условий выполнения комплекса работ по аэрофотосъемке. Так, высота полета над средней плоскостью съемочного участка не должна отличаться от заданной в равнинных районах более чем на 3%, в горных — более чем на 5%, а при высоте полета до 1000 м — более чем на 30 м в равнинных районах и 50 м в горных районах.

Продольное перекрытие аэрофотоснимков в зависимости от условий аэрофотосъемки не должно быть менее 56% при заданном 60% и 78% при заданном 80%.

Поперечное перекрытие должно быть не менее 20% независимо от заданной величины.

Аэрофотосъемочные маршруты должны быть параллельны между собой в пределах допуска по минимальному и максимальному поперечному перекрытию аэрофотоснимков соседних маршрутов.

Непрямолинейность маршрутов, определяемая как отношение стрелки прогиба к длине маршрута, должна быть не более 2% при аэрофотосъемке в масштабе 1:5000 и высоте фотографирования 750 м и не более 3% при масштабе 1:5000 и крупнее и высоте фотографирования менее 750 м.

§ 125. Съемка из космоса

В космических методах, как и при аэрофотосъемке, основным источником информации является изображение, снимок. Однако съемка из космоса имеет ряд преимуществ перед методами аэрофотосъемки. Одно из них состоит в том, что съемка с космического аппарата дает большой обзор территории. Так, например, при фотосъемке с орбитальной станции «Салют» один космический снимок покрывал земную поверхность площадью 160 тыс. км², в то время как при съемке с самолета с высоты 7000 м этим же аппаратом на один снимок можно заснять только 80 км². Использование космических аппаратов позволяет производить практиче-

ски одновременно съемку объектов, процессов и явлений в их естественной взаимосвязи на огромной площади.

Другим важным фактором съемки из космоса является естественная генерализация деталей изображаемых объектов и явлений, в результате которой обеспечивается возможность получения региональных и глобальных характеристик объектов исследований и их параметров, что является весьма ценным для выявления геологической структуры.

В то же время использование многозональной съемки и выбор изображения в определенных зонах спектра практически решают задачу автоматического отбора нужной информации. Так, в видимой части спектра изображается рельеф мелководий, в ближнем инфракрасном диапазоне ослабляется влияние растительного покрова на формирование изображения местности, но четко фиксируется структура поверхности Земли, следы эрозии, гидрографическая сеть, на спектральных снимках разными цветами разделяются изображения неоднородных лесов, горных пород и пр.

Космическая информация позволила широко применять при дешифрировании региональной и глобальной информации метод аналогий, что позволяет автоматизировать процесс дешифрирования на основе оптических электросистем и повысить эффективность и производительность труда.

Съемка из космоса позволяет получать информацию в широком диапазоне масштабов. Так, с корабля «Союз-9» была выполнена съемка в масштабе 1 : 8 000 000, а с орбитальной станции «Салют-4» — 1 : 2 500 000, что позволяет создавать карты непосредственно в заданном масштабе без промежуточных операций по трансформированию.

При съемке с космической орбиты центральная проекция, в которой строится изображение снимка, становится близкой к ортогональной, что ослабляет искажения на снимке, вызванные рельефом местности, а это позволяет упростить трудоемкий процесс по составлению контурной части плана. Но вместе с тем возникает необходимость учитывать кривизну Земли и влияние атмосферной рефракции.

Существенное отличие космической информации от аэрофотосъемки состоит в том, что космическая информация является многоцелевой и межотраслевой. На ее основе могут создаваться как топографические карты масштаба 1 : 100 000 и мельче, так и специальные карты. Это означает, что космический снимок представляет единую основу для интерпретации и картографирования разнообразных природных объектов, процессов и явлений в их естественной взаимосвязи.

§ 126. Геометрические свойства аэроснимков

Изображение местности на топографических планах осуществляется в ортогональной проекции, и поэтому масштаб в пределах плана остается постоянным.

Фотографическое изображение местности, т. е. аэроснимок, представляет собой центральную проекцию местности, где центром проектирования S является задняя узловая точка объектива фотоаппарата.

Плоскостью проектирования p_1 при фотографировании местности является негатив (рис. 112, а), на котором изображение объекта получается обратным (негативным). Если между центром проектирования и фотографируемой местностью поместить плос-

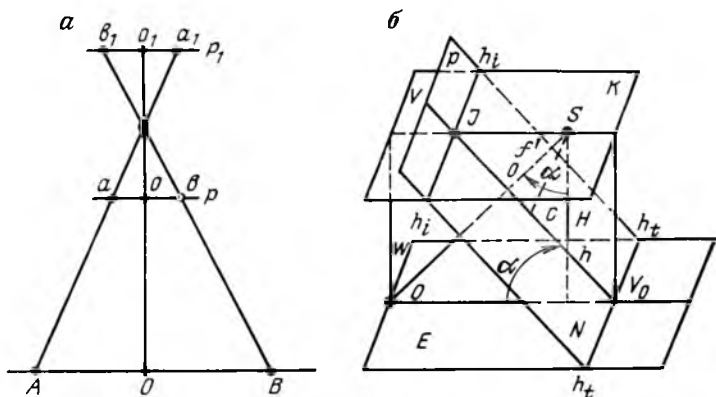


Рис. 112

кость проектирования p (снимок), то на нем получим прямое (позитивное) изображение, обратное негативу.

В том случае, если фотографируемая местность представляет собой плоскость, а снимок горизонтален, т. е. оптическая ось АФА занимает вертикальное положение, аэроснимок будет подобен плану.

На практике указанные выше положения обычно невыполнимы, а это приводит к тому, что плановый аэроснимок отличается от плана. Чтобы аэроснимок преобразовать в карту или план, необходимо знать величины, определяющие положение аэрофотоснимка в пространстве в момент фотографирования в заданной системе координат, иначе говоря, определить элементы внутреннего и внешнего ориентирования.

Элементы внутреннего ориентирования — величины, которые позволяют воспроизвести связку проектирующих лучей, существующую в момент фотографирования местности, относительно центра проектирования (задней узловой точки объектива). Положение центра проектирования относительно аэрофотоснимка характеризуется тремя величинами: x_0 , y_0 — координаты главной точки и f — фокусное расстояние камеры. Элементы внутреннего ориентирования определяются в результате калибровки аэрофотоаппарата.

Элементы внешнего ориентирования определяют пространственное положение связки проектирующих лучей аэрофотоснимка

местности в момент фотографирования в заданной системе координат. Положение аэроснимка в пространстве определяется шестью элементами внешнего ориентирования, из которых три являются линейными, а три угловыми: координаты центра проектирования X_s, Y_s, Z_s ; продольный угол α наклона, поперечный ω и угол поворота снимка κ .

Определение элементов внешнего ориентирования производят путем различных фотограмметрических построений.

Таким образом, положение снимка в пространстве определяется тремя элементами внутреннего ориентирования относительно центра проектирования и шестью элементами внешнего ориентирования относительно геодезической системы координат местности.

Рассмотрим основные элементы центральной проекции (рис. 112, б) применительно к аэроснимку.

Картинную плоскость, в пределах которой расположен аэроснимок, обозначим через p , предметную плоскость (фотографируемую местность) — соответственно E ; линия пересечения предметной плоскости с картинной называется основанием картины $h_i h_i$; S — центр проектирования (объектив); K — плоскость, проходящая через центр проектирования параллельно предметной плоскости, — плоскость горизонта; линия пересечения картинной плоскости с плоскостью горизонта $h_i h_i$ — линия истинного горизонта; W — плоскость главного вертикала, проходящая через центр проектирования перпендикулярно к предметной плоскости; So — оптическая ось АФА; SN — отвесная линия, определяющая удаление центра проектирования от предметной плоскости; f' — фокусное расстояние АФА; α — угол наклона картинной плоскости к предметной, т. е. наклона аэроснимка; VV_0 — линия сечения картинной плоскости плоскостью главного вертикала, называется главной вертикалью; ON — линия направления съемки: o — главная точка аэроснимка; s — точка нулевых искажений; n — точка надира.

Точки o, s, n , лежащие на главной вертикали, являются основными точками аэроснимка. Любая линия картинной плоскости, перпендикулярная к главной вертикали, называется горизонталью, а точка пересечения линии истинного горизонта $h_i h_i$ с главной вертикалью является главной точкой схода J .

Установим связь между элементами центральной проекции и основными точками аэроснимка. Главная точка o является основанием перпендикуляра, опущенного из задней узловой точки объектива на плоскость прикладной рамки АФА. Для определения положения главной точки на аэроснимке на прикладной рамке имеются четыре координатные метки, юстируемые таким образом, чтобы начало координат совпало с главной точкой аэроснимка. В этом случае главная точка o будет находиться на пересечении осей, проведенных через координатные метки, изображения которых получают на негативе (см. рис. 109).

Точка нулевых искажений s лежит на пересечении главной вертикали и биссектрисы угла, образованного оптической осью АФА

и отвесной линией, и отстоит от главной точки аэроснимка на расстоянии

$$oc = f' \operatorname{tg} \alpha / 2. \quad (17.10)$$

Точка нулевых искажений характеризуется тем, что масштаб в этой точке соответствует масштабу горизонтального снимка, а углы, измеренные с вершиной в точке s на снимке и на равнинной местности, равны независимо от наклона аэроснимка (направления, проведенные из точки s , имеют искажения только из-за влияния рельефа).

Точка надира n лежит на пересечении отвесной линии, проходящей через S , и главной вертикали. Она является точкой схода вертикальных линий, т. е. направления, проведенные из точки n , не искажены за рельеф местности, а имеют только перспективные искажения. Положение точки надира определяется относительно главной точки аэроснимка расстоянием

$$on = f' \operatorname{tg} \alpha. \quad (17.11)$$

Для работ, не требующих высокой точности, при использовании плановых аэроснимков равнинной местности можно допускать, что главная точка обладает свойствами точки нулевых искажений и точки надира. Поэтому практически для многих видов работ ее можно принимать как исходную вместо точек s и n .

§ 127. Искажения на снимке из-за влияния угла наклона и рельефа местности

Вследствие отклонения оптической оси АФА от вертикали и рельефа местности на снимке возникают искажения в виде смещения точек от того положения, которое они должны занимать на плане. Это приводит к тому, что пользоваться аэроснимком как планом становится невозможно без введения соответствующих поправок. Для выявления закономерностей смещения точек на аэроснимке, вызванных его наклоном, сфотографируем отрезок местности с точками A , O , B , C и D . Положим, что $AO = OB = BC = CD$ (рис. 113). При строго отвесном положении оптической оси АФА на снимке получат изображение точек, равноотстоящих друг от друга, т. е. $ao = ob = bc = cd$. Иное изображение получим на снимке тех же точек местности при отклонении оптической оси АФА от вертикали:

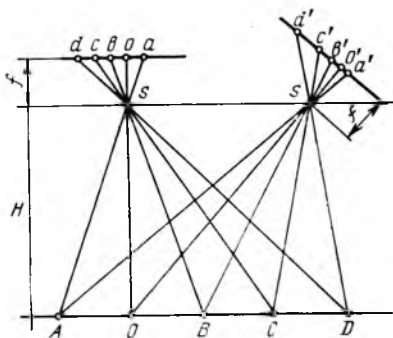


Рис. 113

$$a'o' \neq o'b' \neq b'c' \neq c'd'. \quad (17.12)$$

Величину смещения точек на плановом снимке из-за наклона аэроснимка можно вычислить по рабочей формуле

$$\Delta r_{\alpha} = \frac{r^2}{f'} \sin \alpha \sin \varphi, \quad (17.13)$$

где Δr_{α} — смещение на снимке вследствие его наклона; r — расстояние определяемой точки от точки нулевых искажений аэроснимка; α — угол наклона аэроснимка; φ — угол между горизонталью, проведенной через точку нулевых искажений, и направлением на оп-

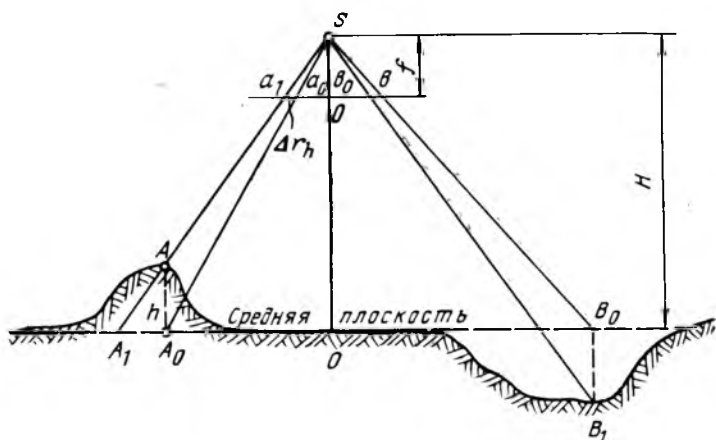


Рис. 114

ределяемую точку. Из формулы (17.13) следует, что при $r=0$ величина смещения будет равна 0, т. е. при наклоне снимка точка с нулевых искажений не смещается.

Точки, расположенные на горизонтали (линии неискаженных масштабов), проходящей через точку с, тоже не смещаются, так как $\varphi=0$ или 180° .

Следовательно, максимальные искажения на снимке вследствие угла его наклона будут вдоль главной вертикали при $\varphi=90^\circ$ или 270° , величины которых можно предвычислить по формуле

$$\Delta r_{\alpha_{\max}} = \frac{r^2}{f'} \sin \alpha. \quad (17.14)$$

При плановой аэрофотосъемке, где углы наклона аэроснимка не превышают 3° , величины смещений точек вдоль главной вертикали определяют по формуле, называемой рабочей:

$$\Delta r_{\alpha} = r^2 \alpha^\circ / f' \rho^\circ \approx r^2 \alpha^\circ / 60 f'. \quad (17.15)$$

Смещения точек на горизонтальном снимке, вызванные рельефом местности, представлены на рис. 114. Обозначим точку на поверхности Земли через A , ее проекцию на горизонтальной плоскости через A_0 , AA_0 — превышение h между двумя точками и H — высоту фотографирования SO относительно средней плоскости фо-

тографирования. Из подобия треугольников A_1AA_0 и A_1SO ; A_1SO и a_1So определим смещение точки Δr_h за рельеф

$$\Delta r_h = rh/H, \quad (17.16)$$

где r — отстояние точки a от точки надира аэроснимка.

Вычисленные величины поправок за рельеф следует вводить с учетом знаков превышения. Так, при положительном их значении точку на снимке следует сместить по направлению к точке надира и при отрицательном значении — наоборот.

Установим условия, при которых смещениями точек на аэроснимке можно пренебречь. Принимая размер снимка 180×180 мм; $f' = 100$ мм; $p_x = 60\%$ и $p_y = 40\%$, предвычислим размер рабочей площади в масштабе аэроснимка, который составит 72×108 мм, $r_{\max} = 65$ мм и величины смещений точек вследствие наклона аэроснимка, вычисленные по формуле (17.15),

$\alpha, ^\circ$	.	.	.	0,5	1	2	3
$\Delta r_\alpha, \text{ мм}$	.	.	.	0,3	0,7	1,4	2,1

При углах наклона аэроснимка до $0,5^\circ$ ($30'$) смещением точек в пределах его рабочей площади можно пренебречь.

Смещения на аэроснимке из-за рельефа местности можно не учитывать только в том случае, когда $\Delta r_h \leq 0,2$ мм. Принимая $r_{\max} = 65$ мм и $f' = 100, 200$ мм, по формуле $h_{\max} = 0,2f'/r_{\max}$ определим значения превышений на местности, при которых смещениями на аэроснимке за рельеф можно пренебречь.

$h_{\max}, \text{ M:}$							
$f'=100 \text{ M}$	.	.	1,5	3,1	7,7	15,4	30,8
$f'=200 \text{ M}$	.	.	3,0	6,2	15,4	30,8	61,6
m	.	.	5000	10 000	25 000	50 000	100 000

Смещениями на аэроснимке за рельеф можно пренебречь только при съемке плоскоравнинной местности в мелком масштабе. В других случаях при работе с аэроснимками следует учитывать смещения за рельеф.

§ 128. Определение среднего масштаба снимка

Наклон аэроснимка и рельеф местности влияют на положение точек на аэроснимке, что отражается на его масштабе. Масштаб планового, а тем более перспективного снимка в разных его частях становится различным, но сохраняет свое постоянство по горизонталям, поэтому под масштабом изображения следует понимать отношение бесконечно малого отрезка на аэрофотоснимке к соответствующему отрезку на плоскости (местности). Масштаб для горизонтали (линии на аэрофотоснимке, перпендикулярной к главной вертикали), проходящей через любую точку аэрофотоснимка, определяют по формуле

$$\frac{1}{m_{h_i}} = \frac{f'}{H} \left(\cos \alpha - \frac{y}{f'} \sin \alpha \right), \quad (17.17)$$

где y — ордината точки (за начало координат принята главная точка аэроснимка). Формула масштаба для горизонтали, проходящей через главную точку аэроснимка ($y=0$), примет вид

$$\frac{1}{m_{h_0}} = \frac{f'}{H} \cos \alpha.$$

Масштаб по горизонтали, проходящей через точку нулевых искажений ($y = -f' \operatorname{tg} \alpha/2$), определяют как

$$1/m_{h_e} = f'/H.$$

Масштаб по горизонтали, проходящей через точку надира ($y = -f' \operatorname{tg} \alpha$), можно вычислить по формуле

$$1/m_{h_n} = f'/H \cos \alpha.$$

Масштаб изображения планового аэроснимка вдоль главной вертикали равен

$$\frac{1}{m_{v_i}} = \frac{f'}{H} \left(\cos \alpha - \frac{y}{f'} \sin \alpha \right)^2. \quad (17.18)$$

Сравнивая формулы (17.17) и (17.18), можно сделать вывод, что масштаб по вертикали отличается от масштаба по горизонтали степенью стоящего в скобках множителя. Таким образом, для главной точки o аэрофотоснимка масштаб по горизонтали будет крупнее, чем по вертикали; для точки надира n масштаб по горизонтали мельче, чем по вертикали, а для точки нулевых искажений s масштаб по всем направлениям равен масштабу горизонтального снимка. Поскольку масштаб по горизонтали, проходящей через точку нулевых искажений, равен масштабу горизонтального аэроснимка, то эту горизонталь называют линией неискаженных масштабов.

При работе с аэроснимками определяют средний масштаб аэроснимка. Для этого на местности и аэроснимке опознают идентичные (одноименные) точки, между которыми производят измерения. Чтобы исключить или свести к минимуму влияние наклона аэроснимка, точки желательно выбирать на снимке в диаметрально противоположных его углах таким образом, чтобы линия, соединяющая их попарно, проходила как можно ближе к главной точке (не далее 2—3 см) и точки по возможности располагались на равном расстоянии (допустимо отклонение не более 2—3 см) от главной точки (рис. 115). По результатам измерений масштаб аэроснимка определяют как

$$1/m_1 = l_{ab}/L_{AB}; \quad 1/m_2 = l_{cd}/L_{CD},$$

и средний масштаб аэроснимка

$$\frac{1}{m_{cp}} = \frac{1}{(m_1 + m_2)/2},$$

где l_{ab} , l_{cd} — длины линий, измеренных между соответствующими точками на аэроснимке; L_{AB} , L_{CD} — аналогично между теми же точками на местности.

В случае невозможности определения среднего масштаба (невозможность измерения линий на местности) определяют частный масштаб для той части аэроснимка, в пределах которой производят измерения. Частный масштаб следует определять по двум линиям, расположенным в центральной части данного участка и находящимся приблизительно на одной прямой.

При наличии карты масштаб аэроснимка определяется путем выбора идентичных точек на аэроснимке и карте в соответствии с условиями, изложенными выше. Выполнив измерения на аэро-

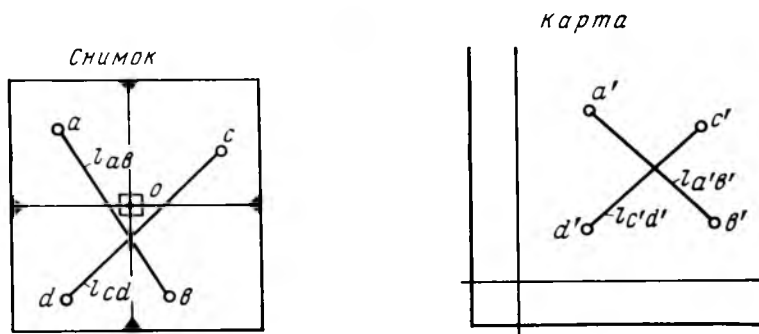


Рис. 115

снимке l_{ab} , l_{cd} и карте l'_{ab} , l'_{cd} между идентичными точками, вычисляют частные масштабы аэроснимка:

$$1/m_1 = l_{ab}/l'_{ab}M; \quad 1/m_2 = l_{cd}/l'_{cd}M,$$

где M — знаменатель масштаба карты.

Средний масштаб аэроснимка

$$1/m_{cp} = 2/(m_1 + m_2).$$

Расхождение в значениях частных масштабов m_1 и m_2 зависит от точности измерений, рельефа местности и наклона аэроснимка.

Принимая смещения на аэроснимке Δl_0 не более 0,4 мм, допустимое расхождение Δm между средним и частным масштабом аэроснимка вычисляют по формуле

$$\Delta m = \frac{0,4m_{cp}^2}{lM}, \quad (17.19)$$

где l — отрезок на аэроснимке; M — знаменатель масштаба карты; m_{cp} — знаменатель среднего масштаба аэроснимка.

Средний масштаб аэроснимка, вычисленный таким образом, относится к плоскости, отметка которой Z_{cp} определится из соотношения

$$Z_{cp} = (Z_a + Z_b + Z_c + Z_d)/4,$$

где Z_a , Z_b , Z_c , Z_d — отметки точек.

Высоту фотографирования H — расстояние вдоль оптической оси аэрофотоаппарата от передней узловой точки объектива до средней плоскости фотографируемого участка земной поверхности для горизонтального снимка и равнинной местности можно определить по формуле

$$H = f' \cdot m. \quad (17.20)$$

Практически масштаб аэроснимка изменяется не только в различных его частях, но и в каждой точке, поэтому высота фотографирования, полученная по формуле (17.20), будет искажена. При этом при неблагоприятных условиях эти искажения могут быть существенными.

На практике высоту фотографирования определяют следующим образом. Определив частные масштабы m_1 , m_2 аэроснимка по направлениям ab и cd (см. рис. 115), вычисляют высоты фотографирования H_1 , H_2 относительно их средних плоскостей:

$$H_1 = f' m_1, \quad H_2 = f' m_2.$$

Высоту фотографирования относительно главной точки аэрофотоснимка определяют по формулам

$$H_0' = H_1 + \frac{Z_a + Z_b}{2} - Z_0, \quad H_0'' = H_2 + \frac{Z_c + Z_d}{2} - Z_0,$$

где Z_a , Z_b , Z_c , Z_d и Z_0 — отметки точек аэроснимка, определяемые по топографической карте. Вычислив среднюю высоту фотографирования H_0^{cp} относительно главной точки аэрофотоснимка $H_0^{cp} = (H_0' + H_0'')/2$, определяют высоту фотографирования H_a относительно точки a , принимаемой за исходную, по формуле $H_a = H_0^{cp} - h$, где h — превышение точки a относительно главной точки аэрофотоснимка.

В настоящее время при аэрофотосъемке регистрируются показания статоскопа в момент экспозиции. Показания статоскопа позволяют с высокой точностью вычислять разности высот фотографирования для каждого аэрофотоснимка маршрута. При наличии показаний статоскопа достаточно определить высоту фотографирования только для начального аэрофотоснимка маршрута, а высоты для других аэрофотоснимков маршрута вычислить на основании показаний статоскопа.

§ 129. Методы перенесения информации с аэроснимка на карту

Для перенесения информации, в частности, данных дешифрирования и рельефа с аэроснимка на карту используют современные оптические приборы (стереопантометр, интерпретоскоп, универсальные топографические проекторы — УТП-1, УТП-2 и др.). Однако в полевых условиях, когда требуется перенести незначительное количество точек, при отсутствии указанных приборов применяют графические методы.

Способ линейных засечек используют в том случае, когда сфотографированная местность содержит большое количество контурных точек. Поскольку масштаб аэроснимка, как правило, не соответствует масштабу карты, возникает необходимость преобразования длин линий, измеренных на снимке, в соответствующие расстояния на карте. Задачу можно упростить, если для работы воспользоваться пропорциональным циркулем (рис. 116, а), а при его отсутствии масштабом (клиновым) (рис. 116, б). На снимке и карте намечают по три (одна из точек используется в ка-

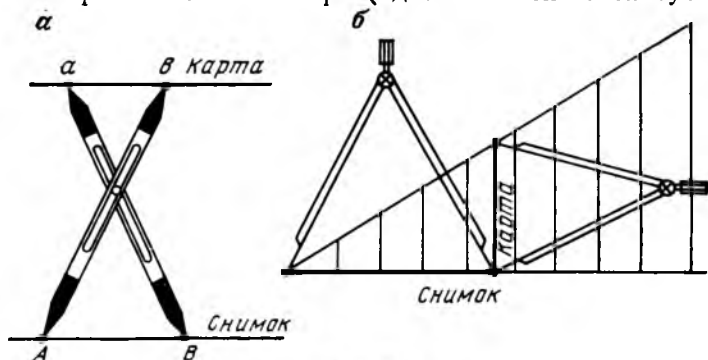


Рис. 116

честве контрольной) одноименные точки. Относительно этих точек пропорциональным циркулем либо измерителем (в этом случае необходимо преобразовать длины линий, измеряемые на аэроснимке, в длины линий на карте при помощи пропорционального масштаба) измеряем расстояния до определяемой точки, делаем засечки на карте и находим положение определяемой точки. Вследствие погрешностей измерений, а также искажений на аэроснимке за рельеф и наклон аэроснимка при построении засечки может образоваться треугольник погрешностей. Если стороны треугольника погрешностей не превышают 1 мм, за искомую точку принимают центр треугольника. Точность построения будет тем выше, чем ближе находится определяемая точка относительно исходных и если введены поправки за рельеф в положение исходных точек.

Чтобы перенести точки на карту способом полярных координат, сначала необходимо перенести на карту главную точку аэроснимка. Для этого, используя способ Болотова, на аэроснимке и карте намечают по 4 идентичные точки. Наложив аэроснимок на кальку, перекальвают на нее главную точку аэроснимка, идентичные точки, а также точки, подлежащие перенесению с аэроснимка на карту. Затем прочерчивают на кальке направления из главной точки на идентичные и одновременно на переносимые. Положив кальку на карту, ориентируют ее таким образом, чтобы направления, прочерченные на кальке, проходили соответствующие идентичные точки карты; после чего перекальвают на карту главную точку аэроснимка и намечают на ней направления на переносимые точки. Измерив расстояния от главной точки до пере-

носимых на аэроснимке, откладывают их, но уже в масштабе карты, вдоль соответствующих направлений, прочерченных на карте относительно главной точки, и получают приближенное положение определяемых точек на карте. Определив высоты точек по горизонталям и вычислив превышения перенесенных точек над главной точкой аэроснимка, вычисляют для каждой точки поправки за рельеф по формуле (17.16).

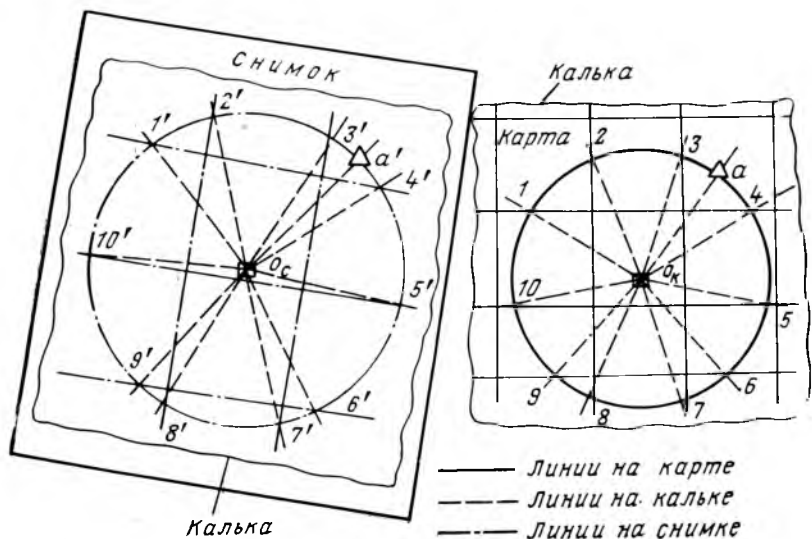


Рис. 117

Поправки за рельеф на карте $\Delta r'_h$ вводятся путем смещения точек по направлению к главной точке при положительном превышении, в противном случае — по направлению от главной точки. Величины поправок вычисляют по формуле

$$\Delta r'_h = \frac{m}{M} \Delta r_h, \quad (17.21)$$

где m и M — соответственно знаменатели масштабов снимка и карты.

Способ полярных координат может быть применен для любой местности, но трудоемок при значительном количестве переносимых точек.

Способ прямоугольных координат применяется при перенесении большого количества точек, расположенных на равнинной местности, по координатной сетке, перенесенной с карты на аэроснимок. Имея координатную сетку на аэроснимке и карте, переносят точки с аэроснимка на карту по прямоугольным координатам. Практически для перенесения координатной сетки с карты на аэроснимок можно воспользоваться любым из уже рассмотренных

способов с той лишь разницей, что переносят точки пересечения координатных линий на аэроснимок с карты.

Рассмотрим методику переноса координатной сетки с карты на аэроснимок. Сначала одним из рассмотренных способов главную точку аэроснимка o_c переносят на карту o_k . Затем на карте и аэроснимке находят общую контурную точку, соответственно a и a' . На карте проводят окружность с центром в точке o_k и радиусом, равным отстоянию контурной точки a от точки o_k . При этом окружность пересечет линии координатной сетки в точках 1, 2, 3, ..., 10 (рис. 117). Наложив на карту кальку, наносят на ней точку o_k и из нее прочерчивают направления на контурную точку a и точки пересечения окружности с линиями координатной сетки.

На аэроснимке аналогично проводят окружность с центром в главной точке аэроснимка o_c и радиусом $a'o_c$. Ориентировав кальку на аэроснимке по исходному направлению $o_c a'$ с центром в главной точке аэроснимка, отмечают точки пересечения окружности, проведенной на аэроснимке, с направлениями, проведенными из главной точки аэроснимка, на кальке. Соединив соответствующие точки 1' с 4', 10' с 5', 2' с 8' и т. д., получают координатную сетку на аэроснимке.

§ 130. Перенесение геологической информации с аэроснимка местности со сложным рельефом на топографическую основу

Перенесение информации с аэроснимка на топографическую основу графическим способом с помощью радиальных сеток основано на неискаженности на плановом аэроснимке центральных направлений, проведенных из центральной точки*.

Пусть дано два снимка 1 и 2 (рис. 118, а). На каждом из них определяют положение центральных точек и переносят главную точку 2 второго снимка на первый 2', главную точку 1 первого снимка на второй 1'. На первом снимке относительно направления 1—2' и на втором относительно 2—1' из точек 1 и 2 проводят радиальные направления через 10° в пределах перекрытия. В дальнейшем перенос радиальной сетки с первого снимка на второй выполняют с помощью стереоскопа или визуально по контурным точкам. Для этого на луче, проведенном из точки 1 первого аэроснимка, находят контурные точки, отстоящие друг от друга на расстоянии 1—2 см, например a , b , c и d . Найдя изображение этих точек на втором аэроснимке (a' , b' , c' и d') и соединив их последовательно прямыми линиями, получают искомое изображение луча на втором аэроснимке. С помощью подобных действий перенесем все направления, которые образуют радиальную сетку, первого снимка на второй. В том случае, если имеется и третий снимок, то его радиальная сетка переносится на второй снимок аналогично.

* Центральная точка аэроснимка — любая контурная точка, находящаяся в пределах окружности, описанной из главной точки аэроснимка радиусом, равным $0,02 f'$.

Подобные радиальные сетки необходимо построить и на карте. Для чего предварительно находят положения главных точек аэроснимков на карте (рис. 118, б).

Построив радиальные сетки на аэроснимках и карте, информацию переносят с аэроснимка на карту визуальным по соответствующим клеткам.

§ 131. Фотосхемы

Один из основных критериев точности топографической основы при геологических исследованиях — надежность интерпретации ре-

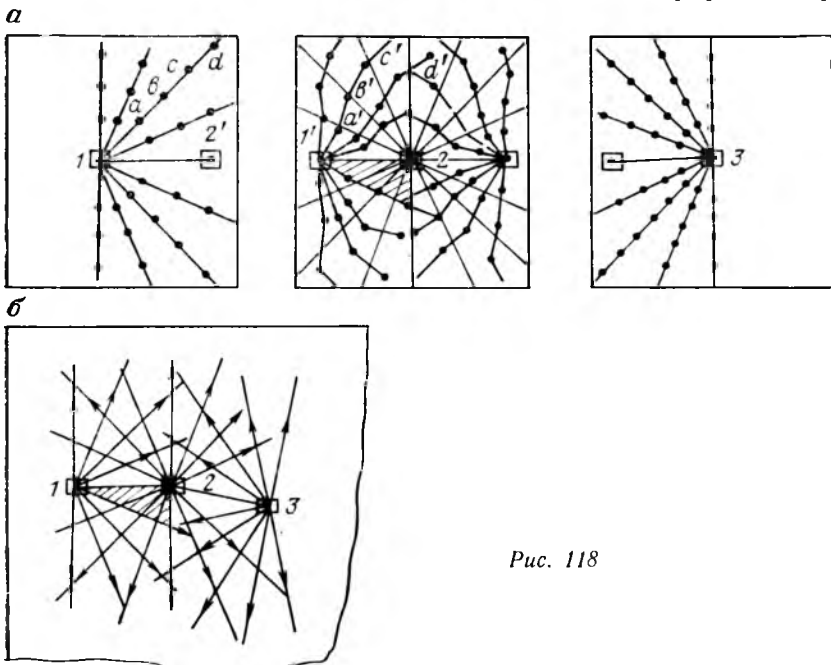


Рис. 118

зультатов геологической разведки участка. Поэтому физико-географическая характеристика района съемки должна быть представлена с такой подробностью и точностью, которая позволит осуществить поисково-разведочные работы, а также создать топографическую основу для создания геологических и геофизических карт.

В тех случаях, когда на территории геологической съемки нет топографических карт данного масштаба либо имеются, но устаревшие, как показывает опыт работ для равнинных и всхолмленных районов, целесообразно использование фотосхем, которые могут служить топографической основой для геологической съемки масштаба 1 : 25 000 и мельче.

Фотосхема местности — фотографическое изображение местности, составленное путем монтажа фотоснимков без использования опорных точек.

В зависимости от рода аэроснимков, из которых монтируется фотосхема, они делятся на контактные, монтируемые из контактных аэроснимков, и приведенные из аэроснимков, которые получают путем увеличения или уменьшения изображения аэронегатива до заданного масштаба аэроснимка без учета его угла наклона.

В зависимости от площади фотографируемой местности фотосхемы могут быть одномаршрутные и многомаршрутные, а от наличия опорной сети — свободные и приведенные.

Одномаршрутные свободные фотосхемы монтируют двумя способами: по контурным точкам или по начальным направлениям.

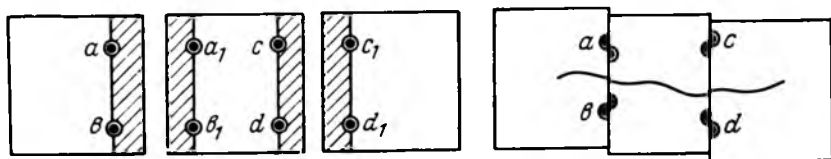


Рис. 119

Чтобы изготовить фотосхему по контурным точкам, аэроснимки укладывают в маршрут аналогично накладному монтажу. Для каждой пары снимков маршрута, приблизительно на середине продольного перекрытия, выбирают и накалывают иглой контурные точки a и b (рис. 119), четко опознаваемые на аэроснимках.

Ошибка накола не должна превышать 0,2 мм. Контурные точки, чтобы исключить возможность выреза мелких контуров при монтаже, следует выбирать на самых высоких участках местности вдоль линии будущего пореза. Точки должны располагаться не ближе 1 см от края снимка.

Порез аэроснимков выполняется по линиям ab и cd . Используемые для монтажа обрезанные части аэроснимков наклеивают на плотную бумагу. Из-за искажений на аэроснимках, их разномасштабности при монтаже контурные точки одного снимка не совпадают с точками другого снимка, поэтому снимки следует монтировать таким образом, чтобы смещения точек были одинаковыми, но направленными в противоположные стороны. При монтаже фотосхем по контурным точкам прямолинейность маршрутов вследствие искажений на аэроснимках может быть нарушена. Чтобы сохранить прямолинейность маршрута, монтаж аэроснимков следует производить по начальным направлениям. В этом случае на каждом снимке находят и накалывают центральные точки снимков. Центральные точки переносят на соседние аэроснимки и проводят начальные направления из центральных точек каждого аэроснимка на смежные центры.

Монтаж производится путем совмещения начальных направлений соседних снимков до совпадения контурной точки K (рис. 120), расположенной на начальном направлении или вблизи его и лежащей посередине продольного перекрытия аэроснимков. Обрезка

каждой пары снимков производится одновременно. Форма пореза снимков может быть прямолинейной, зигзагообразной и комбинированной. После обрезки снимки наклеивают на плотную бумагу, при этом по линии пореза не должно быть разрывов и наслоений. Монтаж двух, трех и большего количества маршрутов выполняют вышеописанным способом. Монтаж многомаршрутных фотосхем рекомендуется начинать со средних аэроснимков маршрута.

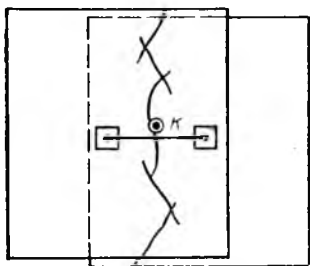


Рис. 120

Приведенные фотосхемы монтируют из аэроснимков, увеличенных или уменьшенных до требуемого масштаба на специальных проекционных приборах — увеличителях (например УТП-2) по опорным точкам или через коэффициент приведения, выражающий отношение знаменателя масштаба аэрофотографирования к знаменателю масштаба приведенной — уточненной фотосхемы.

Монтаж приведенных фотосхем ведется по опорным точкам, нанесенным на основу заданного масштаба по координатам, определенным по карте или плану, либо фотограмметрическим путем. Монтаж фотосхемы начинают с укладки аэроснимков, имеющих опорные точки (на снимках опорные точки пробиваются пуансоном), путем совмещения опорных точек на основе и аэроснимке. После укладки аэроснимков, имеющих опорные точки, монтируют остальные снимки, добиваясь наилучшего совмещения контуров промежуточных снимков. При этом технология монтажа приведенных фотосхем (обрезка, наклеивание, контроль и оформление) ничем не отличается от ранее описанных приемов как для одномаршрутных, так и многомаршрутных фотосхем.

Предельные относительные погрешности измерения расстояний на фотосхемах в зависимости от способа их составления и количества снимков приведены в табл. 27.

Таблица 27

Тип фотосхемы	Количество снимков				
	2	4	6	8	10
Одномаршрутная контактная	1/50	1/90	1/120	1/160	1/160
Многомаршрутная контактная	1/45	1/75	1/120	1/135	1/135
Многомаршрутная приведенная	1/130	1/225	1/290	1/345	1/390

§ 132. Понятие о трансформировании

Фотоплан — план местности, составленный из фотоснимков. Однако разномасштабные, контактные аэроснимки имеют искажения, вызванные наклоном оптической оси АФА и рельефом местности. Чтобы составить фотоплан по этим снимкам, необходимо на

каждом аэроснимке устранить искажения за наклон снимка и привести снимки к масштабу плана, т. е. выполнить трансформирование снимков. Задача трансформирования состоит в преобразовании изображения фотоснимка местности из центральной проекции с одними параметрами в центральную проекцию с другими параметрами.

В зависимости от применяемых приборов и методов трансформирования аэроснимков производят: графически, фотомеханически, оптико-графически и графомеханически.

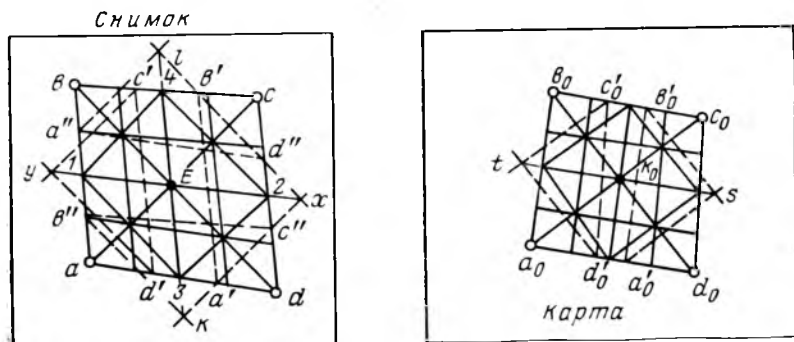


Рис. 121

Графический способ трансформирования может быть использован при отсутствии сложного фотограмметрического оборудования и выполняется при помощи взаимно проективных сеток, которые строятся на аэроснимке и топографической основе или карте. Чтобы построить проективные сетки, выбирают и накалывают по четыре ориентирующие точки на аэроснимке a, b, c, d и карте a_0, b_0, c_0, d_0 . Соединив эти точки прямыми линиями, образуют четырехугольники $abcd$ и $a_0b_0c_0d_0$ (рис. 121). На аэроснимке, проведя диагонали ac и bd , получают точку E . Отступив от точки E вправо 2—3 см, проводят линию параллельно ab , которая пересечет стороны четырехугольника bc и ad в точках a', b' . Через полученные точки a', b' проводят линии параллельно диагоналям четырехугольника до их пересечения в точке x . Аналогично для контроля по левую сторону от точки E проводят линию параллельно стороне cd и получают точки c', d' , через которые проводят линии, параллельные диагоналям четырехугольника, до их пересечения в точке y . Соединив точки X и Y прямой линией, которая должна пройти и через точку E , на сторонах четырехугольника получают точки 1 и 2 .

Проведя линии $c''b'' \parallel cb$ и $a''d'' \parallel ad$, получают точки c'' и a'' , через которые проводят линии параллельно ac , и через точки b'' и d'' линии параллельно bd до их пересечения в точках k и l , после их соединения получают точки 3 и 4 . Проведя в каждом из четырех полученных четырехугольников диагонали, получают точки пере-

сечений. Проведенные через них линии дают проективную сетку на аэроснимке.

Чтобы построить проективную сетку на карте, необходимо выполнить аналогичные построения. Густота сетки должна быть такой, при которой перенесение информации с аэроснимка на карту возможно выполнить визуально с требуемой точностью. В связи с трудоемкостью графического метода, его используют, когда необходимо перенести ограниченное количество информации.

Фотомеханическое трансформирование выполняется на специальных приборах — фототрансформаторах, позволяющих преобразовывать перспективный или плановый аэроснимок в горизонтальный заданного масштаба. Трансформирование аэроснимков осуществляется по четырем опорным точкам, опознанным на аэроснимке и нанесенным по координатам на планшет.

Процесс трансформирования сводится к совмещению проекций трансформационных точек негатива, заложенного в кассету, с соответствующими точками на планшете, помещенном на экран фототрансформатора, и изготовлению трансформированных аэроснимков.

Оптико-графическое трансформирование снимков, на которых вычерчены тушью ситуация и рельеф, можно производить на фототрансформаторах, но при этом вместо фототрансформированных снимков, которые получают при фотомеханическом трансформировании, непосредственно получают графический план местности.

Оптико-графическое трансформирование удобнее выполнять на одиночном проекторе либо на универсальном топографическом проекторе (УТП-2).

В основу оптико-графического способа трансформирования положен принцип перехода от центральной проекции аэроснимка к ортогональной проекции плана. Для равнинных районов трансформирование производится на одну плоскость.

При сложном рельефе трансформирование и рисовка рельефа и контуров ведутся по зонам. При переходе из одной зоны в другие изменяется положение подвижного экрана относительно опорного планшета на величину, зависящую от количества зон и их высоты. Количество зон n предвычисляют по формуле

$$n = (Z_{\max} - Z_{\min}) / \Delta h, \quad (17.22)$$

где $Z_{\max}$, $Z_{\min}$ — соответственно максимальная и минимальная высоты точек либо горизонталей в пределах аэроснимка; Δh — высота зоны, определяемая по формуле

$$\Delta h = 0,002f' M \Delta r_{hi} / r, \quad (17.23)$$

где f' — фокусное расстояние объектива АФА; M — знаменатель масштаба составляемой карты; Δr_{hi} — допустимое смещение точек за рельеф, принимаемое равным 0,5 мм; r — максимальное расстояние точек от главной точки аэроснимка.

Прежде чем приступить к проектированию первой зоны, в положение опорных точек, нанесенных на планшет, вводят поправ-

ки за рельеф Δr_{hi} , вычисляя их по формуле

$$\Delta r_{hi} = r_i h_i / H_i, \quad (17.24)$$

где r_i — отстояние опорной точки от главной (центральной) на планшете; h_i — превышение опорной точки над средней плоскостью первой зоны; H_i — высота фотографирования относительно средней плоскости первой зоны.

Если опорная точка лежит выше средней плоскости проектирования, то величину Δr_{hi} откладывают от данной точки по направлению к центру, если ниже — наоборот.

В дальнейшем поправки Δr_{hi} в опорные точки при переходе из зоны в зону будут изменяться на величину δr_i , вычисляемую по формуле

$$\delta r_i = r_i \Delta h / f' M. \quad (17.25)$$

Для контроля трансформирования на аэроснимке наносят контрольный отрезок, который должен проходить через главную точку аэроснимка и в ней делиться пополам. Длина контрольного отрезка принимается равной 150 мм. При трансформировании концы отрезка фиксируются на опорном планшете, причем при переходе от зоны к зоне длина контрольного отрезка будет изменяться на величину

$$\Delta l = l \Delta h / M f', \quad (17.26)$$

где l — длина контрольного отрезка на опорном планшете, мм. Допустим, что в пределах рабочей площади аэроснимка $Z_{\min} = 25$ м и $Z_{\max} = 150$ м. Разность высот составляет 125 м. Принимая $\Delta r_{hi} = \pm 0,5$ мм, $f' = 200$ мм и масштаб составляемой карты 1/10 000, определяют высоту зоны при условии, что опорная точка отстоит от главной точки аэроснимка на расстоянии 100 мм,

$$\Delta h = 0,002 \frac{f M r_{hi}}{r} = \frac{0,002 \times 200 \times 10\,000 \times 0,5}{100} = 20 \text{ м.}$$

Высоты средних плоскостей для каждой зоны, начиная с первой,

$$Z_{cp}^1 = Z_{\min} + \Delta h / 2 = 25 + 10 = 35 \text{ м,}$$

$$Z_{cp}^2 = Z_{cp}^1 + \Delta h = 35 + 20 = 55 \text{ м,}$$

$$Z_{cp}^3 = Z_{cp}^2 + \Delta h = 55 + 20 = 75 \text{ м и т. д.}$$

Поправки в опорные точки, имеющие отметки $Z_1 = 70$ м; $Z_2 = 80$ м; $Z_3 = 60$ м; $Z_4 = 100$ м и отстоящие от главной точки соответственно на расстоянии 50 мм, 70 мм, 60 мм и 100 мм, при трансформировании первой зоны получаются следующие:

$$\Delta r_{h_1} = \frac{50 \times (70 - 35)}{2000} = \frac{50 \times 35}{2000} = +0,9 \text{ мм;}$$

$$\Delta r_{h_2} = \frac{70 \times (80 - 35)}{2000} = \frac{70 \times 45}{2000} = +1,6 \text{ мм;}$$

$$\Delta r_{h_3} = \frac{60 \times (60 - 35)}{2000} = \frac{60 \times 25}{2000} = +0,8 \text{ мм};$$

$$\Delta r_{h_4} = \frac{100 \times (100 - 35)}{2000} = \frac{100 \times 65}{2000} = +3,3 \text{ мм}.$$

При переходе ко второй, третьей и последующим зонам необходимо смещать опорные точки на величины

$$\delta_{r_1} = 50 \times 20/2000 = +0,5 \text{ мм}; \quad \delta_{r_2} = 70 \times 20/2000 = +0,7 \text{ мм};$$

$$\delta_{r_3} = \frac{60 \times 20}{2000} = +0,6 \text{ мм}; \quad \delta_{r_4} = \frac{100 \times 20}{2000} = +1,0 \text{ мм}.$$

Величина контрольного отрезка каждый раз будет изменяться при переходе из зоны в зону на величину

$$\Delta l = 150 \times 20/2000 = 1,5 \text{ мм}.$$

В графомеханическом способе трансформирование выполняется с помощью простейших механических приборов, например пантографов, позволяющих преобразовать аэроснимок в план местности в заданном масштабе. Точность построения плана при графомеханическом способе зависит от масштаба аэроснимка и тщательности черчения, поскольку при трансформировании изменяется только масштаб аэроснимка, а искажения изображения вследствие наклона аэроснимка и рельефа местности не устраняются. Поэтому графомеханическое трансформирование применяют для составления мелкомасштабных карт с тем расчетом, что искажения на аэроснимке, вызванные наклоном аэроснимка и рельефом местности, были меньше допустимых погрешностей составления плана.

Монтаж фотоплана из трансформированных аэроснимков ведется путем совмещения опорных точек, по которым он трансформировался, с соответствующими точками, нанесенными на основу. Для этого на аэроснимке в пределах его рабочей площади эти точки пробиваются пуансоном. После обрезки аэроснимки наклеивают на жесткую основу таким образом, чтобы точки на планшете были видны в соответствующие отверстия на аэроснимке. Предельное отклонение центров отверстий на трансформированном аэроснимке от соответствующих точек на основе допускается не более 0,4 мм.

§ 133. Понятие о фототриангуляции

Чтобы произвести трансформирование аэроснимка, его необходимо обеспечить четырьмя опорными или трансформационными точками, плановое положение которых (т. е. координаты x и y) должно быть известно. В настоящее время, учитывая сложность и трудоемкость полевых наблюдений, геодезическими методами определяют координаты только 2—3 точек на маршруте. Плановое положение остальных трансформационных точек определяют

в камеральных условиях путем фотограмметрического сгущения сети опорных точек. Простейший способ планового сгущения — графическая радиальная фототриангуляция.

Построение ряда фототриангуляции начинают с определения начальных направлений. Для этого на негативах (аэроснимках) выбирают и накалывают центральные точки 1, 2, 3, расположенные на уровне поверхности Земли (рис. 122, а), так называемые

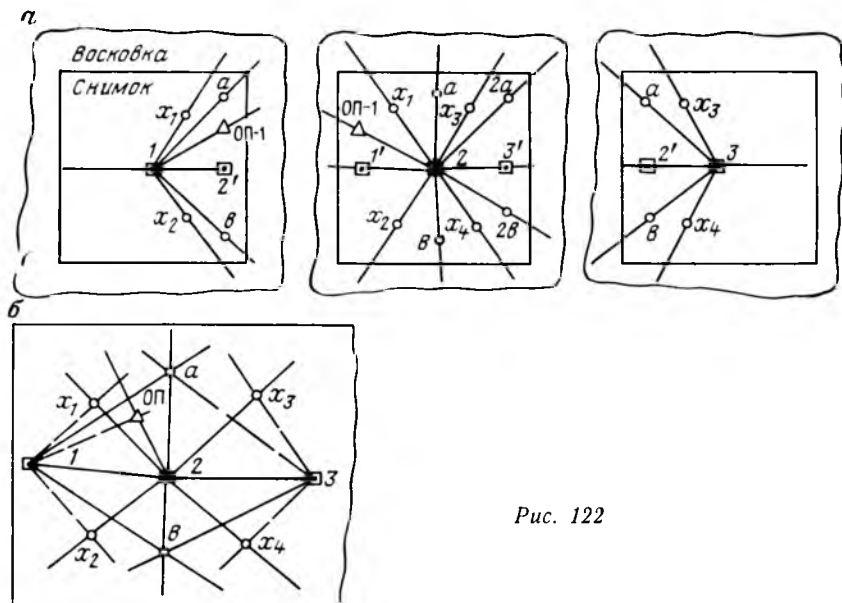


Рис. 122

точки плановой привязки ОП-1. Необходимые для сохранения масштаба развиваемой фототриангуляции связующие точки a , b выбирают в зоне тройного перекрытия по обе стороны от начального направления не ближе 5 см и 1 см от края негатива. И, наконец, трансформационные точки x_1 , x_2 , ..., располагаемые вблизи вершин углов рабочей площади аэроснимка (отклонение 1 см).

После того как все точки на негативе выбраны, перенесены на смежные негативы (погрешность не должна превышать 0,1 мм) и наколоты, приступают к изготовлению лучевой восковки, на которую сначала перекалывают все точки, отмеченные на негативе, а затем из главной или центральной точки проводят на них направления. Таким образом составляют лучевые восковки на все негативы. Причем, если масштаб топоосновы крупнее масштаба негатива, размер восковки должен быть больше негатива.

Построение ряда фототриангуляции в произвольном масштабе выполняют на специальном монтажном столе. На кальку (шириной 20—30 см и длиной в зависимости от количества восковок)

укладывают лучевые восковки первого и второго негативов таким образом, чтобы их начальные направления 1—2 совместились. После этого ориентируют третий снимок относительно второго путем перемещения его вдоль начального направления 2—3 до тех пор, пока направления на связующие точки, проведенные на третьем снимке, не пройдут через точки *a* и *b*. Положение трансформационных точек x_1, x_2, x_3, x_4 определяют прямой засечкой. Аналогичные построения ведут до тех пор, пока не будет построена вся сеть (рис. 122, б)

При построении сетей неизбежны погрешности из-за угла наклона аэронегатива, рельефа местности, деформации аэронегатива, погрешностей фиксации направлений и графических построений, которые приводят к образованию вместо точек, где должны пересекаться одноименные направления, треугольников, называемых треугольниками погрешностей.

Допустимым треугольник погрешности считается в том случае, когда его стороны не превышают 0,5 мм.

Сети фототриангуляции, построенные в произвольном масштабе, приводятся к заданному масштабу различными способами, одним из которых является оптико-графическое редуцирование, выполняемое на специальных приборах (например УТП-2), путем изменения масштаба проектируемого изображения и совмещения опознаков, нанесенных по координатам на топооснове, с опознаками, полученными на кальке при развитии ряда фототриангуляции. После этого все центральные и трансформационные точки переносят на топооснову.

§ 134. Стереоскопическая модель местности

В процессе съемки каждый последующий снимок перекрывает часть площади, сфотографированной на предыдущем снимке. Такая пара снимков, на которых два изображения одного участка местности получены при разных положениях центра проектирования, называется стереопарой. Чтобы повысить точность измерений по аэроснимкам, их обработка ведется на специальных фотограмметрических приборах, позволяющих наблюдать пространственное (стереоскопическое) изображение местности, т. е. видимое пространственное изображение сфотографированной местности при стереоскопическом рассматривании стереопары.

Для стереоскопического рассматривания стереопары применяют различные приборы, простейшим из которых является стереоскоп.

Стереоскопы, предназначенные только для стереоскопического рассматривания фотоснимков и увеличения изображения, называются простыми (рис. 123). Топографические стереоскопы имеют устройство для стереоскопического измерения продольных параллаксов на аэроснимках.

Расположив стереопару таким образом, чтобы начальные направления снимков были примерно параллельны главному базису наблюдателя, левый глаз рассматривал левый снимок, а правый

глаз — правый, получим прямой стереоэффект (рис. 123, а), т. е. стереоскопическую модель местности такой, какая существует в натуре.

Если снимки поменять местами (рис. 123, б), то получим обратный стереоэффект. При этом горы, холмы, хребты и т. д. воспринимаются впадинами, лощинами и т. д.

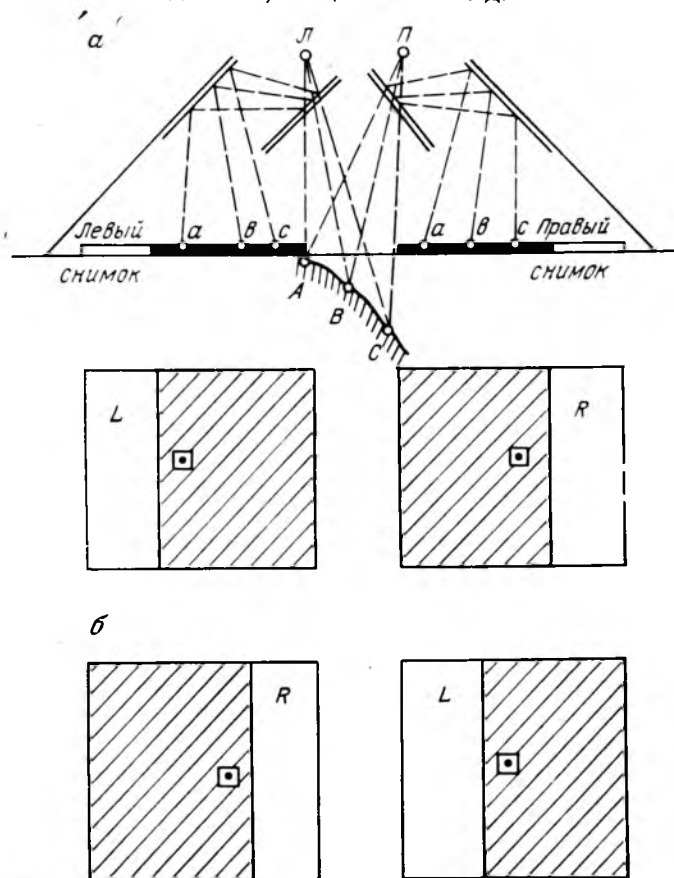


Рис. 123

Рассматривая стереопару под стереоскопом, необходимо учитывать, что вследствие разномасштабности снимков, различия расстояния наилучшего зрения (250 мм) и фокусного расстояния АФА и др. стереоскопическая модель местности будет искажена. Искажение модели в частности, изменение масштаба по вертикали, можно определить как $K=250/f'$.

Если аэроснимок, наблюдаемый под стереоскопом, получен АФА с фокусным расстоянием менее 250 мм, то рельеф будет вытянут в вертикальном направлении, и наоборот.

СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ ПРИ АЭРОФОТОСЪЕМКЕ

§ 135. Способы составления топографических планов и карт при аэрофотосъемке

При комбинированной съемке контурную часть карты или плана получают по аэроснимкам, в основном камеральным путем, а съемка рельефа выполняется в поле топографическими методами. Обычно в поле параллельно со съемкой рельефа, которая ведется на аэроснимках или фотоплане, производится дешифрирование контуров местности, уточняются их характеристики, наносятся государственные и административные границы и все те предметы местности, которые не изобразились на аэроснимке. Стремление перенести и рисовку рельефа в камеральные условия привело к созданию методов стереоскопической аэрофотосъемки.

При универсальном методе рисовку рельефа и контуров выполняют на аэроснимках, как и при полевой съемке, однако отметки характерных точек рельефа определяют в камеральных условиях на специальных стереофотограмметрических приборах. Универсальный метод позволяет получить сразу все три координаты точек с большой точностью, но отличается сложностью оборудования, работа на котором требует специальной подготовки.

К универсальным приборам относятся стереопланиграф, стереопроектор, стереограф и др.

При дифференциальном способе процесс создания плана (карты) делится на ряд этапов, выполняемых независимо на различных приборах или различными методами: составление контуров плана, стереоскопическая рисовка горизонталей на нетрансформированных снимках на стереометре и перенесение горизонталей на план или карту.

Контурная часть плана составляется на фотоплане или планшете по аэроснимкам с отдешифрированными контурами. Перенос горизонталей с аэроснимка на контурный план для равнинных районов местности осуществляется визуально либо с помощью стереоскопа Баштана, путем выбора идентичных контуров на аэрофотоснимке и плане. Составление плана для горной местности существенно усложняется, так как возникает необходимость переносить горизонталы и контуры по зонам (см. § 132).

§ 136. Продольные параллаксы. Определение превышений по аэроснимкам

Допустим, что точка A местности была сфотографирована с концов базиса фотографирования B . Положение точки A местности изобразилось в точках a_d и a_n на левом и правом снимках (рис. 124). Измерив абсциссы точек на аэроснимках x_{a_d} и x_{a_n} ,

определим продольный параллакс p_a , т. е. разность абсцисс соответственных точек фотоснимков местности, составляющих стереопару,

$$p_a = x_{aл} - x_{aп}. \quad (18.1)$$

Величина продольного параллакса зависит от отстояния точки местности относительно базиса фотографирования, его наклона, а также угла наклона аэроснимка.

При дифференцированном методе превышения между точками местности на снимках определяют по разности продольных параллаксов. Установим зависимость между разностью продольных параллаксов и превышением между ними. Пусть точки местности A и C (см. рис. 124) изобразились на левом аэроснимке точками $a_л$, $c_л$ и на правом соответственно $a_п$, $c_п$. Измерив абсциссы этих точек на левом $x_{aл}$, $x_{cл}$ и правом $x_{aп}$, $x_{cп}$ снимках, определим продольные параллаксы для точек a и c

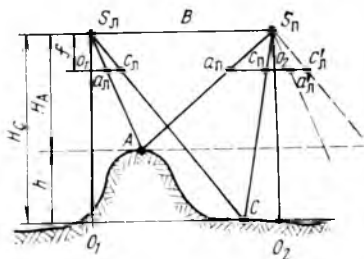


Рис. 124

$$p_a = x_{aл} - x_{aп}, \quad p_c = x_{cл} - x_{cп} \quad (18.2)$$

и разность продольных параллаксов

$$\Delta p = p_a - p_c. \quad (18.3)$$

Проведем из точки $S_п$ прямую $S_п c'_л$ параллельно линии $S_л c_л$. Из подобия треугольников $c_п S_п c'_л$ и $S_л S_п C$ напишем:

$$p_c / B = f' / H_c, \quad (18.4)$$

где f' — фокусное расстояние АФА; H_c — высота фотографирования относительно точки C ; B — базис фотографирования, м;

$$H_c = f' \cdot B / p_c. \quad (18.5)$$

Из аналогичных построений найдем

$$\frac{p_a}{B} = \frac{f'}{H_A} \quad \text{и} \quad H_A = \frac{f'}{p_a} \cdot B, \quad \text{но} \quad (18.6)$$

$$H_c - H_A = h. \quad (18.7)$$

Подставив уравнения (18.5) и (18.6) в (18.7), получим

$$h = \frac{B f' (p_a - p_c)}{p_c p_a}, \quad (18.8)$$

но $B f' / p_a = H_A$, а $p_a - p_c = \Delta p$, тогда зависимость превышения между точками от разности их продольных параллаксов выразим как

$$h = \frac{H_A \Delta p}{p_a + \Delta p}. \quad (18.9)$$

Из рис. 124 видно, что при определении превышения между точками A и C продольный параллакс p_a соответствует базису фотографирования, выраженному в масштабе аэроснимка, поэтому, отбрасывая индексы и заменяя продольный параллакс базисом фотографирования b , выраженным в масштабе фотографирования точки a , можем написать формулу для определения превышений по разности продольных параллаксов в общем виде:

$$h = \frac{H \Delta p}{b + \Delta p}. \quad (18.10)$$

Поскольку для равнинной местности Δp во много раз меньше b , примем $b + \Delta p \approx b$, тогда формула для определения превышений будет иметь вид

$$h \approx \frac{H}{b} \Delta p,$$

но так как H/b для стереопары есть величина постоянная, то, выразив ее через k (параллактический коэффициент), получим формулу в окончательном виде:

$$h \approx k \Delta p. \quad (18.11)$$

Определим превышение между точками A и C при $H = 3000$ м $x_{a_n} = +45,0$ мм, $x_{a_n} = -12,5$ мм, $x_c = +54,0$ мм, $x_{c_n} = -3,0$ мм и базисе фотографирования в масштабе аэроснимка 57,0 мм. По измеренным абсциссам точек определяют продольные параллаксы:

$$p_a = x_{a_n} - x_{a_n} = 45,0 - (-12,5) = +57,5 \text{ мм};$$

$$p_c = x_{c_n} - x_{c_n} = 54,0 - (-3,0) = +57,0 \text{ мм.}$$

и разность продольных параллаксов

$$\Delta p = p_a - p_c = 57,5 - 57,0 = +0,5 \text{ мм.}$$

По формуле (18.11) вычисляют превышение точки A относительно точки C

$$h = \frac{3000}{57,0} \cdot (+0,5) = +26,3 \text{ м.}$$

Следовательно, точка A расположена на 26,3 м выше точки C . Рассмотренный способ определения превышений предусматривает горизонтальное положение аэрофотоснимка и базиса фотографирования. На практике, как отмечалось выше, используют плановые аэрофотоснимки, имеющие углы наклона до 3° , да и базис фотографирования не горизонтален, и как результат превышения, определенные по формуле (18.10) либо (18.11), будут искажены. Для устранения этих искажений при определении превышений используют различные методы, такие как метод интерполирования высот или метод неискаженной модели.

Метод интерполирования высот базируется на том, что искажения превышений вследствие угла наклона аэрофото-

снимка и базиса фотографирования имеют линейный характер изменения на направлениях, перпендикулярных к базису фотографирования (начальным направлениям аэрофотоснимков), и зависят от отстояния определяемой точки относительно опорной с известной отметкой. При этом определяемая точка должна находиться на прямой, проходящей через опорные точки. На практике это условие выполняется не строго и при незначительных отклонениях (до 10 мм) не оказывает существенного влияния.

Определение превышений точек по методу интерполирования высот проводят в следующей последовательности.

Выбирают на аэроснимках (стереопаре) две опорные точки 1 и 2 , имеющие отметки и расположенные на линии, перпендикулярной (допустимо отклонение до 30°) к начальным направлениям аэрофотоснимков. На линии, соединяющей опорные точки, отмечают определяемую точку a . Измерив расстояния l_{12} , l_{1a} на левом и l'_{12} , l'_{1a} на правом аэрофотоснимках стереопары, вычисляют их средние значения

$$l_{12}^{cp} = \frac{l_{12} + l'_{12}}{2}; \quad l_{1a}^{cp} = \frac{l_{1a} + l'_{1a}}{2}.$$

Высоту фотографирования H_1 относительно опорной точки 1 определяют по формуле

$$H_1 = H_0 + h_r,$$

где H_0 — высота фотографирования относительно главной точки левого аэрофотоснимка (см. § 128); h_r — геодезическое превышение главной точки левого аэрофотоснимка относительно опорной точки 1 . Измерив абсциссы $x_{1л}$, $x_{1п}$, $x_{2л}$, $x_{2п}$ опорных точек 1 , 2 и определяемой ($x_{aл}$, $x_{aп}$), по формулам (18.2) и (18.3) определяют продольные параллаксы p_1 , p_2 , p_a точек 1 , 2 и a :

$$p_1 = x_{1л} - x_{1п}; \quad p_2 = x_{2л} - x_{2п}; \quad p_a = x_{aл} - x_{aп}.$$

и разности продольных параллаксов точек 2 и a относительно точки 1 :

$$\Delta p_a = p_a - p_1; \quad \Delta p_2 = p_2 - p_1.$$

Фотограмметрические превышения точек 2 и a относительно опорной точки 1 вычисляют как

$$h_{\Phi_2} = \frac{H_1 \cdot \Delta p_2}{p_1 + \Delta p_2}; \quad h_{\Phi_a} = \frac{H_1 \cdot \Delta p_a}{p_1 + \Delta p_a}.$$

Определив на карте либо на местности геодезическое превышение между точками 1 и 2 , вычисляют разность между геодезическим и фотограмметрическим превышением для точки 2

$$\delta_2 = h_{r_2} - h_{\Phi_2},$$

и для определяемой точки a как

$$\delta_a = \delta_2 \frac{l_{1a}^{cp}}{l_{12}^{cp}}.$$

Геодезическое превышение точки a относительно опорной точки l вычисляют по формуле

$$h_{га} = h_{\Phi a} + \delta_a.$$

Отметку Z_a определяемой точки получим из равенства

$$Z_a = Z_l + h_{га},$$

где Z_l — отметка опорной точки l .

Рассмотренная методика вычисления отметки точки a может быть применена для вычисления неограниченного количества точек стереопары. При этом для всех других точек используются те же опорные точки l , 2 , что и при вычислении отметки точки a .

Пример. Определить отметку точки a , расположенную на линии, соединяющей опорные точки l и 2 , по методу интерполирования высот при условии $Z_l = 139,5$ м, $Z_2 = 146,4$ м, $x_{1л} = -6,3$ мм; $x_{2л} = +15,7$ мм; $x_{aл} = +14,3$ мм; $x_{1п} = -63,2$ мм; $x_{2п} = -41,1$ мм, $x_{aп} = -45,6$ мм, $l_{12}^{cp} = 112,3$ мм; $l_{1a}^{cp} = 57,6$ мм; $Z_{oл} = 119,5$ м и $H_{oл} = 2120$ м.

Сначала определяют продольные параллаксы точек l , 2 и a :

$$p_l = x_{1л} - x_{1п} = -6,3 - (-63,2) = +56,9 \text{ мм};$$

$$p_2 = x_{2л} - x_{2п} = +15,7 - (-41,1) = +56,8 \text{ мм};$$

$$p_a = x_{aл} - x_{aп} = +14,3 - (-45,6) = +59,9 \text{ мм}$$

и разности продольных параллаксов относительно точки l :

$$\Delta p_2 = p_2 - p_l = 56,8 - 56,9 = -0,1 \text{ мм};$$

$$\Delta p_a = p_a - p_l = 59,9 - 56,9 = +3,0 \text{ мм}.$$

Вычисляют высоту фотографирования H_l относительно опорной точки l левого аэрофотоснимка по формуле

$$H_l = H_{oл} + Z_{oл} - Z_l = 2120 + 119,2 - 139,2 = 2100 \text{ м}.$$

Фотограмметрические превышения точек 2 и a относительно исходной точки l определяют так:

$$h_{\Phi 2} = \frac{H_l \Delta p_2}{p_l + \Delta p_2} = \frac{2100 \cdot (-0,1)}{56,9 - 0,1} = -3,7 \text{ м};$$

$$h_{\Phi a} = \frac{H_l \Delta p_a}{p_l + \Delta p_a} = \frac{2100 \cdot (+3,0)}{56,9 + 3,0} = +105,2 \text{ м}.$$

Разность между фотограмметрическим и геодезическим превышением второй точки относительно исходной l определяют так: $\delta_2 = (Z_2 - Z_l) - h_{\Phi 2} = (146,4 - 139,5) + 3,7 = +10,6$ м.

Определяют разность фотограмметрического и геодезического превышения для точки a

$$\delta_a = \delta_2 \frac{l_{1a}^{cp}}{l_{12}^{cp}} = +10,6 \frac{57,6}{112,3} = +5,4 \text{ м}.$$

Отметку определяемой точки a в геодезической системе координат определяют так: $Z_a = Z_l + (h_{\Phi a} + \delta_a) = 139,5 + (+105,2 + 5,4) = 250,1$ м.

Метод неискаженной модели позволяет определять отметки точек стереопары путем линейного интерполирования по-
280

грешностей превышений, полученных для опорных точек (не менее трех), имеющих геодезические координаты и определяемых как разность δ_{pi} между их геодезическими и фотограмметрическими отметками. Поправки к измеренным разностям продольных параллаксов вычисляют по измеренным поперечным параллаксам q_i (разность ординат соответствующих точек аэрофотоснимков местности, составляющих стереопару) по формуле

$$\delta_{pi} = -\varphi_i x_i, \quad (18.12)$$

где $\varphi_i = q_i/y_i$, x_i , y_i — текущие координаты точки.

Задача существенно упрощается тем, что φ_i (отношение поперечного параллакса к ординате точки) имеет линейную зависимость с текущими координатами точек стереопары, что позволяет вычислять φ_i не для всех определяемых точек стереопары, а только для опорных. Для остальных точек стереопары величину φ_i определяют с графика, построенного по величинам φ_i , вычисленным для опорных точек, путем линейного интерполирования.

Практически решение задачи сводится к следующему. На стереопаре намечают определяемую точку A и опорные точки $1, 2, 3$ и 4 , имеющие отметки, определенные геодезическим путем либо по топографической карте, и измеряют Δp_i , x_i и для опорных точек дополнительно q_i ; y_i (измерение выполняют на стереокомпараторе или при помощи палетки-параллаксометра). По q_i и y_i вычисляют значения φ_i для опорных точек, по которым способом линейного интерполирования строят на кальке график поправок φ_i . Наложив график поправок φ_i на аэроснимок, находят значение поправки φ_a для точки a . Величину поправки δ_{pa} к измеренной разности продольных параллаксов определяют по значению φ_a и координате x_a точки a , измеренной на правом аэрофотоснимке, по формуле (18.12). Исправленные значения $\Delta p_i'$ определяют по формуле

$$\Delta p_i' = \Delta p_i + \delta_{pi}.$$

Приняв опорную точку 1 за исходную, вычисляют фотограмметрические превышения h_{φ_i} опорных точек $2, 3, 4$ и определяемой относительно исходной 1

$$h_{\varphi_i} = (H_1 \Delta p_i') / (p_1 + \Delta p_i'),$$

где H_1 — высота фотографирования относительно исходной точки 1 ; $\Delta p_i'$ — разность продольных параллаксов определяемой точки относительно исходной 1 с учетом поправки δ_{pi} ; p_1 — продольный параллакс исходной точки 1 .

Вычислив значения фотограмметрических превышений, определяют условные отметки опорных точек

$$Z_i' = Z_1' + h_{\varphi_i},$$

где Z_i' — условные отметки опорных точек $2, 3$ и 4 ; Z_1' — условная отметка исходной точки 1 , соответствующая геодезической отметке этой точки Z_1 .

Определив разности δh_i между геодезическими Z_i и условными Z_i' отметками опорных точек $\delta h_i = Z_i - Z_i'$ (для опорной точки 1, принятой за исходную, $\delta h_1 = 0$), строят график высотных поправок. На графике находят поправку для точки δh_a и определяют ее отметку Z_a :

$$Z_a = Z_1 + h_{\Phi a} + \delta h_a.$$

Подобным образом могут быть определены отметки всех точек стереопары в геодезической системе координат.

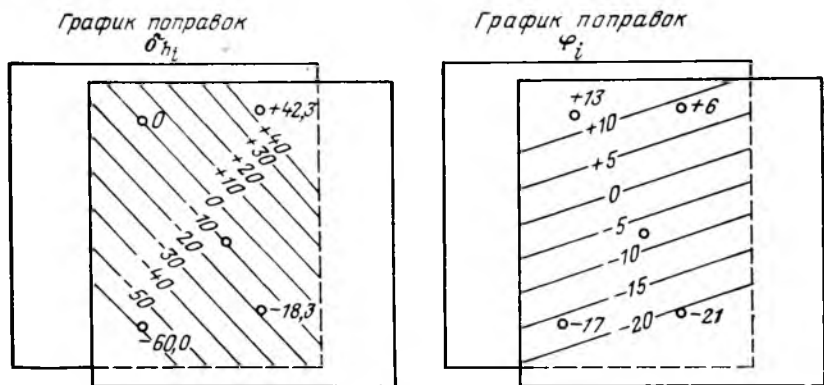


Рис. 125

Пример. Определить отметку точки a по методу неискаженной модели при условии:

$$\begin{aligned} Z_1 &= 175,8 \text{ м}; & y_{1л} &= 52,7 \text{ мм}; & y_{1п} &= 52,0 \text{ мм}; & x_{2п} &= 3,6 \text{ мм}; \\ Z_2 &= 167,9 \text{ м}; & y_{2л} &= -61,5 \text{ мм}; & y_{2п} &= -60,5 \text{ мм}; & x_{3п} &= -54,3 \text{ мм}; \\ Z_3 &= 111,0 \text{ м}; & y_{3л} &= -57,2 \text{ мм}; & y_{3п} &= -56,0 \text{ мм}; & x_{4п} &= -51,7 \text{ мм}; \\ & & Z_4 &= 188,7 \text{ м}; \\ p_1 &= 54,6 \text{ мм}; & y_{4л} &= 52,4 \text{ мм}; & y_{4п} &= 52,0 \text{ мм}; & x_{aп} &= -17,7 \text{ мм}; \\ p_2 &= 56,0 \text{ мм}; & Z_0 &= 160,8 \text{ м}; & H_0 &= 2015,0 \text{ м}; & p_a &= 54,9 \text{ мм}; \\ & & p_3 &= 54,5 \text{ мм}; & p_4 &= 53,4 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Сначала определяют ϕ_i по значениям которых строят график поправок ϕ_i (рис. 125):

$$\begin{aligned} \phi_1 &= (y_{1л} - y_{1п}) : y_{1п} = (52,7 - 52,0) : 52,0 = +0,7 : 52,0 = +0,013; \\ \phi_2 &= (y_{2л} - y_{2п}) : y_{2п} = (-61,5 + 60,5) : 60,5 = -1,0 : 60,5 = -0,016; \\ \phi_3 &= (y_{3л} - y_{3п}) : y_{3п} = (-57,2 + 56,0) : 56,0 = -1,2 : 56,0 = -0,021; \\ \phi_4 &= (y_{4л} - y_{4п}) : y_{4п} = (52,4 - 52,0) : 52,0 = +0,4 : 52,0 = +0,008. \end{aligned}$$

Высоту фотографирования относительно опорной точки 1 определяют

$$H_1 = H_0 + Z_0 - Z_1 = 2015,0 + 160,8 - 175,8 = 2000 \text{ м}.$$

Разности продольных параллаксов опорных точек 2, 3, 4 относительно опорной точки 1

$$\Delta p_2 = p_2 - p_1 = 56,0 - 54,6 = +1,4 \text{ мм};$$

$$\Delta p_3 = p_3 - p_1 = 54,5 - 54,6 = -0,1 \text{ мм};$$

$$\Delta p_4 = p_4 - p_1 = 53,4 - 54,6 = -1,2 \text{ мм}.$$

Вычисляют поправки к измеренным разностям продольных параллаксов

$$\delta p_2 = -\varphi_2 x_{2\Pi} = -(-0,016 \cdot 3,6) = +0,06 \text{ мм};$$

$$\delta p_3 = -\varphi_3 x_{3\Pi} = -[-0,021 \cdot (-54,3)] = -1,14 \text{ мм};$$

$$\delta p_4 = -\varphi_4 x_{4\Pi} = -[+0,008 \cdot (-51,7)] = +0,41 \text{ мм}.$$

Исправляют значения разностей продольных параллаксов

$$\Delta p_2' = \Delta p_2 + \delta p_2 = +1,4 + 0,06 = +1,46 \text{ мм};$$

$$\Delta p_3' = \Delta p_3 + \delta p_3 = -0,1 - 1,14 = -1,24 \text{ мм};$$

$$\Delta p_4' = \Delta p_4 + \delta p_4 = -1,2 + 0,41 = -0,79 \text{ мм}.$$

По формуле (18.9) вычисляют фотограмметрические превышения опорных точек 2, 3, 4 относительно исходной точки 1

$$h_{\Phi 2} = \frac{H_1 \Delta p_2'}{p_1 + \Delta p_2'} = \frac{2000 \cdot 1,46}{54,6 + 1,46} = +52,1 \text{ м};$$

$$h_{\Phi 3} = \frac{H_1 \Delta p_3'}{p_1 + \Delta p_3'} = \frac{2000 \cdot (-1,24)}{54,6 - 1,24} = -46,5 \text{ м};$$

$$h_{\Phi 4} = \frac{H_1 \Delta p_4'}{p_1 + \Delta p_4'} = \frac{2000 \cdot (-0,79)}{54,6 - 0,79} = -29,4 \text{ м}.$$

Условные отметки опорных точек 2, 3, 4 вычисляют относительно опорной точки 1 ($Z_1 = 175,8 \text{ м}$)

$$Z_2' = Z_1 + h_{\Phi 2} = 175,8 + 52,1 = 227,9 \text{ м};$$

$$Z_3' = Z_1 + h_{\Phi 3} = 175,8 - 46,5 = 129,3 \text{ м};$$

$$Z_4' = Z_1 + h_{\Phi 4} = 175,8 - 29,4 = 146,4 \text{ м}.$$

Чтобы построить график δh_i высотных поправок (см. рис. 125), определяют разности между геодезическими и условными отметками опорных точек

$$\delta h_1 = Z_1 - Z_1' = 175,8 - 175,8 = 0;$$

$$\delta h_2 = Z_2 - Z_2' = 167,9 - 227,9 = -60,0 \text{ м};$$

$$\delta h_3 = Z_3 - Z_3' = 111,0 - 129,3 = -18,3 \text{ м};$$

$$\delta h_4 = Z_4 - Z_4' = 188,7 - 146,4 = +42,3 \text{ м}.$$

Отметку определяемой точки a вычисляют в следующей последовательности. Сначала определяют Δp_a :

$$\Delta p_a = p_a - p_1 = 54,9 - 54,6 = +0,3 \text{ мм}.$$

Затем, определив на графике поправок φ_i (см. рис. 125) величину φ_a ($-0,008$), вычисляют поправку δp_a для разности продольных параллаксов точки a :

$$\delta p_a = -\varphi_a x_{a\Pi} = -[-0,008 \cdot (-17,7)] = -0,14 \text{ мм}.$$

Исправленная разность продольных параллаксов составит

$$\Delta p_a' = \Delta p_a + \delta p_a = +0,3 + (-0,14) = +0,16 \text{ мм}.$$

Фотограмметрическое превышение точки a относительно опорной точки I

$$h_{\Phi a} = \frac{H_1 \Delta p_a'}{p_1 + \Delta p_a'} = \frac{2000 \cdot 0,16}{54,6 + 0,16} = +5,8 \text{ м.}$$

Определив на графике высотных поправок δ_{h_i} (см. рис. 125) величину δ_{h_a} , вычисляют отметку точки a в геодезической системе координат

$$Z_a = Z_1 + h_{\Phi a} + \delta_{h_a} = 175,8 + 5,8 - 10,0 = 171,6 \text{ м.}$$

§ 137. Дешифрирование аэроснимков

Под дешифрированием аэрофотоснимков понимают выявление, распознавание и определение характеристик объектов местности, изобразившихся на аэрофотоснимке. По своему содержанию различают топографическое, геологическое, геоморфологическое, гидрографическое, военное и другие виды дешифрирования.

При топографическом дешифрировании выявляют те элементы местности, которые необходимы для создания топографической карты в заданном масштабе.

Геологическое дешифрирование основано на взаимосвязи между свойствами той или иной горной породы или толщи, условиями их залегания, мощностью отдельных пластов, а также в фиксации и анализе всего комплекса физико-геологических явлений, проявляющихся на земной поверхности и способствующих поискам полезных ископаемых.

Топографическое дешифрирование подразделяется на полевое и камеральное.

При полевом дешифрировании действительное значение объектов по аэроснимкам определяется путем сличения их фотографических изображений с объектами в натуре. Камеральное дешифрирование предполагает определение объектов, изобразившихся на аэроснимках, в камеральных условиях, без сличения фотографических изображений с объектами в натуре. Степень достоверности и полнота дешифрирования, особенно в камеральных условиях, зависит от характера местности, масштаба аэроснимков и их качества. При этом следует учитывать, что не все объекты можно дешифрировать камерально. Так, наименования населенных пунктов, отдельные объекты местности, как, например, линии связи и электропередач, мосты, типы построек, характеристики ряда объектов (лесные массивы, глубина и скорость течения рек, ширина и тип покрытия дорог, геодезические пункты и т. д.), требуют непосредственного обследования в натуре. Поэтому дешифрирование выполняют комплексно, сочетая камеральные работы с полевым обследованием.

Основными признаками, которыми руководствуются при дешифрировании объектов, изображенных на аэроснимке, являются форма, размер, тон изображения, тень, относительное расположение предметов и т. д.

Форма изображения — один из важнейших признаков, поскольку на аэроснимке предметы местности изображаются в известной

степени с сохранением подобия контуров. Так, например, жилые постройки, сараи выглядят на аэроснимках в виде прямоугольников, шоссе — светлой полосой с постоянной шириной на всем его протяжении, с плавными изгибами на поворотах; в то же время грунтовые дороги на аэроснимках изображаются длинными узкими полосками неодинаковой ширины в зависимости от наезженности. На аэроснимках резко выделяются реки, а растительный покров и пашни покрывают его различными по тону и форме фигурами, разбросанными по всей площади аэроснимка.

Зная масштаб аэроснимка и определив на нем размеры объекта, можно определить его размеры на местности. В то же время следует учитывать, что форма и размеры изображения не всегда могут дать исчерпывающую информацию об объекте, поскольку многие объекты имеют одинаковую форму и размеры при разном их содержании (например, шоссе и канал, пашня, огород и луг, речка и проселочная дорога и т. д.); поэтому при дешифрировании следует использовать и другие признаки, одним из которых является тон изображения. Под тоном изображения понимают степень почернения изображения. Тон изображения зависит от отражающей способности фотографируемой местности, и чем она меньше, тем больше степень почернения. Так, вода отражает только 5 % падающих лучей, песок 30 %, а снег 85%. В немалой степени тон изображения зависит и от типа пленки. Так, на инфрахроматической пленке зелень получается более светлым тоном, чем на панхроматической, а дороги на панхроматической получаются светлее, чем на инфрахроматической.

Освещенность объекта также оказывает влияние на тон изображения объекта. Чем больше освещенность объекта, тем светлее его изображение на аэроснимке. Важную роль при дешифрировании приобретает тень объекта. Величина падающей тени зависит от времени года и суток. На аэроснимке наиболее длинные тени бывают утром и вечером, в зимнее и осеннее время. Падающая тень позволяет определить не только форму, но и высоту сфотографированного объекта.

Немалое значение при дешифрировании придается относительному или взаимному расположению предметов, особенно в том случае, когда вышеприведенные признаки не позволили отдешифрировать объект. Многие предметы местности находятся во взаимной связи (например, положение брода, парома можно установить по сходящимся к одному месту реки дорогам и тропам, переездам дорог, мосты через овраги и т. д.).

§ 138. Особенности геологического дешифрирования

Геологическое дешифрирование, используя приемы топографического дешифрирования, базируется на взаимосвязи геологического строения с элементами ландшафта, которые изображаются на аэроснимках.

Эта взаимосвязь, проявляясь на поверхности земли в виде характерных форм и типов рельефа, в различном развитии и кон-

фигурации гидрографической сети, в формах обнажений выхода на поверхность коренных пород, в разной мощности, а также в распределении растительного покрова, отображается на аэроснимках в виде характерного рисунка, являющегося основным критерием при геологическом дешифрировании.

К числу других признаков, присущих той или иной горной породе, относятся ее цвет, физико-геологические свойства, крепость, водопроницаемость, слоистость, трещиноватость и др.

К основным задачам, которые приходится решать при геологическом дешифрировании, можно отнести:

- установление на аэроснимках границ распространения горных пород, состоящих из пород различного литологического состава;

- выявление и анализ стратиграфических и тектонических взаимоотношений как между отдельными горными породами, так и их комплексами;

- определение физико-геологических процессов, протекающих в различных горных породах на поверхности и имеющих свое отражение на аэроснимках;

- установление на аэроснимках поисковых признаков, способствующих выявлению тех или иных полезных ископаемых.

§ 139. Об использовании материалов космической съемки при геологических исследованиях

С получением снимков из космоса перед геологией открылись новые широкие перспективы, дающие возможность изучения нового класса геологических объектов, размеры которых достигают нескольких сотен и тысяч километров, в том числе объектов, находящихся на значительных глубинах. Использование в геологии космической информации позволяет решать задачи в следующих основных направлениях:

- создание специализированных карт (космогеологических, космотектонических, космоминералогических и др.);

- пополнение геологических карт, составляемых традиционными методами;

- прогнозные и поисковые работы на различные виды полезных ископаемых;

- решение общегеологических задач, связанных с историей развития и строения Земли и других планет Солнечной системы.

Космогеологическое картирование представляет собой мелко-масштабный вид региональных геологических исследований, основной задачей которого является расшифровка геологического строения крупных участков земной коры на основе дешифрирования материалов. В отличие от традиционных геологических карт, изображающих срез геологических образований поверхности земли, космогеологические карты отражают объекты и явления различной глубинности, что имеет важное значение при оценке перспектив нефтегазоносности крупных территорий.

Информация, полученная из космоса, позволяет не только получить специальные карты, но и обычные геологические карты, в том числе и для уточнения ранее заснятых территорий.

Материалы космических снимков широко используются при прогнозе участков, которые по тем или иным признакам являются перспективными на обнаружение полезных ископаемых. На таких участках проводится пробная наземная проверка, включающая необходимый комплекс геологических, геофизических, геохимических и аналитических работ, в результате которых даются рекомендации по постановке поисковых или разведочных работ.

Как показано выше, космические методы находят широкое применение при геологических исследованиях самых разных видов. При этом космические методы находятся в неразрывной связи с аэрометодами, взаимно дополняя друг друга.

§ 140. Наземная фототопографическая съемка

В наземной фототопографической съемке для составления топографического плана выполняется съемка местности при помощи специальных приборов — фототеодолитов.

Фототеодолит представляет сочетание теодолита с фотокамерой жесткой конструкции, снабженной ориентирным устройством и уровнями.

Для получения стереопары фотографирование производится с некоторого базиса, разбиваемого на местности, называемого базисом фотографирования.

В отличие от аэрофотосъемки наземная фототопографическая съемка производится таким образом, что оптическая ось фототеодолита может занимать определенные положения относительно горизонта и линии базиса. В зависимости от положения оптической оси фототеодолита существуют следующие случаи съемки: нормальный, равноотклоненный и конвергентный.

При нормальном случае съемки, наиболее применимом, оптическая ось фототеодолита находится в горизонтальной плоскости, перпендикулярно базису фотографирования.

При равноотклоненном случае съемки оптическая ось фототеодолита отклонена на угол φ (30°) вправо или влево относительно базиса фотографирования. В результате съемки на каждой станции получаем три стереопары: одна при нормальном случае съемки и стереопары со скосом влево и вправо.

В случае конвергентной съемки оптические лучи пересекаются под углом γ .

На практике преимущественно применяются нормальный и равноотклоненный виды фототопографической съемки.

Определение координат точек местности и составление плана производится в камеральных условиях на специальных фотограмметрических приборах (стереокомпаратор, стереоавтограф, автоматизированный стереокомпаратор — стекометр и др.).

Координаты точек снимка определяют в прямоугольной системе координат, где линии xx и zz , соединяющие изображения коор-

динатных меток, определяют положение осей прямоугольной системы координат. Началом координат является точка o , лежащая на пересечении координатных осей. При нормальной съемке зависимость между пространственными координатами точек местности X, Y, Z и их изображениями на стереопаре можно получить из рис. 126, где A — точка местности; a_l и a_n — ее изображение на левом и правом снимках; B — проекция базиса фотографирования на горизонтальную плоскость; f — фокусное расстояние фототеодолита; x_l, x_n — координаты определяемой точки на левом и правом снимках; p — продольный параллакс определяемой точ-

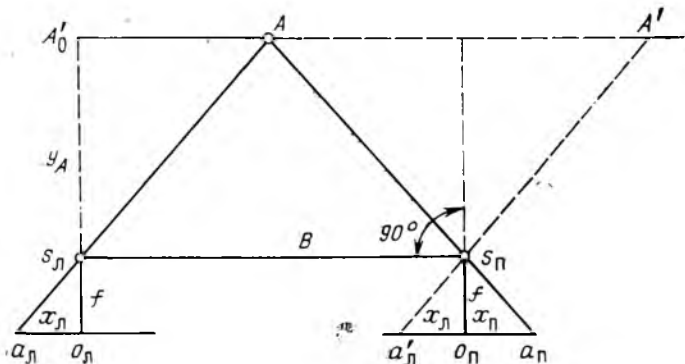


Рис. 126

ки, равный разности абсцисс определяемой точки на левом и правом снимках стереопары ($p = x_l - x_n$). Эта зависимость выражается формулами

$$\left. \begin{aligned} Y &= \frac{B}{p} \cdot f; \\ X &= \frac{Y}{f} \cdot x_l = \frac{B}{p} \cdot x_l; \\ Z &= \frac{Y}{f} \cdot z_l = \frac{B}{p} \cdot z_l. \end{aligned} \right\} \quad (18.13)$$

Фотограмметрические координаты точек снимка, а также продольные параллаксы можно измерить на высокоточном стереокомпараторе и по формулам (18.13) получить пространственные координаты точек местности. В настоящее время получают распространение стереокомпараторы с автоматической регистрацией результатов измерений (стекометр, стереокомпаратор высокоточный СКВ-1).

Переход от фотограмметрической системы координат к геодезической производится по формулам

$$\begin{aligned} X_r &= X_{S_l} + Y \sin \alpha_0 + X \cos \alpha_0; \\ Y_r &= Y_{S_l} + Y \cos \alpha_0 - X \sin \alpha_0; \quad Z_r = Z_{S_l} + Z, \end{aligned}$$

где X_r, Y_r, Z_r — геодезические координаты определяемой точки; $X_{s_л}, Y_{s_л}, Z_{s_л}$ — геодезические координаты левого центра проектирования; α_0 — дирекционный угол оптической оси камеры при съемке с левой точки.

При обработке на универсальных фотограмметрических приборах (стереоавтограф, стереометрограф, технокарт и др.) фотограмметрические координаты преобразуются в геодезические автоматически и одновременно выполняется составление плана.

Наземная фотограмметрическая съемка нашла широкое применение не только в области составления топографических планов и карт, но и при решении различных задач геологии. Так, по материалам наземной фотограмметрической съемки определяются объемы горных масс и их плотность; решаются оперативно задачи горной геометрии; определяются элементы залегания горных пород (угол простираания и падения пласта, его мощность). Фото снимки дают информацию для пополнения погоризонтных геологических разрезов, гипсометрических планов и т. д.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Глава 19

ОСНОВЫ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

§ 141. Общие сведения

Маркшейдерское дело (маркшейдерия) — отрасль горной науки и техники, занимающаяся измерениями на поверхности и в горных выработках при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и строительстве горных предприятий с целью изображения их на чертежах, а также для решения различных горно-геометрических задач.

В начальный период существования маркшейдерское дело по существу являлось подземной геодезией. Во Франции эта дисциплина и сейчас называется «Подземная геодезия» (*Géodésie souterraine*).

В своем развитии маркшейдерское дело как отрасль горной науки превратилось в комплексную науку, включающую помимо методики и техники съемочных работ (называемой собственно маркшейдерским делом) также оценку точности измерений и вычислений, выполняемой на базе способа наименьших квадратов и теории вероятностей; маркшейдерско-геодезическое приборостроение; геометрию недр; сдвигение и давление горных пород (геомеханику горных пород) и пр. Но общим, объединяющим фактором названных направлений являются цели, стоящие перед маркшейдерской наукой, — обеспечение безопасной и эффективной разведки и эксплуатации месторождений на базе инструментальных измерений, выполняемых в конкретных горно-геологических условиях предприятий.

В последние годы происходит расширение и усложнение задач маркшейдерской службы, появляется необходимость резкого повышения качества работы путем внедрения последних достижений науки и техники, наблюдается тенденция к созданию специализированных звеньев маркшейдерской службы для выполнения одного вида работ на кусте предприятий (например, группы по проведению ориентировок шахт с использованием гиротеодолитов) и т. п.

Первоочередной задачей маркшейдерского дела по-прежнему, является составление планов горного предприятия, обеспечивающих нормальное функционирование производства и отображающих

щих как состояние недр, так и комплекс поверхностных сооружений.

В области методики и техники маркшейдерских работ в последние годы получены определенные достижения в составлении четких методических руководств и разработке нормативных документов; во внедрении новых решений задач ориентирования и построения подземных опорных маркшейдерских сетей; в применении при развитии опорных сетей высокоточных теодолитов и светодальномеров, новых приборов и методик съемки разрезов. Стали широко использоваться лазеры для задания и контроля направлений при проведении вертикальных и горизонтальных горных выработок, а в дальнейшем для оборудования этих выработок.

Для повышения производительности и качества маркшейдерских работ определенное значение имеют методы и приборы для вычерчивания горной графической документации, а также материалы, используемые для изготовления маркшейдерских планов и разрезов.

Бурный рост механизации горнодобывающей промышленности, интенсификация добычи полезных ископаемых, увеличение размеров шахтных полей и полей карьеров потребовали конструирования приборов, позволяющих в значительной степени повысить производительность маркшейдерских работ (созданы шахтные малогабаритные гирокомпасы, светодальномеры, устройства для замеров искривления скважин, нивелиры с самоустанавливающимися визирными линиями, комплекты аппаратуры для фотограмметрической съемки открытых горных работ, кодовые теодолиты, позволяющие непосредственно без ручной обработки вводить полевые измерения в ЭВМ), создание специальных ЭВМ широкого внедрения серийной настольной счетной техники и электронных быстросействующих машин и т. п.

К задачам, решаемым маркшейдерской наукой, относится изучение пространственных форм месторождений и изображение их на специальных горно-геометрических графиках размещения и распределения качественных особенностей полезного ископаемого, определение оптимальных режимов добычи полезного ископаемого для получения конечного продукта с необходимым наперед заданным содержанием полезных и вредных компонентов. Одной из задач этой области маркшейдерской науки, называемой «Геометризация недр», или «Горная геометрия», является контроль за соблюдением мероприятий по охране недр и полному извлечению полезного ископаемого.

Серьезные задачи решает маркшейдерская наука при изучении особенностей протекания механических процессов в массивах горных пород и в элементах систем разработки в процессе извлечения полезного ископаемого. В исследованиях по сдвигению и давлению горных пород особенно большие достижения получены в последние 20—25 лет, в ~~1950-е~~ были составлены правила охраны поверхностных сооружений практически всех угольных и рудных

месторождений; созданы методы предрасчета деформаций земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений, что позволило внедрить эффективные методы охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок; установлены условия безопасной выемки полезных ископаемых под водными объектами; для предприятий, разрабатывающих месторождения открытым способом, созданы методы расчета углов наклона бортов разрезов, проведено успешное внедрение мероприятий по искусственному укреплению откосов.

Значительного успеха достигла маркшейдерская наука в изучении проявления горных ударов. Разработаны научно обоснованные представления о механизме возникновения горных ударов и мероприятия по борьбе с ними.

§ 142. Некоторые сведения из истории развития маркшейдерского дела

Маркшейдерское дело зародилось практически вместе с умением человека вести подземные горные работы. Сохранившиеся исторические рукописи, археологические раскопки и другие материалы показывают, что люди уже с древнейших времен умели сооружать довольно сложные подземные рудники и другие объекты. К примеру, сошлемся на найденный в Италии египетский пергамент, на котором изображен рудник, существовавший около 3500 лет назад. Известно также, что древними римлянами для спуска воды из озера была пройдена встречными забоями штольня длиной около 6 км. Для ее проведения было заложено более 100 вертикальных и наклонных стволов. Некоторые из них были глубиной более 100 м. Этот факт говорит о существовании в те времена довольно солидного опыта выполнения маркшейдерских работ.

Одно из первых описаний способов съемки подземных горных выработок, дошедших до нас (1 в.), принадлежит Герону Александрийскому. Применявшиеся в то время способы съемок горных выработок заключались в различных промерах, провешиваниях, построении цепи геометрически правильных фигур, например тождественных треугольников, на поверхности и под землей, при помощи которых осуществлялась ориентировка подземных выработок.

В XVI в. в горном деле стали использовать приборы с магнитной стрелкой. В этот период известным немецким ученым Агриколой (1494—1555 гг.) был издан труд «О горном деле и металлургии», в котором пятая глава посвящена описанию съемок горных выработок как с помощью компаса, так и другими методами. В частности, им описан способ определения необходимых глубины шахты и длины штольни при помощи наклонного шнура и отвесов.

В Германии в XVI—XVII вв. создаются вначале компас с визирным приспособлением, затем подвесная буссоль, которая сов-

местно с подвесным полукругом в течение многих веков была одним из наиболее распространенных маркшейдерских инструментов. В XIX в. для съемки горных выработок стали применяться теодолиты и нивелиры, появились ориентир-буссоль, зеркальная буссоль, проектировочные тарелочки, были изготовлены длинные лепты для измерения глубины стволов шахт. Внедрение в маркшейдерское дело новой техники вызвало появление специальной маркшейдерской литературы. В 1851 г. выходят книги Вейсбаха «Новое маркшейдерское искусство», Борхерса «Практическое маркшейдерское искусство» (1869 г.). В частности, в книге Вейсбаха приведены сведения о приборах для автоматической центрировки теодолитов и сигналов, приспособлениях для примыкания к отвесам и пр.

В первой половине XX в. началось применение гироскопических приборов для ориентирования подземных маркшейдерских сетей.

Вопросам сдвижения земной поверхности под влиянием подземных разработок стали уделять пристальное внимание с XVIII в. в Бельгии, где подземные работы отражались на зданиях и стали угрожать правильному режиму снабжения водой г. Льежа. Во второй половине XIX в. начали изучать закономерности оседания и обрушения горных пород, в результате чего появилась теория нормалей, выдвинутая Туалье в 1838 г., а затем теория Гопо в 1858 г., по которой сдвижение подработанной толщи развивается по нормалям к пласту. Затем в 1885 г. появилась теория купола, предложенная Файолем, основная идея которой заключалась в том, что зона сдвижения пород ограничивается куполообразным пространством. В конце прошлого столетия появились работы Джигинского, в которых отмечалось, что на процесс сдвижения влияют мощность залежи, угол падения залежи, глубина разработок, свойства налегающих пород.

В конце XIX в. по данным широких инструментальных наблюдений первые правила охраны были разработаны Дортмундским горным управлением (Германия).

Начиная с 30-х годов в области исследований сдвижений горных пород много внимания стало уделяться разработке методов предрасчета деформаций горных пород. Одни из первых схем предрасчета сдвижений поверхности были предложены Кейнгорстом и Балеом, в основу которых была положена идея о том, что на каждую точку земной поверхности по определенному закону действует часть выработанного пространства, ограниченная углами сдвижения.

Первые сведения о подземных довольно сложных разработках на территории пашей страны относятся к I в. до н.э., что подтверждается раскопками на Южном Урале и в Северном Казахстане. Первое русское горное законодательство, в котором отражены вопросы маркшейдерского дела, было составлено в 1734 г. В. Н. Татищевым и носило название «Заводской устав», по которому маркшейдер обязывался: 1) иметь правильные плоские чертежи каждой рудокопи с отражением на них условий залегания,

всех особенностей разработки рудника и пополнением их своевременно новыми работами; 2) пополнять и исправлять общие планы данного округа по правилам, изложенным в особой инструкции Академии наук.

В 1763 г. М. В. Ломоносовым была издана книга «Об измерении рудников» — первая в нашей стране работа, в которой обстоятельно излагались все вопросы маркшейдерского дела того времени и явившаяся частью капитального сочинения «Первые основания металлургии или рудных дел».

Крупным событием в истории маркшейдерского дела явилось опубликование в 1847 г. профессором Петербургского горного училища П. А. Олышевым (1817—1896 гг.) учебника «Маркшейдерское искусство». В нем автор описал разработанный им независимо от немецких маркшейдеров теодолит с внецентрированной трубой, нивелир и методику вычисления координат пунктов теодолитных ходов и дал аналитическое решение задачи о проведении выработки встречными забоями. Внедрение в маркшейдерскую практику теодолитной съемки и составление планов по координатам имели большое значение для дальнейшего развития техники и методики подземных съемок.

Определенный вклад в развитие маркшейдерского дела в России был сделан проф. Г. А. Тиме (1831—1910 гг.) работами «О производстве и вычислении маркшейдерских триангуляций», «Геометрические способы ориентирования подземной съемки», «Определение астрономического меридиана для маркшейдерской съемки».

Крупный этап в развитии отечественного маркшейдерского дела связан с деятельностью проф. В. И. Баумана (1867—1923 гг.), научная и производственная деятельность которого была исключительно плодотворной и разносторонней. Им опубликован ряд фундаментальных трудов: «О выборе системы координат для маркшейдерских карт и планов» (1887 г.), «Курс маркшейдерского искусства» в трех томах (1905 г.), «К вопросу о сбросах, сдвигах и других смещениях жил и пластов» (1907 г.), «К вопросу об определении запасов месторождений» (1908 г.). Профессором В. И. Бауманом проведены крупные организационно-технические мероприятия, под его руководством и при непосредственном участии в Донбассе была создана триангуляция бассейна, в результате чего были получены условия для съемки в единой системе координат.

В дореволюционные годы началась производственная и научная деятельность проф. И. М. Бахурина (1880—1940 гг.), разработавшего ряд вопросов по теории погрешностей, способу наименьших квадратов и их использованию при оценке точности и уравнивании маркшейдерских съемок.

Послеоктябрьский этап развития маркшейдерского дела охарактеризовался бурным развитием маркшейдерского дела в нашей стране. Сразу же после гражданской войны по инициативе

В. И. Баумана и П. М. Леонтовского состоялся II Всероссийский съезд маркшейдеров (1921 г.), в решениях которого были даны рекомендации по восстановлению горнорудной и угольной промышленности и поставлены задачи в этой области перед маркшейдерами. Следующее десятилетие отмечено другими важными организационно-техническими мероприятиями: в 1925 г. в г. Харькове проводится съезд маркшейдеров юга России, в г. Свердловске — маркшейдеров Урала, в г. Томске — маркшейдеров Сибири. В 1929 г. проводится Первая всесоюзная маркшейдерская конференция, по инициативе которой была создана постоянная маркшейдерская комиссия при НТС горной промышленности ВСНХ. В 1932 г. в г. Ленинграде состоялся I Всесоюзный маркшейдерский съезд, одним из наиболее важных решений которого было создание в Ленинграде в 1932 г. Центрального научно-исследовательского маркшейдерского бюро (ЦНИМБ), выросшего под руководством И. М. Бахурина в ведущий научный институт горной промышленности. И. М. Бахурин внес серьезный вклад в развитие советской маркшейдерской науки. Круг вопросов, которыми он занимался, включал практически все направления маркшейдерского дела: проведение выработок встречными забоями, теорию случайных погрешностей и способ наименьших квадратов, теорию физического (особенно магнитного) и геометрического ориентирования шахт, погрешности ориентирования через один и два вертикальных ствола, маркшейдерское приборостроение, сдвижение горных пород. Итогом исследования им вопросов методики маркшейдерских работ явилось издание в 1932 г. «Курса маркшейдерского искусства» (специального курса), ставшего настольной книгой поколений маркшейдеров. По инициативе И. М. Бахурина были организованы, начиная с 1919 г., широкие инструментальные наблюдения за сдвижением горных пород. Результаты исследований сдвижений горных пород были им обобщены в монографии «Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок» (1940 г.).

Большая заслуга в развитии маркшейдерского дела принадлежит П. К. Соболевскому (1868—1949 гг.), с именем которого связано появление нового направления в маркшейдерском деле — геометрии недр.

Много и плодотворно в области маркшейдерского дела, особенно геометрии недр, работал проф. П. А. Рыжов (1903—1974 гг.).

Вклад в развитие маркшейдерского дела внес Д. Н. Оглоблин (1905—1968 гг.), посвятивший многие свои работы теории и практике маркшейдерских работ. Д. Н. Оглоблин был одним из ведущих ученых нашей страны в области методики маркшейдерских работ, им написано более 20 книг, среди которых особое место занимают «Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений».

Еще по инициативе И. М. Бахурина в нашей стране были начаты систематические наблюдения за сдвижением земной поверх-

ности. Итоги натурных исследований нашли отражение в ряде крупных работ. В 1947 г. проф. С. Г. Авершин опубликовал монографию «Сдвигение горных пород при подземных разработках», в которой отражены результаты исследований динамики процесса сдвига, в ней был предложен метод предрасчета элементов сдвига поверхности.

В 1946—1948 гг. проф. Д. А. Казаковским на основе метода аналогий была разработана классификация угольных месторождений, позволившая делать прогноз углов сдвига для угольных месторождений. Основные результаты своих исследований в области сдвига горных пород Д. А. Казаковский изложил в книге «Сдвигение земной поверхности под влиянием горных разработок» (1953 г.).

Для оценки ожидаемых деформаций зданий и других объектов и выбора мероприятий по их охране усилению проводились и проводятся исследования по прогнозу ожидаемых деформаций и сдвига земной поверхности и толщи горных пород. Начатые в послевоенные годы, они продолжают в настоящее время и послужили основой для составления руководств по расчету сдвижений земной поверхности.

Большая заслуга в развитии исследований сдвига горных пород при открытых разработках месторождений принадлежит проф. Г. Л. Фисенко, издавшему книги «Устойчивость бортов угольных карьеров» (1956 г.) и «Устойчивость бортов карьеров и отвалов» (1965 г.), в которых показаны условия возникновения деформаций бортов карьеров, изложены методика расчета углов наклона бортов карьеров в реальных геологических условиях с учетом слоистого и трещиноватого строения горных пород, мероприятия по искусственному укреплению откосов, сложенных трещиноватыми скальными и рыхлыми породами.

Глава 20

ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИИ НЕДР

§ 143. Общие сведения

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

Главной задачей геометрии недр является геометризация месторождений полезных ископаемых для выполнения которой ис-

пользуются метод изолиний, метод разрезов и профилей, метод объемных графиков и метод математического моделирования.

Теоретической основой методики и методов геометризации служит учение о геохимическом поле, основы которого разработал проф. П. К. Соболевский.

Месторождение полезных ископаемых обладает рядом физических, геохимических и прочих свойств, каждое из которых может быть определено в той или иной точке. Число, выражающее какое-то свойство залежи в данной точке, называется показателем, или признаком, месторождения. Особый интерес представляет изучение закономерностей пространственного размещения показателей залежей, которое может быть произведено в аналитическом виде (в виде функциональной зависимости), в виде массива цифр, представленных в таблицах, и геометрически. В каждом из этих случаев пространственная закономерность выражается моделью месторождения. Установление и отображение этой геометрии и представляет основное содержание геометризации.

В зависимости от конкретных задач геометризации и степени детализации исследования объектов различают следующие виды геометризации.

Региональная геометризация, выполняемая с целью составления структурно-геометрических карт отдельных регионов в масштабах 1:500 000—1:10 000. В результате региональной геометризации выявляются общие вопросы геологического строения региона, позволяющие решать вопросы, связанные с изучением крупных массивов горных пород, глобальных закономерностей в строении Земли.

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

Детально-разведочная геометризация выполняется при проведении разведочных работ на геометрических графиках масштаба 1:10 000—1:1 000. В результате строятся структурно-геометрические карты планов и разрезов месторождения полезного ископаемого, используемые для проектирования геологоразведочных выработок и скважин.

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

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

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

§ 144. Проекции с числовыми отметками

При создании геометрической модели залежи применяются различные способы проектирования, особенно широко используются проекции с числовыми отметками, в которых характерные точки

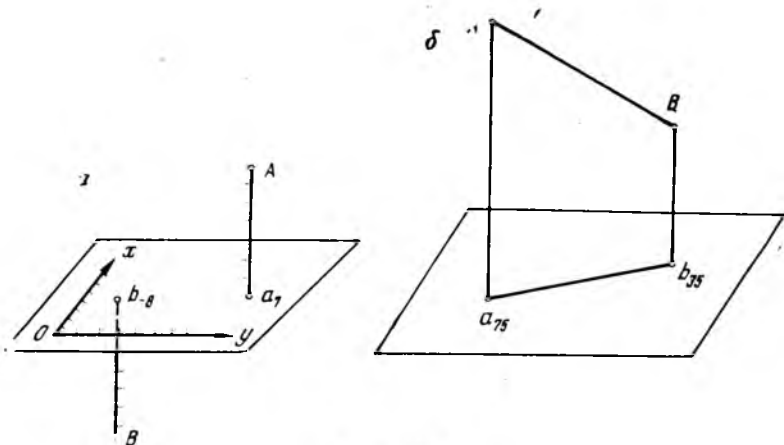


Рис. 127

изучаемых (изображаемых) пространственных объектов ортогонально проектируют на основную плоскость проекций. В качестве последней в маркшейдерской практике чаще всего выбирают горизонтальную плоскость, совпадающую по высоте со средним уровнем Балтийского моря. Таким образом, положение некоторых точек A и B в плоскости проекций определится положением точек пересечения перпендикуляров, опущенных из точек A и B (рис. 127, а, б), и отстоянием точек A и B от плоскости проекций (координата z), т. е. числовой отметкой проекций точек.

В тех случаях, когда рассматриваемые точки расположены выше плоскости проекций, их отметки принято считать положительными (точка A), если расположены ниже — отрицательными (точка B). Прямая в проекции с числовыми отметками изображается или проекцией ее двух точек, или своей проекцией с числовой отметкой какой-нибудь точки и углом ее наклона к горизонту. Обычно на плане прямая изображается в целочисленных (градуированных) отметках, для этого на проекции прямой отмечают точки, кратные выбранному сечению. Разность двух соседних целочисленных отметок градуированной прямой принято называть высотой сечения прямой. Расстояние между проекциями двух точек, разность отметок которых равна высоте сечения, называется

ся заложением прямой. Градуирование прямой может выполняться одним из методов, описанных в § 93.

При разведке и эксплуатации месторождений часто возникают задачи, когда необходимо знание взаимного положения двух прямых (например, изображение осей скважин, подземных выработок и т. п.). В пространстве две прямые могут пересекаться, быть параллельными или скрещиваться.

Две прямые пересекаются, если пересекаются их проекции, и точка пересечения имеет общую отметку. Частным случаем пере-

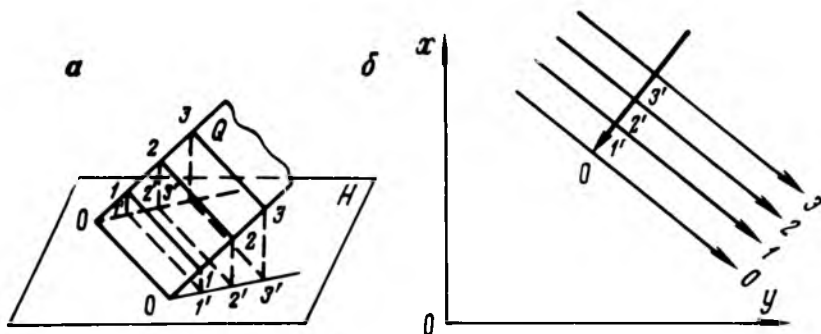


Рис. 128

секающихся прямых являются перпендикулярные прямые. Для проверки перпендикулярности необходимо построение плоскости, проходящей через эти прямые, и совмещение этой плоскости с плоскостью чертежа, когда угол между пересекающимися прямыми проектируется в истинную величину.

Для скрещивающихся прямых возможны два случая: 1) проекции прямых пересекаются, но точка пересечения не имеет общей отметки; 2) проекции прямых параллельны, однако или углы наклона направлены в разные стороны, или не равны заложения прямых.

Две прямые параллельны, если их проекции параллельны, заложения равны и падение направлено в одну сторону.

В проекциях с числовыми отметками плоскость может быть изображена или при помощи проекций горизонталей, или при помощи масштаба ее уклона. На рис. 128, а показаны плоскость Q , занимающая некоторое положение в пространстве, и горизонтальная плоскость H . В плоскости Q проведено несколько линий (1—1, 2—2, 3—3 и т. д.), параллельных плоскости проекции H и которые можно считать полученными при пересечении плоскости Q горизонтальными плоскостями.

Горизонтальными плоскости принято называть прямые, лежащие в плоскости и параллельные горизонтальной плоскости. Таким образом, прямые 0—0, 1—1, 2—2, 3—3 являются горизонталями плоскости Q . А прямые 1'—1', 2'—2', 3'—3' — проекциями гори-

зонталей, при помощи которых на рис. 128 изображена плоскость в проекциях с числовыми отметками.

В маркшейдерском деле (геометрии недр) направление горизонталей (направление простираения) плоскости выбирают на основании следующего правила: если встать лицом по направлению простираения горизонталей, то падение плоскости должно быть вправо от наблюдателя. Заложением плоскости называется расстояние между проекциями ее соседних горизонталей; высотой сечения горизонталей плоскости называется разность отметок сосед-

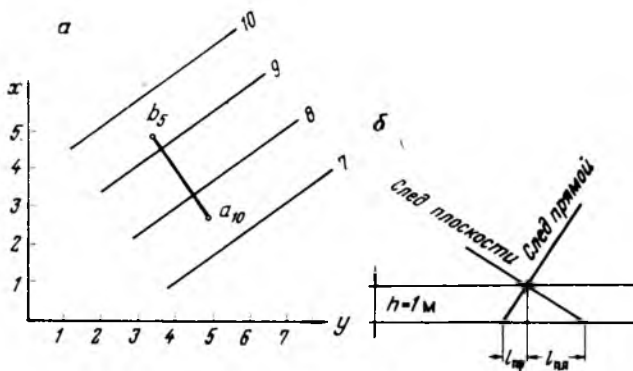


Рис. 129

них горизонталей. Линией наибольшего ската плоскости является любая линия, лежащая в плоскости и перпендикулярная к ее горизонталям. Например, на рис. 128 линии наибольшего ската — прямая 0—1—2—3. Если известна проекция линий наибольшего ската и на ней указаны целочисленные отметки, то плоскость считается заданной в проекциях с числовыми отметками. Действительно, если на плане рис. 128, б прямая 0—1'—2'—3' является проекцией линии наибольшего ската, то, проведя через точки 0, 1', 2', 3' прямые, перпендикулярные к ней, получим проекции горизонталей плоскости Q.

Взаимное положение прямой и плоскости может быть следующим:

1. Прямая лежит в плоскости, если хотя бы две ее точки совпадают с плоскостью.

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

3. Прямая параллельна плоскости, если на плоскости возможно найти прямую, параллельную данной.

4. Прямая перпендикулярна к плоскости, если ее проекция перпендикулярна к проекции горизонталей плоскости, направле-

ние падения плоскости обратно падению прямой и между заложениями прямой $l_{пр}$ и плоскости $l_{пл}$ и высотой их сечения h существует зависимость $h^2 = l_{пр} \cdot l_{пл}$.

На рис. 129 показаны прямая и плоскость, перпендикулярные между собой (рис. 129, а), и их профиль (129, б), проходящий через прямую.

В практике работ геолога часто возникают задачи, когда необходимо иметь представление о взаимном положении плоскостей, интерпретирующих пласты полезного ископаемого, плоскости тектонических нарушений, поверхности раздела различных геологических образований и т. п., которые могут быть параллельными или пересекающимися.

Плоскости считаются параллельными, если проекции их горизонталей параллельны, заложения плоскостей равны и падение плоскостей одинаковое.

Плоскости пересекаются, если:

- горизонтали плоскостей пересекаются. Линией пересечения плоскостей в данном случае является линия, соединяющая точки пересечения одноименных горизонталей (рис. 130);
- горизонтали плоскостей параллельны, но имеют неодинаковые заложения;
- горизонтали плоскостей параллельны, заложения равны, но падение плоскостей направлено в разные стороны.

В случаях б) и в) для определения линии пересечения плоскостей используется метод перемены плоскости проекций (§ 145).

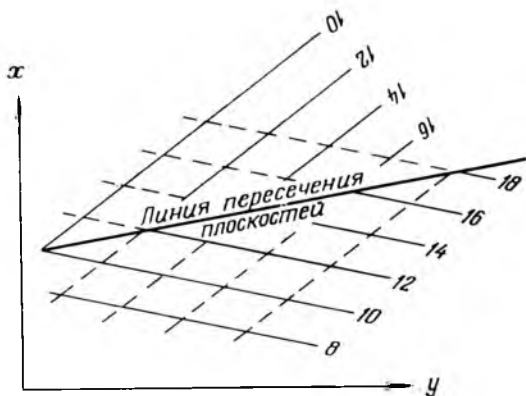


Рис. 130

§ 145. Преобразование проекций

В геологоразведочном и горном деле часто возникают задачи, когда необходимо определить истинные значения длин отрезков прямых, углов, размеры плоской фигуры и т. п. Для их решения используется метод преобразования проекций, сущность которого заключается в том, что, используя известные проекции изображаемых объектов, строят новые изображения с таким расчетом, чтобы стало возможным получить их истинные размеры непосредственно с чертежа. В геолого-маркшейдерской практике наиболее часто используются метод перемены плоскости проекций и метод совмещения.

Рис. 131

Рассмотрим применение метода перемены плоскости проекций на решении конкретных задач.

Определим линию пересечения двух плоскостей (рис. 131), заданных параллельными горизонталями—одна сплошными, вторая пунктирными. Для этого построим вспомогательную вертикальную плоскость, называемую профильной, проходящую перпендикулярно к горизонталям исходных плоскостей. Повернем эту плоскость вокруг горизонта с высотной отметкой 0 до ее совмещения с основной плоскостью проекций. На совмещенном положении профильной плоскости отмечают следы наклонных плоскостей, точка пересечения K которых позволяет найти положение линии пересечения плоскостей: для этого из точки K опускают перпендикуляр до оси вращения профильной плоскости. Через полученную таким

Рассмотрим второй пример. Пусть из точки a_{120} (рис. 132), расположенной на земной поверхности, надо запроектировать скважину по кратчайшему расстоянию до угольного пласта, услов-

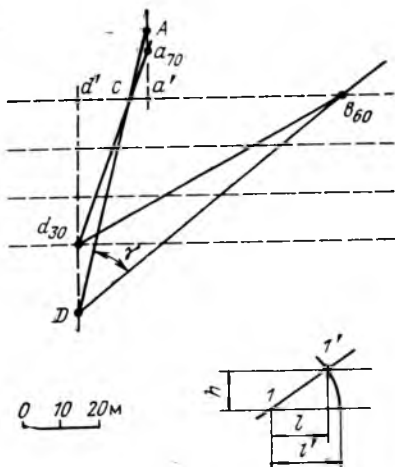


Рис. 133

Кратчайшим расстоянием между плоскостью и в ней не лежащей точкой является опущенный из точки на плоскость перпендикуляр. В связи с тем что проекция линии перпендикулярной плоскости перпендикулярна к горизонталям этой плоскости, проведем через точку a_{120} линию ac , перпендикулярную к горизонталям плоскости, и построим вертикальную плоскость, проходящую через эту линию. В ней должна находиться ось проектируемой скважины, а также линия пересечения плоскостей. Повернем вспомогательную плоскость вокруг горизонтали с отметкой 20 до совмещения с горизонтальным положением. Так как вращение было вокруг горизонтали с отметкой +20, точка d остается на месте, а точки c и a переместятся соответственно на 20 и 100 м и займут положения C и A . Соединив точки d и C , получим совмещенное положение линии пересечения исходной плоскости с вертикальной плоскостью. Из точки A опускаем перпендикуляр на совмещенное положение линии пересечения, получаем точку B_{32} , являющуюся точкой пересечения скважины с плоскостью. Если из нее опустить перпендикуляр на прямую ac , то получим на плане положение точки b . Интерполированием между горизонталями +35 и +30

определим высоту точки b , которая равна $+32$. Угол наклона скважины к земной поверхности измеряется транспортиром. Проектная длина скважин от поверхности до угольного пласта определяется отрезком AB и равна $92,5$ м.

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

Рассмотрим существо метода на конкретной задаче.

Пусть в проекции с числовыми отметками даны две пересекающиеся прямые, обозначенные точками a_{70} , b_{60} , d_{30} (рис. 133). Необходимо определить истинное значение угла, образованное этими прямыми.

Две пересекающиеся прямые определяют собой плоскость. На рисунке она показана пунктирными горизонталями. Для того чтобы совместить эту плоскость с плоскостью проекций, развернем ее вокруг одной из горизонталей, например $+60$, до горизонтального положения. При вращении точки c и b останутся на месте, точки a и d переместятся по перпендикулярам к горизонталям. Для того чтобы определить, на какие расстояния они переместятся, рассмотрим вспомогательный чертеж рис. 133, представляющий собой две параллельные линии, проведенные друг от друга на расстоянии, равном высоте сечения h , и след исходной плоскости $I—I'$. Если совместить след плоскости $I—I'$ с нижней линией, то получим отрезок l' . Обозначим разность между отрезками l' и l (заложение плоскости) через Δl . Полученный отрезок Δl представляет собой увеличение расстояния между двумя соседними горизонталями при совмещении данной плоскости с основной плоскостью проекций. Таким образом, отложив отрезок Δl по направлению $a'a_{70}$, получим совмещенное положение точки a_{70} , т. е. точки A . Аналогичным образом получено положение точки D , для этого по направлению $d'd_{30}$ был отложен отрезок $d_{30}D$, равный $3\Delta l$.

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

§ 146. Геометрические параметры залежи

Залежью полезного ископаемого называется пространственное тело, размещенное в массиве горных пород и имеющее промышленное содержание полезного ископаемого. Залежь полезного ископаемого ограничивается поверхностями раздела, которые могут быть реальными (действительными) и условными.

К реальным поверхностям относятся поверхности стратиграфических напластований, магматических внедрений, тектонических разрывных нарушений и т. п. Условные поверхности раздела опре-

деляются условно по данным количественного изучения качества месторождения с целью определения границ промышленных запасов.

К элементам залегания залежей относятся:

Линия простираения залежи — горизонтальная линия, лежащая в плоскости кровли или почвы залежи.

Линия падения залежи — линия наибольшего ската плоскости кровли или почвы залежи.

Координаты наблюдения залежи — координаты x , y , z точки, в которой изучается тот или иной параметр залежи.

Мощность залежи — расстояние между поверхностями кровли и почвы залежи. В зависимости от направления, по которому измеряется это расстояние, различают следующие виды мощностей: вертикальную, горизонтальную, нормальную (истинную) и видимую. Под последней понимают расстояние между кровлей и почвой залежи, обнаженной земной поверхностью или горной выработкой.

Угол падения залежи — вертикальный угол, который линия падения залежи составляет с горизонтальной плоскостью.

Глубина залегания залежи — расстояние по отвесной линии от земной поверхности до кровли залежи.

§ 147. Топографические поверхности

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

В отличие от поверхностей правильной формы поверхности топографического порядка из-за своей сложности математическому описанию не поддаются. Для их изображения в геолого-маркшейдерской практике используют изолинии, которые образно можно представить как проекции кривых, полученных от сечения изучаемых поверхностей параллельными плоскостями. Под сечением изолиний понимается кратчайшее расстояние между секущими параллельными плоскостями. Под заложением понимается расстояние между двумя проекциями изолиний.

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

С поверхностями топографического порядка большинство математических действий можно производить графически.

Вычитание поверхностей топографического порядка.
Возможно несколько решений.

1. Изолинии исходных топографических поверхностей пересекаются (рис. 134, а). В точках пересечения из значений изолиний уменьшаемой поверхности (сплошные линии) вычитают значения вычитаемой (пунктирные линии) топографической поверхности. Таким образом, в пределах плана получают массив, отображающий в числах новую топографическую поверхность. По числовым значениям проводят изолинии искомого показателя. Высота сече-

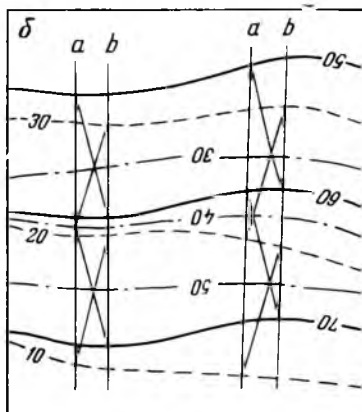
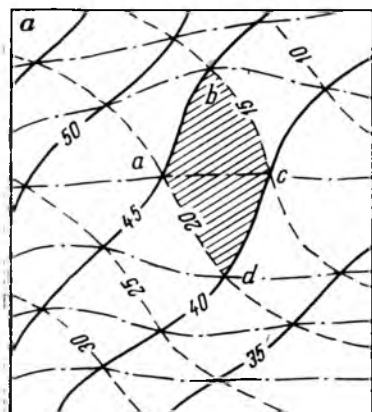


Рис. 134

ния исходных топографических поверхностей должна быть одинаковой. Это упрощает построение изолиний результирующей поверхности.

Рассмотрим некоторую четырехугольную фигуру, полученную при пересечении исходных изолиний, например, $abcd$ (см. рис. 134, а); по одной из диагоналей получены две одинаковые отметки, соединив которые плавной кривой, получают направление изолиний результирующей поверхности. Используя аналогичные фигуры, можно построить изолинии результирующей топографической поверхности для всего плана.

2. Изолинии исходных топографических поверхностей в пределах плана не пересекаются (рис. 134, б). В данном случае проводят дополнительные построения, заключающиеся в том, что на плане проводят несколько параллельных линий (по возможности по нормальям к изолиниям). Между параллельными линиями строят профили поверхностей: для этого к одной из линий, например b , относят только «старшие» отметки, ко второй a — «младшие». Для каждой пары соседних изолиний строят профили, через точки пересечения следов исходных топографических поверхностей проводят изолинии искомой топографической поверхности. Отметки изолиний определяются как разность отметок или толь-

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

Сложение поверхностей топографического порядка. При сложении топографических поверхностей возможны два случая: 1) изолинии исходных топографических поверхностей пересекаются;

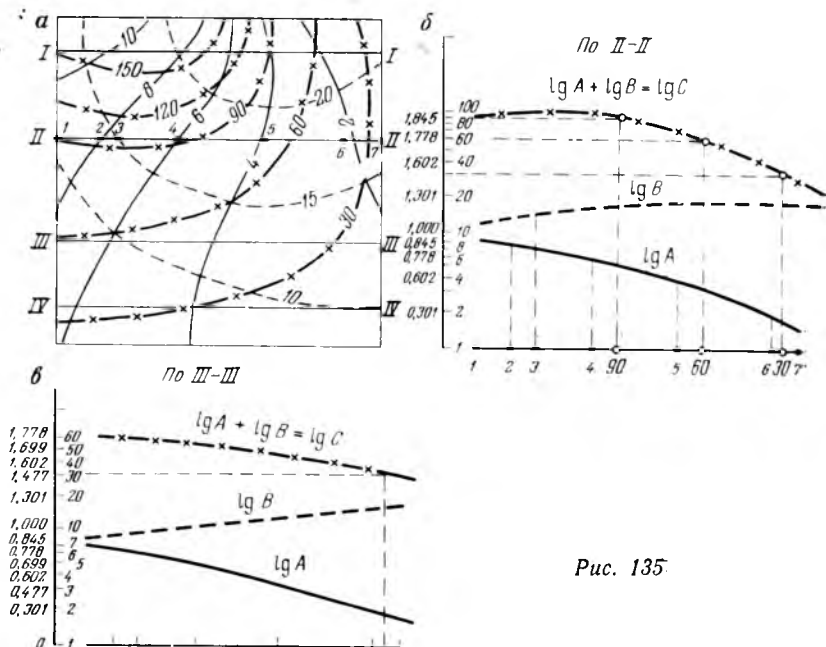


Рис. 135

ся; 2) изолинии исходных топографических поверхностей в пределах плана не пересекаются.

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

Во втором случае, т. е. при непересекающихся изолиниях, сложение заменяется вычитанием, однако вычитаемой топографической поверхности придают противоположный знак, т. е. $z_Q = z_P +$, $+z_L = z_P - (-z_L)$.

Умножение поверхностей топографического порядка. Умножение может быть выполнено двумя методами. В первом — в точках пересечения изолиний определяют произведение исходных поверхностей, по полученному массиву цифр строят изолинии результирующей топографической поверхности. Для выбора величины сечения изолиний устанавливаются минимальное и максимальное

значения произведения перемножаемых поверхностей и среднее число изолиний исходных топографических поверхностей. Разность между максимальным и минимальным значениями делят на среднее число изолиний. Полученная величина, округленная до ближайшей удобной цифры, принимается за высоту сечения.

Во втором методе умножение заменяют сложением логарифмов значений исходных топографических поверхностей. Так, в пределах чертежа проводят несколько линий (*I—I, II—II, III—III, IV—IV*) (рис. 135, *a*), по которым строят профили исходных поверхностей *A* и *B*. Расстояния вдоль профилей определяют непосредственно по плану, значения исходных топографических поверхностей — по логарифмической шкале (рис. 135, *б, в*). Ординаты построенных кривых графически суммируют и, таким образом, получают новую кривую, представляющую собой сумму $\lg A + \lg B = \lg C$. На полученной кривой определяют целочисленные отметки. В случае, показанном на рис. 135, *a*, высота сечения результирующей поверхности 30 м. Полученные на кривой *C* точки с целочисленными отметками переносят на линию профиля, а затем на план. Целочисленные отметки соответственно соединяют плавными кривыми, и таким образом получается результирующая топографическая поверхность.

Деление поверхностей топографического порядка в принципе не отличается от умножения, но применяется редко: в случае деления также возможны два случая, в которых мы предлагаем разобраться читателям самостоятельно.

§ 148. Изогипсы висячего и лежачего боков залежи

Поверхности, ограничивающие залежь, можно изобразить при помощи горизонталей (изогипс). Изогипсой висячего или лежачего бока залежи называют геометрическое место точек, имеющих одинаковую отметку. План, на котором изображена в изогипсах поверхность залежи, называется гипсометрическим планом. Для залежей, имеющих выдержанную мощность, обычно строят только изогипсы лежачего бока; для залежей с переменной мощностью строят изогипсы лежачего и висячего боков.

Построение гипсометрических планов может вестись непосредственно по определенным в результате разведки высотам почвы или кровли залежи или с использованием вертикальных разрезов. В первом случае построение изогипс по существу не отличается от проведения горизонталей земной поверхности. Во втором случае вначале по данным геологической разведки по профилям строятся разрезы, на которые наносятся следы почвы или кровли залежи, затем по шкале глубин определяют отметки, кратные высоте сечения, и проектируют их на линию разреза. Полученные таким образом на разрезах точки, переносятся на план, после чего точки с одинаковыми значениями высот соединяются плавными линиями.

§ 149. Изомощности залежи

Для характеристики мощности в пределах залежей используют планы изомощностей, которые можно представить как план изолиний, полученных при сечении параллельными плоскостями мысленно осажженного тела полезного ископаемого на плоскость проекций. Строить изомощности можно непосредственным и косвенным способами. При непосредственном способе на план наносят точки, в которых замерены мощности залежей, возле них выписывают значения мощностей; по полученным числам обычными приемами, используемыми при построении топографических поверхностей, строят изолинии равных мощностей.

В косвенном методе изомощности определяют путем вычитания из поверхности (изогипс) всячего бока поверхности (изогипсы) лежащего бока.

§ 150. Изоглубины залежи

Под изоглубинами понимают линии равных глубин залегания всячего бока залежи. По аналогии с изомощностями изоглубины можно представить как линии пересечения плоскостей с поверхностью тела, представляющего собой мысленно осажденную на плоскость проекции, налегающую над залежью толщу пород. Построение изоглубин, так же как и построение изомощностей, может быть проведено непосредственно и косвенным способом. Во втором случае изоглубины получают в результате вычитания из горизонталей дневной поверхности изогипс всячего бока залежи.

§ 151. Геометризация качественных свойств месторождений полезных ископаемых

Геометризация качественных свойств залежей проводится по данным опробования, которое в каждом отдельном случае дает случайное значение изучаемого показателя. Однако в общей массе данные опробования дают близкую к истине картину изменения качественных показателей в пределах рудного поля. Для получения представительной картины изучаемого поля месторождения проводят сглаживание первичных данных.

Рассмотрим рис. 136, а, на котором показаны результаты опробования полезного компонента по выработке. Соединив прямыми отрезками точки, соответствующие содержанию в интервалах опробования, получим ломаную линию, выражающую некоторое распределение компонента.

Сглаживание представляет собой статистический прием замены опытной кривой другой кривой, ординаты которой являются средними значениями ряда опытных данных. Практически сглажива-

ние при помощи статистического («скользящего») окна выполняется следующим образом.

На прозрачном материале (восковка, калька) наносят две параллельные линии на расстоянии друг от друга, равном величине «окна». Размер окна выбирают исходя из степени изменчивости кривой сглаживания, но чаще всего «окно» принимают равным четырем-пяти интервалам отбора.



Рис. 136

Палетку накладывают на кривую содержания компонента (рис. 136, б), после чего определяют среднее значение компонента в пределах «окна» и отбрасывают его к середине «окна» сглаживания. Затем «окно» передвигают на половину его длины и повторяют определение среднего значения компонента для нового положения «окна» (показанного пунктиром). Такие операции повторяют по всей длине выработки

Глава 21

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

§ 152. Классификация и содержание маркшейдерских планов

Горное предприятие должно иметь обязательный комплект, содержащий первичную, вычислительную и горную графическую документацию.

Горная графическая документация является основным материалом, по которому решаются текущие вопросы разработки месторождения и задачи прогноза геологической и геомеханической обстановки; производится планирование развития очистных и подготовительных выработок; осуществляются проектирование и реконструкция предприятия; устанавливаются условия безопасного ведения горных работ и т. п. По характеру построения горная

графическая документация подразделяется на исходную (оригиналы) и производную (копии и репродукции). Исходные чертежи составляются на основании результатов непосредственных измерений, производные чертежи составляются путем уменьшения исходных чертежей или репродукций с них. Во втором случае допускается изменение содержания исходных чертежей.

По своему назначению горную графическую документацию удобно классифицировать на пять комплектов: чертежи земной поверхности; чертежи горных выработок; горно-геологические чертежи; специальные производственно-технические чертежи; чертежи для планирования, руководства и контроля.

Первые два комплекта чертежей являются обязательными для горного предприятия.

Графическая документация должна обладать соответствующей полнотой и точностью изображения рассматриваемых объектов и быть наглядной и удобоизмеримой, к ней предъявляются следующие требования:

1. При составлении горной графической документации для любых предприятий должны применяться единые требования в части условных знаков, зарамочного оформления планшетов, системы координат, которые регламентируются «Условными знаками для горной графической документации» и «Условными знаками для топографических планов масштаба 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500».

2. Чертежи исходной графической документации составляются на базе материалов измерений и вычислений. Только в редких случаях, когда по каким-то причинам чертеж должен быть составлен заново, а повторная съемка невозможна, допускается для его восстановления использовать другую графическую документацию или результаты опроса.

Таблица 28

Погрешность	Предельная величина, мм	Погрешность	Предельная величина, мм
Взаимного положения точек пересечения прямоугольной сетки координат	$\pm 0,2$	Положения точек четких контуров по отношению к ближайшим пунктам опорной и съемочной сети	$\pm 0,6$
Положения пунктов маршейдерской опорной и съемочной сети по отношению к сетке координат	$\pm 0,4$	Взаимного положения ближайших контуров точек	$\pm 0,8$
Взаимного положения ближайших друг к другу пунктов опорной и съемочной сети	$\pm 0,6$		

3. Графическая документация должна обладать необходимой точностью, характеризующейся данными, приведенными в табл. 28.

4. Исходная графическая документация должна выполняться на специальных пленках из прозрачных недеформирующихся синтетических материалов или высококачественной чертежной бума-

ге (ватмане), обязательно наклеенной на основу, снижающую ее деформации (тонкий алюминий, полотно).

5. Чертежи горной графической документации должны давать ясное и полное изображение горных выработок, формы и условий залегания полезного ископаемого и их соотношение с поверхностью.

Чертежи горной графической документации (карты, планы, проекции на вертикальную плоскость, вертикальные и горизонтальные разрезы, аффинные и аксономические проекции) в зависимости от их назначения и содержания составляются в масштабах 1:5, 1:10, 1:20, 1:50, 1:100, 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10 000, 1:25 000.

Чертежи земной поверхности для территорий менее 20 км², а также чертежи горных выработок при открытом и подземном способах разработки составляются на квадратных планшетах в условных прямоугольных системах координат. В основу разграфки положен лист масштаба 1:5000, охватывающий площадь 2×2 км. Дальнейшее разделение листа масштаба 1:5000 на планшеты масштабов 1:2000, 1:1000, 1:500 показано на рис. 137, где для

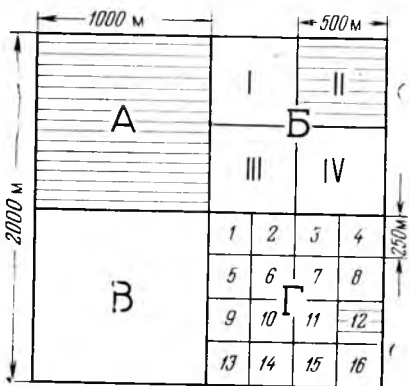


Рис. 137

получения листа в масштабе 1:2000 лист масштаба 1:5000 делится на четыре части, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г. Лист масштаба 1:1000 получается делением листа масштаба 1:2000 также на четыре части, каждая из которых обозначается римскими цифрами I, II, III, IV. Исходным для получения листов масштаба 1:500, так же как и для масштаба 1:1000, является лист масштаба 1:2000, но последний делится на 16 частей, которые обозначаются арабскими цифрами от 1 до 16. Номенклатура листов масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500 записывается путем добавления справа к номенклатуре масштаба 1:5000 последовательно названий, соответствующих планшетам масштабов 1:2000, 1:1000 или 1:500. Например, для рис. 137 номенклатура планшета масштаба 1:5000—9, номенклатура планшета масштаба 1:2000—9-А, номенклатура планшета масштаба 1:1000—9-Б-II, масштаба 1:500—9-Г-12.

При съемке земной поверхности на площадях более 20 км² в основу разграфки планшетов масштаба 1:5000 принимаются листы карты масштаба 1:100 000, как это было изложено в § 19.

Размеры рамок планшетов принимаются для масштаба 1:5000 равными 400×400 мм, для масштабов 1:2000, 1:1000, 1:500—500×500 мм. Если планшеты служат для планов горных работ, то

они имеют поля: 10 мм сверху и слева, 30 мм справа и 50 мм снизу. У планшетов земной поверхности зарамочное оформление и размеры полей регламентируются Инструкцией ГУГК (см. § 20).

В нижней части планшетов планов горных работ для подземных и открытых разработок помещаются титульная надпись, содержащая название шахты (рудника), вышестоящей организации, название и масштаб чертежа, таблица, в которой указываются должностные лица, принимавшие участие в составлении и пополнении планов горных работ, схема расположения планшетов и номенклатура листа.

При составлении маркшейдерских чертежей используются условные знаки для горной графической документации, действующие на предприятиях всех отраслей горнодобывающей промышленности.

Для масштабов 1:2000 и более крупных применяются масштабные условные знаки. Для масштабов 1:5000 и более мелких в связи с тем, что предметы из-за малых размеров не могут быть изображены достоверно, целесообразны внес масштабные условные знаки. Разномасштабные условные знаки используются для воспроизводства вытянутых объектов, у которых длина существенно больше ширины (подземные выработки, железнодорожные и шоссейные пути, трубопроводы и т. п.). У таких объектов длина показывается в масштабе, ширина — условно. К пояснительным условным знакам относятся внутриконтурные знаки, объясняющие надписи, цифровые пояснения и пр.

На чертежах земной поверхности применяются главным образом условные знаки топографических карт и планов масштаба 1:500—1:10 000. Однако для изображения специфических объектов горного производства на планах поверхности в «Условные обозначения для горной графической документации» даются знаки для изображения таких предметов, как шахтные копры, стволы, бункеры, галереи, дозирующие устройства и т. п. Контурные условных знаков, за редким исключением, выполняются черным цветом, другие цвета применяются главным образом при нанесении геологической обстановки. Условия применения шрифтов для выполнения на чертежах надписей определены «Условными знаками горной графической документации».

В перечень обязательных чертежей горной графической документации включены комплекты чертежей земной поверхности и горных выработок.

Топографическая съемка земной поверхности на территории месторождения выполняется топографо-геодезическими партиями до начала горных разработок. Задачами маркшейдерской службы горных предприятий является пополнение планов земной поверхности. На чертежах земной поверхности должны быть отражены элементы рельефа и выхода пластов на поверхность, границы горных отводов, воронки, образовавшиеся в результате сдвижения горных пород, устья выходящих на поверхность горных и разведочных выработок, склады полезного ископаемого, породные от-

валы и т. п. Масштабы планов и сечения горизонталей устанавливаются в зависимости от их назначения и регламентированы Технической инструкцией по производству маркшейдерских работ.

Чертежи горных выработок состоят из планов горных выработок, составляемых по каждому пласту, слою или горизонту, линзе, жиле; проекций на вертикальную плоскость; разрезов и профилей горных выработок. На планах горных выработок должны быть отражены технические границы поля шахты или рудника; сетка прямоугольных координат; пункты планового и высотного обоснования подземных съемок; все выработки по пласту с указанием сроков подвигания забоев; данные, характеризующие условия залегания полезного ископаемого; места очагов пожаров, выбросов угля и газа, горных ударов, прорыва воды; тектонические нарушения; границы предохранительных, барьерных и охранных целиков; охраняемые объекты; места взятия проб и результаты опробования; углы наклона по наклонным подготовительным и очистным выработкам не реже чем через 150—200 м и т. п.

Маркшейдерские чертежи принято разделять на проекции, разрезы и профили.

Маркшейдерские планы строятся в проекциях с числовыми отметками. Они используются для изображения земной поверхности, горных выработок, расположения пунктов маркшейдерских опорных и съемочных сетей и т. п.

Если при изображении объектов на горизонтальной плоскости возникают значительные искажения и читаемость чертежа низкая (например, план горных работ по крутопадающему пласту), проектирование осуществляется на вертикальную плоскость. Маркшейдерский чертеж, составленный в проекции на вертикальную плоскость, называется вертикальной проекцией. Плоскость проектирования в таких случаях выбирают таким образом, чтобы ее ориентировка совпадала со средним простиранием залежи или пласта. В ряде случаев, когда простирание отдельных участков залежи резко меняется, проектирование осуществляется на несколько ориентированных по-разному вертикальных плоскостей.

Изображение горных работ, проводимых в наклонных телах, удобнее осуществлять в проекции на наклонную плоскость, располагаемую параллельно плоскости пласта или рудного тела. Маркшейдерские чертежи, при построении которых проектирование горных выработок производится на наклонную плоскость проекций, называются проекцией в плоскости пласта (залежи).

Для получения более полного представления о геологических особенностях месторождения и расположении горных выработок в земных недрах строятся разрезы в плоскости, секущей месторождение горизонтально, наклонно или вертикально, в масштабе, который принят для планов горных работ. Чаще всего разрезы располагаются в вертикальных плоскостях, проведенных вкрест простирания пласта, и приурочиваются к разведочным линиям.

Для изображения в вертикальных сечениях контуров выработок, а иногда и части пород, прилегающих к контуру, применяют-

ся профили. Они строятся для изучения изменения какой-либо поверхности, например, почвы и кровли горной выработки, контакта пород, земной поверхности и т. п. На профилях два масштаба: горизонтальный и вертикальный, последний обычно в десять раз крупнее. На профилях часто наряду с реальным положением поверхности показываются ее проектное положение и отклонения реального профиля от проектной линии.

Основные планы горных выработок шахт и рудников являются техническими и юридическими документами. Поэтому при составлении, пополнении и хранении соскабливание и подтирание на исходных чертежах не допускаются. Ошибки на чертежах аннулируются тушью цвета кармин четким перечеркиванием неправильно нанесенных деталей.

§ 153. Первичная и вычислительная маркшейдерская документация

К первичной маркшейдерской документации горного предприятия относятся журналы полевых съемок, которые изготавливаются стандартного размера 140×210 мм. Каждый журнал имеет номер, его страницы пронумерованы, о чем главным маркшейдером делается запись на последней странице журнала.

Все необходимые вычисления средних значений измеряемых величин и определение соответствия результатов измерений требованиям Технической инструкции по производству маркшейдерских работ выполняются в полевых журналах на месте проведения работ. Журналы полевых маркшейдерских съемок должны заполняться аккуратно, чисто, с четким вычерчиванием пояснительных схем и эскизов. Они должны иметь такое количество пояснений, чтобы любой специалист, не принимавший участия в измерениях, смог произвести обработку полевых данных. Полевые измерения должны записываться в журналы хорошо заточенным карандашом средней твердости или шариковой ручкой. Подчистки, записывание одной цифры над другой не допускаются. Исправление вычислений и записей в журнале производится только зачеркиванием неверного результата и записи нового числа, соответствующего верному результату. В тех случаях, когда вместо ошибочных повторные измерения по каким-то причинам пришлось записать на другой странице журнала, около перечеркнутого результата указывается место, где сделаны записи повторных измерений. В связи с тем что листы журналов нумеруются, испорченные страницы не уничтожаются, а на них наискось (по диагонали) пишется «испорчено».

В состав первичной документации по съемкам открытых разработок и земной поверхности включаются: журналы измерения горизонтальных углов при сооружении триангуляции или аналитических сетей, журналы измерения зенитных расстояний или вертикальных углов, листы графического определения элементов приведения, журналы измерений базисов, угловых измерений в поли-

гонометрических ходах, линейных измерений в полигонометрических ходах, геометрического нивелирования, угловых и линейных измерений в теодолитных ходах, тахеометрического нивелирования, съемки (тахеометрической, стереофотограмметрической, мензуральной, ординатной), разбивочных работ.

При подземной разработке месторождений полезных ископаемых, кроме названных выше, в состав первичной документации входят: журналы измерений при ориентировке маркшейдерских опорных сетей, измерений при передаче высот от реперов на земной поверхности к пунктам подземной маркшейдерской сети, угловых и линейных измерений в подземных полигонометрических и теодолитных ходах, угловых и линейных измерений в угломерных ходах, технического нивелирования, измерений профилирования шахтных стволов, замеров горных выработок.

На горных предприятиях, находящихся в стадии строительства, кроме указанных выше наименований журналов должны быть журналы: измерений при определении пунктов разбивочных сетей, измерений при проходке вертикальных шахтных замораживающих скважин, проходки шахтных стволов.

Маркшейдерам в своей практической деятельности приходится выполнять большой объем разнообразных вычислений, которые занимают около 50% рабочего времени участкового маркшейдера.

Точность вычислений не всегда одинаковая и зависит от рода решаемой задачи. Например, вычисления горизонтальных координат маркшейдерских точек поверхности и подземных опорных сетей, вычисления, связанные с расчетами сбоек, и т. п. должны осуществляться с высокой точностью. Для их выполнения должны использоваться настольные полуавтоматические и автоматические клавишные машины и электронно-вычислительные машины.

Вычисление объемов выполненных работ не требует большой точности и поэтому может производиться с использованием логарифмической линейки. Однако это не значит, что нецелесообразно применение счетных машин, которые при большом объеме вычислений значительно снизят трудоемкость работ. Опыт работы передовых горных предприятий показывает, что при правильной организации вычислений результатов текущих маркшейдерских работ, выполняемых с помощью несложных формул и имеющих большой удельный вес подготовительных работ, применение универсальных электронных вычислительных машин целесообразно и экономически эффективно.

Глава 22

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

§ 154. Общие сведения

Соединительные съемки служат для приведения подземных съемок в систему координат, принятую на земной поверхности. Различают горизонтальные и вертикальные соединительные съем-

ки. В горизонтальных соединительных съемках решаются две задачи: ориентирование подземных съемок, т. е. определение дирекционного угла одной стороны подземной маркшейдерской сети или более, и центрирование подземных съемок, т. е. определение координат X , Y пунктов подземной маркшейдерской сети. В вертикальной соединительной съемке с земной поверхностью в шахту передается высотная отметка.

Соединительные съемки, в зависимости от способа вскрытия месторождения, могут быть выполнены через горизонтальные, наклонные и вертикальные выработки.

Ориентирование подземных выработок может быть выполнено геометрическим или физическим методом, к последним относятся:

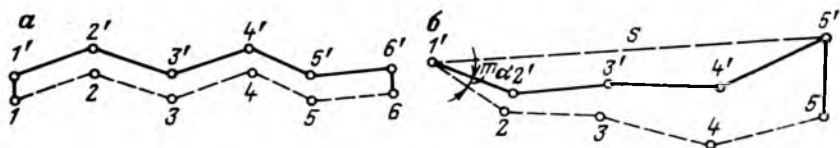


Рис. 138

гироскопический и магнитный. Магнитный метод, использующий свойство намагниченной стрелки устанавливаться вдоль линий магнитного поля Земли, при его простоте имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что из-за местных возмущений направление линий магнитного поля в конкретных точках подвержено не поддающимся учету изменениям. Поэтому магнитный способ ориентирования не имеет широкого распространения. В гироскопическом методе ориентирования используется свойство главной оси маятникового гироскопа совершать гармонические колебания около положения равновесия, совпадающего с плоскостью астрономического меридиана точки, в которой установлен прибор. Геометрическое ориентирование осуществляется через вертикальные стволы шахт, при этом используется создаваемая двумя отвесами вертикальная плоскость, дирекционный угол линии простирания которой определяется в системе координат, принятой на поверхности.

Ориентирование должно проводиться дважды одним и тем же методом или двумя различными методами. Расхождения в результатах ориентирования одной и той же стороны не должно превышать:

- дирекционных углов при геометрическом ориентировании $3'$;
- дирекционных углов при гироскопическом ориентировании $2'$;
- дирекционных углов при разработке россыпных месторождений подземным способом при размере шахтного поля не более 300 м — $10'$;
- планового положения начального пункта при центрировании сети через вертикальные выработки — 5 см.

При ориентировании возникает ошибка как в определении координат исходной точки сети, так и дирекционного угла.

Если при определении координат X, Y первого пункта подземной съемки допущена линейная погрешность $l-l'$, то она постоянной величиной войдет в положение всех последующих точек (рис. 138, а). Если при определении дирекционного угла первой стороны $1-2$ была допущена погрешность m_α , то влияние ее возрастает пропорционально удалению пунктов от исходной стороны (рис. 138, б). Погрешность в положении последней точки может быть определена из выражения

$$5-5' = sm_\alpha/\rho', \quad (22.1)$$

где s — кратчайшее расстояние от начальной до конечной точки 5. Если предположить $s=3000$ м, $m_\alpha=10'$, то погрешность положения конечного пункта N достигнет

$$\Delta N = \frac{3000 \text{ м} \cdot 10'}{3438'} = 8,7 \text{ м.}$$

Очевидно, что такая ошибка определения положения точки ($1/340$) недопустима как при строительстве шахт, так и при эксплуатации месторождений.

§ 155. Соединительная съемка через горизонтальную (наклонную) выработку

Для выполнения соединительной съемки при вскрытии месторождения штольной или наклонной шахтой прокладывается с поверхности в шахту полигонометрический ход (рис. 139).

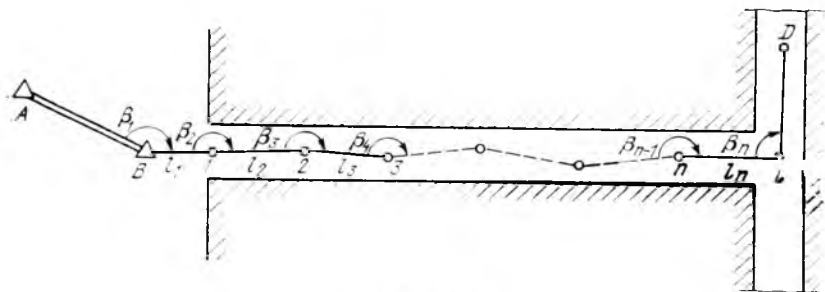


Рис. 139

При наличии одной штольной или наклонной выработки прокладывают ход от подходного пункта, например B , на поверхности до первой стороны маркшейдерской опорной сети в подземных выработках. Обратный ход выполняется, как правило, по другим, временно закрепленным пунктам. Проложенный до стороны CD

полигонометрический ход позволяет вычислить дирекционный угол α_{CD} и координаты точки C :

$$\begin{aligned}\alpha_{CD} &= \alpha_{AB} + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n \mp 180^\circ n; \\ x_C &= x_B + l_1 \cos \alpha_{B1} + l_2 \cos \alpha_{23} + \dots + l_n \cos \alpha_{nC}; \\ y_C &= y_B + l_1 \sin \alpha_{B1} + l_2 \sin \alpha_{23} + \dots + l_n \sin \alpha_{nC},\end{aligned}$$

где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — измеренные углы; n — количество измеренных углов; $l_1, l_2, \dots, l_n$ — измеренные длины линий.

Если имеются две вскрывающие выработки, то теодолитный ход прокладывается по ним таким образом, чтобы он был замкнутым.

Передачу дирекционного угла в шахты, вскрытые наклонными стволами с углом наклона более 70° , производится только при помощи гироскопического ориентирования.

Высотные отметки через выработки с углом наклона менее 8° передаются при помощи геометрического нивелирования; через выработки с углом наклона более 8° — при помощи тригонометрического нивелирования.

§ 156. Геометрическое ориентирование

Соединительная съемка с использованием отвесов может осуществляться через один, два и несколько вертикальных стволов. Во всех случаях решаются две задачи: задача проектирования и задача примыкания.

Задача проектирования заключается в том, что с поверхности при помощи отвесов проектируют на ориентируемый горизонт отрезок прямой. Проектирование выполняют так, чтобы отрезок прямой на поверхности и в шахте лежал в одной вертикальной плоскости. Задача примыкания состоит из двух частей: примыкание на поверхности и примыкание в шахте. Примыканием на поверхности определяют координаты и дирекционный угол проектируемого с поверхности направления, примыканием в шахте производится передача дирекционного угла и координат с проектируемого направления на закрепленную сторону подземного теодолитного хода.

Применяется несколько способов примыкания, отличающихся формой соединительных фигур. Проектирование решается примерно одинаково во всех способах примыкания.

Ориентирование через один вертикальный ствол. При ориентировании через один вертикальный ствол на ориентируемый горизонт опускаются два отвеса O_1 и O_2 (рис. 140), при помощи которых решается задача проектирования, так как линия, соединяющая отвесы на поверхности, параллельна аналогичной линии в шахте на ориентируемом горизонте.

Для спуска и подъема отвесов применяются ручные лебедки 1, блоки 2, грузы 5, центрировочные пластинки 3 для жесткой установки точки подвеса отвесов 4, успокоитель 6 (демпфер) и дру-

ные устройства. Комплект грузов состоит из набора чугунных или свинцовых пластин, имеющих форму дисков с одним или двумя радиальными вырезами, и штанг, на которые насаживают диски. Диаметр проволоки отвесов выбирают в зависимости от глубины опускания отвесов. Тонкие проволоки диаметром до 1 мм включи-

тельно рекомендуется применять для проектирования в шахтных стволах с глубиной менее 300 м при скорости движения потока воздуха, не превышающей 0,7 м/с. При большой глубине и большой скорости движения воздуха используется проволока диаметром 1—2 мм.

Проектирование сопровождается некоторой погрешностью. Пусть в результате проектирования точек A и B на ориентируемом горизонте получены их проекции в точках A' и B'

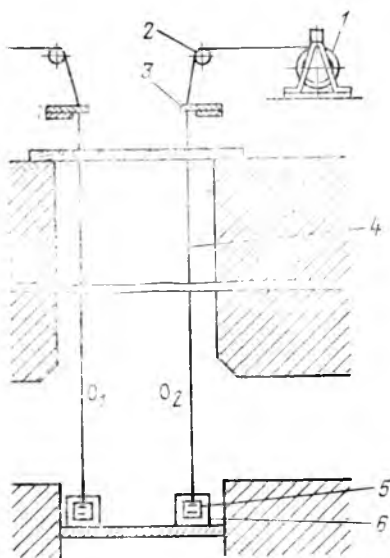


Рис. 140

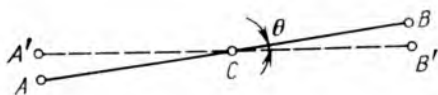


Рис. 141

(рис. 141). Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла проектируемого направления определится из выражения

$$m_{\alpha} = \frac{e}{s} \rho'' \quad (22.2)$$

При расстоянии между отвесами $AB = s = 2$ м и погрешности несовпадения проекции с начальной точкой отвеса $e = BB' = 1$ мм угловая погрешность проектирования $m_{\alpha} = 3'26''$. Если расстояние между отвесами увеличить до 4 м, то значение m_{α} уменьшится и будет равно $1'43''$. Таким образом, для повышения точности ориентирования должно быть увеличено расстояние между отвесами. Поэтому отвесы приходится располагать как можно ближе к стенкам ствола. Однако они не должны касаться стенок или арматуры ствола. Проверки касания опущенных отвесов выполняются двумя способами: 1) спуском по отвесу «почты» небольшого легкого кольца, сделанного из проволоки, толя или плотного картона; 2) сравнением расстояний между отвесами на поверхности и в шахте. Расхождение измеренных расстояний между ними на земной поверхности и в шахте не должно превышать 2 мм. Может быть также использован «способ маятника», в котором

сравнивается время вычисленного и фактического полупериодов колебания отвеса.

Время полупериода колебания отвеса можно определить по формуле

$$t = \pi \sqrt{l/g}, \quad (22.3)$$

где $\pi = 3,14$; l — длина отвеса; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Так как $\pi \approx \sqrt{g}$, можно написать, что в случае касания отвеса точка касания определяется из выражения $l = t^2$.

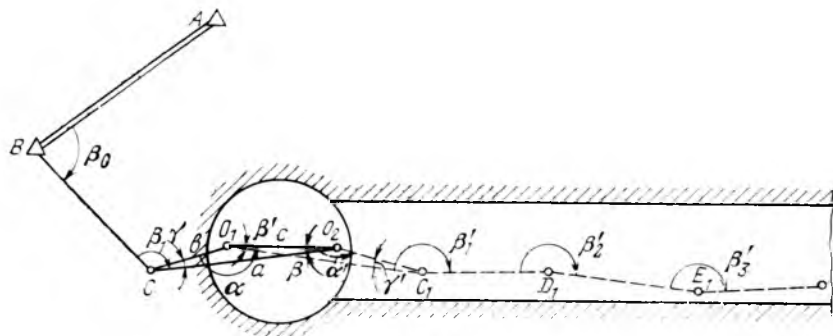


Рис. 142

Средние положения качающихся отвесов фиксируют в шахте в результате наблюдений по шкалам.

Примыкание может выполняться несколькими способами: треугольником, четырехугольником, симметричным примыканием, створа и др. Наиболее часто употребляется примыкание по способу соединительных треугольников.

Для примыкания по способу соединительных треугольников используются отвесы O_1 и O_2 (рис. 142), точки A и B , являющиеся подходными пунктами, точки C и C_1 — вспомогательные пункты на поверхности и в шахте, точки D_1 и E_1 — начальные пункты подземной съемки. Вспомогательные точки C и C_1 и отвесы O_1 и O_2 образуют два треугольника: CO_1O_2 на поверхности и $C_1O_1O_2$ в шахте.

На поверхности измеряют углы BCO_1 , BCO_2 , O_1CO_2 и расстояния CO_1 , O_1O_2 , CO_2 . В шахте на ориентируемом горизонте измеряют углы $D_1C_1O_2$, $D_1C_1O_1$, $O_2C_1O_1$ и расстояния C_1O_1 , C_1O_2 , O_1O_2 . Углы измеряют тремя приемами. Контроль правильности измерения углов проводится по разности примычных углов $\angle BCO_2 - \angle BCO_1 = O_1CO_2$ и $\angle D_1C_1O_1 - \angle D_1C_1O_2 = \angle O_2C_1O_1$, которые не должны быть больше $20''$.

Измерение длин выполняется на весу компарированной рулеткой с постоянным натяжением. Каждую сторону измеряют от трех 21—1600

до пяти раз с точностью отсчитывания до 1 мм. Правильность линейных измерений сторон треугольников проверяется по формуле $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$, где c — расстояние между отвесами, остальные обозначения показаны на рис. 142.

Углы при отвесах вычисляют решением треугольников по теореме синусов:

на поверхности

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \gamma; \quad \sin \beta = \frac{b}{c} \sin \gamma; \quad (22.4)$$

в шахте

$$\sin \alpha' = \frac{a'}{c'} \sin \gamma'; \quad \sin \beta' = \frac{b'}{c'} \sin \gamma'. \quad (22.5)$$

Угловую невязку в треугольниках распределяют поровну на вычисленные углы α , β и α' , β' .

Дирекционный угол стороны C_1D_1 подземной съемки определяется из выражения (см. рис. 142)

$$\alpha_{C_1D_1} = \alpha_{AB} + \angle ABC + \angle BCO_2 + \angle CO_2O_1 + \\ + \angle O_2O_1C_1 + \angle O_1C_1D_1 \pm 5 \cdot 180^\circ.$$

Координаты x и y примычной точки C_1 вычисляют по формулам

$$x_{C_1} = x_C + a \cos \alpha_{CO_2} + c \cos \alpha_{O_2O_1} + a' \cos \alpha_{O_1C_1}; \\ y_{C_1} = y_C + a \sin \alpha_{CO_2} + c \sin \alpha_{O_2O_1} + a' \sin \alpha_{O_1C_1}.$$

Точность ориентирования при примыкании соединительным треугольником существенно зависит от его формы. Лучшие показатели получают при вытянутых треугольниках, когда углы α и β стремятся соответственно к 180° и 0° .

Определение внутренних углов в треугольниках может также производиться по формулам

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}}, \quad (22.6)$$

где $p = 0,5(a+b+c)$.

Однако применение этих формул возможно при ориентировании второстепенных выработок, когда соединительные треугольники не имеют выгодной формы.

Ориентирование через два вертикальных ствола. Ориентирование через два вертикальных ствола имеет преимущества перед ориентированием через один вертикальный ствол, так как повышается точность ориентирования и не требуется остановка работы стволов на продолжительное время для проведения ориентирования.

Ошибка в определении дирекционного угла ориентируемой стороны подземного теодолитного хода из-за ошибки проектирования, как известно, определяется формулой (22.2). Если принять

расстояние между отвесами $s=100$ м, а линейную ошибку проектирования $e=10$ мм, $\tau_0=20''$, что намного меньше погрешностей, получаемых при ориентировании через один ствол.

При ориентировании через два вертикальных ствола в каждый шахтный ствол опускают один отвес, для определения координат которого на земной поверхности возле стволов закладывают один или два подходных пункта (рис. 143, а, б). При большой застроенности поверхности прокладывают соединительный полигонометрический ход.

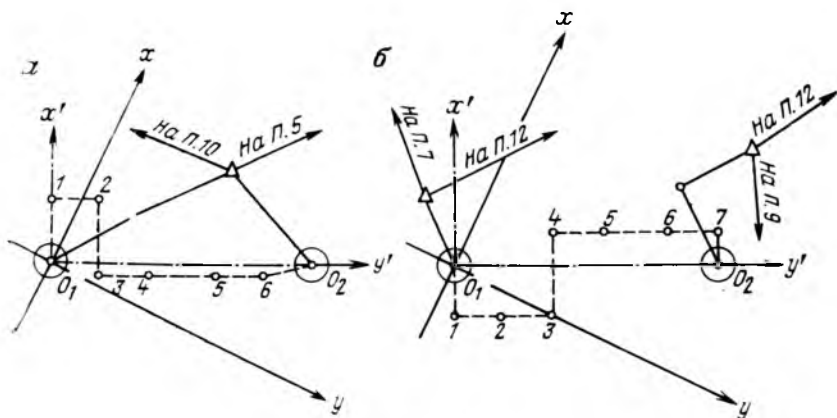


Рис. 143

По данным полигонометрии, проложенной на поверхности между подходными точками и отвесами, определяют координаты x и y отвесов. Решением обратной геодезической задачи вычисляется дирекционный угол створа отвесов:

$$\operatorname{tg} \alpha_{O_1 O_2} = \frac{y_{O_2} - y_{O_1}}{x_{O_2} - x_{O_1}}$$

и горизонтальное проложение между отвесами

$$L = \frac{y_{O_2} - y_{O_1}}{\sin \alpha_{O_1 O_2}} = \frac{x_{O_2} - x_{O_1}}{\cos \alpha_{O_1 O_2}}.$$

Примем один из отвесов (например O_1) за начало условной системы координат подземной съемки, а направление с отвесов на первый пункт подземной съемки — за ось x' условной системы координат. Вычислим в этой системе координаты всех подземных точек, в том числе и координаты отвеса O_2 . Это позволяет решением обратной геодезической задачи получить в условной системе координат дирекционный угол створа отвесов

$$\operatorname{tg} \alpha'_{O_1 O_2} = \frac{y'_{O_2} - y'_{O_1}}{x'_{O_2} - x'_{O_1}}$$

и горизонтальное проложение

$$L' = \frac{y'o_2 - y'o_1}{\sin \alpha'_{o_1 o_2}} = \frac{x'o_2 - x'o_1}{\cos \alpha'_{o_1 o_2}}.$$

Правильность выполнения ориентирования через два ствола определяют сравнением расстояний L и L' , вычисленных по данным поверхностных и подземных измерений.

Вычисляют ориентирную поправку

$$\omega = \alpha_{o_1 o_2} - \alpha'_{o_1 o_2} \quad (22.7)$$

и дирекционный угол первой стороны подземного хода по формуле

$$\alpha_{1,2} = \alpha'_{1,2} + \omega. \quad (22.8)$$

После этого вычисляют дирекционные углы всех последующих сторон подземной съемки и координаты точек подземной полигонометрии в системе координат, принятой на поверхности.

§ 157. Понятие о магнитном и гироскопическом ориентировании

При магнитном ориентировании на поверхности в районе горного предприятия выбирают направление, дирекционный угол которого известен из предыдущих съемок и магнитный

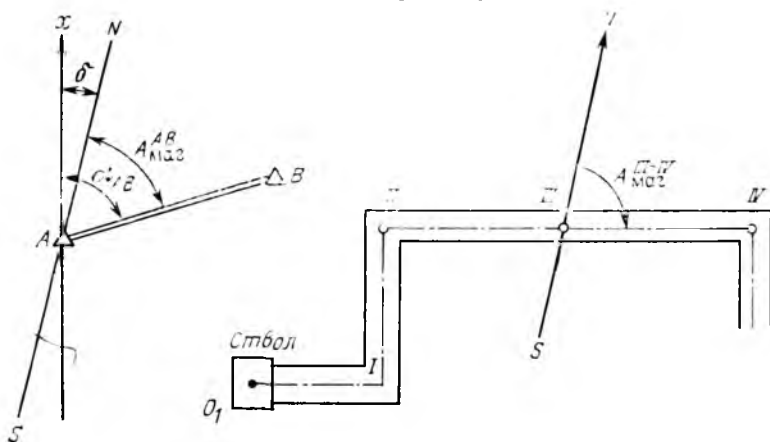


Рис. 144

азимут которого определяют прибором с магнитной стрелкой. Таким образом, для этого направления известны дирекционный угол и магнитный азимут, что позволяет определить склонение магнитной стрелки (рис. 144).

Для измерения магнитного азимута в точке А устанавливают теодолит, на горизонтальной оси зрительной трубы которого закреплена буссоль. Для этого у теодолита совмещают нулевые штрихи лимба и алидады, вращением лимба зрительную трубу

теодолита приблизительно наводят на север, затем открепляют магнитную стрелку буссоли и, уже работая наводящим винтом лимба, добиваются точного совмещения конца магнитной стрелки с нулевым делением шкалы буссоли. После этого, открепив алидаду теодолита, наводят зрительную трубу на точку B измеряемого направления. Отсчет по лимбу горизонтального круга соответствует магнитному азимуту измеряемого направления. Теодолитом с буссолью измеряют до 10 раз магнитный азимут направления AB .

Для определения дирекционного угла какой-либо стороны подземной съемки (например $III-IV$) в шахте измеряют магнитный азимут этой стороны ($A_{\text{маг}}^{III-IV}$), к которому затем прибавляют (с соответствующим знаком) поправку δ , определенную на поверхности:

$$\alpha_{III-IV} = A_{\text{маг}}^{III-IV} \pm \delta.$$

Передачу координат x, y с поверхности в шахту осуществляют при помощи отвеса, опускаемого в вертикальный ствол.

Для магнитного ориентирования используются коробчатая ориентир-буссоль, зеркальная буссоль, деклинатор. Последний применяется не только для определения магнитного азимута, но и для изучения изменения магнитного склонения, главным образом

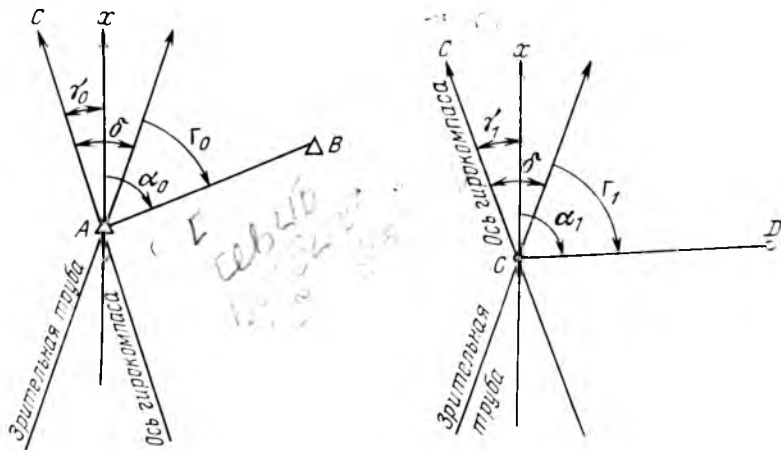


Рис. 145

во времени, так как вариации магнитного склонения в пространстве в связи с небольшим отстоянием (не более 300 м) направлений на поверхности и в шахте незначительные, и ими можно пренебречь.

Для гироскопического ориентирования используются гирокомпасы. В нашей стране серийно выпускаются гирокомпасы МВТ-2 и МВТ-4, которые используются главным образом для выполнения ориентирования подземных выработок. По-

грешность определения гироскопического азимута при помощи МВТ-2 — $\pm 30''$.

При производстве ориентирования (рис. 145) гироскопический компас устанавливают в точке A стороны AB опорной маркшейдерской сети на поверхности, дирекционный угол которой известен, и определяют гироскопический азимут Γ_0 этой стороны. В результате определяется поправка гироскопического компаса

$$\delta = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0,$$

где α_0 — дирекционный угол; γ_0 — сближение меридианов.

После этого гироскопический компас устанавливают в шахте в точке C стороны CD опорной подземной маркшейдерской сети. По определенному гироскопическому азимуту Γ_1 этой стороны вычисляют ее дирекционный угол

$$\alpha_1 = \Gamma_1 + \delta - \gamma_1.$$

Гироскопический метод ориентирования шахт обладает рядом преимуществ, главное из которых в том, что повышается общая точность теодолитной съемки, так как с помощью гироскопического компаса определяют дирекционные углы ряда дополнительных направлений.

§ 158. Передача в шахту высотной отметки

При вскрытии месторождений полезных ископаемых вертикальными стволами передача высотной отметки может производиться несколькими способами, принципиальные положения которых приведены на рис. 146. На поверхности вблизи ствола закладывается репер R_n , и в шахте в околоствольном дворе закрепляется репер $R_{ш}$. В стволе помещается мерный прибор O_1O_2 , в точках n_1 и n_2 по нему берутся отсчеты при помощи нивелиров, установленных в шахте и на поверхности. Одновременно берут отсчеты по рейкам a , b , установленным на реперах A и B .

Отметка репера в шахте определится из выражения

$$z_{ш} = z_n - (n_1 - n_2) + a - b.$$

Передача высотной отметки через вертикальную шахту выполняется дважды, расхождения между измерениями не должны превышать величины

$$\Delta h = (0,01 + 0,0002H), \text{ м}, \quad (22.9)$$

где H — глубина ствола в метрах.

Передача высотной отметки с помощью шахтной (длинной) ленты. В качестве мерного прибора применяются специальные длинные ленты длиной 100, 200, 250, 500 и 1000 м. Наматываются они на барабан, который надежно закрепляется вблизи устья шахтного ствола, перекрытого прочным полком. Над стволом укрепляется блок, через который пропускается лента. К концу ленты подвешивают груз, масса которого обычно равна массе гру-

за при компарировании. После того как спуск ленты закончен, одновременно в шахте и на поверхности при помощи двух нивелиров (см. рис. 146) берут отсчеты по ленте (n_1, n_2) и по рейкам (a, b), установленным на подходном (R_n) и шахтном ($R_{ш}$) реперах.

Отсчеты по ленте и рейкам повторяют несколько раз. Обязательны изменение высоты нивелира и перемещение ленты перед каждым измерением.

Отметка репера в шахте определяется по формуле

$$z_{ш} = z_n - (n_1 - n_2) + a - b + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta t + \Delta k, \quad (22.10)$$

где ΔL_1 — поправка за удлинение ленты от массы груза вводится только в тех случаях, когда масса груза не равна массе груза при компарировании. Вычисляется по формуле

$$\Delta L_1 = L(Q - Q_0)/ES, \quad (22.11)$$

в которой L — длина ленты, для которой определяется поправка, см; S — поперечное сечение ленты, см²; Q — масса груза, кг; Q_0 — масса груза при компарировании ленты, кг; E — модуль упругости металла ленты;

ΔL_2 — поправка за удлинение ленты от собственной массы, которая может быть вычислена как предыдущая поправка, если вместо разницы $(Q - Q_0)$ в формуле для ΔL_1 подставить значение средней массы висящей части ленты $P_{ср}$. Так как

$$P_{ср} = HS\gamma/2, \quad (22.12)$$

то можно написать

$$\Delta L_2 = H_2\gamma/2E, \quad (22.13)$$

здесь γ — удельный вес стали, $\gamma = 7,8$ кг/см³; S — поперечное сечение ленты, см²; Δt — поправка за температуру, вычисляется по формуле

$$\Delta t = kL(t^\circ - t_0^\circ), \quad (22.14)$$

где k — коэффициент линейного расширения металла; L — длина участка ленты между точками n_1 и n_2 ; t° — средняя температура в шахтном стволе; t_0° — температура компарирования ленты.

Поправка за компарирование шахтной ленты Δk принимается в соответствии с паспортом ленты или по данным дополнительного компарирования.

Передача высотной отметки с помощью рулетки. Передача высотной отметки металлической рулеткой проводится только в не-

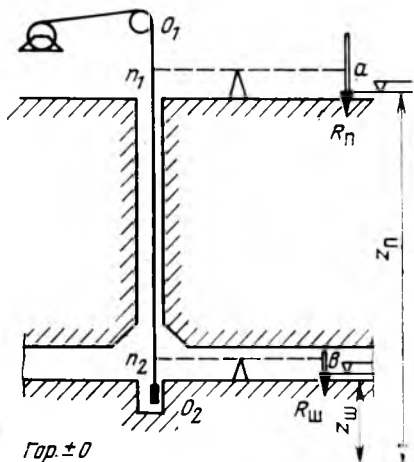


Рис. 146

глубоких вертикальных выработках; длина рулеток должна быть не меньше глубины выработок (гезенк, разведочный шурф, разведочный ствол), через которые передается высотная отметка. Способ принципиально не отличается от предыдущего, однако при вычислении отметки шахтного репера не вводится поправка за растяжение от подвешенного груза, так как этот груз должен быть равен грузу при компарировании, и за растяжение от собственной массы рулетки.

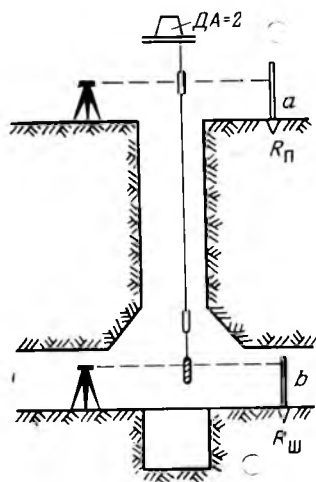


Рис. 147

Передача высотной отметки с помощью длиномера. При измерении глубины шахты стальной проволокой используется отсчетный механизм длиномера ДА-2. В комплект длиномера входят лебедка с барабаном, на который намотана стальная проволока, счетчик оборотов, грузрейка и контрольная рейка.

Работы по передаче высотной отметки в шахту при помощи длиномера состоят из двух полуприемов и производятся следующим образом.

1. В стволе шахты на верхней приемной площадке крепят длиномер. В шахте и на земной поверхности устанавливают нивелиры (рис. 147), а на шахтном и поверхностном реперах — рейки.

2. Груз-рейку длиномера опускают до тех пор, пока не попадет в поле зрения трубы нивелира, установленного на поверхности. Берутся отсчет по грузу-рейке n_n и отсчет a по рейке на поверхностном репере. Кроме того, в это же время берется отсчет N_n по счетчику длиномера.

3. Опускают груз-рейку до горизонта визирной оси нивелира, установленного в шахте, и берут по ней отсчет $n_{ш}$, отсчет по счетчику длиномера $N_{ш}$ и отсчет b по рейке, установленной на шахтном репере. На этом заканчивается первый полуприем.

4. Для второго полуприема несколько изменяют положение груза-рейки в нижнем положении и горизонты нивелиров, установленных в шахте и на поверхности.

5. Берут в шахте отсчеты: $n'_{ш}$ по грузу-рейке при ее смещенном положении, по счетчику длиномера $N'_{ш}$ и по рейке b' .

6. Поднимают груз-рейку до горизонта верхнего нивелира и на поверхности берут отсчеты: n'_n — по грузу-рейке, N'_n — по счетчику длиномера, a' — по рейке, установленной на поверхностном репере.

Этим заканчивается второй полуприем. В начале и конце работ определяют температуру воздуха в стволе и на поверхности.

Разность высот поверхностного и шахтного реперов вычисляют по формулам:

при передаче высоты с поверхности в шахту

$$h_{изм} = (N_{п} - n_{п}) - (N_{ш} - n_{ш}) + (a_{п} - a_{ш}); \quad (22.15)$$

при передаче высоты из шахты на поверхность

$$h'_{изм} = (N'_{ш} - n'_{ш}) - (N'_{п} - n'_{п}) + (a'_{ш} - a'_{п}). \quad (22.16)$$

В измеренные величины вводят поправки:

1) за диаметр проволоки

$$\Delta d = 0,001\pi d (N_{п} - N_{ш}). \quad (22.17)$$

где d — диаметр проволоки;

2) разность температуры проволоки в стволе и на земной поверхности

$$\Delta t_{п} = \alpha_1 (N_{п} - n_{ш}) (t_{ср} - t_{п}), \quad (22.18)$$

где α_1 — температурный коэффициент линейного расширения стали проволоки; $t_{п}$ — температура на поверхности; $t_{ср} = (t_{п} + t_{ш})/2$ — средняя температура воздуха в стволе;

3) за компарирование диска

$$\Delta k = (N_{п} - N_{ш}) (l - 1), \quad (22.19)$$

где l — фактическая длина окружности диска по паспорту завода, м;

4) за разность температуры диска при измерении и компарировании

$$\Delta t_{д} = \alpha_2 (N_{п} - N_{ш}) (t_{п} - t_0), \quad (22.20)$$

где α_2 — температура коэффициента линейного расширения металла диска; t_0 — температура диска при компарировании.

Таким образом, превышение с учетом всех поправок вычисляется следующим образом:

$$h_{испр} = (h_{изм} + h'_{изм})/2 + \Delta d + \Delta t_{п} + \Delta k + \Delta t_{д}. \quad (22.21)$$

Глава 23

СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 159. Общие сведения

Маркшейдерские подземные съемки представляют собой комплекс работ, включающих измерение угловых и линейных величин, в результате которых составляется горная графическая документация; выполняется решение различных горно-геометрических задач; осуществляется задание направлений горным выработкам и обеспечение их правильного проведения; выполняются маркшейдерские замеры для контроля фактического положения горных выработок и подсчетов объемов как горноподготовительных, так и очистных выработок; ведется изучение сдвижений горных пород

и т. п. Объектами подземных маркшейдерских съемок являются собственно горные выработки; поверхности, характеризующие условия залегания месторождения (поверхности лежачего и висячего боков, тектонических нарушений и т. п.) и некоторые точки и места, к которым привязаны различные геологоразведочные и технологические операции: устья скважин, места взятия проб, места проявления горного давления и т. п.

Выполнение маркшейдерских съемок в подземных горных выработках проводится по принципу последовательного перехода от более общих и точных к частным и менее точным съемочным работам. В соответствии с этим вначале выполняют построение маркшейдерских подземных сетей (опорных и съемочных), затем проводится съемка подробностей. По своему назначению подземные маркшейдерские сети классифицируются следующим образом:

1. Подземные маркшейдерские опорные сети, состоящие из полигонометрических ходов, прокладываемых по основным горным выработкам (квершлагам, штольням, бремсбергам, основным откаточным штрекам и т. п.), и предназначенные для развития съемочных сетей и составления планов горных выработок и других графических материалов, а также для аналитического решения различных маркшейдерских и горнотехнических задач.

2. Съемочные сети I разряда (основа съемки подготовительных выработок), состоящие из теодолитных ходов, прокладываемых по подготовительным выработкам значительной протяженности. Эти сети предназначены для съемки как основных, так и подготовительных выработок, их пункты служат исходными для съемки очистных забоев и выполнения сбоечных работ в пределах выемочных участков.

3. Съемочные сети II разряда (основа съемки нарезных выработок в очистных блоках и очистных забоях), состоящие из теодолитных ходов или ходов, прокладываемых приборами пониженной точности. Эти сети предназначены для съемки нарезных и очистных выработок и для выполнения сбоек нарезных выработок в пределах очистного блока.

4. Сети специального назначения, прокладываемые для решения специальных задач, требующих высокой точности их выполнения. Угловые и линейные измерения в сетях специального назначения производятся в соответствии с программами измерений, разрабатываемыми для каждого конкретного случая в зависимости от необходимости обеспечения требуемой точности выполнения горных работ.

§ 160. Подземные маркшейдерские опорные сети

Положение пунктов подземных маркшейдерских опорных сетей определяют методом полигонометрии. Полигонометрические ходы должны быть замкнутыми или их следует прокладывать дважды. Пункты подземных опорных сетей в зависимости от срока суще-

ствования и способа закрепления разделяют на постоянные и временные. Расположение постоянных пунктов в пределах шахтного или рудничного поля должно обеспечивать потребность в них при развитии съемочных сетей. Как правило, постоянные пункты закладывают группами (не менее трех в группе) в околоствольном дворе, в главных и участковых квершлагах, по групповым, полевым и основным откаточным штрекам, по уклонам и бремсбергам. Расстояние между группами не должно превышать 300 м для планов масштаба 1:500 и 1:1000 и 500 м для планов масштаба 1:2000.

Постоянные пункты закладывают в устойчивые коренные породы подошвы, кровли или боков выработок, а также в бетонной или каменной крепи или в фундаментах стационарных установок. Временные пункты маркшейдерской опорной сети закрепляют скобами в верхняках хорошо сохранившихся дверных окладов.

Измерения горизонтальных углов в подземных полигонометрических ходах производятся теодолитами с точностью отсчетных приспособлений 30'' способом повторений одним повторением или способом приемов (последовательность работ описана в § 52).

Расхождения между контрольным углом и его окончательным значением для теодолитов с точностью отсчитывания 30'' не должно превышать 45''. Сумма левого и правого углов, измеренных на одном пункте, не должна отличаться от 360° больше, чем на 30''.

В выработках, имеющих угол наклона более 30°, горизонтальные углы измеряются способом приемов с применением накладного уровня, поэтому лимб теодолита на время измерений закрепляется. Ось вращения прибора в отвесное положение приводится при помощи накладного уровня независимо перед каждым приемом.

Допустимые расхождения в углах, полученных из отдельных приемов, при измерении углов в выработках с углом наклона более 30° не должны превышать величин, приведенных ниже:

Углы наклона, °	31—45	46—60	61—70	71—75
Допустимые расхождения между углами отдельных приемов, ''	45	60	90	120

Для линейных измерений в подземных полигонометрических ходах используются стальные рулетки длиной от 20 до 50 м, длины AD-1М, светодальномеры типа ЗСМ-2 и СМ-5.

Измерения выполняются только компарированными мерными приборами. Линии измеряются с натяжением прибора, равным натяжению при компарировании. Учет температуры производится, если температура измерения отличается от температуры компарирования более чем на 5°. Отклонение от створа концов интервалов не должно превышать 10 см при длине интервала в 10 м.

Отсчеты по мерным приборам фиксируют до миллиметров. Каждый интервал измеряется дважды, для чего мерный прибор смещается. Для определения горизонтальных проложений линий теодолитом измеряются углы наклона линий.

Вычисление координат пунктов полигонометрических ходов выполняется в ведомости, образец которой показан в табл. 9. Угловая невязка в ходах не должна превышать:

в сомкнутых ходах и ходах, проложенных между двумя твердыми сторонами,

$$f_{\beta} \leq 2m_{\beta} \sqrt{n}, \quad (23.1)$$

в висячих ходах, пройденных дважды,

$$f_{\beta} = \alpha_k' - \alpha_k'' \leq 2m_{\beta} \sqrt{n_1 + n_2}, \quad (23.2)$$

в ходах, проложенных между двумя исходными сторонами с учетом погрешностей определения их дирекционных углов,

$$f_{\beta} \leq 2\sqrt{2m_{\alpha}^2 + nm_{\beta}^2}. \quad (23.3)$$

В приведенных формулах m_{α} — средняя квадратическая погрешность определения исходных дирекционных углов; m_{β} — средняя квадратическая погрешность измерения углов; n — число углов в ходе; n_1, n_2 — число ходов соответственно в первом и втором ходах.

Линейная невязка сомкнутых полигонометрических ходов не должна превышать 1:3000 длины хода, а расхождение дважды проложенных ходов

$$d = \sqrt{(x_k' - x_k'')^2 + (y_k' - y_k'')^2} \quad (23.4)$$

не должно быть более 1:2000 от суммарной длины этих ходов. Здесь x_k', y_k' и x_k'', y_k'' — координаты конечной точки, вычисленные соответственно из первого и второго ходов.

§ 161. Съемочные сети

Съемочные сети разделяются на сети I и II разрядов. Съемочные сети I разряда выполняются в виде теодолитных ходов и используются для съемки подготовительных выработок. Основой для съемочных сетей I разряда служат опорные сети.

Для съемки очистных забоев и парезных выработок очистных блоков используются съемочные сети II разряда. Сети II разряда выполняют проложением ходов пониженной точности с помощью угломера или теодолита. Ходы I и II разрядов прокладывают между пунктами ходов более высокого разряда. Ходы съемочных сетей должны быть замкнутыми или прокладываться дважды. Основные данные о съемочных сетях приведены в табл. 29.

Высоты точек съемочных сетей определяют техническим или тригонометрическим нивелированием. Погрешность в определении высот точек съемочной сети промежуточных (подэтажных) горизонтов по отношению к высотам опорных маркшейдерских сетей не должна превышать ± 15 см.

Точки съемочных сетей закрепляют таким же образом, как временные пункты опорных сетей.

В съемочных сетях I разряда горизонтальные углы измеряют теодолитами с точностью отсчитывания не ниже $1'$. В выработках с углом наклона более 30° горизонтальные углы измеряют с соблюдением тех же правил, которые были изложены выше для опорных маркшейдерских сетей.

Таблица 29

Разряды съемочных сетей	Предельная длина хода, км	Средняя погрешность из- мерения угла	Относительная погрешность из- мерения линий
I	2,0	$\pm 45''$	1:1000
II	0,5	± 3	1:200

В съемочных сетях II разряда горизонтальные углы измеряют угломерами типа УТ-3 одним повторением или приемом.

Измерение длин линий в съемочных ходах I разряда производится без учета натяжения стальными компарированными рулетками в прямом и обратном направлениях, в съемочных сетях II разряда длины измеряют стальными и тесьмяными рулетками или оптическими дальномерами угломеров.

§ 162. Измерение горизонтальных углов теодолитами с эксцентренной трубой

При измерениях горизонтальных и вертикальных углов применяют горные теодолиты, которые принципиально не отличаются от теодолитов, используемых в геодезии, но имеют следующие особенности:

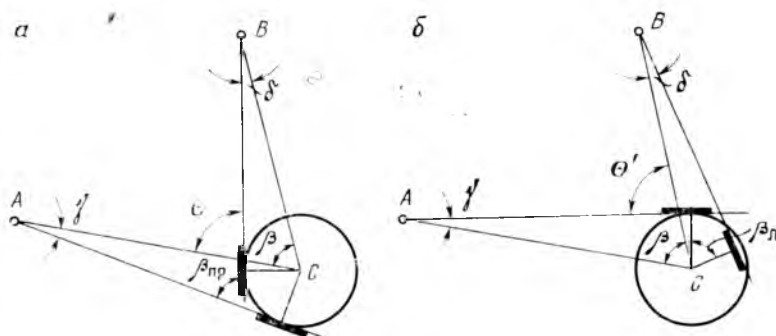


Рис. 148

1. Так как центрирование теодолитов часто проводится под маркшейдерскими пунктами, приборы на поверхности трубы имеют так называемый верхний центр (кern), представляющий собой углубление диаметром около 0,5 мм.

2. В связи с тем что маркшейдерам часто приходится измерять углы, стороны которых имеют большой наклон, горные теодолиты снабжаются дополнительно эксцентренными трубами, позволяющими визировать под углом наклона, близким к 90° .

При измерении горизонтальных углов в крутонаклонных выработках теодолитами с эксцентренной трубой не измеряется центральный угол β , а измеряют некоторые углы $\beta_{\text{л}}$ и $\beta_{\text{пр}}$ (рис. 148).

Из рис. 148 видно, что $\theta = \beta_{\text{пр}} + \gamma = \beta + \delta$ (рис. 148, а), откуда $\beta = \beta_{\text{пр}} + \gamma - \delta$. $\theta' = \beta_{\text{л}} + \delta = \beta + \gamma$ (рис. 148, б), следовательно $\beta = \beta_{\text{л}} + \delta - \gamma$. Полученные выражения позволяют написать $2\beta = \beta_{\text{пр}} + \gamma - \delta + \beta_{\text{л}} + \delta - \gamma$. Следовательно, $\beta = \frac{\beta_{\text{пр}} + \beta_{\text{л}}}{2}$.

Таким образом, при измерении горизонтальных углов теодолитом с эксцентренной трубой центральный угол равен полусумме углов, измеренных при круге право (КП) и круге лево (КЛ), т. е. при двух положениях трубы.

§ 163. Съёмочные работы в нарезных и очистных выработках. Назначение съёмочных работ

Съёмочные работы проводятся для определения деталей геологического строения месторождения или определенных его участков, формы залежи и условий залегания, тектоники, размещения показателей качества полезного ископаемого и пр.; определения размеров и пространственного положения горных выработок при построении маркшейдерских планов и решения аналитических задач, связанных с проведением горных выработок и обеспечением их проектных размеров; обеспечения условий безопасного ведения горных работ. Объектами съёмки являются элементы геологического строения месторождения, т. е. места тектонических нарушений, выклинивания и размыва залежей, видимые контакты пород и полезного ископаемого, точки отбора проб и другие элементы, имеющие важное значение для правильной эксплуатации месторождений; все подготовительные и очистные горные выработки, скважины и камеры различного назначения, бутовые полосы, границы закладки, водоотливные, вентиляционные и противопожарные устройства и сооружения, транспортные пути; элементы проявления горного давления, т. е. трещины, вывалы, купола и т. п., имеющие важное значение в решении вопросов технологии разработки месторождений и поддержания горных выработок.

По особенностям выполнения съёмочных работ горные выработки разделяются на три группы.

1. Очистные выработки, среди которых выделяют лавы на пологом и наклонном падении пластов, лавы на крутом падении пластов, лавы при слоевой выемке пластов, забои с открытым очистным пространством, забои с магазинированием руды, камеры при системе разработки этажного или подэтажного обрушения, узкие очистные забои, забои, недоступные для съёмки пустоты.

2. Подготовительные выработки, съёмка которых существенно различна для следующих условий: выработки с углом

наклона до 45° , выработки с углом наклона более 45° , сопряжения выработок, выпускные выработки (дучки, гезенки, выпускные воронки).

3. Взрывные выработки: глубокие взрывные скважины, минные камеры и колодцы.

Съемочные работы выполняются от пунктов и сторон съемочных сетей I и II разрядов способами перпендикуляров или полярным. Для пополнения маркшейдерских планов съемки проводятся не реже одного раза в месяц. Пункты съемочной сети не должны размещаться на расстояниях более 50 м от забоя. При приближении горных работ к опасным зонам это расстояние снижается до 20 м.

К съемкам предъявляются различные требования по точности. Так, для получения необходимой достоверности подсчета добытого полезного ископаемого съемочные работы должны обеспечить среднюю погрешность определения извлеченной массы не более 3%. При проведении выработок встречными забоями в пределах съемочного участка точность съемочных работ должна быть намного выше (относительная линейная невязка ходов не должна превышать 0,05%). На рудных месторождениях, где значительные объемы съемочных работ приходятся на замеры камер, при определении положения точек на стенках камер относительная погрешность равна $1/200$. Для камер, получающихся при выщелачивании полезного ископаемого, точность съемки значительно ниже: азимутальная погрешность их ориентирования в пространстве может достигать 3° и более, координаты точек можно определять с погрешностью до метров.

Методика съемочных работ во многом определяется особенностью системы разработки. На угольных месторождениях, где в большинстве случаев очистная выемка ведется в лавах с прямолинейной линии очистных забоев, основное требование к съемкам заключается в контроле прямолинейности. На рудных месторождениях основную проблему представляют съемочные работы недоступных пустот, в которых, как правило, сильно запылена атмосфера, что значительно снижает точность измерений.

Замеры подготовительных и очистных горных выработок. Для получения оперативных данных о состоянии горных выработок, необходимых для пополнения маркшейдерами горной графической графики, проведения учета движения запасов и т. п., проводятся замеры подготовительных и очистных выработок. Маркшейдерские замеры выработок представляют собой упрощенные съемки, проводимые с помощью рулеток (металлических, тесьмяных), горного компаса, висячего полукруга и т. п.

При замерах подготовительных выработок составляется эскиз выработки и ее забоя, измеряется длина выработки с целью определения ее подвигания за отчетный период, измеряются линейные элементы поперечного сечения выработки, мощность пласта полезного ископаемого. Подвигание выработки определяется рулеточным замером от маркшейдерского пункта, расположенного вбли-

зи забоя. В зависимости от условий проведения выработки, крепления ее подвигание за отчетный период должно быть определено по полезному ископаемому, по породе и по крепи. Линейные элементы поперечного сечения измеряют по тем направлениям, которые даны в проекте или паспорте крепления.

Все данные замеров заносят в специальную книгу.

Замеры очистных выработок на пологих и наклонных пластах, если лавы прямолинейны и небольшой протяженности, производятся рулеточными промерами. Определение подвигания лавы в начале и в конце отчетного периода производится по замерам в откаточном и вентиляционном штреках измерением расстояний от маркшейдерских пунктов до линии очистного забоя. При искривленной линии забоя производится ее инструментальная съемка. После нанесения линии забоя на план горных работ определяют среднее подвигание забоя за отчетный период, а планиметром определяется площадь отработки.

На крутых пластах при потолкоуступной форме забоя измеряются рулеткой все контуры забоя, положение которого затем привязывается к пунктам маркшейдерской съемочной или опорной сети, расположенным на откаточном и вентиляционном штреках.

Замеры очистных выработок сопровождаются зарисовками, на которых показываются детали очистного пространства и их размеры. Через 15—20 м измеряется мощность пласта и зарисовывается его структура. Горным компасом измеряются углы падения пласта, простирания и падения трещин и тектонических нарушений.

§ 164. Приборы для съемки нарезных и очистных выработок

Для съемки нарезных и очистных выработок получили распространение технические теодолиты и угломеры.

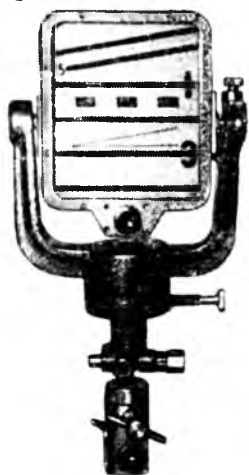
Так как съемка очистных выработок часто производится в стесненных условиях, применяемые инструменты имеют небольшие размеры и массу, но обеспечивают определение основных размеров выработанного пространства с погрешностью, не превышающей 1:100.

Угломер УТГ (угломер-тахсометр горный) является усовершенствованной конструкцией угломера У-3. Зрительная труба имеет дальномер двойного изображения с коэффициентом дальномера $K=500$. Комплект угломера снабжен дальномерной рейкой (рис. 149, а), изготовленной в виде прямоугольной стеклянной пластинки, на которую нанесены четыре горизонтальных штриха (по ним отсчитываются десятки метров), два наклонных штриха и одна горизонтальная шкала с пятью шашечными делениями, каждое из которых при измерении дальномером соответствует 1 м.

Зрительная труба угломера — с внутренней фокусировкой, пределы фокусирования — от 2 м до бесконечности. В оптике трубы имеются два клина, закрывающих по половине объектива и отклоняющих в разные стороны луч визирования на одинаковый угол, образуя, таким образом, в поле зрения два изображения рейки

(рис. 149, б). Величина смещения изображений связана с расстоянием до измеряемого объекта.

Перед отсчитыванием по дальномеру расстояния труба визируется на середину рейки (по ее высоте). Затем с помощью наводящего винта трубу перемещают в вертикальной плоскости до тех пор, пока не будет совмещения концов одного из левых наклонных штрихов с каким-либо правым горизонтальным штрихом, по которому производят отсчет десятков метров. Отсчет метров и дециметров осуществляется по части



горизонтальной шкалы, расположенной на левой стороне изображения, причем отсчет ведется от первого черного деления. Если наклонный штрих совпадает с цифрой 5, то из числа десятков метров вычитается 5 м. Метры,

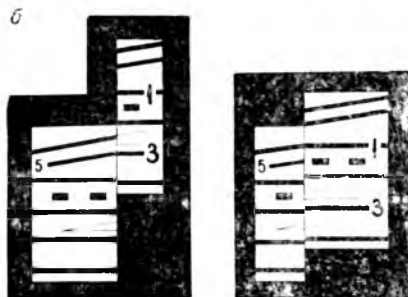


Рис. 149

дециметры читаются обычным образом, например, первый отсчет на рис. 149, б равен $30 - 5 + 3,5 = 28,5$ м; во всех остальных случаях отсчет десятков метров оставляют без изменений, например, второй отсчет на рис. 149, б: $10 + 1,6 = 11,6$ м.

Точность измерения расстояний с помощью дальномера угломера УТГ составляет 1 : 100—1 : 200.

Угломер-тахеометр УТБ-3 предназначен для съемки и ориентировки оптическим способом подэтажных выработок.

УТБ-3, как и угломер УТГ, имеет эксцентрично расположенную относительно своей оси вращения зрительную трубу, в которой кроме визирного перекрестия имеются две пары горизонтальных и вертикальных дальномерных нитей. Угломер УТБ-3 является повторительным прибором с ценой делений горизонтального и вертикального кругов 1° . У алидады имеется отсчетный индекс, против которого берется отсчет по лимбу с оценкой на глаз десятых долей градуса.

В рабочее положение угломер устанавливается на штативе и на распорной колонке. В комплект оборудования для съемки и

ориентировки крутонаклонных выработок входят два угломера УТБ-3, распорные колонки, штативы и ориентирно-дальномерные рейки.

Точность измерения длин с помощью дальномера УТБ-3 1:200—1:300.

Угломер УТ-3 (рис. 150) предназначен для съемки нарезных и очистных выработок, ориентировки подэтажей через наклонные



Рис. 150

или вертикальные выработки и передачи высоты на подэтажные выработки. Прибор является повторительным угломером, снабженным нитяным дальномером.

Лимб горизонтального круга разбит на пятиградусные деления. Отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам берутся с помощью отсчетного барабана с точностью 1'. Нитяный дальномер позволяет определять расстояния от 5 до 30 м с относительной погрешностью 1:200 и от 30 до 40 м — 1:100. На трубе угломера прикреплена дальномерно-ориентирная рейка.

Маркиейдерский угломер-тахеометр предназначен для съемки нарезных и очистных подземных выработок, задания направлений при проходке выработки, а также может быть использован при тахеометрической съемке на поверхности.

Угломер представляет собой прибор повторительного типа со зрительной трубой, снабженной тремя парами дальномерных нитей, две из которых служат для измерения расстояний по дальномерно-ориентирной рейке, третья пара — по обычной нивелирной рейке. Пределы измерения расстояний от 2 до 40 м с относительной погрешностью при длине измеряемых расстояний до 30 м 1:200, при длине более 30 м — 1:100.

Труба угломера выполнена эксцентренно, что дает возможность измерять вертикальные углы в пределах 90° .

Угломерная часть прибора вместо отсчетных кругов имеет шестерни с червячными механизмами, позволяющими производить с оценкой на глаз отсчеты по отсчетным барабанам десятых долей деления, что соответствует в градусной мере $1'$.

Подвесные буссоль и полукруг используются для съемки при отсутствии магнитных масс. Подвесная буссоль состоит из круглого корпуса и подвеса, с помощью которого буссоль крепится к шнуру и приводится в горизонтальное положение.

Лимб буссоли имеет градусные деления, оцифровка которых возрастает против часовой стрелки от 0 до 360° . Диаметр лимба $0-180^\circ$ лежит в одной вертикальной плоскости со шнуром, на котором подвешена буссоль.

Для определения азимута буссолью натягивается шнур между двумя точками определяемого направления. Буссоль подвешивают ближе к одному из концов шнура нулевым делением по направлению определяемой стороны. Отсчеты берут по обоим концам стрелки. Затем буссоль подвешивают на втором конце шнура, где также производят отсчеты по обоим концам стрелки. Из двух определений магнитного азимута берут среднее значение, при этом разность двух азимутов не должна превышать $30'$.

Подвесной полукруг используется для изменения углов наклона сторон буссольного хода. Он состоит из лимба и двух крючков, при помощи которых полукруг подвешивается на шнур, и грузика-отвеса, прикрепляемого на тонкой нити в центре полукруга. На лимбе нанесены градусные деления от 0 до 90° в обе стороны от нулевого диаметра, который совпадает с положением нити отвеса при горизонтальном положении шнура. Для измерения угла наклона шнура его необходимо хорошо натянуть. Полукруг подвешивают дважды на расстоянии $1/3$ длины от его концов. За окончательное значение угла наклона берут среднее из результатов измерений, выполненных у концов линии.

Съемка подвесными инструментами может вестись при отсутствии и присутствии магнитных масс. В первом случае на поверхности шахты закрепляют ориентирную линию AB , дирекционный угол α_{AB} определяют в существующей системе координат. В день съемки буссолью определяют магнитный азимут ориентирной стороны A^m_{AB} . Разность между магнитным азимутом и дирекционным углом составит

$$\delta = A^m_{AB} - \alpha_{AB}.$$

В отдельных выработках вдоль снимаемого контура между точками с известными координатами отмечают пункты буссольной съемки, между которыми последовательно натягивается шнур. Для каждой стороны измеряют магнитный азимут, угол наклона и длину шнура. Измеряют расстояния от шнура до стенок выработок, в вершинах хода — расстояния до кровли и почвы выработки.

На план результаты съемки накладывают по дирекционным углам и горизонтальным проложениям сторон буссольного хода. Линейная невязка буссольного хода не должна превышать 1 : 200. Допустимая невязка распределяется графически пропорционально расстояниям вершин от начала хода по методике, описанной в § 107.

В условиях влияния магнитных масс подвесная буссоль используется как простейший угломерный инструмент, с помощью которого измеряются горизонтальные углы. Для этого буссоль центрируется в вершине буссольного хода и определяются магнитные азимуты смежных сторон. В таком случае измеряемый горизонтальный угол равен разности магнитных азимутов последующей и предыдущей сторон.

Проведение буссольного хода начинают от пункта съемочной сети, дирекционный угол прилегающей стороны которой известен. Затем последовательно в каждой точке хода по разности магнитных азимутов определяются горизонтальные углы. Остальные измерения производятся так же, как и в предыдущем способе.

При камеральной обработке по дирекционному углу стороны исходной съемочной сети вычисляют дирекционные углы сторон буссольного хода. Дальнейшие камеральные работы проводятся аналогично работам, приведенным в предыдущем способе.

§ 165. Съемка нарезных и очистных выработок

Съемка нарезных выработок производится для составления детальных планов и разрезов в пределах очистного блока или выемочного участка, а также для определения координат отдельных точек, необходимых при решении различного рода аналитических задач. Съемке подлежат все особенности выработок, которые будут заметны при их изображении на планах и разрезах. Измерение расстояний при съемке подробностей производится на уровне среднего сечения выработки с точностью до 5 см при съемке в свету и с точностью до 10 см — при съемке в черне.

При съемке выработок, нарезаемых при разработке пластовых месторождений, как правило, применяются теодолиты. Применение буссоли возможно для съемки нарезных выработок при разработке как пластовых, так и рудных месторождений, но обязательным условием является отсутствие магнитных масс.

Съемка нарезных выработок должна производиться дважды: один раз при проходке выработки (дополнительная съемка) и второй раз по окончании проведения комплекса выработок. Все детали съемки зарисовываются в специальные журналы или на полях журналов угловых и линейных измерений ходов съемочной сети.

Съемка горизонтальных и наклонных нарезных выработок производится на основе точек и дирекционных углов сторон съемочных сетей основных или подэтажных горизонтов. При измерении углов теодолитом ось вращения устанавливают в отвесное поло-

жение с погрешностью приведения пузырька уровня в середину до двух делений. Точность центрирования теодолита 5 см, отсчитывания — до 1'.

При размерах блока, не превышающих 60 м, съемка нарезных выработок может осуществляться угломерами с точностью отсчитывания до 10'.

Съемка крутых нарезных выработок по сравнению со съемкой пологих имеет ряд трудностей, заключающихся в сложности передвижения по выработкам и установки измерительной аппаратуры, а также в существенном влиянии на точность измерения горизонтальных углов отклонения от вертикали оси вращения инструмента.

При углах наклона выработок до 55° в съемочных работах обычно используют теодолиты с центральной трубой. Подвесные теодолиты целесообразно применять в горных выработках с углом наклона до 65° . Выработки, имеющие наклон более 65° , снимают теодолитами с внецентренной трубой или с применением коленчатых насадок.

Распространенным способом ориентирной съемки крутопадающих выработок является способ несвободного отвеса, который исполь-

зуется, когда выработки основного и ориентируемого горизонтов имеют такое же направление, как и наклонная выработка. Сущность способа (рис. 151) заключается в том, что в выработке на верхнем горизонте в точке B закрепляют жилку из полиамидной смолы или мягкую проволоку, на нижний конец которой на основном горизонте подвешивают груз P . Отвес двумя оттяжками AC на верхнем горизонте и DE на нижнем горизонте «ломают» в точках C и D . При этом желательно обе растяжки располагать в одной вертикальной плоскости.

Под точками A верхнего и E нижнего горизонта устанавливают теодолиты или угломеры. Наблюдая в зрительную трубу, перемещают точку закрепления отвеса B до тех пор, пока направление AB не совпадет с вертикальной нитью сетки нитей зрительной трубы угломерного прибора. После образования отвесом и растяжками вертикальной плоскости для передачи дирекционного

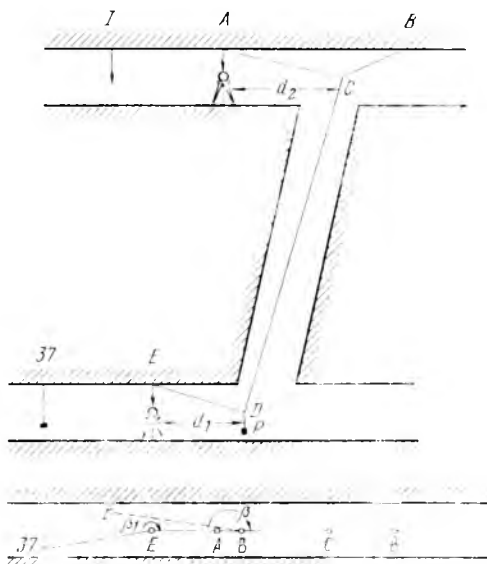


Рис. 151

угла с горизонта на горизонт производят измерения одним полным повторением примычных углов β и β_1 приборами, установленными в точках A и E . Рулеткой дважды измеряют расстояния d_1 , d_2 , CD и расстояния от точек A и E до горизонтальной оси вращения приборов. Угол наклона α отрезка несвободного отвеса CD измеряют всячим полукругом с точностью до $15'$.

Дирекционный угол ориентируемой стороны вычисляют по формуле

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{37-E} + \beta_1 - \beta \pm 180^\circ.$$

Координаты точки A вычисляют по формулам

$$x_A = x_E + (d_1 + CD \cos \alpha - d_2) \cos \alpha_{ED},$$

$$y_A = y_E + (d_1 + CD \cos \alpha - d_2) \sin \alpha_{ED}.$$

Съемка очистных выработок выполняется для определения размеров, формы и положения выработанного пространства относительно других горных выработок, а также для получения информации, характеризующей структуру и свойства залежи в границах очистной выработки. В зависимости от особенностей очистных выработок, условий разработки месторождения съемку очистных выработок производят с помощью инструментальной съемки или рулеточным замером, но так, чтобы погрешность определения основных размеров выработанного пространства за месяц не превышала 1 : 100.

Съемка очистных забоев или замер выработанного пространства должны выполняться не реже одного раза в месяц по состоянию на первое число месяца или на момент погашения очистных выработок. В тех случаях, когда скорость подвигания лавы более 30 м в месяц, измерение мощности пласта производят не реже одного раза в декаду.

В качестве угломерных приборов применяют теодолиты технической точности (обычные и подвесные), угломеры.

При разработке месторождений с пологим и наклонным залеганиями пластов съемка очистных забоев должна быть инструментальной. Положение очистного забоя при крутом падении с выемкой полезного ископаемого по простираанию можно определять измерениями расстояний от забоя до точек съемочных ходов, проложенных в просеках или штреках верхнего и нижнего горизонтов. Съемку очистных забоев при использовании потолкоуступных систем выполняют рулеточным замером от точек съемочных ходов.

Для съемки лав на пластах пологого и наклонного падения вдоль линии забоя прокладывают съемочный ход, от вершин или сторон которого рулеткой определяют положение забоя, размеры оставленных целиков, участков, заложенных породой, бутовые полосы и т. п., а также измеряют мощность пласта, угол его падения и делают зарисовки особенностей строения пласта, оформляемые в абрисе.

Съемка недоступных пустот. При разработке рудных месторождений в ряде случаев после выемки полезного ископаемого и в ре-

зультате проведения подземных транспортных выработок сечения в недрах образуются пустоты больших размеров. Многообразие горнотехнических условий предопределили следующие съемки выработок большого объема;

съемки, основанные на тахеометрическом принципе определения координат недоступных пространств;

съемки, основанные на фотограмметрических принципах определения координат;

съемки, в которых определение координат производят путем преобразования физических величин в геометрические.

Тахеометрический метод в своей основе имеет полярную пространственную (сферическую) систему координат. Определение положения точек снимаемого объекта относительно точки стояния прибора производят путем измерения двух углов (горизонтального и вертикального) и одного расстояния.

Для тахеометрической съемки очистных выработок находит широкое применение прибор BRT-006.

В последние годы для съемки камер стали широко внедряться светопроекционные тахеометры, дальнометры которых работают на принципе двух известных в пространстве направлений, создаваемых зрительной трубой и световым проектором. В зависимости от взаимосвязи этих двух систем дальнометры называются проекционными, визуальными или проекционно-визуальными.

К визуальным дальнометрам принадлежит прибор Д-1М, предназначенный для съемки подземных камер. Он позволяет измерять расстояния от 2 до 300 м. Погрешности измерения расстояний длиной до 50 м составляют 1:100—1:200. В условиях рудничной атмосферы точность прибора несколько ниже.

В маркшейдерской практике в последние годы для измерения недоступных расстояний в качестве источника, создающего световую марку, стали внедряться лазерные установки. Применение их, во-первых, увеличивает расстояния, на которые возможно производить измерения, во-вторых, повышает точность измерений.

Лазерный угломер-тахеометр ТВЛ-1 (рис. 152) предназначен для производства тахеометрической съемки очистных камер. Дальнометр прибора состоит из визуальной и проектирующей частей. Визуальная часть включает зрительную трубу 1 с фокусирующим

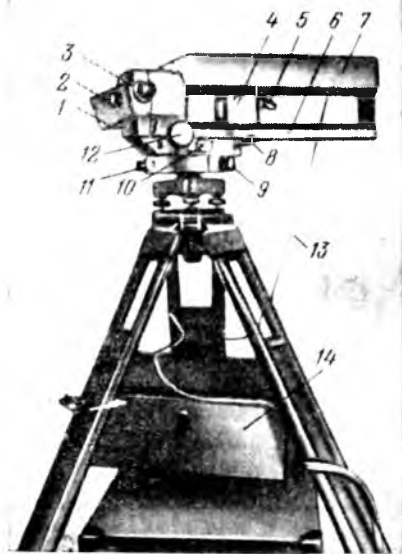


Рис. 152

винтом 2 и окуляром 3, пентапризму 4 с отсчетным микроскопом 5 и базисной линейкой 6. Проектирующая часть состоит из корпуса 7 с размещенным в нем лазером ЛГ-78.

Угломерная часть имеет вертикальный и горизонтальный круги, отсчеты по которым берутся через окуляр и по микроскопу 8. Горизонтальный круг снабжен зажимным и наводящим винтом 9. Прибор имеет оптический отвес 10, цилиндрический уровень 11. Дальномерная часть в вертикальной плоскости поворачивается при помощи винта 12. Кабелем 13 прибор подключается к аккумуляторному блоку 14.

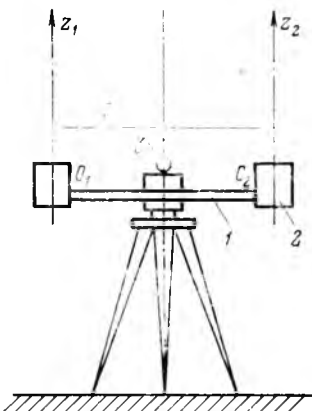


Рис. 153

Съемка камер прибором ТВЛ-1 производится вертикальными профилями, при этом измеряются горизонтальный и вертикальный углы и расстояния до пикета.

Производство полевых работ при съемке различного вида приборами, использующими принцип тахеометра, практически ничем не отличается от обычной тахеометрической съемки. Прибор устанавливают в точке съемочной сети, ориентируют на другую точку съемочной сети, затем последовательно осуществляют съемку всех характерных точек стен, кровли и почвы камер. Перед наведением зрительной трубы на точку прое-

ктируют световую марку. Съемку производят со всех подходящих точек, которые необходимо использовать для того, чтобы снять полностью камеру. По полевым замерам вычисляют горизонтальные расстояния до снимаемых точек и их отметки. Этих данных достаточно для составления плана подземной камеры и ее поперечных сечений.

Фотограмметрический метод съемки подземных пустот был предложен Н. А. Гусевым в начале 50-х годов, сущность его заключается в том, что в безопасном месте в камере или в подходящей выработке на штативе (рис. 153) устанавливается базисная штанга 1, на концах которой укреплены две широкоугольные короткофокусные фотокамеры 2. Оси камер параллельны между собой. Базисную штангу с помощью визирного диоптра 3 устанавливают перпендикулярно к направлению стороны съемочного обоснования. В результате фотографирования получают два изображения горной выработки. Рассматривая одновременно пару снимков через стереоскоп, наблюдают стереомодель снимаемого объекта, уменьшенную против натуры в отношении b'/b , где b' — длина глазного базиса, b — длина базиса фотографирования.

При применении этого метода в принципе решается прямая засечка, особенности которой заключаются в том, что два перекрывающихся снимка составляют стереоскопическую пару.

Физические методы маркшейдерских съемок подземных пустот основаны на принципах преобразования акустических, радио- и световых волн в величины, характеризующие направление и длину измеряемого расстояния.

Для измерения пустот широко используются звуковые волны (звуколокация). Впервые звуколокация нашла применение в ультразвуковом приборе УЗП-2, предназначенном для профилирования шахтных стволов, позволяющем производить измерение небольших расстояний со средней квадратической погрешностью ± 20 мм.

Большое распространение звуколокация получила при съемках камер выщелачивания соли и вертикальных горных выработок большого поперечного сечения. Скважинный звуколокатор «Луч», предназначенный для съемки пустот, заполненных соляным раствором, находит широкое применение, он смонтирован на автомашине и состоит из двух частей: скважинного снаряда и приборной стойки.

Измерение радиусов камеры осуществляют звуколокатором, который на нужной глубине автоматически плавно поворачивается вокруг вертикальной оси. Ультразвуковые волны распространяются от излучателя до стенок камер и, отразившись от них, попадают на приемник акустической системы. Сигналы после их регистрации в приемнике преобразуются, усиливаются в электронно-ламповом блоке звуколокатора и в виде электрических импульсов передаются по кабелю в наземную станцию.

Для маркшейдерского контроля размеров крупных вертикальных выработок, проводимого в воздушной среде, разработан звуколокационный профилограф рудоспусков ЗПР-2, у которого подъемное устройство и регистрирующую аппаратуру устанавливают около устья рудоспуска. Механизм подвески позволяет производить разворот акустической системы на любой угол, регистрируемый по круговому лимбу. В процессе съемки с помощью электроакустического блока производят измерения расстояний от прибора до стенок рудоспуска. Отсчеты на экране электронно-лучевого осциллографа производятся оператором визуально по специальной шкале.

Съемка выработок с помощью импульсного светопрофиля ФС-6. Импульсный светопрофиль ФС-6 состоит из блока питания и импульсной лампы-вспышки ИФК-120, катушки с кабелем синхронизации и четырех масштабирующих штанг с марками на концах. Свет от лампы-вспышки с помощью торондальной линзы собирается в световую плоскость, перпендикулярную к оси прибора, которая освещает узкую полосу поперечного сечения выработки.

При съемке выработки намечают ее ось и закрепляют в начале и в конце снимаемого участка. На этой оси закрепляют несколько временных точек, на которых последовательно устанавливают на штативе светопрофиль. Его световая плоскость должна

быть перпендикулярной к оси съемки. На некотором расстоянии от светопрофиля на оси съемки закрепляется фотоаппарат, соединенный со светопрофилем кабелем синхронизации. При фотографировании одновременно получают изображение сечения выработки, освещенное лампой-вспышкой и масштабирующие штанги. Полученное на негативе изображение контура выработки и масштабирующих штанг при камеральной обработке трансформируют в заданный масштаб.

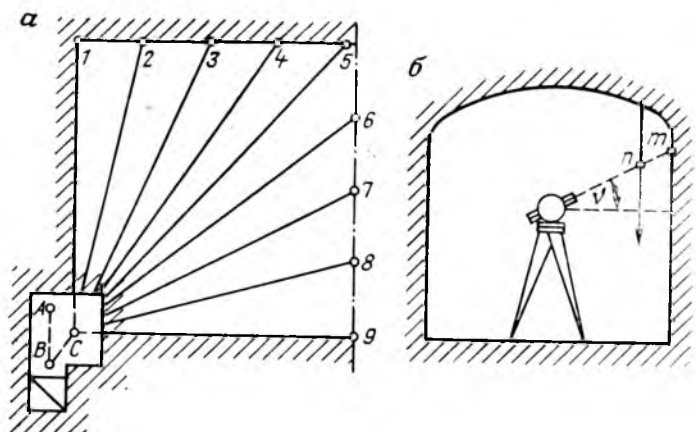


Рис. 154

Средняя погрешность определения точек снятого контура выработки составляет 10—20 см.

Съемка глубоких скважин и минных выработок. Точное расположение центров, осей минных выработок и взрывных скважин в соответствии с проектом буровзрывных работ непосредственно связано с качеством съемочных и разбивочных работ, осуществляемых маркшейдерами.

Методика съемки глубоких взрывных скважин зависит от технологии бурения, к которой следует отнести направление бурения (горизонтальное, наклонное, вертикальное), расположение скважин (параллельное, веерообразное) и бурильного оборудования.

Съемку устьев глубоких скважин производят от пунктов съемочной сети 1 и 2 разрядов. Погрешность в определении осей скважин в горизонтальной и вертикальной плоскостях не должна превышать 30', в определении длины скважин 0,2 м.

При веерообразном расположении скважин их бурят из камер, сооружаемых таким образом, чтобы точка установки в них бурильных станков *С* располагалась на пересечении границ (в плане) блока (рис. 154, а). После окончания проходки камеры производят съемку, в результате которой помимо контуров камеры определяют положение направления *АВ*, что позволяет вычислять координаты точки *С*. По полученным данным определяют горизонтальный угол *АВС* и расстояние *ВС* для разбивки в натуре точ-

ки C . В кровле камеры закладывают точку C , под которой устанавливают угломерный прибор, ориентируют его относительно направления CB и задают направление будущих скважин. Эти направления закрепляют на деревянных брусках, установленных под кровлей камер. При забурировании из точек на брусках опускают отвесы, по которым осуществляется ориентировка скважин в плане.

Если необходимо задать направление наклонным скважинам, в камере в точке C устанавливают угломерный прибор на одной высоте с осью вращения бурильного станка. После закрепления отвеса на деревянном бруске и, таким образом, фиксации направления в горизонтальной плоскости на вертикальном круге откладывают необходимый угол наклона и на стенке камеры и отвесе отмечают точки m и n (рис. 154, б), которые определяют наклон будущей скважины. После бурения веера скважин проводится контрольная съемка.

При задании направления параллельным скважинам (рис. 155) в горной выработке в створе направления MN последовательно разбивают точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, в которых устанавливают угломерный прибор и откладывают углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$. В направлении луча визирования на стенке выработки делают отметку (чаще всего мелом) центра скважины, возле которой записывают ее номер. По окончании бурения скважин производят их контрольную съемку.

Вертикальные скважины бурят из выработок сверху вниз. Как правило, их разбивку осуществляют от точек съемочных ходов. Глубину вертикальных скважин измеряют с помощью рулеток или специального троса, на котором через 1 м закреплены марки и который опускают в скважины с небольшой катушки.

Перенесение в натуру проекта и съемку минных выработок производят от точек и сторон съемочных ходов методом ординат, полярным методом или проложением висячих ходов.

§ 166. Маркшейдерские работы при проходке выработок

При проведении выработок маркшейдерская служба обеспечивает указание направлений и мест заложения подземных выработок, контроль их проведения, исполнительную съемку, составление и пополнение маркшейдерских чертежей.

Прямолинейное направление задается из начальной точки выработки и продолжается по мере ее проходки. В горизонтальной

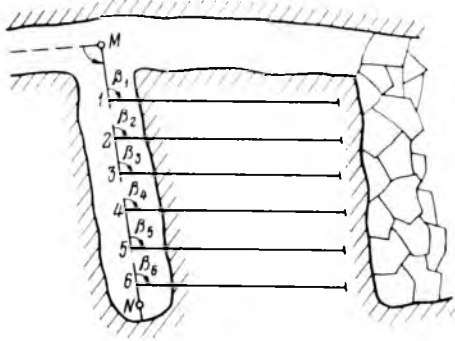


Рис. 155

плоскости направление задается путем отложения теодолитом в натуре горизонтального проектного угла. По направлению визирного луча теодолита закрепляется не менее трех точек на расстоянии 1—3 м друг от друга. Подвешенные на этих точках отвесы создают створ, который используется проходчиками при проведении выработки. Для задания направлений может также использоваться специальный указатель с обычным (УНС-2) или лазерным источником света (ЛУН-3, ЛУН-7).

Задание направлений криволинейным выработкам производится способом перпендикуляров. Для этого круговую кривую криволинейного участка, представляющую собой ось выработки, заменяют вписанными в нее хордами. Длины хорд определяют по формуле

$$l = 2R \sin \varphi / 2n, \quad (23.5)$$

углы при начальной и конечной точках кривой —

$$\beta = 180^\circ - \varphi / 2n, \quad (23.6)$$

в промежуточных точках —

$$\beta_1 = 180^\circ - \varphi / n, \quad (23.7)$$

где φ — угол поворота выработки; R — радиус закругления.

На чертеже крупного масштаба (1:50—1:20) составляется план криволинейного участка, на который наносятся хорды по параметрам, рассчитанным в формулах (23.1), (23.2), (23.3). С полученной схемы графически через интервалы 1—2 м определяют расстояния по перпендикулярам от хорд до стенок выработок.

В начале криволинейного участка маркшейдер задает направление первой хорды, опираясь на которые проходчики, руководствуясь длинами перпендикуляров, ведут проходку выработки.

Задание направления выработки в вертикальной плоскости осуществляется осевыми или боковыми реперами. Используются также световые указатели направлений.

Положение исходных реперов, как правило, определяется при помощи нивелира. Задание направления в выработках с углом наклона до 5° производится нивелиром, более 5° — теодолитом.

При использовании нивелира в стенке выработки закладываются стенные (боковые) реперы с уклоном, равным проектному уклону выработки. Например, на некоторой высоте d от почвы выработки закрепляют репер R_1 (рис. 156) и определяют его отметку H_1 . После этого на расстоянии 5—6 м от репера R_1 закладывается репер R_2 на высоте, вычисляемой по формуле

$$H_2 = H_1 + il,$$

где i — заданный уклон; l — горизонтальное расстояние между реперами R_1 и R_2 .

Проектное положение выработки определяется откладыванием отрезка d от репера R_2 .

При углах наклона выработки свыше 5° задание направления осуществляют теодолитом, который устанавливают под маркшейдерской точкой, или репером с известной высотой. Затем трубу теодолита ориентируют по направлению оси выработки и на вертикальном круге устанавливают угол ν , соответствующий проектному углу наклона выработки.

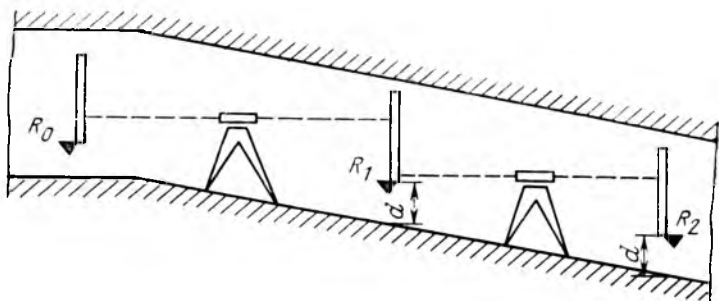


Рис. 156

§ 167. Проведение выработок встречными забоями

Все виды сбоек принято классифицировать на сбойки по проводнику, когда выработки проводят, придерживаясь висячего или лежащего бока залежи, и сбойки без проводника. Последние, в свою очередь, подразделяются на три типа: сбойка горизонтальных или наклонных выработок одной шахты, сбойка выработок, не сообщающихся в шахте, сбойка вертикальных выработок.

Задачи маркшейдерской службы при проведении выработок встречными забоями заключаются в определении направления каждого забоя в горизонтальной и вертикальной плоскостях и проверке соблюдения заданных направлений.

Рассмотрим выполнение маркшейдерского обслуживания сбойки на примере проведения квершлага AB (рис. 157) между откаточными штреками, проведенными по пласту M и пласту N .

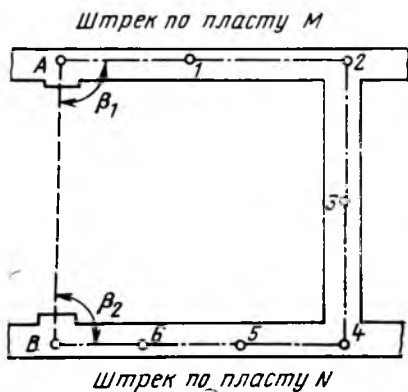


Рис. 157

Для задания направления квершлага производится подготовительные и вычислительные работы. Подготовительные работы включают двукратную прокладку теодолитного хода между точками A и B . По результатам измерений углов и длин сторон по-

лигонометрического хода вычисляют дирекционные углы всех его сторон и координаты вершин, в том числе дирекционные углы α_{A1} и α_{B6} и координаты x_A, y_A и x_B, y_B . Вычислительные работы включают вычисление дирекционного угла направления оси квершлага по координатам точек A и B по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Горизонтальные углы β_1 и β_2 при точках A и B определяют из выражений

$$\beta_1 = \alpha_{AB} - \alpha_{A1}; \quad \beta_2 = \alpha_{B6} - \alpha_{B1}.$$

Для задания направления квершлага в точках A и B последовательно устанавливают теодолит и откладывают вычисленные горизонтальные углы β_1 и β_2 . По направлению визирной оси трубы теодолита закрепляют три маркшейдерские точки с отвесами, обозначающими в натуре ось квершлага.

Для определения направления выработки в вертикальной плоскости между точками A и B прокладывают нивелирный ход и определяют z_A и z_B — отметки почвы (головки рельсов) в точках A и B , по которым вычисляют горизонтальное проложение

$$l_{AB} = (y_B - y_A) / \sin \alpha_{AB} = (x_B - x_A) / \cos \alpha_{AB}$$

и угол наклона квершлага

$$i = \operatorname{tg} \delta = (z_B - z_A) / l_{AB}.$$

Угол наклона выработки при проходке контролируется при помощи ватерпаса или стенных реперов.

§ 168. Лазерная система направления комбайнов при проходке выработок

При комбайновой проходке протяженных горных выработок машинист обычно управляет комбайном, ориентируясь по линии, нанесенной на кровлю. При этом неизбежны погрешности в поддержании необходимого направления. Автоматическое управление комбайном повышает точность ведения комбайна, для этого в цепь автоматической системы управления вводятся чувствительные элементы, вырабатывающие сигналы коррекции. Например, в штреке устанавливается маломощный лазер, который используется для создания опорной плоскости, параллельной заданному пути движения машины. На табло с индикаторами, находящимися в поле зрения оператора, появляется информация по направлению и положению комбайна, получаемая с помощью набора фоточувствительных элементов, снабженных соответствующей оптикой.

Система коррекции направления вырабатывает командные сигналы для машиниста комбайна, которые он наблюдает на табло. Обычно такая система управления состоит из лазера, блока датчиков, индикаторного табло и блока питания. Лазер устанавли-

вается в выработке так, чтобы его луч был параллелен осевой линии, а сам он смещен в сторону относительно комбайна, находящегося на осевой линии. Датчики табло и блок питания устанавливаются на самом комбайне.

Световой луч коммутируется с определенной частотой, и электронное устройство блока датчиков реагирует только на сигналы этой частоты. Другие световые воздействия, например, свет фары комбайна или головных ламп горняков, не влияют на показания приборов.

Блок датчиков, содержащий несколько цилиндрических фотоэлементов, фиксируют световой луч на одном или двух фотоэлементах. Если проходка ведется в заданном направлении (параллельно световому лучу), свет фокусируется в центре фотоэлементов и сигналы равны. Если направление проходки не параллельно световому лучу, две половины секционного фотоэлемента освещаются неодинаково, и сигналы не равны друг другу. Электронное устройство в блоке датчиков вырабатывает сигнальное напряжение, пропорциональное угловой ошибке, которое подается на индикатор.

§ 169. Правила безопасности при выполнении маркшейдерских съемок

Ответственные маркшейдерские съемки выполняются маркшейдером совместно с рабочими маркшейдерского бюро. Проведение простейших съемок допускается самостоятельно рабочими маркшейдерских бюро.

Маркшейдерские работы производятся в обстановке, характеризующейся повышенной опасностью: стесненные условия и наличие движущегося транспорта, возможность обрушения пород из кровли и стенок выработок, частое изменение места работы и удаленность исполнителей друг от друга, работа маркшейдеров со сложными приборами, требующими большого к ним внимания, и т. п. В связи с этим для безопасного ведения работ все исполнители должны быть предельно внимательными при съемках и строго соблюдать правила поведения людей в шахте (руднике).

Особенности мер безопасности, связанные с подземными маркшейдерскими съемками, заключаются в следующем.

1. В выработках, редко посещаемых людьми, а также в выработках, отличающихся повышенной опасностью (плохое состояние кровли, неудовлетворительная вентиляция, интенсивный транспорт), маркшейдерские съемки должны производиться под непосредственным руководством участкового (главного) маркшейдера.

2. В глухих выработках маркшейдерам разрешается проводить съемки только при работе вентиляторов частичного проветривания. На газовых шахтах заходить в такие выработки и производить в них измерения возможно только после измерения содержания метана.

3. В выработках, оборудованных конвейерной доставкой, установку приборов и производство съемок следует выполнять только по стороне для прохода людей.

4. При съемке в выработках крутого падения особое внимание должно быть уделено предотвращению падения приборов, кусков породы.

5. Пункты маркшейдерской съемки необходимо закладывать в местах с хорошим состоянием кровли и в стороне от рельсовых путей и троллейных проводов.

6. Нельзя производить измерения длин рулеткой через работающие механизмы и движущийся состав, также следует избегать соприкосновения стальной рулетки с троллейными проводами.

7. Запрещается вскрывать в газовых шахтах электронные приборы, недопустимо закрепление маркшейдерских точек и установка приборов в зоне действия работающих механизмов и машин.

Глава 24

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СЪЕМКИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

§ 170. Общие сведения

Вертикальные съемки производятся на горных предприятиях для получения отметок отдельных точек, заложенных в подземных выработках, для задания выработкам определенного уклона, построения профилей и вертикальных разрезов по различным сечениям горных выработок, определения отметок характерных точек залежи (пласта) полезного ископаемого. Эта съемка может вестись геометрическим или тригонометрическим нивелированием. В выработках с небольшим углом наклона (до $5-8^\circ$) применяется геометрическое нивелирование, в выработках, имеющих угол наклона более 8° , — тригонометрическое нивелирование.

Вертикальные съемки в шахтах (рудниках) приводятся к уровню Балтийского моря. В пределах каждого шахтного поля на промплощадке закладывается три репера или больше, высоты которых определены нивелированием не ниже IV класса. От них передается координата z на реперы, расположенные в околоствольных выработках. От последних развиваются нивелирные опорные сети по всему шахтному полю, которые в дальнейшем являются базой для проведения вертикальной съемки подземных выработок.

Под землей пунктами высотного обоснования являются реперы, закладываемые в коренных породах в почве, боках и кровле выработки, а также в фундаментах стационарных подземных установок. Реперы, закладываемые в почву или кровлю, могут быть такими, как постоянные пункты плановой подземной маркшейдерской опорной сети, и могут быть специальными. Реперы чаще всего закладываются в почву выработок, так как в этом случае они меньше испытывают деформации, причем они закладываются на

каждом горизонте горного предприятия в местах, наименее подверженных влиянию очистных работ. Как правило, это выработки околоствольного двора и основные горнокапитальные выработки. Для высотного обоснования используются также постоянные пункты теодолитных ходов.

Для контроля за неподвижностью реперов они закладываются группами из двух-трех реперов с расстоянием между ними 20—50 м, между группами — не более 500 м.

Для опознавания реперов к стойкам крепи прикрепляются марки с номерами реперов; если реперы расположены в выработках, в которых крепление марок невозможно, на стенках краской делаются соответствующие надписи, заменяющие информацию, содержащуюся на марках.

Высотные опорные сети прокладываются между двумя исходными реперами, сомкнутыми, висячими в прямом и обратном направлениях. Их пополнение при масштабе съемки 1 : 2000 производится через 500 м подвигания основных выработок, при съемке в масштабе 1 : 1000 — через 300 м. Невязка ходов геометрического нивелирования при создании высотных опорных сетей не должна превышать $\Delta h \leq 50\sqrt{L}$, мм (L — длина хода, км). При создании высотных опорных сетей с помощью тригонометрического нивелирования невязка ходов не должна превышать $\Delta h \leq 10\sqrt{n_1 + n_2}$, мм (n_1 и n_2 — число сторон соответственно прямого и обратного ходов).

Высотное обоснование съемочных сетей 1 и 2 разрядов обеспечивается тригонометрическим нивелированием, выполняемым одновременно с прокладкой съемочных ходов, в съемочных сетях 1 разряда вертикальные углы измеряют теодолитом в прямом и обратном направлениях, превышение из прямого и обратного ходов не должно различаться более чем на 5 см. В съемочных сетях 2 разряда измерение вертикальных углов возможно как теодолитом, так и угломером, причем расхождение в превышениях прямого и обратного измерения не более 10 см.

Невязка съемочных сетей 1 разряда, выполненных тригонометрическим нивелированием, не должна превышать $25\sqrt{n}$, мм; — 2 разряда $50\sqrt{n}$, мм (n — число сторон хода).

§ 171. Производство геометрического нивелирования в подземных условиях

Геометрическое нивелирование проводится в горных выработках, имеющих угол наклона не более 5—8°, и выполняется способом из середины, неравенство плеч при расстоянии между рейками 100 м не должно превышать 7—8 м. Отсчеты по рейкам берутся с точностью до 1 мм, расхождения в превышениях на станции — не более 10 мм. Для нивелирования используются нивелирные рейки РН4 и РНТ.

Выполнение геометрического нивелирования не отличается от нивелирования на поверхности, однако схемы нивелирования в

подземных выработках отличаются большим разнообразием, так как реперы могут располагаться как в кровле, так и в почве выработок.

Возможны следующие схемы геометрического нивелирования в подземных выработках.

1. Нивелирование ведется по реперам, расположенным в почве выработки (рис. 158, а). В данном случае превышение пункта *В* над пунктом *А* определяется разностью отсчетов по рейкам, установленным на задней и передней точках: $h = a - b$ (здесь h — пре-

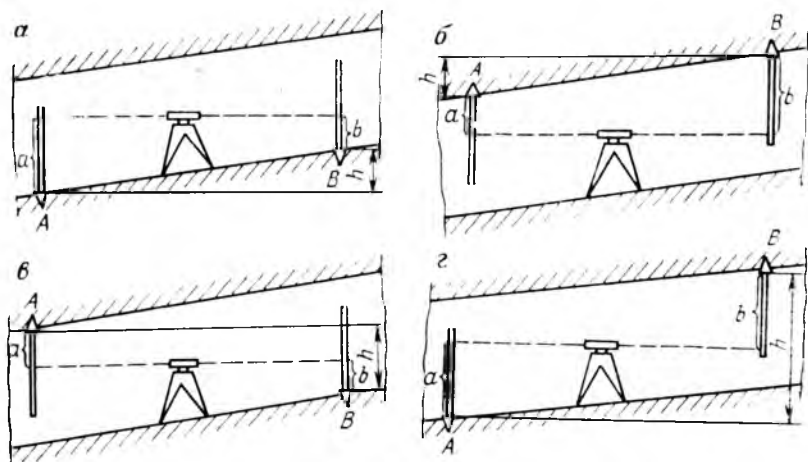


Рис. 158

вышение, a — отсчет по задней рейке, b — отсчет по передней рейке).

2. Нивелирование ведется по реперам, заложенным в кровлю выработки (рис. 158, б). Превышение h равно разности отсчетов, сделанных по рейкам, подвешенным на передней и задней точках: $h = b - a$.

3. Нивелирование ведется по реперам, из которых задний закреплен в кровле, а передний — в почве выработки (рис. 158, в). При такой схеме расположения реперов превышение равно сумме отсчетов по рейкам со знаком минус: $h = -(a + b)$.

4. Нивелирование ведется по реперам, из которых задний закреплен в почве, а передний — в кровле выработки (рис. 158, г). Превышение переднего репера над задним равно сумме отсчетов по обеим рейкам: $h = a + b$.

Рассмотренные случаи могут быть объединены общим правилом: превышение между реперами при любой схеме нивелирования равно заднему отсчету минус передний отсчет, при этом отсчет по рейке репера, расположенного в почве выработки, считается положительным, а отсчет по рейке репера, расположенного в кровле выработки, — отрицательным.

Например, задний репер находится в почве, передний — в кровле, откуда отсчет b по переднему реперу имеет знак минус, отсчет a по заднему — плюс. Превышение с учетом знаков $h = a - (-b) = a + b$.

В маркшейдерской практике часто выполняется вертикальная съемка откаточных путей. В слабонаклонных и горизонтальных выработках она выполняется с помощью геометрического нивелирования, которое ведется по пикетным точкам, разбиваемым тесьмной рулеткой через каждые 10 или 20 м. Пикеты отмечаются мелом на одном из рельсов и закрепляются каким-либо образом на боковых стенках. Расстояние от связующего пикета до нивелира не должно превышать 50 м. При нивелировании шахтных путей в качестве исходного репера может служить последняя пикетная точка предыдущих нивелировок с обязательным контролем последнего превышения, которое не должно отличаться более чем на 1 см. Одновременно с выполнением нивелирования измеряют высоту выработки на каждой пикетной точке.

Запись результатов нивелирования пикетных точек производится в полевой журнал, образец которого показан в табл. 30.

Таблица 30

Станции	Пункты	Отсчеты по рейке		Превышение, мм	Среднее превышение, мм	Примечания и эскизы
		задний	передний			
1	21—22	1018 1111	1169 1264	—0151 —0153	—0152	
2	22—23	1212 1200	1316 1302	—0104 —0102	—0103	
Постраничный контроль		$\Sigma Z = 4541$	$\Sigma П = 5051$	$\Sigma h = -0510$	$\Sigma h_{\text{ср}} = -0255$	

Съемка откаточных путей в выработках с большим углом наклона производится с помощью теодолита, зрительную трубу которого устанавливают под углом наклона выработки.

§ 172. Тригонометрическое нивелирование

В тех случаях, когда угол наклона горных выработок превышает $5-8^\circ$, используют тригонометрическое нивелирование, которое выполняется теодолитами с точностью отсчетных приспособлений вертикального круга не ниже $30''$.

Пусть имеются два расположенных в почве пункта A и B (рис. 159, а). Для определения превышения пункта B над пунктом A теодолит можно расположить как в точке A , так и в точке

Журнал измерения длин линий _____, стр. _____

Журнал измерения углов _____, стр. _____

Исходные данные _____ Каталог _____ стр. _____

Стороны хода	Измеренный угол наклона v	Приведенная длина стороны s , м	$\operatorname{tg} v$	$s \operatorname{tg} v$	Высота инструмента i , м
20—21	$+22^{\circ}10'20''$	44,814	0,40738	18,263	1,24
21—22	$-21\ 24\ 00$	44,815	0,391896	17,563	1,58

В. Поместим теодолит вначале в точке *А*. Над пунктом *В* центрируется отвес, на котором должна быть отмечена или выбрана какая-нибудь точка (например, точка входа шнура в отвес, острие

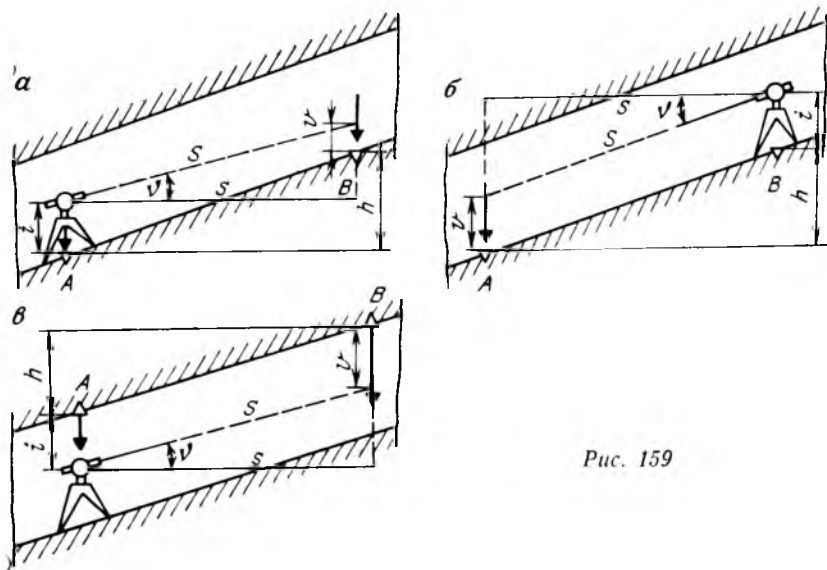


Рис. 159

отвеса и т. п.), на которую производят визирование зрительной трубы.

Вычисление превышения для случая, показанного на рис. 159, *а*, может производиться по двум формулам, в одной из которых используются горизонтальное проложение s и тангенс угла накло-

ход

Дата « ————— » ————— 19 — г.

Вычислял —————

Высота визи- рования v , м	Превыше- ние h' , м	Среднее пре- вышение $h_{\text{ср}}$, м	Поправка $\delta_{h'}$, м	Исправленное превышение h , м	Высота пункта $H_i = H_{i-1} +$ $+h$, м	Пункт
1,30	18,32	18,32	+0,01	18,33	-101,71	20
0,82	-18,32				-83,38	21

на, а в другой — синус угла наклона и наклонная длина S , т. е.

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v; \quad (24.1)$$

$$h = S \sin v + i - v. \quad (24.2)$$

Если же теодолит поместить в точке B , которая выше точки A (рис. 159, б), то формулы для определения превышения записываются следующим образом:

$$h = s \operatorname{tg} v + v - i; \quad (24.3)$$

$$h = S \sin v + v - i. \quad (24.4)$$

Приведенные выше случаи показывают, что вид формул при использовании $\sin v$ или $\operatorname{tg} v$ одинаковый, меняется только вид тригонометрической функции. Ниже будем рассматривать только одну запись: с синусом угла наклона (24.4).

Пусть имеются две точки A и B , расположенные в кровле выработки (рис. 159, в). Согласно рисунку получим

$$h = S \sin v + v - i. \quad (24.5)$$

Если визирование производить на точку B , т. е. в случае отрицательного угла наклона, эта формула приобретает вид

$$h = s \sin v - v + i. \quad (24.6)$$

Если точки тригонометрического нивелирования A и B расположены в кровле выработки, то превышение определится по формуле

$$h = S \sin v - v + i. \quad (24.7)$$

Возможен случай, когда точка A расположена в кровле, а точка B — в почве выработки. Превышение в этом случае равно

$$h = S \sin v + v + i. \quad (24.8)$$

Измерения высоты инструмента i и высоты визирования v производятся рулеткой с погрешностью до 1 мм.

Измерение длин линий при тригонометрическом нивелировании выполняется в соответствии с требованиями для линейных измерений в подземных полигонометрических ходах.

Вертикальные углы измеряются одним приемом в прямом и обратном направлениях. Контролем правильности измерений является постоянство места нуля (места горизонта). Допустимое расхождение между значениями места нуля для одной станции — двойная точность отсчетного приспособления.

Каждое превышение определяется дважды — из прямого и обратного ходов. Разность превышений для одной и той же линии не должна превышать $0,05S$ см (где S — длина линии, м).

Превышение из двух измерений прямого и обратного направлений определяется как среднее арифметическое значение. Поправки δ_h в вычисленные средние превышения получают путем распределения невязки хода на каждое превышение пропорционально длинам сторон.

Вычисление высот пунктов тригонометрического нивелирования производится в журнале, приведенном в табл. 31.

Глава 25

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА КАРЬЕРАХ

§ 173. Общие сведения

Основные задачи маркшейдерской службы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых заключаются в определении плановых объемов добычи и вскрыши; составлении горной графической документации, обеспечивающей нормальную деятельность предприятия; участии в планировании буровзрывных работ; проведении контроля по соблюдению параметров систем разработки и размеров сооружений; осуществлении учета добычи полезного ископаемого, объема пород вскрыши, движения запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого; проведении наблюдений за сдвижением бортов карьеров и разработке мероприятий по их укреплению. Результаты маркшейдерской съемки используются также для составления календарных планов развития горных работ.

Объектами съемок на карьерах являются:

— бровки уступов, съездов, разрезных траншей, разведочные, дренажные и буровзрывные выработки, нагорные водоотводные канавы и пр.;

— контакты висячего и лежащего боков с полезным ископаемым, тектонические нарушения, границы участков с различными сортами руд или различной зольностью угля, точки опробования, границы оползней и т. п.;

— сооружения промплощадки, подъемники, эстакады, транспортные пути в карьере, на отвалах, подъездные пути, линии электропередач, пульпопроводы и т. п.; затопленные выработки, пустоты от подземных работ, зоны пожаров и т. п.

Для правильного выполнения маркшейдерского обслуживания открытой разработки месторождений существенное значение имеют опорные и съемочные сети, обладающие некоторой спецификой, связанной с горной технологией.

§ 174. Опорные и съемочные сети

Маркшейдерские опорные сети при открытом способе разработки строятся в соответствии с требованиями, предъявляемыми к опорным геодезическим сетям. В них могут включаться пункты триангуляции и трилатерации 1, 2, 3 и 4 классов, полигонометрии 1 и 2 разрядов и реперы нивелирных ходов I, II, III и IV классов.

Развитие опорных маркшейдерских сетей производится в следующей последовательности: вначале создается сеть за пределами проектного контура карьера, затем по мере развития горных работ на бортах, а иногда и внутри карьера закладываются опорные пункты, называемые подходными и служащие для создания съемочной сети. Подходные пункты в зависимости от конфигурации карьера, условий местности, способа вскрытия и наличия технических средств могут быть определены методом триангуляции или полигонометрии. Триангуляция используется в тех случаях, когда существует хорошая видимость с опорных пунктов на подходные. Если видимость отсутствует между определяемыми (подходными) и опорными пунктами, но земная поверхность удобна для линейных измерений, целесообразно использовать для создания подходных точек полигонометрию.

К построению съемочных сетей, предназначенных для съемки карьеров отвалов вскрышных пород и земной поверхности, предъявляются следующие требования:

— основные пункты съемочной сети должны равномерно покрывать площадь съемки, их плотность определяется из расчета на 1 км^2 при съемке в масштабе $1:5000$ —4 пункта, в масштабе $1:2000$ —10 пунктов, в масштабе $1:1000$ —16 пунктов;

— на каждом планшете съемки должно быть закреплено постоянными центрами при съемке в масштабе $1:5000$ не менее трех основных пунктов, при съемке в масштабе $1:2000$ не менее двух, при съемке в масштабе $1:1000$ достаточно одного пункта.

В зависимости от рельефа местности, формы карьера в плане, технологии добычи и ряда других причин съемочные сети могут строиться в виде геодезических засечек, аналитических сетей, теодолитных ходов, створных линий, прямоугольной сетки, а также полярным способом. Обычно съемочные пункты располагаются на нижней площадке каждого действующего уступа на расстоянии друг от друга, не превышающем 400 м. Съемочное обоснование обычно отмечают временными пунктами в виде деревянных кольев или металлических стержней, забиваемых в грунт. В скаль-

ных породах их отмечают крестообразными насечками на выступах пород.

Способ геодезических засечек применяется в тех случаях, когда пункты съемочной сети удалены на значительное расстояние, но не более 2 км от пунктов опорной сети. Координаты пунктов, определяемых прямой или боковой засечкой, вычисляют из двух треугольников, а обратной засечкой — из двух вариантов. Во всех случаях за окончательное значение координат принимают среднее арифметическое из двух определений.

Способ аналитических сетей применяется на карьерах, имеющих оба борта подвижными. Аналитические сети строятся в виде цепочек треугольников или геодезического четырехугольника, центральной системы и т. п., опирающихся на стороны и пункты опорной сети. Наибольшее распространение получили цепочки треугольников и центральные фигуры. Последние применяются для создания съемочной сети на нижних горизонтах небольших по площади карьеров или отдельных участков, цепи треугольников — на карьерах вытянутой формы, имеющих большую глубину. Форма треугольников должна быть близкой к равносторонней. Углы при определяемых точках не должны быть более 120 и менее 30°, длины сторон треугольников не должны быть менее 300 и более 1000 м. Допустимой угловой невязкой в треугольниках с длиной сторон до 1000 м считается 1', при длине сторон более 1000 м — 40''.

Способ теодолитных ходов применяется на карьерах, имеющих большую протяженность фронта добычных и вскрышных работ и удобные для линейных измерений площадки уступов. Теодолитные ходы прокладывают между двумя пунктами опорной сети или замкнутыми полигонами, опирающимися на известный пункт опорной сети. При примыкании теодолитных ходов к исходным пунктам измеряют углы между примыкающей стороной теодолитного хода и двумя направлениями на пункты опорной сети. Расстояние между точками теодолитных ходов не должно превышать 400 м и быть менее 100 м. Предельная протяженность хода не более 2,5 км.

Углы в теодолитных ходах измеряются теодолитами типа Т15 двумя приемами. Более точными приборами измерение может производиться одним приемом. При измерении углов целесообразно применение трехштативной схемы. Угловая невязка хода не должна превышать $f_{\beta} = 30'' \sqrt{n}$ (где n — число измеренных углов).

Измерение длин в теодолитных ходах может осуществляться стальными мерными лентами, рулетками, длиномерами; может также определяться косвенными методами, но во всех случаях измерения должны выполняться в прямом и обратном направлениях и разность между двумя независимыми измерениями не должна быть ниже 1 : 1000. Линейная невязка в теодолитных ходах допускается не более 1 : 3000.

Способ створных линий применяется на карьерах, когда фронт работ развивается только в одну сторону и с действующих усту-

пов можно без помех наблюдать опорные точки, закрепленные на неподвижном борту. Способ особенно удобен в тех случаях, когда площадки рабочих уступов имеют положительные превышения над земной поверхностью противоположного борта карьера (рис. 160).

На нерабочем борту прокладывается полигонометрический ход 2 разряда (точки $A, B, C, \dots$). По известным дирекционным углам створных линий $I, II, III, \dots$ вычисляются углы ψ_i и ϕ_i , используемые для задания направления сторон, закрепляемых помимо точек $A, B, C, \dots$ или точками $1, 2, 3 \dots$, или точками $A', B', C', \dots$

В закрепленных створах точки съемочной сети разбиваются следующим образом. Вначале в створе одной из линий закрепляется одна точка (например, P_1), на ней устанавливается теодолит и измеряются два угла α и β . Используя углы α, β, ψ и ϕ и расстояния CD и DE , производят вычисления двух боковых засечек и определение координат точки P_1 . Для выбора оптимальной формы треугольников необходимо, чтобы углы α и β не были меньше 30° . Если углы меньше 30° , возможно визирование на опорные точки, расположенные на следующих створах, например, для точки P_2 визирование на точки B и F .

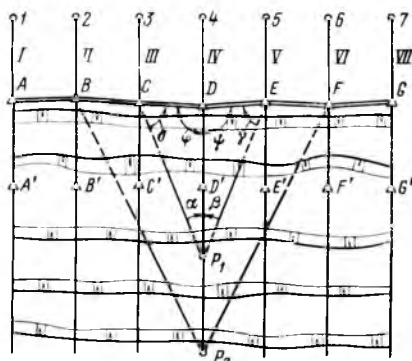


Рис. 160

Полярный способ создания съемочного обоснования целесообразен при использовании светодальномера и наличии хорошего обзора большей части карьера. После измерения расстояний вместо светодальномера устанавливается теодолит и измеряются полярные углы. При расстояниях от опорного до определяемых пунктов менее 1000 м углы измеряются теодолитами типа Т15 двумя приемами, а более точными теодолитами — одним приемом, при расстояниях до 2000 м теодолитами типа Т15 — четырьмя приемами, а более точными теодолитами — двумя приемами. Одновременно с горизонтальными измеряются углы наклона.

Способ создания съемочной сети в виде прямоугольной сетки применяется на неглубоких карьерах и при спокойном рельефе. На месторождении разбивается сеть прямоугольников, закрепляемых маркшейдерскими пунктами. Принято разбивать две системы прямоугольников: основную сетку с размерами сторон 50, 100 или 200 м, и заполняющую сетку, сгущаемую до прямоугольников, с размерами сторон 5—40 м и служащую непосредственно для проведения съемок.

Направление сторон сетки выбирается параллельным (перпендикулярным) главному фронту работ или совпадающим с направлением координат сетки.

Перенос пунктов съемочной сети на нижележащие горизонты

или восстановление уничтоженных пунктов чаще всего производится способом створа, при котором на ближайших сохранившихся пунктах двух взаимно перпендикулярных направлений устанавливаются теодолиты, в пересечении визирных лучей которых закладывается пункт.

§ 175. Высотное обоснование

Для определения высотного положения точек на карьерах разбивается высотное обоснование, пункты которого определяются техническим геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

При геометрическом нивелировании применяют технические нивелиры и нивелирные рейки любого типа. Выполняется нивелирование между пунктами опорной сети, разрешаются висячие ходы, но проложенные в прямом и обратном направлениях.

При нивелировании отсчеты берутся только по одной нити, разность превышений, определенных по черной и красной сторонам реек, не должна превышать 10 мм. Допустимая невязка ходов $50\sqrt{L}$ мм (где L — длина хода, км).

Тригонометрическое нивелирование получило распространение на карьерах с безрельсовым транспортом, а также при создании съемочной сети способом геодезических засечек. Углы наклона измеряются одновременно с горизонтальными углами теодолитами с точностью отсчетных приспособлений вертикального круга не ниже $30''$. Расхождения прямого и обратного превышений не допускаются более $0,04 l$, см (где l — длина линии, м). Невязка хода не должна превышать величины

$$m_n = 0,04 [l] / \sqrt{n}, \text{ см,}$$

где $[l]$ — длина хода, м; n — число линий хода.

Ходы тригонометрического нивелирования прокладываются длиной не более 2,5 км и должны опираться на пункты, высоты которых были определены в результате геометрического нивелирования.

В случаях когда пункты съемочной сети определяются полярным способом или способом геодезических засечек, превышения определяют тригонометрическим нивелированием в прямом и обратном направлениях или в одном направлении, но не менее чем с двух пунктов. Расхождения в определяемых превышениях не должны быть больше $0,03 l$ см при расстояниях до 1 км и $0,02 l$ см при расстояниях более 1 км (l — длина линий, м).

§ 176. Съемочные работы

Съемочные работы при экскаваторном способе выемки без предварительного рыхления обычно проводятся тахеометрическим способом или способом перпендикуляров.

Тахеометрическая съемка выполняется теодолитами-тахеометрами с точностью отсчетных приспособлений вертикального кру-

га не менее 1' и авторедукционными тахеометрами. Съемка ведется с пунктов съемочной сети. При одновременной съемке верхней и нижней бровок уступов расстояние между речными точками не должно превышать 30—40 м, если снимается только верхняя бровка, то 20—25 м. При этом на каждые 100 м протяженности уступа должно быть не менее трех точек, в которых замерялась высота уступа. На каждой съемочной станции ведется абрис.

Способ перпендикуляров используется при съемке бровок уступов с несложными контурами. Съемочная сеть в этом случае строится в виде теодолитных ходов или прямоугольной сетки. Длина ординат, как правило, допускается до 30 м, при длине более 15 м ординаты восстанавливаются с помощью эккера. Длины измеряют любыми рулетками.

В последние годы на многих карьерах стали применять наземную стереофотограмметрию и аэрофотосъемку, которые повышают производительность и безопасность труда на полевых работах, позволяют охватывать съемкой все видимые объекты, в том числе недоступные для тахеометрической съемки.

При наземной стереофотограмметрической съемке планы открытых горных выработок составляются по фотографическим снимкам. Положение любой точки местности определяется прямой засечкой, образуемой соответственными проектирующими лучами с левой и правой точек базиса фотографирования. Поверхность, образованная совокупностью точек пересечения соответственных проектирующих лучей, представляет собой модель изучаемого объекта.

Съемка карьера предшествует составлению технического проекта на плане в масштабе 1:5000—1:2000, основной задачей которого является выбор мест расположения базисов фотографирования, направление осей съемки и мест расположения опорных точек с учетом особенностей съемочного обрабатывающего фотограмметрического оборудования.

Выбор мест расположения базисов фотографирования производится с учетом следующих правил:

- базисы фотографирования следует располагать выше снимаемых объектов или на одном уровне с ними потому, что в этих случаях обеспечивается съемка без мертвых пространств или с небольшой их площадью;

- точки базиса фотографирования необходимо размещать в местах, где будет обеспечена их длительная сохранность;

- базисы фотографирования должны быть размещены таким образом, чтобы съемку участка можно было выполнять с наименьшим количеством стереопар;

- базисы фотографирования целесообразно располагать параллельно основному направлению фронта работ карьера.

На выбор мест расположения базисов фотографирования оказывает существенное влияние применяемая система разработки. Так, при транспортной системе разработки с внешним отвалообразованием и односторонним развитием фронта горных работ ба-

зисы фотографирования располагают на неподвижном борту карьера; при внутреннем отвалообразовании — на отвалах; при бестранспортной системе — с расчетом съемки вдоль фронта горных работ; при комбинированных системах разработки, когда породы перемещаются во внутренние и внешние отвалы, производится раздельная съемка верхних и нижних уступов. Верхние уступы фотографируются с базисов, расположенных на неподвижном борту, нижние — с базисов, расположенных на внутренних отвалах.

При проведении съемочных работ на концах базиса устанавливаются штативы. На левом исходном конце базиса по направлению съемки устанавливают теодолит (для измерения базиса). Затем фотографическую высокоточную камеру ориентируют относительно базиса. Фотографирование ведется с левого и правого концов базиса. Оптическая ось располагается нормально к направлению базиса. В результате получают стереоскопическую пару. Для расширения угла охвата местности, т. е. для повышения производительности съемки, с каждого конца базиса делают два дополнительных снимка. Для этого от центрального положения камера поворачивается влево и вправо на $31^{\circ}30'$. Таким образом, на каждой станции получают три пары снимков с одного базиса.

Учитывая, что величина базиса фотографирования, число базисов и их направление существенно влияют на производительность съемки, необходимо стремиться к тому, чтобы свести к минимуму число базисов, обеспечивая при этом необходимую площадь съемки без «мертвых» пространств.

Для получения необходимой точности при определении координат точек на снимках стереопар и горизонтального параллакса на каждой станции намечается несколько контрольных (корректирующих) точек, координаты которых получают фотограмметрическими и геодезическими способами. Таким образом, при сопоставлении координат, полученных двумя независимыми методами, возникает возможность контроля правильности проведения стереофотограмметрической съемки. Корректирующих точек для одной станции обычно достаточно трех для каждой снимаемой пары. Причем одна точка должна быть расположена в ближнем, а две другие — в дальнем плане снимаемой площади. Для уменьшения числа корректирующих точек обычно стараются часть точек сделать общими для соседних стереопар.

При выборе места для закладки базисов фотографирования необходимо базисы располагать параллельно фронту работ и на одном уровне со снимаемыми объектами (или несколько выше). Следует стремиться к тому, чтобы разность высот концов базисов фотографирования была минимальной, так как при фотографировании карьера с наклонного базиса происходит смещение одноименных точек на снимке стереопары, которое вызывает эффект, называемый вертикальным параллаксом. Вертикальный параллакс может быть исключен полностью или во всяком случае уменьшен до допустимых пределов в стереокомпараторе только в

том случае, если концы базисов фотографирования не различаются по высоте более чем на $0,3 B$. Кроме того, базисные точки должны быть расположены в местах, которые обеспечат их длительное использование. Соседние базисы должны выбираться с таким расчетом, чтобы было необходимое перекрытие соседних стереопар.

Для составления проекта съемочных работ надо знать минимально допустимое отстояние $y_{\phi \min}$ и максимально допустимое отстояние $y_{\phi \max}$ точек от базиса фотографирования, первое из которых обеспечивает появление стереоэффекта, второе — заданную точность.

Принято минимально допустимое отстояние определять по формуле

$$y_{\phi \min} = 3,5B,$$

максимально допустимое отстояние — по формуле

$$y_{\phi \max} = 3,8mf_k,$$

где m — масштаб составляемого плана.

Большое значение для качества построения плана имеет правильный выбор масштаба изображения объектов, который желательно иметь не мельче $1/4$ — $1/5$ масштаба плана. Масштаб фотографического изображения может быть определен из выражения

$$M_{\phi} = N \frac{m_p}{m_{y_{\phi}}}.$$

Здесь N — знаменатель показателя съемки; m_p — средняя погрешность горизонтального параллакса, $m_{y_{\phi}}$ — средняя погрешность отстояния.

Наибольшее отстояние фототеодолита от снимаемых объектов диктуется применяемой технологией извлечения полезного ископаемого (размерами карьера).

Таким образом, при определении отстояния длина базиса фотографирования может быть определена по формуле

$$B = y_{\phi}^2 m_p / f_k m_l,$$

где m_l — средняя погрешность положения точек контура.

Геодезические работы при стереофотограмметрической съемке состоят из следующих элементов:

измерения длины базиса фотографирования и определения координат левой точки базиса;

привязки базисов к пунктам опорной сети карьера;

определения координат корректурных точек.

Длина базиса фотографирования может измеряться с помощью рулетки, мерной ленты, проводочного длиномера и других приборов, обеспечивающих расхождение между прямым и обратным измерениями не более $1 : 2000$ длины базиса.

Привязка базиса заключается в определении координат x , y левой точки и дирекционного угла базиса.

Координаты левой точки базиса и координаты корректурных точек определяются от точек опорной сети с точностями, предъявляемыми для построений опорных маркшейдерских сетей.

Одновременно с определением координат x , y левой точки определяется дирекционный угол базиса. При этом погрешность в определении дирекционного угла базиса фотографирования не должна превышать величины

$$m_a = \frac{m_l}{2y_f} \rho''.$$

Высотные отметки точек базисов и корректурных точек определяются геометрическим нивелированием технической точности.

Фотографирование является ответственной операцией стереофотограмметрической съемки, так как от качества негативов зависит точность определения координат точек и параллаксов. Наилучшие условия съемки в ясную безоблачную погоду. При съемке Солнце должно находиться сзади или сбоку от наблюдателя. При переменной облачности для съемки необходимо выбирать моменты, когда на снимаемые объекты не падает тень от облаков. Фотографирование должно производиться на контрастные репродукционные штриховые или полутонные пластинки с чувствительностью 1—3 единицы по ГОСТу.

При выборе времени съемок в зависимости от погодных условий и периода суток целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями для времени фотографирования: утром и днем при ясном небе, днем при слабой и сплошной облачности, вечером при ясном небе.

Для производства работ по фотографированию на одной из точек базиса устанавливают фототеодолит так, чтобы два подъемных винта располагались по направлению базиса. На другой точке ставят подъемный аппарат с визирной маркой, подъемные винты которого также располагаются параллельно направлению базиса.

При установке фототеодолита особенно тщательно должна быть выполнена его ориентировка. При измерении высоты прибора следует помнить, что она складывается из двух длин: расстояния от точки базиса до верхнего обреза втулки подъемного аппарата i и постоянной A_i , равной расстоянию от верхнего обреза втулки до узловой точки объектива.

Фотографирование выполняется по определенной методике, использование которой позволяет исключить погрешности. Сущность этой методики заключается в следующем:

на обеих точках базиса устанавливают штативы с подъемными аппаратами, на левой точке базиса измеряют высоту i ;

на левой точке устанавливают фототеодолит, на правой — визирную марку;

ориентируют фототеодолит по правой точке базиса, проверяют правильность закрытия объектива фотокамеры;

вставляют кассету и выдвигают ее шторку;

с помощью винта крышки фотокамеры прижимают кассету и фотопластинку к прикладной рамке фотокамеры, устанавливают номер снимка и номер станции на нумераторе, а на регистраторе — вид съемки (нормальная, отклоненная влево, отклоненная вправо);

проверяют положение уровней и ориентирование фототеодолита;

определяют экспозицию фотографирования;

экспонируют фотопластинку и повторно контролируют положение пузырьков уровней и ориентирование фототеодолита;

освобождают фотопластинку и кассету, вдвигают шторку и вынимают кассету;

повторяют фотографирование с отклонением оси фотокамеры влево, затем вправо;

снимают фототеодолит и вместо него устанавливают визирную марку;

фототеодолит устанавливают на правую точку базиса, производят фотографирование.

Камеральные работы при стереофотограмметрической съемке включают в себя вычисления геодезического обоснования, измерение снимков на фотограмметрических приборах, составление и вычерчивание плана.

§ 177. Маркшейдерское обслуживание взрывных работ

Маркшейдерское обслуживание взрывных работ заключается в подготовке исходного материала для составления проекта взрыва, перенесении проекта взрывных выработок в натуру, уточнении фактического положения взрывных выработок после их проходки, определении объемов взорванной массы величины развала, выхода негабаритов, грансостава и положения выработанного пространства после экскавации пород.

Проект взрывных работ составляют в масштабе 1:1000 или 1:500, на основании которого в натуру переносят проектное положение устьев скважин, закрепляемых колышком с указанием на нем номера скважины, номера бурового станка, проектной глубины и величины сопротивления по почве.

При разбивке устьев скважин маркшейдер, как правило, инструментально выносит в натуру только границы взрываемого блока, отмечая их на верхней бровке уступа. Если границы взрываемого блока выносят при незачищенном откосе уступа, то должна быть вынесена линия створа скважин предыдущего взрыва. Разбивку устьев взрывных скважин внутри блока осуществляет мастер-взрывник. Инструментальную разбивку устьев взрывных скважин производят только в тех случаях, когда участки взрыва расположены у проектной границы карьера и осуществляется проходка капитальных съездов. Основными инструменталь-

ными способами вынесения взрывных выработок в натуру являются полярный и перпендикуляров.

После окончания проходки взрывных выработок выполняют съемку блока, подлежащего взрыву. С пунктов съемочной сети фиксируют положения скважин, расположенных на флангах участка. Положение скважин в промежутке определяют измерением расстояний между скважинами. Кроме этого, измеряются расстояния от скважин до верхней бровки и величина сопротивления почве. Отметки устьев взрывных скважин определяются геометрическим нивелированием.

В результате съемки взорванной горной массы определяются граница развала, линия откола, несколько характерных точек по линиям профилей на поверхности взорванной массы.

Как показал опыт, из-за неточности в определении коэффициента разрыхления взорванной массы подсчеты взорванных объемов выполняются с погрешностью в 2—3 раза большей, чем при определении объемов в массиве. Поэтому после отгрузки всей взорванной массы должна быть выполнена съемка уступов для уточнения вынутого объема.

§ 178. Горная графическая документация карьеров

Горная графическая документация карьеров отражает рельеф и ситуацию земной поверхности, геологические особенности месторождения, пространственное положение горных, дренажных выработок, размещение добычных, транспортных и вспомогательных механизмов и установок, а также состояние горных работ.

Горную графическую документацию в зависимости от ее назначения подразделяют на комплекты.

I. Комплект чертежей земной поверхности, включающий в себя чертежи, отражающие рельеф и ситуацию земной поверхности (планы земной поверхности территории экономической заинтересованности карьера, имеющие масштабы главным образом 1:5000, 1:2000, планы поселков карьеров масштабов от 1:2000 до 1:500, планы промышленных площадок масштаба 1:500); чертежи, отражающие геодезическое обоснование территории карьера, планы расположения пунктов геодезической сети районов масштаба 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, планы расположения пунктов маркшейдерской опорной и съемочной сети на территории экономической заинтересованности карьера, выполняемые в масштабе 1:10 000 или 1:5000; чертежи по перенесению в натуру проектного положения объектов и исполнительные чертежи эксплуатируемых объектов, выполняемые чаще всего в крупных масштабах (1:500, 1:200, 1:100), и чертежи по изучению устойчивости бортов и карьеров и отвалов.

II. Комплект чертежей горных выработок, отражающий вскрытие, подготовку и разработку карьерного поля, планы вскрытия и подготовки карьера, вертикальные разрезы к плану вскрытия и подготовки, планы горных выработок по горизонтам горных работ, сводные планы горных выработок по горизонтам.

К чертежам горных выработок также относятся сводно-совмещенный план горных выработок карьера (масштаба от 1:5000 до 1:1000), разрезы горных выработок карьеров вкрест простираения и по простираению (масштаб не мельче 1:2000), разрезы горных выработок по горизонтам горных работ (масштаб 1:1000 или 1:500).

На планах горных выработок по горизонтам и на совмещенных планах изображаются рельеф и ситуация земной поверхности, разведочные линии, разведочные и технические скважины, геологическая и гидрогеологическая ситуации, границы карьерного поля, горные выработки других предприятий, бровки и забои уступов или границы развала взорванной породы, транспортные пути, машины и механизмы, осыпи, обрушения, оплывни и оползни, внутренние отвалы, дренажные выработки и сооружения, изолинии мощности рыхлых и коренных пород вскрыши, границы блоков, погашенных за каждый год разработки.

Планы горных выработок пополняются на 1-е число каждого месяца.

III. Комплект горно-геологической документации, который включает группу чертежей, отражающих геологическую и гидрогеологическую документацию месторождения.

IV. Комплект специальных производственно-технических чертежей, включающий чертежи горных отводов, по буровзрывным работам, транспортных путей, сети электропередач, размещения машин и механизмов, сети трубопроводов и пр.

V. Комплект чертежей для руководства, контроля и планирования, который включает графику, необходимую для руководства горными работами и контроля за правильностью и безопасностью их ведения (копии сводного плана земной поверхности территории экономической заинтересованности карьера, сводного плана поселка карьера, сводного плана промышленной площадки и пр.).

§ 179. Маркшейдерский учет объемов вскрыши и добычи полезного ископаемого

Маркшейдерский учет объемов вынутой горной массы должен обеспечить контроль выполнения предприятием государственных планов вскрышных и добычных работ и дать исходный материал для учета движения промышленных запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Выбор рационального способа определения объемов зависит от технологических способов выемки горной массы. В общем случае можно выделить следующие способы [2].

1. Если применяемые технологические схемы выемки полезного ископаемого позволяют определять объем вынутых за месяц пород в целике непосредственно по маркшейдерской съемке, то объем определяется как по съемке, так и по данным оперативного учета.

2. Если разработка производится с предварительным рыхлением взрывом на защищенный откос уступа и отгрузкой взорванной породы больше чем за месяц, то объем вынутых за месяц пород определяется по данным оперативного учета. Если применяемые методы оперативного учета не обеспечивают необходимой точности, то объемы вынутых за месяц пород можно определять по маркшейдерской съемке.

3. При выемке пород с предварительным рыхлением многорядным взрыванием и отгрузке ее несколькими экскаваторами и срок более одного месяца определение объема осуществляется только по данным оперативного учета. Если точность последнего не обеспечивается, то его данные используются только для приведения объемов, определенных по маркшейдерским данным к началу и концу отчетного периода.

Погрешности определения объемов вынутых и взорванных пород, определенных по маркшейдерской съемке, не должны превышать следующих значений.

а. Технология горных работ позволяет определять объем породы вынутой вскрыши (или полезного ископаемого) непосредственно по маркшейдерской съемке уступов — допустимая погрешность определения объемов $\sigma_{v_{\text{доп}}}$ не должна превышать

$$\sigma_{v_{\text{доп}}} = 1500/\sqrt{v}, \quad (25.1)$$

где v — объем вынутых пород в целике, м^3 .

Формулой (25.1) следует пользоваться при $v=20$ тыс. $\text{м}^3 \div \div 200$ тыс. м^3 . Если v больше 200 тыс. м^3 , то $\sigma_{v_{\text{доп}}} = 1\%$, если объем меньше 20 тыс. м^3 , то допустимая погрешность его определения не должна быть больше 10% .

б. Если объем взорванной (вынутой) горной массы по результатам маркшейдерской съемки определяется в разрыхленном состоянии, а затем перевычисляется в объем в целике с использованием коэффициента разрыхления, то допустимая погрешность определения объемов $\sigma_{v_{\text{доп}}}$ не должна превышать

$$\sigma_{v_{\text{доп}}} = \frac{2200}{\sqrt{v}}, \quad (25.2)$$

где v — объем взорванных (вынутых) пород, приведенных к объему в целике.

Формулой (25.2) следует пользоваться при $v=45 \div \div 2200$ тыс. м^3 . Если v больше 2200 тыс. м^3 , то $\sigma_{v_{\text{доп}}} = 1,5\%$, если объем меньше 45 тыс. м^3 , то допустимая погрешность его определения не должна быть больше 10% .

Выбор способа подсчета объемов зависит от формы выработанного пространства и взорванной массы в развале и метода съемки.

При тахеометрической съемке горной массы в целике, когда определяют положение бровок уступов, применяются горизонтальные сечения. При этом определение площадей при съемках один

раз в месяц должно выполняться по планам, масштаб которых не мельче 1 : 1000; если подсчет производится один раз в квартал, то могут использоваться планы масштаба 1 : 2000.

При использовании наземной стереофотограмметрии для подсчетов объемов могут использоваться как горизонтальные, так и вертикальные сечения. В случае применения горизонтальных сечений определение площадей производят планиметром, если применяются вертикальные сечения, то возможно использование аналитического и графоаналитического способов.

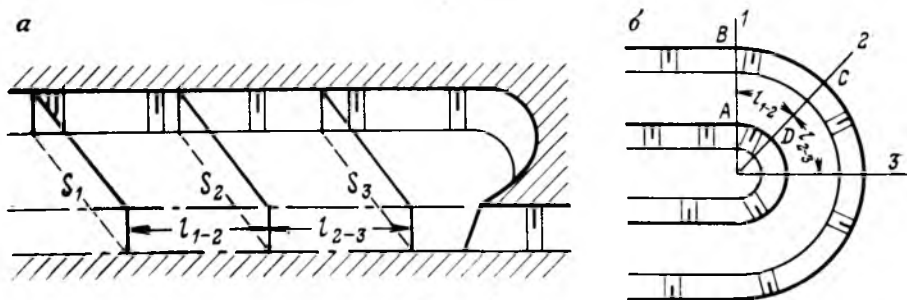


Рис. 161

При съемке горной массы в развале подсчет объемов при тахеометрической съемке производят по вертикальным сечениям, при стереофотограмметрической — по вертикальным и горизонтальным сечениям. Переход от объема разрыхленной горной массы к целику осуществляют путем деления измеренного объема на коэффициент разрыхления. В случае зачищенных откосов уступов и применения тахеометрической съемки верхней и нижней бровок уступа объем экскаваторной заходки вычисляют методом горизонтальных сечений.

При подсчете количества взорванной массы с использованием многорядного взрывания коэффициент разрыхления горных пород изменяется в довольно широких пределах (его средняя величина изменчивости достигает 8% и более). Подсчет объемов взорванной массы и определение коэффициента разрыхления пород должны производиться отдельно для каждого блока до и после взрыва. Если взрыв производится на незачищенный откос, то к объему взрывааемых пород добавляется оставшийся объем горной массы, взорванной в предыдущий раз, коэффициент разрыхления которой принимается таким же, каким он был принят при подсчете объемов последних заходов.

При подсчете объемов взорванной массы вертикальными сечениями могут возникнуть два случая:

- вертикальные сечения параллельны;
- вертикальные сечения непараллельны.

В первом случае через определенные интервалы производят построение поперечных профилей (рис. 161, а). Параллельные се-

чения проводят через 10—20 м. Если технологические особенности блока не позволяют осуществлять подсчет параллельными вертикальными сечениями, то применяют метод непараллельных (1, 2, 3) вертикальных сечений (рис. 161, б). Объем каждого участка, заключенного между двумя непараллельными сечениями, подсчитывается по упрощенной формуле

$$v = \frac{S_1 + S_2}{2} l_{1-2}, \quad (25.3)$$

l_{1-2} — средняя линия фигуры $ABCD$.

Способ определения объемов выемки путем взвешивания отгруженной горной массы обладает существенными преимуществами, так как дает высокую точность и может применяться с любыми технологическими схемами выемки, позволяет оперативно получать сведения об объемах добычных работ.

Для взвешивания горной массы при железнодорожном транспорте применяются вагонные весы автоматического или ручного действия. Автоматические весы позволяют производить взвешивание при движении состава со скоростью до 3 км/ч. На весах ручного действия со шкаловым указателем взвешивание производится с остановкой вагонов. Для взвешивания при автомобильном транспорте применяются весы автоматического и ручного действия. При конвейерном транспорте применяются весы с непрерывным взвешиванием транспортируемой горной массы.

§ 180. Восстановление земной поверхности

Комплекс мероприятий, направленных на восстановление земельных участков, принято называть рекультивацией земель. Горными предприятиями осуществляется, главным образом, горно-техническая рекультивация, заключающаяся в подготовке освободившихся от разработки территорий для последующего биологического или строительного освоения. Горнотехническая рекультивация включает в себя следующие работы: сохранение грунтов растительного слоя, планировку отвалов, устройство дренажных сетей, при необходимости химическое улучшение состава пород, например, известкование кислых пород, покрытие распланированной поверхности слоем плодородной почвы.

В горнотехнической рекультивации принимает участие маркшейдер предприятия, следящий за правильным снятием растительного слоя с территории будущих разработок и отвалов, осуществляющий контроль за планировкой отработанных пространств и отвалов и контролирующий покрытие подготовленных территорий слоем плодородной почвы.

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК И ОХРАНА СООРУЖЕНИЙ

§ 181. Некоторые сведения о напряженном состоянии массивов горных пород

До подработки массивы горных пород находятся в естественном напряженном состоянии, для описания которого высказаны следующие гипотезы.

Гипотеза А. Гейма (конец XIX в.), по которой предполагается, что в горных породах в результате непрерывного пластического деформирования напряжения по всем направлениям выравниваются и массивы находятся в равностороннем (гидростатическом) сжатии. А. Гейм считал, что основной причиной возникновения напряжений являются гравитационные силы, которые определяются давлением столба вышележащей толщи. По этой гипотезе напряжения, действующие на глубине H , равны

$$\sigma_v = \sigma_r = \gamma H,$$

где γ — плотность горных пород; σ_v — вертикальные напряжения; σ_r — горизонтальные напряжения, действующие в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Гипотеза упругого состояния горного массива предложена акад. А. Н. Динником в 30-е годы. В ней горные породы рассматриваются как упругие изотропные тела. Напряженное состояние в массиве горных пород выражается следующим образом:

$$\sigma_v = \gamma H; \quad \sigma_r = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_v,$$

где μ — коэффициент Пуассона, показывающий отношение поперечной относительной деформации к продольной относительной деформации.

Современная гипотеза. Наблюдения последних лет, проведенные в нетронутых горными работами массивах горных пород, показали, что фактические напряжения зачастую не соответствуют ни первой, ни второй гипотезам. Первые инструментальные данные о том, что поля напряжений в нетронутых массивах горных пород отличаются от гравитационных, были получены шведским исследователем Н. Хастом на рудниках Скандинавии. Им было установлено, что действующие горизонтальные напряжения намного превосходят по величине напряжения, обусловленные массой пород. Оказалось, что сумма горизонтальных главных напряжений $\sigma'_r + \sigma''_r$ уже у земной поверхности равна 16 МПа; с увеличением же глубины напряжения увеличиваются и на Скандинавском полуострове при глубине 1000 м могут достигать 100 МПа.

Накопленный в настоящее время обширный материал инструментальных наблюдений показал, что практически повсеместно

в земной коре существуют поля напряжений, характеризующиеся повышенными значениями горизонтальных напряжений, которые зачастую на 5—10 МПа, иногда на 50 МПа превосходят величину гидростатического давления.

Приведенные материалы показывают, что в верхних слоях земной коры возможно существование дополнительно к гравитационным геодинамическим напряжений, возникающих за счет тектонической деятельности Земли.

§ 182. Общие сведения о процессе сдвижения горных пород

Исходные поля напряжений определяют напряженное состояние, возникающее после образования в массиве полости (проведения выработки). Величина и особенности перераспределения напряжений существенно зависят от формы выработки.

В начальный период, когда очистная выемка еще не отошла от массива на большое расстояние, непосредственная кровля залежи находится в относительно устойчивом состоянии и ее изгиб происходит в небольших пределах. По мере расширения выработанного пространства величина и скорость прогиба кровли возрастают, сплошность слоев нарушается, они рассланываются, образуются трещины и происходит обрушение слоев кровли в выработанное пространство.

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

В общем случае вокруг очистной выработки можно выделить следующие зоны деформаций горных пород (рис. 162, а, б).

Зона обрушения *I*, непосредственно прилегающая к выработанному пространству и характеризующаяся тем, что в ней происходит отделение от массива слоев пород, расчленение их на блоки и обрушение в выработанное пространство, с нарушением природного строения и связей. Высота зоны обрушения зависит главным образом от отношения мощностей отдельных слоев непосредственной кровли и мощности извлекаемого полезного ископаемого, крепости слоев непосредственной кровли, применяемой системы разработки и угла падения пласта. По данным натурных наблюдений, высота зоны обрушения по нормали к пласту в большинстве угольных бассейнов не превышает 3—4-кратной мощности пласта.

Зона изгиба *II* наблюдается как в налегающей толще, так и в подстилающих породах. Деформации пород в этой зоне происходят в виде расслоения толщи изгиба слоев с сохранением связей между отдельными блоками. В зоне изгиба различают две части: зону прогиба с образованием трещин, примыкающую непосредственно к зоне полных обрушений, и зону прогиба без об-

разования трещин и расслоений, расположенную над зоной прогиба с образованием трещин.

Зона опорного давления *III* развивается в прилегающей к залежи области вблизи границы очистной выемки. Опорное давление возникает в массивах горных пород вследствие того, что проведение выработки лишает вышерасположенный массив опоры, он зависает и, как следствие, его масса перераспределяется на горные породы, окружающие эту выработку. Величина и характер зоны опорного давления в покрывающих породах зави-

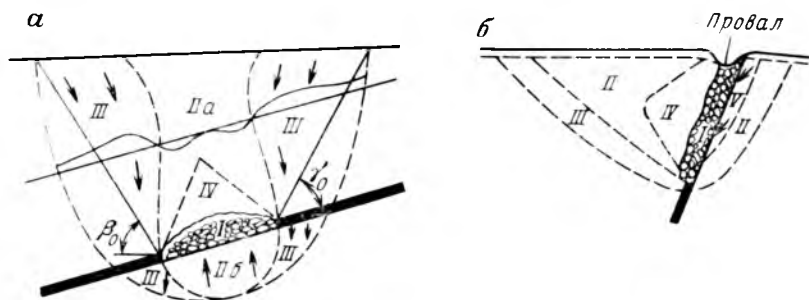


Рис. 162

сят от зависания пород у границ выработки, глубины горных работ и свойств пород.

Зона полных сдвижений *IV* образуется как на поверхности, так и в толще пород. Принято считать, что в зоне полных сдвижений напряженное состояние близко к гравитационному.

При отработке мощных крутых угольных пластов (см. рис. 162, б) часто происходят оползания пород лежачего бока и образования провалов на поверхности над выходами пластов.

§ 183. Параметры процесса сдвижения

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

Распределение сдвижений и деформаций земной поверхности в пределах мульды неравномерно. Часть мульды сдвижения, где возникли деформации земной поверхности, вызывающие в сооружениях повреждения, нарушающие нормальную их эксплуатацию, называется зоной опасного сдвижения. Для обозначения

ния на поверхности этих зон используются углы сдвижения, под которыми подразумевают внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах в главных сечениях мульды по простиранию и вкрест простирания залежи (пласта) полезного ископаемого горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами критических деформаций поверхности.

Углы сдвижения определяются в условиях полной подработки, под которой подразумевается такое состояние дна мульды сдвижения, когда дальнейшее расширение обрабатываемой площади не вызывает увеличения сдвижения в этой части мульды.

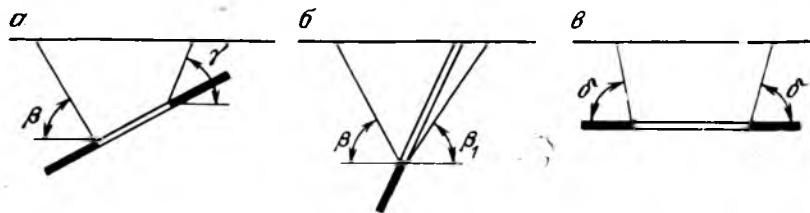


Рис. 163

Не все деформации, возникающие при сдвижении поверхности, опасны для обрабатываемых объектов. Наибольшие деформации земной поверхности, не вызывающие повреждений и не нарушающие нормальную эксплуатацию поверхности сооружений, называются критическими, или предельно безопасными деформациями поверхности. Хотя для различных сооружений эти деформации будут разными. Опыт показывает, что для большинства сооружений можно принять следующие значения опасных деформаций: наклон $4 \cdot 10^{-3}$, кривизна $0,2 \cdot 10^{-3}$, растяжение $2 \cdot 10^{-3}$.

Различают углы сдвижения в коренных породах и наносах. В коренных породах вкрест простирания углы сдвижения обозначаются висячем боку со стороны нижней границы выработанного пространства через β , со стороны верхней границы — через γ (рис. 163, а). При крутом падении опасная зона определяется от нижней границы выработанного пространства висячем боку углом сдвижения β , в лежащем — углом сдвижения β_1 (рис. 163, б). На разрезе по простиранию углы сдвижения принимаются одинаковыми с обеих сторон выработанного пространства и обозначаются через δ (рис. 163, в). В наносах углы сдвижения равны по всем трем направлениям и обозначаются φ .

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

Граничными углами β_0 , γ_0 , δ_0 , β_{01} называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные при полной подработке на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с граничными точками, т. е. точками на земной поверхности, в которых оседание не превышает средней погрешности нивелирования. Практически за границы мульды сдвижения принимаются точки с оседаниями 15 мм или горизонтальными деформациями растяжения $0,5 \cdot 10^{-3}$. Различают на разрезе вкрест простирания при пологом паде-

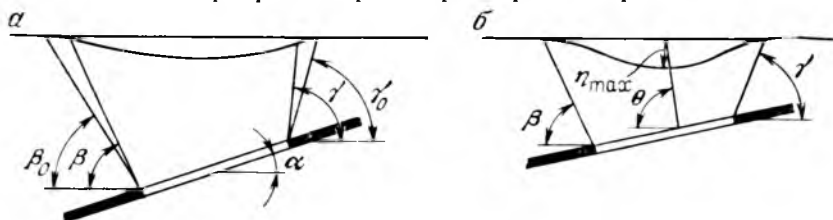


Рис. 164

нии граничные углы β_0 , γ_0 (рис. 164, а), при крутом падении граничные углы β_0 , β_{01} и на разрезе по простиранию δ_0 .

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

Граничные углы используются при предрасчете сдвижений и деформаций поверхности.

Центр мульды сдвижения при горизонтальном залегании располагается над серединой выработанного пространства, а при наклонном — сдвинут относительно нее на угол θ (см. рис. 164, б). Угол θ называется углом максимальных оседаний и определяется он углом со стороны падения пласта, образованным на вертикальном разрезе в главном сечении мульды вкрест простирания горизонтальной линией и линией, соединяющей середину выработки с точкой на поверхности, испытавшей максимальные оседания, или с серединой плоского дна мульды.

При большой величине отношений линейных размеров выработанного пространства к глубине залегания на поверхности может образоваться обширная площадь, все точки которой осадут на равную и максимальную в данных условиях величину. Дальнейшее расширение выработки не ведет к увеличению оседания поверхности, последняя рассматривается в условиях полной подработки. В противном случае подработка называется неполной.

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

Различают углы полной подработки на разрезе вкрест простирания: ψ_1 — со стороны падения, ψ_2 — со стороны восстания выработанного пространства (рис. 165, а) и на разрезе по простиранию ψ_3 — обеих сторон выработанного пространства.

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

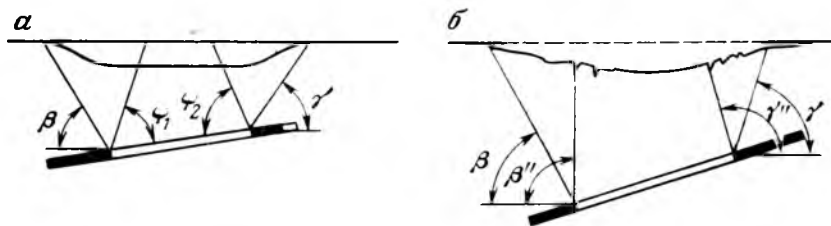


Рис. 165

Если обозначить через D_1 и D_2 фактические размеры выработки по падению и простиранию залежи, а через D_{01} и D_{02} — минимальные размеры, необходимые для полной подработки, то коэффициент подработанности по направлению падения пласта выразится как отношение $n_1 = D_1/D_{01}$, по простиранию пласта $n_2 = D_2/D_{02}$.

Важным показателем степени подработанности является отношение длины лавы D к глубине горных работ H , при котором наступает условие полной подработки. Полная подработка считается при $n_1 \geq 1$ и $n_2 \geq 1$.

В ряде случаев при сдвижении поверхности возникают трещины. Зона мульды сдвижения, в которой они наблюдаются, оконтуривается углами разрывов, представляющими внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с ближайшими к краям мульды трещинами на земной поверхности (рис. 165, б). Различают углы разрывов на разрезе вкрест простирания пласта β'' и γ'' и по простиранию пласта δ'' .

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

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

На рис. 166, а точки 1, 2, 3 — реперы на поверхности до подработки; 1', 2', 3' — то же, после подработки; η_1, η_2, η_3 — оседания соответствующих реперов; s_{1-2}, s_{2-3} — расстояния между точками 1—2 и 2—3 до подработки.

Наклон интервала поверхности определяется по отношению к его первоначальному положению. Например, наклон отрезка 2—3 после подработки выражается углом i_{2-3} . На практике о ве-

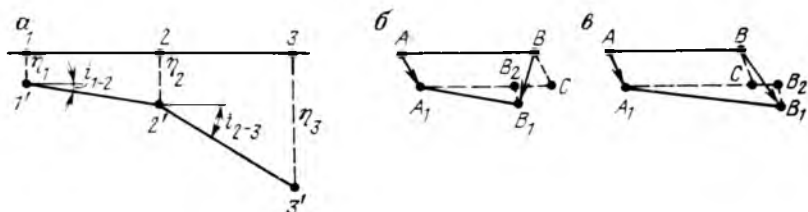


Рис. 166

личине наклона судят по разности оседаний крайних точек интервала, отнесенной к первоначальной его длине,

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

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

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

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

Радиусом кривизны R является величина, обратная кривизне.

Горизонтальные деформации — одна из наиболее важных характеристик процесса сдвижения поверхности. Рассмотрим совместное движение двух точек поверхности: A и B (рис. 166, б, в). В результате сдвижения точка A переместилась в точку A_1 , а B — точку B_1 . В случае сжатия отрезка AB соотношение между векторами AA_1 и BB_1 будет таково, как это показано на рис. 166, б, а в случае растяжения — как на рис. 166, в.

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

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

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

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

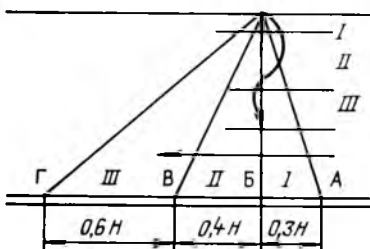


Рис. 167

Длительность процесса сдвижения в основном зависит от глубины горных работ, мощности пласта, физико-механических свойств пород.

Траектория движения точек и распределение величин сдвижений и деформаций в пределах мульды сдвижения имеют вполне определенные закономерности. По мере

подвигания забоя точки поверхности при приближении забоя сдвигаются ему навстречу. Затем после того, как забой пройдет под точкой, сдвигаются в сторону удаляющегося забоя и, наконец, при достаточном удалении забоя точки начинают двигаться по вертикали вниз (рис. 167).

При решении задач, связанных с охраной поверхности сооружений, необходимо знать распределение величин сдвижения и деформаций в пределах мульды. Обычно достаточно ограничиться распределением в мульде следующих элементов:

наибольшего значения вертикальной и горизонтальной составляющих сдвижения;

величины наибольших деформаций в главных сечениях мульды;

наибольшего наклона;

наибольшей кривизны;

наибольшего растяжения и сжатия.

На рис. 168, а показаны кривые, характеризующие распределение деформаций поверхности на разрезе вкост простирания при пологом залегании пласта (здесь кривая 1 — вертикальные сдвигения, кривая 2 — горизонтальные сдвигения, кривая 3 — горизонтальные деформации).

При горизонтальном залегании и пологом падении кривые наклонов, как правило, повторяют форму кривых горизонтальных

сдвижений. Кривые кривизны повторяют кривые горизонтальных деформаций.

При горизонтальном залегании пласта кроме граничных точек A и B важными точками являются точки E , E_1 и O . Последняя является местом наибольшего оседания, наименьшего горизонтального сдвижения и наибольшего сжатия. Точки E и E_1 являются точками перегиба кривой оседаний. К этим точкам приурочены наибольший наклон, наибольшее сдвижение и нулевая горизонтальная деформация. Наибольшее растяжение находится приблизительно посередине между точками перегиба и границей мульды.

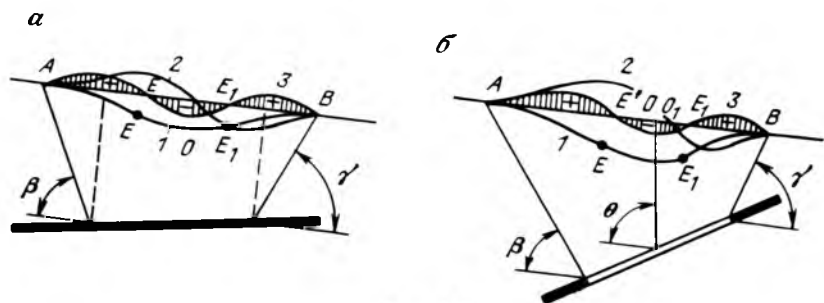


Рис. 168

При наклонном залегании (рис. 168, б) указанные соотношения изменяются. С увеличением угла наклона залежи увеличивается асимметрия кривой 1 в сторону восстания: точка с нулевым горизонтальным сдвижением не совпадает с точкой наибольшего оседания, точки E и E_1 располагаются несимметрично относительно точек O и O_1 (отсюда несимметричный вид кривых). С дальнейшим увеличением угла падения пласта резко увеличивается асимметрия сдвижения поверхности.

§ 184. Факторы, обуславливающие процесс сдвижения горных пород

Физико-механические свойства горных пород и условия их залегания. Состояние горных пород в значительной степени предопределяет характер сдвижения горных пород. Так, при раздельнозернистых породах, обладающих небольшой связностью (сцеплением), сдвижение протекает быстро, резко отражаясь на поверхности. При этом часто образуются уступообразные трещины. Типичным примером может служить Подмосковский угольный бассейн, где посадка кровли при глубине горных работ 40—50 м сказывалась на поверхности уже через 2—3 ч. Пластичные породы, например глинистые сланцы, способствуют развитию пластических деформаций, вследствие чего сдвижение пород происходит равномерно и плавно вслед за подвиганием забоя лавы; поверхность сдвигается плавно, не вызывая разрушений поверхностных сооружений.

Большое влияние на характер сдвижения оказывает строение месторождения. Чередование в толще пластов крепких и слабых пород приводит к появлению вторичных осадков основной кровли, которые проявляются в тех случаях, когда в непосредственной кровле залегают слабые, быстро обрушающиеся породы, а выше их — слои (пачки) крепких пород, которые периодически зависят на больших площадях. Плохо прогнозируемые обрушения этих пачек вызывают повышенное давление как в очистных, так и в прилегающих к ним подготовительных выработках, иногда приводящие к авариям и завалам лав.

Значительно осложняют протекание процесса сдвижения плавучины. Были отмечены случаи, когда плавучины, залегающие в подрабатываемой толще, резко выполаживали углы сдвижения. Подработка плавучин сопровождается большой их водоотдачей, что вызывает опускание поверхности иногда далеко впереди забоя.

Угол залегания залежи является одним из важнейших факторов, определяющих как качественную, так и количественную сторону процесса сдвижения, с ним связан характер сдвижения покрывающей толщи: для крутого падения характерно значительное развитие сдвига слоев пород, при горизонтальном и пологом залегании основной вид деформаций — прогиб слоев. Крутому залеганию соответствует преобладание горизонтальной составляющей вектора сдвижения, при пологом залегании — вертикальной. Наблюдениями установлено, что при прочих равных условиях большие деформации претерпевают те сооружения, под которыми отрабатываются пласты с более крутым углом падения. Так, в условиях Донбасса, где для пологого залегания при глубине 200—250 м выемка не вызывает проявления трещин на поверхности, отработка крутых пластов при глубине 600 м сопровождается появлением значительных трещин разрыва.

Увеличение угла падения залежи влечет за собой изменение положения мульды относительно выработанного пространства, т. е. происходит ее смещение в сторону падения пласта. С углом падения залежи связано распределение в мульде наиболее опасных зон.

Глубина горных работ существенно влияет на величину сдвижения пород, время и скорость его проявления. С увеличением глубины разработки уменьшается величина сдвижения, процесс приобретает более плавный и менее опасный для поверхностных сооружений характер, однако заметное уменьшение оседаний поверхности с увеличением глубины наблюдается до определенной глубины. Увеличение глубины горных работ всегда приводит к увеличению продолжительности процесса сдвижения.

Мощность вынимаемой залежи. Мощности залежи по сравнению с глубиной горных работ оказывает на сдвижение обратный эффект: чем больше вынимаемая мощность, тем резче происходит процесс сдвижения и тем больше горизонтальные и вертикальные деформации. При значительной мощности залежи зона плавного прогиба может полностью отсутствовать, и сдвижение

поверхности в этом случае происходит в виде обрушения с образованием террас.

Над маломощными залежами процесс сдвижения в основном происходит в виде прогиба слоев. Зона обрушения получает небольшое развитие и в непосредственной близости к выработанному пространству.

Наличие и мощность насосов и рельеф поверхности. Перемещения точек при сдвижении в коренных породах происходят почти по нормали к напластованию. В наносах значительной мощности направление смещения происходит от краев к центру мульды.

Влияние рельефа на процесс сдвижения существенным образом сказывается только в гористой местности, где подработкой крутых склонов часто вызываются искусственные оползни. Устойчивость горных пород во многом зависит от угла внутреннего трения и сцепления по поверхности скольжения. В результате сдвижения происходит разрыхление горного массива, которое сопровождается понижением прочностных свойств пород (в основном сцепления), что, в свою очередь, ведет к снижению устойчивости склонов и к оползневым явлениям.

Нарушенность массива горных пород ранее проведенными очистными работами. Многочисленные натурные наблюдения, выполненные в различных бассейнах, показали, что ведение горных работ по нарушенной толще вызывает активизацию процесса сдвижения: увеличиваются величины деформаций, скорости и неравномерности сдвижения поверхности. Активизация процесса сдвижения происходит по следующим причинам:

1) при первичной подработке в налегающей толще образуются пустоты за счет зависания слоев горных пород. Повторная подработка в значительной степени ликвидирует зависания, вызывая лучшее уплотнение нарушенного массива;

2) первичная подработка за счет раскрытия старых и образования новых трещин снижает прочность массива. Поэтому при повторной подработке сдвижение протекает с большими скоростями, так как происходит оно в массиве горных пород с пониженными прочностными свойствами.

Система разработки. Основными параметрами системы, влияющими на процесс сдвижения, являются высота этажа и длина выемочного поля, способ управления кровлей, скорость подвигания забоя, полнота выемки полезного ископаемого.

Высота этажа и длина выемочного поля имеют одинаковое значение: они определяют форму мульды сдвижения. При небольших размерах выработанного пространства получают развитие чашеобразные мульды. С увеличением их размеров происходит переход от чашеобразной к тарелкообразной мульде сдвижения.

Способом управления кровлей, лучше всего сохраняющим поверхность от сдвижений, является закладка выработанного пространства. Роль закладки заключается в том, что она, уменьшая

размер пустот, поддерживает породы, замедляя и уменьшая до известной степени процесс сдвижения.

Роль закладки зависит от ее качества. Сплошная сухая закладка незначительно уменьшает объем пустоты выработанного пространства (иногда всего на 40%). Наиболее благоприятный эффект на уменьшение сдвижения поверхности оказывает гидравлическая или твердеющая закладка. Величина оседания кровли залежи при тщательном выполнении твердеющей закладки может составлять до 3% мощности пласта. Характер оседаний поверхности при этом становится весьма плавным и спокойным; подрабатываемые сооружения, даже весьма громоздкие, оседают плавно, не претерпевая заметных повреждений.

При сплошной системе разработки, особенно при длинных лавах и полном обрушении кровли, сдвижение поверхности происходит плавно и равномерно. При столбовых и камерно-столбовых системах с обрушением кровли, когда в выработанном пространстве оставляются целики на небольшом расстоянии друг от друга, покрывающая толща последними разламывается на отдельные блоки, а образующиеся при этом трещины часто доходят до поверхности, вызывая большую неравномерность оседания.

§ 185. Наблюдения за сдвижением горных пород

Устройство поверхностных наблюдательных станций. Поверхностной наблюдательной станцией принято называть систему закрепленных точек (реперов), заложенных в грунте или сооружении (рис. 169). Реперы, как правило, закладываются по профильным линиям, предполагаемым по простиранию и вкрест простирания залежи. В горных, лесистых и сильно застроенных районах допускается излом профильных линий.

При изучении условий подработки железных дорог, трубопроводов и прочих вытянутых объектов профильные линии могут располагаться по диагонали к простиранию пласта. В некоторых случаях, например при подземной газификации, станции закладываются в виде сеток.

Различают следующие типы наблюдательных станций.

Долговременные, которые закладывают с целью получения основных параметров сдвижения земной поверхности при выемке свиты пластов или одного пласта на нескольких горизонтах. Продолжительность существования долговременных станций и наблюдений на них составляет не менее трех лет.

Рядовые станции, которые закладывают с целью получения основных параметров сдвижения земной поверхности от одного-двух пластов на одном горизонте. Продолжительность существования станций и наблюдений на них составляет от одного года до трех лет.

Кратковременные станции закладывают при глубине горных работ не более 250 м для получения отдельных параметров сдвижения земной поверхности, скоростей вертикального

и горизонтального сдвижения, углов сдвижения по простиранию пласта над движущимся забоем и т. п. Продолжительность существования станций и наблюдений составляет от 1 до 5 мес.

Специальные станции закладывают с целью детального изучения отдельных вопросов сдвижения горных пород или де-

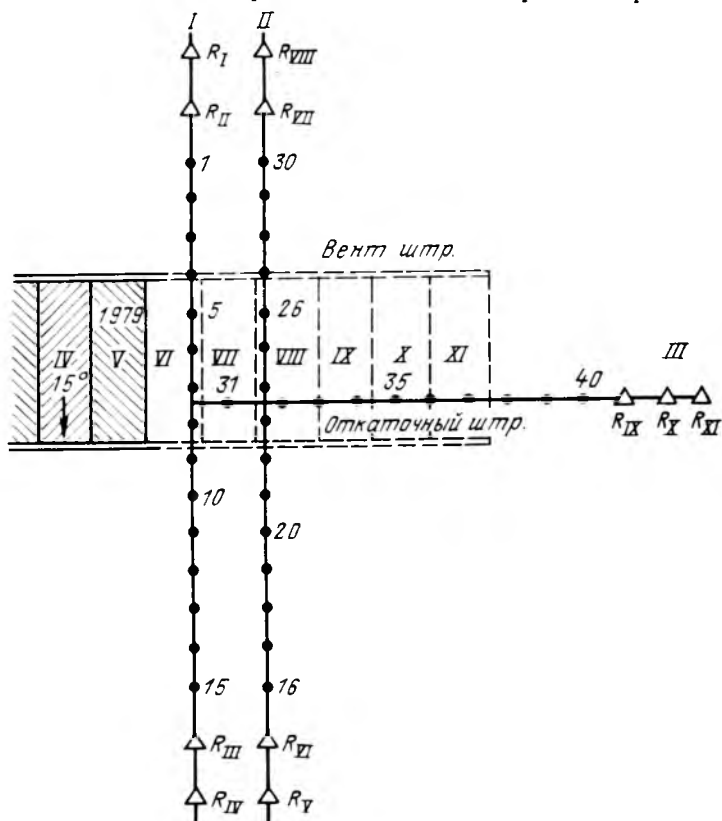


Рис. 169

формаций поверхностных сооружений, например для изучения влияния подработки на сооружения, взаимосвязи деформаций сооружений и грунта, влияния подработки на фильтрационные свойства налегающей толщи, выбора рациональных параметров системы разработки и т. п.

Перед закладкой наблюдательной станции составляется ее проект, который состоит из пояснительной записки и графических приложений.

Графический материал проекта содержит: совмещенный план поверхности и горных работ с нанесением профильных линий наблюдательной станции (масштабы плана 1:500, 1:1000 или 1:2000), на котором указываются границы шахтного поля, состояние горных работ на момент составления проекта и дальней-

шее их развитие, предполагаемая зона сдвижения, тектонические нарушения, проект привязки опорных пунктов; геологические разрезы по профильным линиям с отражением на них горных выработок; конструкции опорных и рабочих реперов.

Место заложения наблюдательной станции определяется положением горных работ и задачей наблюдений. Удобной для наблюдений является ровная, мало застроенная местность, располо-

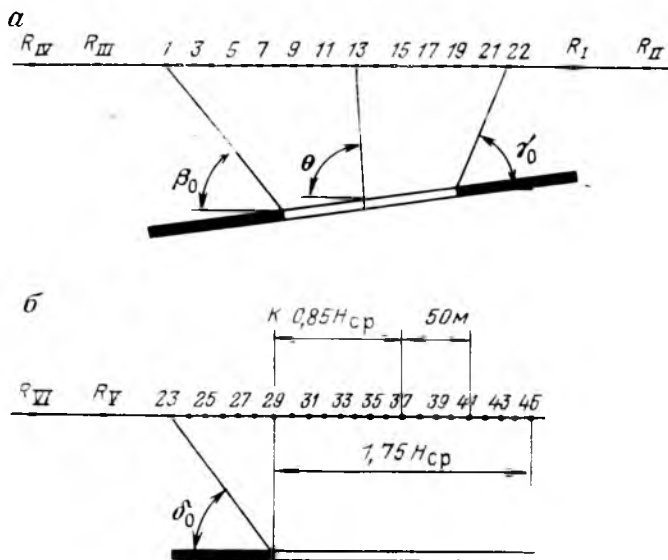


Рис. 170

женная в стороне от железнодорожных путей и дорог. Обычно закладывают две профильные линии вкrest простираения и одну линию по простираению залежи. При разработке месторождений с изменяющимися геологическими и горнотехническими условиями профильные линии размещаются над несколькими участками, отличающимися друг от друга элементами залегания, мощностью пластов, системой разработки и т. д.

Ближайшую к целику профильную линию вкrest простираения залежи располагают на расстоянии не менее $0,85 H_{cp}$ от разрезной печи или места остановки забоя (H_{cp} — средняя глубина разработки). Если забой лавы уже отошел от разрезной печи, то расстояние от нее до профильной линии определяется по формуле

$$d = H_{cp} \operatorname{ctg} \delta_0 \geq 0,85 H_{cp}.$$

Вторую профильную линию закладывают параллельно первой на расстоянии 50 м.

Длина профильных линий вкrest простираения (рис. 170, а) определяется на вертикальных разрезах по граничным углам сдвижения. На продолжении профильных линий за пределами

ожидаемой зоны сдвижения закрепляются два опорных репера. Расстояние от первого опорного репера до конца рабочей части профильной линии должно быть не менее 50 м, расстояние между опорными реперами в зависимости от местных условий — 50—100 м.

Профильная линия по простиранию проходит через точку мульды сдвижения с максимальными оседаниями, для определения ее на разрезе вкрест простирания из середины выработанного пространства проводится линия под углом θ до пересечения с поверхностью.

Длина профильной линии по простиранию определяется следующим образом (рис. 170, б). Место предполагаемой остановки забоя проектируется на поверхность (точка K). В сторону целика откладывается расстояние $B = H_{\text{ср}} \text{ctg} \delta_0$, а сторону выработанного пространства, расстояние, равное $1,75H_{\text{ср}}$.

Опорные реперы закладываются по тем же правилам, которые были приняты для профильных линий вкрест простирания.

На профильных линиях закладываются рабочие реперы, расстояние между которыми принимается в зависимости от глубины горных работ.

<i>Глубина разра- ботки, м</i>	<i>Расстояние между рабочими репе- рами, м</i>
До 50	5
50—100	10
100—200	15
200—300	20
300—400	25
400 и более	30

Конструкция реперов должна обеспечить прежде всего их устойчивость и сохранность в течение длительного времени и, кроме того, быть недорогой и способствовать удобству закладки и производства наблюдений. Для долговременных и рядовых станций, как правило, реперы представляют собой забетонированные металлические трубы, штыри или обрезки рельсов, которые закладываются на глубину ниже горизонта промерзания. В качестве реперов для кратковременных станций можно использовать деревянные столбы или колья, забитые в грунт. Для сохранности реперов их часто делают скрытыми в почве на глубине 30—40 см.

Производство наблюдений. Наблюдения на поверхностных наблюдательных станциях состоят из привязки опорных реперов станции к существующей опорной сети, первичных наблюдений на реперах станций в горизонтальной и вертикальной плоскостях и повторных наблюдений. Привязка опорных реперов наблюдательной станции в горизонтальной плоскости осуществляется триангуляционным путем или с помощью замкнутых теодолитных ходов. Разрешается прокладывание висячего теодолитного хода при обязательном измерении углов и длин в прямом и обратном направлениях. Допустимая относительная невязка теодолитного хода не

должна превышать 1:2000. Привязка опорных реперов в вертикальной плоскости производится от реперов и пунктов нивелирной сети с помощью геометрического нивелирования с невязкой не выше $15\sqrt{L}$ мм (где L — длина хода, мм).

После привязки станций должны быть выполнены первичные и повторные наблюдения. Полная серия инструментальных наблюдений включает нивелирование всех реперов, определение расстояний между реперами вдоль профильных линий, определение отклонений рабочих реперов от створа профильной линии, съёмку трещин, образовавшихся на поверхности, с фиксированием времени их появления, замеры деформаций сооружений.

Первое наблюдение на станции рекомендуется проводить через 7—10 суток после закладки реперов, если они бетонировались, и через 2—3 суток при забивных реперах. Начальные наблюдения проводятся два раза, и за окончательное значение берется среднеарифметическое.

Интервал времени между наблюдениями зависит от целей наблюдений. Если требуется получить детальные сведения о процессе сдвижения, то необходимо выполнить в промежутке между конечным и начальным наблюдениями не менее четырех наблюдений через интервал времени, определяемый по формуле $t = H/6c$, где H — глубина работ у нижней границы выработки; c — скорость подвигания забоя, м/сут.

На специальных станциях в период начальной и активной стадий процесса сдвижения наблюдения проводятся не реже трех раз в месяц, в период затухания — не реже одного раза в месяц. Проведение нивелировок на наблюдательных станциях следует проводить по нормам нивелирных ходов IV класса.

На всех типах станций измерение расстояний между реперами вдоль профильной линии производится стальными компарированными рулетками.

После контрольных проверок полевых измерений производится вычисление сдвижений и деформаций поверхности и построение их графиков. Вычисление оседаний осуществляется по формуле

$$\eta = H_n - H_{n-1}; \quad (26.1)$$

наклона — по формуле

$$i = (\eta_n - \eta_{n-1})/S; \quad (26.2)$$

кривизны — по формуле

$$k = (i_n - i_{n-1})/S_{cp}; \quad (26.3)$$

горизонтальных сдвижений — по формуле

$$\xi = D_2 - D_1; \quad (26.4)$$

горизонтальных деформаций — по формуле

$$\varepsilon = (S_n - S_{n-1})/S, \quad (26.5)$$

где η — величина оседания репера; H_n — абсолютная отметка репера предыдущего наблюдения; H_{n-1} — абсолютная отметка репера

ра последующего наблюдения; i — наклон кривой оседания; k — кривизна кривой оседания; i_n, i_{n-1} — величины наклонов последующего и предыдущего интервалов; ξ — горизонтальные сдвигения; D_2, D_1 — расстояния от опорного репера до данного репера из последующего и предыдущего наблюдений; ε — горизонтальная деформация; S_n, S_{n-1} — длина интервалов из последующего и предыдущего наблюдений; S — полусумма длин предыдущего и последующего интервалов.

Вычисление деформаций и сдвижений земной поверхности производится в специальных ведомостях.

§ 186. Расчет сдвижений горных пород

При решении вопросов подработки необходима предварительная оценка будущих деформаций поверхности, которая должна дать возможность провести оценку воздействия на сооружения подземных разработок. Предварительный расчет сдвижений горных пород выполняется двумя путями: 1) с помощью сбора и анализа фактического материала и использования его для прогноза и 2) на базе построения общей теории сдвижения горных пород и поверхности.

Немаловажное место в методах предрасчета сдвижений занимают максимальные оседания, величина которых может быть вычислена несколькими способами. Определенный интерес представляет способ постоянства объемов мульд сдвижения, предложенный профессором Д. А. Казаковским, в котором использовано предположение о том, что при сдвижении пород происходит прогиб слоев, уменьшающийся при удалении по нормали от выработки. Однако объемы мульд оседания на различных расстояниях от очистной выработки равны между собой. Для определения величины максимального оседания им используются два коэффициента, учитывающие степень затухания сдвижения при неполной подработке как вкрест простирания K_1 , так и по простиранию пласта K_2 .

Максимальное оседание на поверхности определяется из выражения

$$\eta_{\max} = \eta_0 K_1 K_2, \quad (26.6)$$

где η_0 — вертикальная составляющая полного вектора сдвижения в условиях полной подработки.

Д. А. Казаковский рассмотрел следующие возможные случаи определения максимальной величины оседания:

1) на разрезе по простиранию фиксируется полная, а на разрезе вкрест простирания — неполная подработка: $K_1 = L'_0/L'_i$; $K_2 = 1$;

2) полная подработка имеет место как вкрест простирания, так и по простиранию пласта: $K_1 = 1$; $K_2 = 1$;

3) в обоих сечениях имеет место неполная подработка: $K_1 = L'_0/L'_i$; $K_2 = L_0/L_i$.

При определении возможности подработки поверхностных объектов часто недостаточно данных только о величине максимальных оседаний, необходимо знать характеристики сдвижений и деформаций по всей протяженности главных сечений мульды.

Одним из первых в нашей стране уравнение кривой оседания при выемке пологих пластов угля дал профессор С. Г. Авершин:

$$\eta_{(x)} = \eta_{\max} \left(1 - \frac{x}{2,13l} \right)^{4,54} e^{2,13 \frac{l}{x}}, \quad (26.7)$$

где $\eta_{(x)}$ — оседание точки с абсциссой x , отсчитываемой от точки максимального оседания; $\eta_{\max}$ — наибольшее оседание; l — расстояние от точки максимального оседания до точки перегиба кривой оседания; e — основание натурального логарифма. Им же в результате теоретических исследований и обработки большого фактического материала выявлены следующие свойства кривой оседания: максимум растяжений совпадает с точкой наибольшей кривизны кривой оседания или с точкой, в которой вторая производная кривой оседания достигает наибольшего значения; нуль деформаций совпадает с точкой перегиба кривой оседания, т. е. с точкой, в которой вторая производная кривой оседания обращается в нуль; максимум сжатий соответствует точке наибольшего оседания, т. е. точке, где первая производная кривой оседания обращается в нуль, а вторая производная по абсолютной величине достигает максимума.

В последние годы для способов управления кровлей полным обрушением или закладкой выработанного пространства на основании большого количества инструментальных наблюдений создан метод предрасчета сдвижений [11], который применим при кратности подработки $H/m > 20$ для углов падения пластов от 0 до 55° и для части мульды сдвижения за пределами зоны провалов и крупных трещин при кратности подработки $H/m > 15$ для углов падения пластов более 55°.

Под кратностью подработки здесь имеется в виду отношение средней глубины (H) к вынимаемой или эффективной мощности пласта (m).

В зависимости от полноты исходных данных определяются ожидаемые или вероятные величины сдвижений и деформаций земной поверхности. При расчете ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности определяются: оседания (η), горизонтальные сдвижения (ξ), наклоны (i), кривизна (K) и радиус (R), горизонтальные деформации (ϵ), сдвижения и деформации, вызванные сдвижением пород по напластованию.

Ожидаемые величины сдвижений и деформаций угла падения (α) менее предельного угла (α_n) рассчитываются по методике расчета сдвижений и деформаций в условиях отсутствия сдвижения пород лежащего бока; если угол падения пласта равен предельному углу или больше его, то расчет производится по методике, учитывающей наличие сдвижения пород лежащего бока. Предельный угол падения пласта (α_n) — это угол, при котором

возникают опасные сдвигения пород лежащего бока. Его значение различно для каждого угольного бассейна.

Расчет сдвижений и деформаций начинается с построения геологических разрезов по простиранию и вкрест простирания пласта, на которых по данным ближайших скважин выделяют наносы и коренные породы. На разрезах отмечают пройденные и проектируемые очистные выработки с датами их проходки и определяют глубину разработки, размеры выработок и целиков. При этом вынимаемая мощность пласта m вычисляется как суммарная мощность извлекаемых из очистных выработок слоев угля и вмещающих пород. При закладке выработанного пространства при расчете сдвижений и деформаций принимают эффективную мощность пласта (m_3):

$$m_3 = (h_k + h_n) (1 - B_1) + B_1 m, \quad (26.8)$$

где h_k — сближение кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладки; при отставании закладки от забоя на расстоянии 8—20 м, при отсутствии данных наблюдений h_k принимается 0,15 m ; h_n — неполнота закладки (среднее расстояние от верха закладочного массива до кровли пласта), определяется по опыту; m — вынутая мощность пласта; B_1 — коэффициент усадки закладки, значения которого приведены ниже:

Виды закладки	Значение коэффициента B_1
Гидравлическая:	
из песка	0,05—0,15
из дробленной породы	0,15—0,30
Пневматическая	0,25—0,40
Самотечная:	
из дробленной породы	0,25—0,45
из рядовой породы	0,35—0,50

Расчет сдвижений и деформаций производится от всех проектируемых очистных выработок, а также от ранее пройденных выработок, которые вызовут активизацию процесса сдвижения на рассматриваемом участке.

Максимальное оседание земной поверхности определяется по формуле

$$\eta_m = q_0 m \cos \alpha N_1 N_2, \quad (26.9)$$

где q_0 — относительная величина максимального оседания, определяемая по табл. 32; m — вынимаемая мощность пласта; α — угол падения пласта; N_1 и N_2 — коэффициенты, зависящие от отношения расчетной длины лавы (D_p) к средней глубине разработки (H), их величины определены для угольных бассейнов.

Приведем коэффициенты N_1 и N_2 для Кузбасса:

$\frac{D}{H}$	1,4 и более	1,2	1,0	0,90	0,80	0,70
N_1 и N_2	1,00	0,96	0,90	0,86	0,81	0,75
$\frac{D}{H}$	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15 и менее
N_1 и N_2	0,66	0,51	0,30	0,15	0,09	0,05

q ₀	a ₀	Условия применения
0,75	0,3	В районах залегания углей марок ПА—А
0,80	0,3	В районах залегания углей марок Д—Г при мощности наносов менее 30% глубины разработки и марок Ж, К, ОС, Т
685	0,4	В районах залегания углей марок Д—Г при мощности наносов 30% от глубины разработки и более

Оседание земной поверхности в точках главных сечений мульд сдвижения определяется по формуле

$$\eta_{(x,y)} = \eta_m S_{(z)}, \quad (26.10)$$

где $S_{(z)}$ — функция типовой кривой оседания, принимается в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2 ; функция $S_{(z)}$ табулирована и приведена в [11].

Наклоны в главных сечениях мульды определяются: в полумульде по простиранию

$$i_x = \frac{\eta_m}{L_x} F(z_x), \quad (26.11)$$

в полумульде по падению

$$i_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1} F(z_{y_1}), \quad (26.12)$$

в полумульде по восстанию

$$i_{y_2} = \frac{\eta_m}{L_2} F(z_{y_2}). \quad (26.13)$$

Функции $F(z_x)$, $F(z_{y_1})$, $F(z_{y_2})$ табулированы и приведены в [11]. L_1 , L_2 , L_3 — длины полумульд соответственно на разрезе вкрест простирания по падению, на разрезе вкрест простирания по восстанию и на разрезе по простиранию. Кривизна в главных сечениях мульды определяется:

в полумульде по простиранию

$$K_x = \frac{\eta_m}{L_x^2} F'(z_x), \quad (26.14)$$

в полумульде по падению

$$K_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1^2} F'(z_{y_1}), \quad (26.15)$$

в полумульде по восстанию

$$K_{y_2} = \frac{\eta_m}{L_2^2} F'(z_{y_2}), \quad (26.16)$$

Функции $F'(z_x)$, $F'(z_{y_1})$, $F'(z_{y_2})$ табулированы и приведены в [11].

Горизонтальные сдвигения точек в главных сечениях мульды определяются:

в полумульде по простиранию

$$\xi = 0,5a_0\eta_m F'(z_x), \quad (26.17)$$

в полумульде по падению

$$\xi = 0,5a_0\eta_m F'(z_{y_1}), \quad (26.18)$$

в полумульде по восстанию

$$\xi = 0,5a_0\eta_m F'(z_{y_2}). \quad (26.19)$$

Значение коэффициента a_0 , представляющее собой относительную величину максимального горизонтального сдвигения, определяется по табл. 32. Функции $F'(z_x)$, $F'(z_{y_1})$, $F'(z_{y_2})$ такие же, как и в формулах (26.11), (26.12), (26.13).

Горизонтальные деформации (растяжение, сжатие) в главных сечениях мульды определяются:

в полумульде по простиранию

$$\epsilon_x = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_2} F'(z_x), \quad (26.20)$$

в полумульде по падению

$$\epsilon_{y_1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1} F'(z_{y_1}), \quad (26.21)$$

в полумульде по восстанию

$$\epsilon_{y_2} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_2} F'(z_{y_2}). \quad (26.22)$$

Значения функций $F'(z_x)$, $F'(z_{y_1})$, $F'(z_{y_2})$ такие же, как и в формулах (26.14), (26.15), (26.16).

§ 187. Меры охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок

Вопросы охраны сооружений и зданий от повреждений в результате выемки под ними полезного ископаемого приобрели в последние годы большое значение, так как их подработка ведет или к значительному удорожанию стоимости добычи полезного ископаемого из-за применения в сооружениях дополнительных мер по охране, или к большим потерям угля в предохранительных целиках. Определение условий безопасной подработки зданий и сооружений и выбор мер охраны производится сравнением расчетных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными для них деформациями.

Под допустимыми деформациями земной поверхности понимают деформации, могущие вызвать в сооружениях разрушения в таких пределах, что после текущих ремонтных и на-

ладочных работ они могут эксплуатироваться по своему прямому назначению. Под предельными деформациями земной поверхности понимают деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние с угрозой опасности для жизни людей.

Для определения условий безопасной подработки охраняемых объектов одиночным пластом или первым пластом свиты предложена безопасная глубина разработки, под которой понимают такую глубину, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций больше допустимых. На горизонтах ниже безопасной глубины горные работы могут проводиться без применения мер охраны.

Безопасная глубина разработки определяется по формуле

$$H_0 = K_e \frac{m}{[\varepsilon_d]}, \quad (26.23)$$

если для охраняемого объекта в качестве допустимых приняты горизонтальные деформации,
и по формуле

$$H_0 = K_i \frac{m}{[i_d]}, \quad (26.24)$$

если для охраняемого объекта в качестве допустимых деформаций принять наклоны.

В формулах (26.23), (26.24) K_e , K_i — эмпирические коэффициенты, значения которых определены для каждого угольного бассейна. Приведены значения коэффициентов K_e и K_i для Донецкого бассейна при первичной подработке, при повторной подработке эти значения увеличиваются в 1, 2 раза.

Угол падения пласта, °

	0	10	20	30	40 и более
K_e	0,7	1,0	1,0	0,8	0,6
K_i	1,6	1,8	1,5	1,1	0,9

Для оценки условий предельной подработки зданий и сооружений используется предельная глубина разработки, под которой понимают такую глубину, выше которой горные работы могут вызвать появление предельных деформаций в зданиях и сооружениях.

Предельная глубина разработки определяется по формуле

$$H_{\pi} = K_e \frac{m}{[\varepsilon_{\pi}]}, \quad (26.25)$$

если для охраняемого объекта в качестве предельных деформаций приняты горизонтальные деформации, и по формуле

$$H_{\pi} = K_i \frac{m}{[i_{\pi}]}, \quad (26.26)$$

если для охраняемого объекта в качестве предельных деформаций приняты наклоны.

В формулах (26.25), (26.26) m — вынимаемая мощность залежи; $[\epsilon_n]$, $[i_n]$ — предельные значения горизонтальных деформаций и K_e и K_i — коэффициенты, определяемые так же, как и в формулах (26.23) и (26.24).

Методики определения допустимых и предельных горизонтальных деформаций для гражданских зданий и промышленных сооружений отличаются своеобразием.

Гражданские здания. Допустимые $[\epsilon_d]$, $[i_d]$ и предельные $[\epsilon_n]$, $[i_n]$ деформации земной поверхности для гражданских зданий определяются величиной соответствующих допустимых и предельных значений суммарных деформаций по формуле

$$[\epsilon] = [\Delta l] / 1,2 m_e l, \quad (26.27)$$

где m_e — коэффициент условий работы, осредняющий горизонтальные деформации (определяется по табл. 33); l — длина здания (отсека); $[\Delta l_d] = [\Delta l_d]_n n_1 n_2 n_3 n_4 n_5$; $[\Delta l_n] = [\Delta l_n]_n n_1 n_2 n_3 n_4 n_5$; $[\Delta l_d]_n$, $[\Delta l_n]_n$ — нормативные допустимые и предельные показатели суммарных деформаций, определяемых в зависимости от назначения гражданских зданий и их этажности (табл. 34); n_1 — коэффициент, зависящий от грунтовых условий; n_2 — коэффициент, учитывающий материал и толщину стен; n_3 — коэффициент, учитывающий износ кирпичных и шлакоблочных стен; n_4 — коэффициент, учитывающий жесткость перекрытий ($n_4 = 1,2$ для зданий со сборными перекрытиями; $n_4 = 1$ — для зданий с деревянными и другими перекрытиями); n_5 — коэффициент, учитывающий форму здания в плане (для П-образной, Г-образной, Т-образной

Таблица 33

Коэффициент	Длина (ширина) здания (отсека), м				
	<15	15—30	31—45	49—60	>60
m_K	1	0,70	0,55	0,55	0,50
m_e	1	0,85	0,70	0,60	0,50

Таблица 34

Разряд	Назначение зданий	Этажность	$[\Delta l_d]_n$, мм	$[\Delta l_n]_n$, мм
1	Общественные здания, имеющие особую значимость, монументальные здания, здания с большими залами пролетом более 18 м	1—3	90	160
		4—5	120	160
2	Детские дошкольные учреждения, больницы, поликлиники, школы, родильные дома, бани, театры, дворцы культуры	1—3	110	180
		4—5	140	180
3	Жилые здания, гостиницы	1—3	130	180
		4—5	150	180
4	Учреждения общественного обслуживания, вспомогательные здания	1—3	140	180
		4—5	170	180

конфигураций $n_5=0,8$; для остальных $n_5=1$; для зданий с деревянными стенами во всех случаях $n_5=1$).

Грунты		n_1
Грунты с высокой несущей способностью (скальные, крупно-блочные, плотные глины)		0,9
Пески, супеси, суглинки, глины		1,0
Слабые грунты с низкой несущей способностью (глины пластичные, рыхлые пески)		1,2
Многолетнемерзлые грунты		0,8
Материал стен	Толщина стен, мм	n_2
Кирпич	380	1,0
Кирпич	510 и более	1,2
Шлакоблоки	400	1,0
Шлакоблоки	600 и более	1,2
Дерево	—	1,5
Износ стен, %		n_3
До 10		1,0
11—20		0,85
21—30		0,70
более 30		0,50

Промышленные здания. В зависимости от особенностей производственного процесса и чувствительности технологического оборудования и строительных конструкций к деформациям земной поверхности и от народнохозяйственной значимости промышленные здания разделены на пять разрядов.

Первый разряд. Производственные здания с герметизированными помещениями и особыми требованиями к чистоте, температуре и влажности внутреннего воздуха.

Одноэтажные производственные здания с трехменным производством при наличии в одном пролете двух мостовых кранов с весьма тяжелым или непрерывного действия режимом работы.

Второй разряд. Одноэтажные производственные здания с двухменным и трехменным производством при наличии подвесных или мостовых кранов тяжелого, среднего или легкого режимов работы. Основные производственные здания металлургических и химических предприятий с трехменным и двухменным производством. Сборочные цехи предприятий точного приборостроения. Производственные здания пищевой и медицинской промышленности (молочное, масложировое, кондитерское, парфюмерное производства, производство медицинских препаратов), кроме отмеченных в третьем разряде. Многоэтажные производственные здания тяжелой промышленности с динамическими нагрузками на перекрытия.

Центральные и групповые обогатительные фабрики. Брикетные фабрики, фабрики инертной пыли. Труболитейные цехи с карусельными разливочными машинами. Мартеновские, кузнечные, литейные и прокатные цехи металлургических и машиностроительных заводов с трехменным и двухменным производством. Кольцевые районные электростанции. Холодильники районного значения. Надшахтные здания и здания подъемных машин.

Третий разряд. Одноэтажные производственные здания с односменным производством при наличии подвесных или мостовых кранов независимо от их режима работы. Одноэтажные бескрановые производственные здания или здания с подвесной кран-балкой или тельфером при трехсменном или двухсменном производстве.

Многоэтажные (два этажа или более) производственные здания легкой промышленности с динамическими нагрузками на перекрытия.

Многоэтажные производственные здания тяжелой промышленности, кроме вошедших во второй разряд, с трехсменным или двухсменным производством.

Вспомогательные здания при наличии мостовых кранов с тяжелым или средним режимом работы или при постоянном пребывании людей в течение рабочих смен.

Вспомогательные здания с повышенными требованиями к чистоте, температуре и влажности внутреннего воздуха; административно-бытовые комбинаты, отдельно стоящие бытовые помещения, заводские амбулатории, больницы, бани и т. п.

Центральные электромеханические мастерские. Главные корпуса авторемонтных, мотороремонтных, цементных заводов. Районные электроподстанции. Мясокомбинаты, хлебозаводы, элеваторы. Шахтные и заводские котельные с водотрубными котлами и механизированной углеподачей. Локомотивное депо.

Четвертый разряд. Одноэтажные бескрановые производственные здания или здания с подвесной кран-балкой или тельфером при односменном производстве. Одноэтажные производственные здания с двухсменным и односменным производством при наличии подвесных или мостовых кранов эпизодического использования. Многоэтажные здания легкой промышленности, кроме вошедших в третий разряд. Многоэтажные производственные здания тяжелой промышленности с односменным производством. Складские здания. Вспомогательные здания с постоянным пребыванием людей в течение одной смены или более в сутки, например, административно-хозяйственные помещения, лаборатории, конструкторские бюро.

Профилактории и боксы — стоянки автомашин. Компрессорные станции. Шахтные электровозные депо. Здания шахтных электроподстанций. Здания шахтных вентиляторов.

Пятый разряд. Производственные здания с демонтированным крановым оборудованием или с другими изменениями технологии, приводящими к уменьшению эксплуатационных нагрузок на конструкции зданий. Вспомогательные здания с эпизодическим пребыванием людей в течение рабочих смен.

Допустимые и предельные деформации для промышленных зданий с размещенным в них оборудованием определяются раздельно для зданий и для оборудования. Меры охраны устанавливаются по наименьшим допустимым или предельным деформациям, полученным или для здания, или для оборудования.

Разряд зданий	Каркасные здания $[c_d]$, мм	Бескаркасные здания и с неполным каркасом $[c_d]$, мм
1	25	20
2	40	35
3	60	40
4	80, но не более $[c_n]$, определяемого по табл. 36	60
5	Допустимые деформации равны предельным, определяемым по формулам (26.34) и (26.35)	

Для промышленных зданий допустимые и предельные деформации определяются по формулам

$$[\epsilon_d] = [\epsilon_d]_n \cdot n_1 N_1; \quad (26.28)$$

$$[\epsilon_n] = [\epsilon_n]_n \cdot n_1 N_1, \quad (26.29)$$

где N_1 — коэффициент, зависящий от состояния здания, применяется от 1,1 для зданий с незначительными повреждениями до 0,7 для зданий, имеющих трещины в несущих стенах, разрушения кладки, выпучивания колонн и т. п.; n_1 — коэффициент, зависящий от грунтовых условий (см. стр. 396); $[\epsilon_d]_n$ — нормативная величина допустимых горизонтальных деформаций земной поверхности для зданий на столбчатых и ленточных фундаментах, определяется из выражения

$$[\epsilon_d]_n = \frac{[c_d]}{m_\epsilon l_4}, \quad (26.30)$$

и для зданий на сплошных железобетонных фундаментных плитах из выражения

$$[\epsilon_d] = 100/m_\epsilon l_\phi, \quad (26.31)$$

где $[c_d]$ — показатель, зависящий от разряда и конструктивной схемы здания, изменяется от 25 до 80 мм для каркасных зданий и от 20 до 60 мм для бескаркасных зданий (табл. 35); m_ϵ — коэффициент, определяемый из табл. 33; l_4 — расстояние от середины здания (отсека) ближайшей связевой панели или жесткой пристройки до крайних его фундаментов, мм; 100 — коэффициент, мм; l_ϕ — длина фундамента, мм. На рис. 171 показаны схемы каркасных зданий: a — без связевого (жесткого) блока; b — с жестким блоком 1; b — с жесткой пристройкой 2; z — с деформационным швом 3.

Нормативная величина предельных горизонтальных деформаций земной поверхности для каркасных зданий определяется по формуле

$$[\epsilon_n]_n = [c_n]/m_\epsilon l_4, \quad (26.32)$$

и для бескаркасных зданий по формуле

$$[\epsilon_n]_n = 100/m_\epsilon l_4, \quad (22.33)$$

Разряд зданий	Высота колонн, м						
	4	5	6	7	8	9	10 и более
1—4	60	70	80	90	100	110	120
	70	80	90	100	100	120	130

[c_n]. мм — показатель, зависящий от высоты колонн здания (табл. 36).

Для транспортных сооружений (железные дороги, путепроводы, мосты, подъездные пути, автомобильные магистрали и т. п.), водных объектов (водотоки, водоемы, обводненные породы и т. п.) и наклонных шахтных стволов безопасная глубина определяется по формуле

$$H_6 = K_6 m, \quad (26.34)$$

где K_6 — коэффициент безопасности; m — вынимаемая мощность залежи, м.

В качестве мер охраны объектов применяются:

1) горные меры, заключающиеся в охране сооружений с помощью закладки выработанного пространства, доставляемой в зону ведения горных работ, и в охране путем применения различных режимов выемки полезного ископаемого. К ним относятся нарезка выемочных участков таким образом, чтобы сооружения располагались в той части мульды, где наименьшая неравномерность сдвижений; безостановочное интенсивное подвигание забоя очистной выработки, уменьшающее время вредного воздействия на сооружения очистной выработки; выемка угля в обе стороны от разрезной печи, расположенной под серединой сооружения, и др.

Одним из эффективных способов охраны сооружений является оставление ленточных целиков с большим запасом прочности с расстоянием между ними, обеспечивающим устойчивость основной кровли;

2) конструктивные меры, снижающие напряжение и деформации, возникающие в зданиях, и усиливающие несущую способность конструкций, но не всегда исключающие появление мелких трещин в стенах, фундаментах, перекрытиях, не мешающих нормальной эксплуатации. В числе конструктивных мероприятий, применяющихся для уменьшения деформаций зданий, могут быть:

Осадочные швы, при помощи которых длинные здания разрезаются на отдельные отсеки, размеры которых выбирают в зависимости от конфигурации здания и его конструктивных схемы, но так, чтобы отсеки имели замкнутый контур. Осадочные швы располагаются рядом с внутренними поперечными стенками, тол-

щина швов должна быть такой, чтобы отдельные отсеки в процессе деформаций зданий работали независимо друг от друга. По вертикали здание рекомендуется разрезать на всю высоту, исключением является фундамент.

Податливые фундаменты, погашающие горизонтальные напряжения в зданиях. Для этого делается шов, отделяющий подземную часть здания от фундамента. Шов заполняется материалом с небольшим коэффициентом трения.

Фундаментные плиты. Идея способа состоит в том, что на выровненную и уплотненную поверхность грунта укладывает-

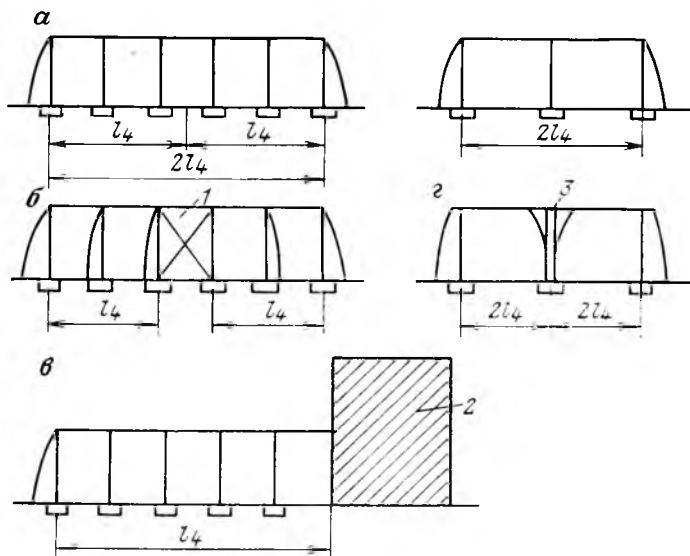


Рис. 171

ся железобетонная плита, разрезанная диагональными швами, заполненными эластичным материалом. На плиту насыпается слой влажного песка толщиной до 5 см и укладывается еще одна, но сплошная плита, на которой возводится здание.

Эффективную защиту зданий от подземных разработок можно осуществить с помощью компенсационных траншей, сооружаемых в грунте вдоль зданий и позволяющих в 1,5—2,0 раза снизить величину горизонтальных деформаций. Дно траншей опускается несколько ниже (около 50 см) отметки заложения фундамента. Компенсационные траншеи заполняются листовой волнистой сталью, мелким коксом или смесью грунта с опилками;

3) временное изменение характера эксплуатации сооружения, подвергающегося подработке: переселению жильцов, прекращению учебного или производственного процесса и т. п. В дальнейшем после затухания процесса сдвиге-

ния и ремонта сооружения нормальная эксплуатация этого объекта продолжается;

4) охрана сооружений предохранительными целиками, применяющаяся когда другие меры не могут обеспечить сохранности объекта или являются экономически невыгодными.

Для выбора способа охраны объекта при ведении горных работ выше горизонта безопасной глубины или при ожидаемых (расчетных) деформациях более допустимых определяются величина предельных показателей суммарных деформаций и предельные деформации для гражданских зданий, величины предельных деформаций для промышленных зданий и инженерных сооружений, а также предельная глубина разработки H_n .

Если окажется, что расчетные деформации больше допустимых, но меньше предельных, то для выемки запасов под объектом между безопасной и предельной глубинами должны быть на основании расчетных величин деформаций определены варианты применения горных или конструктивных мер охраны или их совокупность, обеспечивающие безопасную эксплуатацию объекта. Если расчетные деформации окажутся больше предельных, то для выемки запасов обязательно применение горных мер охраны. Если одних горных мер охраны окажется недостаточно, то должны быть выбраны дополнительные конструктивные меры охраны.

§ 188. Построение предохранительных целиков

Общие сведения. Построение предохранительных целиков для зданий и сооружений чаще всего выполняется способом вертикальных разрезов, строящихся на разрезах по простиранию и вкрест простирания залежи.

На разрезе вкрест простирания залежи для построения границ от охраняемой площади проводятся в наносах наклонные линии под углом сдвижения φ (угол сдвижения в наносах), в коренных породах под углами сдвижения β и γ до пересечения их с почвой пласта. На разрезе по простиранию в наносах проводятся наклонные линии под углом сдвижения φ , в коренных породах под углом сдвижения δ до верхней границы целика, определяемой пересечением линий, проведенных под углом δ , и горизонтальной линией, спроектированной с разреза вкрест простирания с точки, соответствующей верхней границе.

Наклонные линии, проведенные под углом сдвижения δ , продолжают дальше до горизонта H_r , определяемого из выражения

$$H_r = A_r H_\gamma, \quad (26.35)$$

где A_r — коэффициент, равный

$$A_r = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \alpha}}, \quad (26.36)$$

H_γ — расстояние по вертикали от контакта коренных пород с наносами до проекции нижней границы целика; γ — угол сдвижения; α — угол падения пласта.

Ниже H_r контуры предохранительного целика по простиранию определяются вертикальными линиями до нижней границы целика.

Границы предохранительных целиков строятся относительно охраняемой площади, включающей непосредственно охраняемый объект и берму вокруг него, создающую некоторый запас надежности для охраняемого объекта. Ширина бермы для вертикальных шахтных стволов применяется равной 20 м, для технических скважин глубиной более 500 м равной 15 м, глубиной менее 500 м — 10 м; для зданий и сооружений в зависимости от допустимых деформаций и для транспортных сооружений в зависимости от категории охраны ширина бермы определяется по табл. 37.

Таблица 37

Допустимые деформации		Категории охраны транспортных сооружений	Ширина бермы, м
$[e_d] \cdot 10^3$	$[i_d] \cdot 10^3$		
2 и менее	4 и менее	I	20
2,1—4,0	4,1—6,0	II	15
4,1—6,0	6,1—8,0	III	10
Более 6	Более 8	IV	5

Для отдельных зданий, имеющих отношение длинной стороны к короткой менее пяти, границы охраняемой площади в плане определяются линиями, проводимыми через углы зданий параллельно простиранию и падению залежи (пласта). Границы охраняемой площади для группы зданий (например, промплощадка шахты) определяются многоугольником со сторонами, параллельными охраняемым объектам. Границы охраняемой площади для вытянутых объектов и ориентированных диагонально к простиранию залежи (железные дороги, трубопроводы и т. п.) строятся параллельно охраняемому объекту.

При больших глубинах разработки для уменьшения запасов угля в предохранительных целиках возможно построение целиков криволинейной формы (см. § 186). В этом случае предельные границы предохранительных целиков, до которых допускается проведение выработок, определяются при помощи радиусов-векторов по формулам

$$r_b = \frac{H_b - h(1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta \cos^2 \omega + \operatorname{tg}^2 \delta \sin^2 \omega} + \operatorname{tg} \alpha \cos \omega} + h \operatorname{ctg} \varphi; \quad (26.37)$$

$$r_n = \frac{H_n - h(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma \cos^2 \omega + \operatorname{tg}^2 \delta \sin^2 \omega} - \operatorname{tg} \alpha \cos \omega} + h \operatorname{ctg} \varphi, \quad (26.38)$$

где r_b и r_n — радиусы-векторы, откладываемые в плане от угловых точек охраняемой площади соответственно в сторону восстания (r_b) и падения (r_n) пласта, м; H_b — расстояния по вертикали на разрезе вкрест простирания от угловой точки границы охраняемой площади со стороны восстания пласта до кровли пласта, м;

H_n — то же, со стороны падения пласта; h — мощность наносов, м; α — угол падения пласта; ω — переменный угол между радиусом-вектором и направлением восстания или падения пласта.

На месторождениях, где возможно перемещение пород по напластованию, для охраны вертикальных стволов и объектов с допустимыми деформациями $[\epsilon_d] \leq 2 \cdot 10^{-3}$, расположенных над выходами разрабатываемых пластов и вышележащих пластов и пропластков, должны составляться дополнительно к предохранительным целикам целики-упоры, которые по верхнему пласту оставляются до глубины $H_b = H_s \sqrt[3]{n}$, где H_s — наибольшая глубина, при которой могут возникнуть опасные подвижки по напластованию при выемке одного пласта; n — количество разрабатываемых пластов.

Размеры предохранительных целиков для вертикальных шахтных стволов определяются от границ охраняемой площади, включающей копры, надшахтные здания, подъемные машины. Целики для всех стволов с постоянным подъемом определяются по углам сдвижения, если глубина разработки не превышает H_0 , величина которой определена для каждого угольного бассейна. Для вентиляционных и воздухоподающих стволов, не оборудованных постоянным подъемом, или стволов, закрепленных податливой крепью, предохранительные целики также определяются по углам сдвижения.

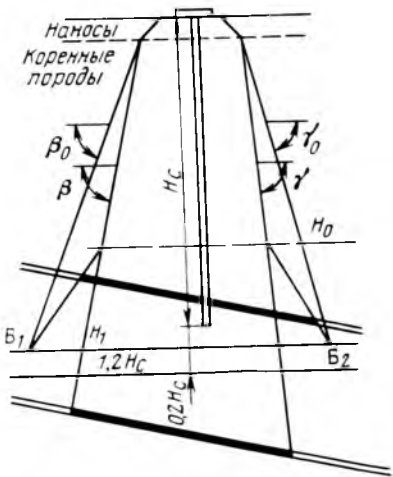


Рис. 172

Для вертикальных главных и вентиляционных стволов с жесткой крепью, оборудованных постоянным подъемом, при углах падения пластов $\alpha \leq 45^\circ$ на глубинах, равных H_1 и более, а при $\alpha > 45^\circ$ при глубинах, равных H_2 и более (H_1 и H_2 — глубина, начиная с которой предохранительные целики строятся по граничным углам, например, для Донбасса $H_1 = 600$ м; $H_2 = 700$ м), границы предохранительных целиков определяются от границ охраняемой площади линиями пересечения пластов плоскостями, проведенными (рис. 172):

а) в коренных породах до глубин H_0 и ниже глубины $1,2 H_c$ — под углами сдвижения;

б) в коренных породах от глубины H_1 и H_2 до глубины $1,2 H_c$ — под граничными углами;

в) в интервале глубин от H_0 — H_1 и H_0 — H_2 границы предохранительных целиков определяются линиями, соединяющими границы целиков соответственно на горизонтах H_0 , H_1 и H_0 , H_2 .

Построение предохранительных целиков производится, главным образом, способом вертикальных разрезов (см. § 186) и спо-

собом перпендикуляров (см. § 186), которые рассчитываются по формулам (26.39) и (26.40). Второй способ используется для вытянутых объектов (железная дорога, река и т. п.), ось которых ориентирована под некоторым углом (θ) к простираению пласта.

Построение предохранительного целика под отдельно стоящее здание

Исходные данные. В Кузнецком угольном бассейне построена школа на площади, подработанной ранее пластом «Инской III», процесс сдвижения поверхности окончился до строительства школы. Отработке под зданием школы подлежат два пласта — «Полысаевский I» мощностью 2,0 м и «Полысаевский II» мощностью 2,25 м. Угол падения пластов 9° , мощность наносов 7 м.

Стены здания школы кирпичные толщиной 510 мм, перекрытие железобетонное. Длина здания 35 м, его форма в плане П-образная. Фундамент здания опирается на грунт, представленный сухими суглинками.

К моменту составления мероприятий по охране здания его осмотр показал наличие, главным образом, волосных трещин толщиной до 1 мм.

Согласно прил. 6 Правил охраны [11] износ здания составляет 10%.

Выбор мер охраны. Допустимый для здания школы показатель суммарных деформаций $[\Delta l_d]$ от верхнего пласта «Полысаевский I»

$$[\Delta l_d] = [\Delta l_d]_n n_1 n_2 n_3 n_4 n_5.$$

Согласно Правилам охраны [11] четырехэтажное здание школы относится к зданиям охраны второго разряда, для которых нормативный показатель суммарных деформаций $[\Delta l_d]_n$ принимается равным 140 мм.

Значения коэффициентов n согласно приведенным в § 185 таблицам и материалам примем: $n_1=1,0$; $n_2=1,2$; $n_3=1,0$; $n_4=1,2$; $n_5=0,8$; откуда допустимый показатель суммарных деформаций равен: $[\Delta l_d] = 140 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 161$ мм. Для определения безопасной глубины разработки H_6 найдем допустимые горизонтальные деформации по формуле (26.27):

$$[\epsilon_d] = [\Delta l_d] / 1,2 m_\epsilon l,$$

где $l=35\,000$ мм, m_ϵ — коэффициент условий работы, согласно табл. 33 равен 0,7. Таким образом, $[\epsilon_d] = 5,4 \cdot 10^{-3}$. Безопасная глубина разработки равна [формула (26.23)]: $H_6 = K_\epsilon \frac{m}{[\epsilon_d]} = 433$ м. Здесь K_ϵ — коэффициент, равен 1,17; m — мощность пласта «Полысаевский I», равная 2 м.

Построим границы предохранительного целика по пласту «Полысаевский I» и определим возможность подработки здания при

полученной величине безопасной глубины работ. Для этого на плане через углы здания школы проводим линии, параллельные простиранию и падению пласта (рис. 173). Параллельно полученным сторонам проводятся линии на расстоянии от них, равном ширине предохранительной бермы, которая при $[e_d] = 5,4 \cdot 10^{-3}$ принимается равной 10 м. Таким образом, получаем прямоугольную фигуру АБВГ, подлежащую охране.

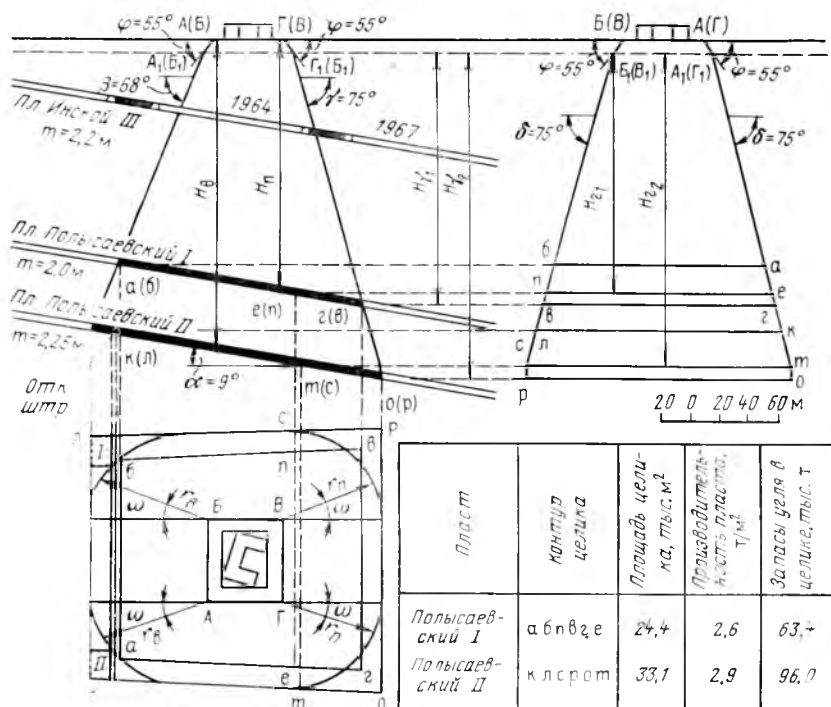


Рис. 173

На вертикальные разрезы по простиранию и вкрест простирания пласта проектируются контуры охраняемой площади и от них в наносах под углом сдвижения φ проводятся линии до пересечения с контактом между осадочными и коренными породами; получаем точки A_1, B_1, V_1, G_1 . Для условий Кузнецкого бассейна угол сдвижения $\varphi = 55^\circ$. Углы сдвижения в коренных породах, подверженных подработке, согласно [11] должны быть уменьшены на 5° по сравнению с углами сдвижения для неподработанной толщи. Откуда $\beta = 73^\circ - 5^\circ = 68^\circ$, $\gamma = 80^\circ - 5^\circ = 75^\circ$, $\delta = 80^\circ - 5^\circ = 75^\circ$. На разрезе вкрест простирания от точки A_1 проводим под углом сдвижения $\beta = 68^\circ$ линию до ее пересечения с пластом «Полысаевский I» и получаем точку а, являющуюся верхней границей целика. От точки G_1 под углом $\gamma = 75^\circ$ проводится прямая до пере-

сечения с пластом «Полысаевский I»; получаем точку г, являющуюся нижней границей целика. Измерения на построенном разрезе показывают, что целик по пласту «Полысаевский I» расположен намного выше вычисленной глубины безопасных работ ($H_6=433$ м). Действительно, верхняя граница целика (точка а) расположена на глубине 150 м, а нижняя — на глубине 177 м. Следовательно, выемка запасов угля по пласту «Полысаевский I» под зданием школы возможна только с применением горных и конструктивных мероприятий по защите зданий. Однако применение конструктивных мер ведет к прекращению эксплуатации здания, что в рассматриваемом случае нецелесообразно; горные мероприятия для одиночного здания также нецелесообразны. Таким образом, для охраны здания школы по пласту «Полысаевский I» необходимо оставление предохранительного целика.

Построение предохранительного целика. Границы предохранительного целика на разрез вкрест простирания были построены выше — это точки а (б), г (в) (см. рис. 173). Для определения границ по простиранию строится вертикальный разрез по простиранию, на который наносятся контуры охраняемой площади Б (В), А (Г). Из точек Б и А в наносах проводятся линии под углом сдвижения φ и в коренных породах под углом сдвижения $\delta=75^\circ$ до их пересечения с горизонтальной линией, проходящей через точку а разреза вкрест простирания. Полученные таким образом точки а, б определяют верхнюю границу предохранительного целика по пласту «Полысаевский I».

Для получения нижней границы предохранительного целика по формуле (26.35) определяется величина H_r . Коэффициент A_r в рассматриваемом случае равен 0,96; H_γ — расстояние по вертикали от контакта коренных пород с наносами до нижней границы целика, равно 170 м. Таким образом, $H_r = A_r H_\gamma = 0,96 \cdot 170 = 163$ м. От пересечения линий, проведенных под углом δ , с горизонтом H_r получают точки п, е. От полученных точек границы целика на разрезе по простиранию определяются вертикальными линиями, проходящими до нижней границы междукammerного целика.

Границы целика с разрезов вкрест и по простиранию пласта переносят на план, в результате получают границы предохранительного целика, отмеченные контуром.

Построение предохранительного целика по пласту «Полысаевский II» принципиально не отличается от описанного выше. На рис. 173 его контур показан буквами к л с р о т.

После построения целиков подсчитываются запасы полезного ископаемого в них.

Определим предельные границы предохранительного целика по пласту «Полысаевский II», до которых разрешено ведение горных работ в целике.

Вычисленные по формулам (26.37), (26.38) радиусы-векторы для различных значений угла ω для рассматриваемого целика следующие:

$\omega=0^\circ$,	$r_B=81$ м,	$r_n=63$ м;
$\omega=20$,	$r_B=77$,	$r_n=63$;
$\omega=30$,	$r_B=72$,	$r_n=63$;
$\omega=60$,	$r_B=62$,	$r_n=62$;
$\omega=90$,	$r_B=59$,	$r_n=61$.

Полученные значения радиусов-векторов под соответствующими углами ω откладывают от точек А, Б, В, Г, в результате получают криволинейный (сглаженный) контур предохранительного целика.

Построение предохранительных целиков для охраны промплощадки шахты

Исходные данные. На промплощадке, подлежащей охране, расположены вентиляционный ствол глубиной 240 м, оборудованный инспекторским подъемом; здание подъемной машины; электроподстанция, представляющая собой находящееся в удовлетворительном состоянии каркасное здание длиной 24 м с высотой колонн 6 м; находящееся в удовлетворительном состоянии каркасное здание осевых вентиляторов с высотой колонн 6 м; находящееся в неудовлетворительном состоянии каркасное здание склада технического обслуживания длиной 20 м и высотой 6 м, имеющего жесткую пристройку длиной 10 м. Грунт, на который опирается здание, — суглинки. Под зданием залегают три пласта: m_2 , l_7 и l_5 мощностью 1,2; 1,4; 1,3 м. Угли марки Ж. Угол падения пластов 58° . Наносы представлены суглинками мощностью 30 м.

Выбор мер охраны. Согласно [11] вертикальный шахтный ствол вместе с копром и зданием подъемной машины должен охраняться предохранительным целиком.

Меры охраны остальных промышленных зданий определим по допустимым горизонтальным деформациям по формуле (26.28). Здание электроподстанции относится к четвертому разряду (здания шахтных электроподстанций), поэтому показатель $[c_d]$, зависящий от разряда и конструктивной схемы здания, в соответствии с табл. 35 равен 80 мм. Коэффициент условий работы m_e равен 0,85 (см. табл. 33). Величина l_4 (см. рис. 171) может быть принята равной половине здания, т. е. 12 м. Откуда по формуле (26.30) найдем $[e_d]_n = [c_d] \cdot m_e l_4 = 80/0,85 \cdot 12 \cdot 10^2 = 7,8 \cdot 10^{-3}$.

Значение коэффициентов n и N примем равными единице. Таким образом, $[e_d] = [e_d]_n n_1 N_1 = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 = 7,8 \cdot 10^{-3}$. В связи с тем, что допустимые деформации для технологического оборудования определяются требованиями, предъявляемыми к зданиям, допустимые деформации для электроподстанции примем равными $[e_d]_n = 7,8 \cdot 10^{-3}$.

По аналогии со зданием электроподстанции найдем допустимые горизонтальные деформации для здания шахтных вентиляторов $[e_d] = 7,1 \cdot 10^{-3}$.

Согласно [11] предельные горизонтальные деформации осевых вентиляторов принимаются равными $[e_n] = 7 \cdot 10^{-3}$, что не-

сколько больше допустимых деформаций для здания, поэтому для здания шахтных вентиляторов примем $[\epsilon_n] = 7 \cdot 10^{-3}$.

Для здания склада, относящегося к четвертому разряду при определении допустимых деформаций, длиной 20 м и имеющего жесткую пристройку длиной 10 м, нормативная величина допустимых горизонтальных деформаций земной поверхности определяется по формуле (26.30): $[\epsilon_d]_n = [c_d]/m_e l_4$. В данном случае при $l_4 = 20$ м, $m_e = 0,85$ (см. табл. 33) и $[c_d] = 80$ (см. табл. 35) $[\epsilon_d]_n = 4,7 \cdot 10^{-3}$. Допустимые горизонтальные деформации определяются по формуле (26.28): $[\epsilon_d] = [\epsilon_d]_n n_1 N_1$, где $n_1 = 1$, $N_1 = 0,9$, таким образом, $[\epsilon_d] = 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,9 = 4,2 \cdot 10^{-3}$. Ширина берм для охраняемых объектов, определенная согласно табл. 37, приведена в табл. 38.

Таблица 38

Номер объекта	Название объекта	Ширина бермы, м
1	Вентиляционный ствол	20
2	Здание подъемной машины	20
3	Электростанция	5
4	Здание осевых вентиляторов	10
5	Склад технического оборудования	10

Откладывая на плане от охраняемых зданий соответствующую ширину берм, определяем охраняемую площадь АБВГДЕ (рис. 174).

Для определения границ предохранительного целика целесообразно использовать способ вертикальных разрядов. На вертикальный разрез вкрест простирания пластов проектируются угловые точки охраняемой площади А (Е), В (Б) и Г (Д). Из точек А (Е) и В (Б) проводятся линии в наносах под углами сдвига $\varphi = 60^\circ$, в коренных породах они продолжают под углом сдвига $\beta = 80^\circ - 0,8\alpha = 34^\circ$ до пересечения с пластом l_5 ; в результате получают точки $a_1(e_1)$ и $b_1(b_1)$.

Из точки Г (Д) проводится линия в наносах под углом $\varphi = 60^\circ$, в коренных породах под углом $\gamma = 80^\circ$, пересекающая пласты m_2 , l_7 и l_5 в точках $g_3(d_3)$, $g_2(d_2)$, $g_1(d_1)$.

Для определения мер охраны здания электростанции (3) и здания осевых вентиляторов (4) необходимо определить безопасную глубину их подработки нижним пластом l_5 .

Для здания электростанции $H_6 = K_e \frac{m}{[\epsilon_d]} = 0,7 \frac{1,3}{7,8 \cdot 10^{-3}} = 117$ м. Здесь коэффициент $K_e = 0,7$; мощность пласта $m = 1,3$ м.

Вычисленная величина H_6 значительно превышает глубину залегания верхней границы зоны опасного влияния горных работ на промплощадку (глубина точки a_1). Предельная глубина подработки электростанции численно совпадает с допустимой, поскольку оказалось, что $[c_n] = [c_d] = 80$ мм, следовательно, $[\epsilon_n] = [\epsilon_d]$.

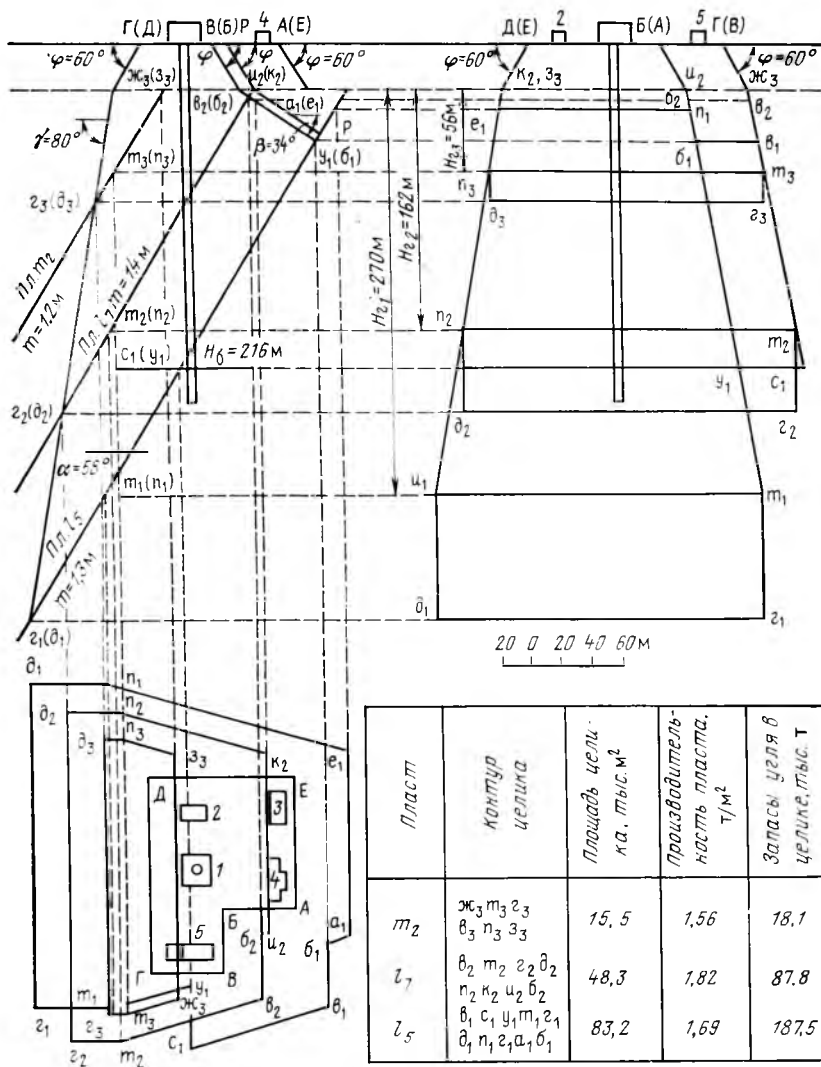


Рис. 174

Предельная глубина подработки для здания осевых вентиляторов

$$H_{\Pi} = K_e \frac{m}{[e_{\Pi}]} = 0,7 \frac{1,3}{7 \cdot 10^{-3}} = 130 \text{ м,}$$

что также значительно больше глубины залегания точек $a_1(e_1)$.

Выемка угля выше горизонта предельной глубины разрешается только с обязательным применением горных мер охраны. В данном случае единственной мерой охраны является закладка. Од-

нако необходимо рассмотреть целесообразность ее использования. Охрана ствола производится только предохранительным целиком. Если учесть размеры обязательного целика под ствол, то окажется, что запасы угля, которые можно извлечь из оставшейся части предохранительного целика, составляют всего 6 тыс. т. Так как на шахте отсутствует закладочный комплекс, то станет очевидной экономическая нецелесообразность извлечения с закладкой части предохранительного целика.

Таким образом, под зданиями электроподстанции и осевых вентиляторов оставляется предохранительный целик.

Безопасная глубина подработки здания склада пластом мощностью 1,2 м равна

$$H_6 = K_e \frac{m}{[e_d]} = 0,7 \frac{1,2}{4,2 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ м.}$$

Нижняя граница зоны опасного влияния горных работ по пласту m_2 — 105 м. Следовательно, по пласту m_2 для охраны здания необходимо оставить предохранительный целик. Безопасная глубина подработки пластом l_7 практически совпадает с нижней границей зоны опасного влияния горных работ по этому пласту, что определяет оставление предохранительного целика под здание склада по пласту l_7 .

Безопасная глубина подработки по пласту l_5 равна

$$H_6 = K_e \frac{m}{[e_d]} = 0,7 \frac{1,3}{4,2 \cdot 10^{-3}} = 216 \text{ м,}$$

что намного меньше глубины залегания пласта l_5 , ограниченного линией, проведенной под углом сдвижения γ . Таким образом, предохранительный целик по пласту l_5 может быть оставлен до H_6 (глубины 216 м).

Построение предохранительного целика. На разрезе по простирацию наносятся угловые точки охраняемой площади, из которых вначале проводятся линии в наносах под углами сдвижения $\varphi = 60^\circ$, затем они продолжают в коренных породах под углами сдвижения $\delta = 80^\circ$ до горизонта $H_r = 270$ м. Ниже горизонта H_r линии продолжают под углом 90° к горизонту до пересечения с нижними границами предохранительных целиков.

Верхними границами предохранительных целиков в пластах m_2 и l_7 являются линии выходов пластов под наносы. В пласте l_5 — линия е, а, б, в.

Определенные на вертикальных разрезах угловые точки переносят на план, в результате получают контуры предохранительных целиков:

по пласту m_2 — ж₃, т₃, г₃, д₃, п₃, з₃;

по пласту l_7 — в₂, т₂, г₂, д₂, п₂, к₂, н₂, б₂;

по пласту l_5 — в₁, с₁, т₁, г₁, п₁, е₁, а₁, б₁.

После этого подсчитывают запасы угля в предохранительных целиках.

Исходные данные. На территории одной из шахт Кузнецкого бассейна проходит двухколейная железная дорога общего пользования со стыковыми путями. Скорость движения поездов — 80 км/ч, грузооборот — 3,5 млн. тонно-километров в год.

Под железной дорогой на глубине 70—230 м залегает пласт 2, на глубине 130—290 м — пласт 3, мощностью соответственно 1,6 и 2,1 м. Наносы представлены суглинками мощностью 10 м. Угол падения пластов $\alpha = 30^\circ$. На плане (рис. 175) показаны изогипсы почвы пласта.

Выбор мер охраны железной дороги. Железная дорога относится ко II категории охраны, коэффициент безопасности для которой принимается равным 150 [11] (табл. 5.1). Безопасная глубина в этом случае, определяемая по формуле (26.34), $H_6 = K_6 m$, составит: для пласта 2 — $H_6 = 150 \cdot 1,6 = 240$ м, для пласта 3 — $H_6 = 150 \cdot 2,1 = 315$ м. Таким образом, в обоих случаях глубина залегания пластов меньше безопасной глубины, и, следовательно, необходимо оставить предохранительные целики для охраны железной дороги.

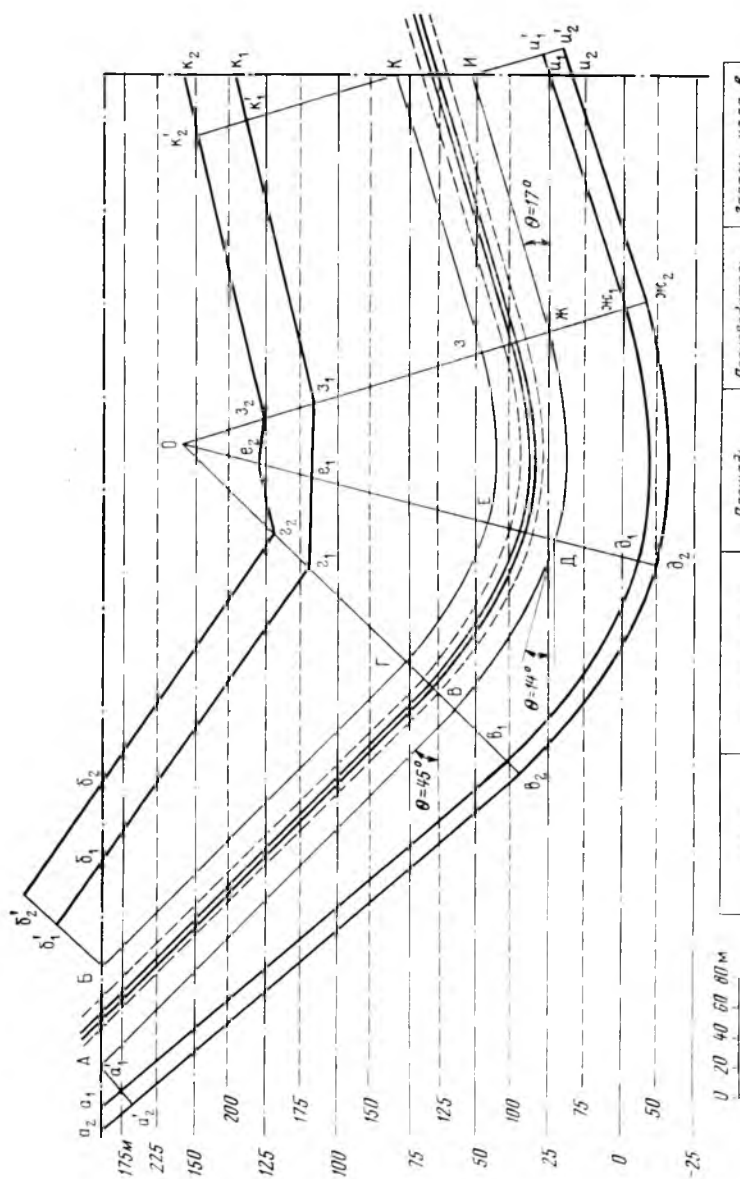
Построение предохранительных целиков. Построение предохранительных целиков в таких случаях чаще всего производится по способу перпендикуляров.

Для транспортных сооружений II категории охраны охранная берма принимается равной 15 м. В случае железной дороги охранная берма откладывается от нижних границ насыпи в обе стороны по нормали к ней.

Через центр криволинейного участка железной дороги (т. 0) и начало, середину и конец кривой проведем прямые, которые при пересечении охраняемой площади дадут точки В, Г, Д, Е, З, Ж. На прямолинейных участках железной дороги выберем несколько точек, расположенных на контуре охраняемой площади, например, точки А, Б, И, К. Эти точки принято называть характерными. Таким образом, охраняемая площадь определяется контуром АБГЕЗКИЖДВ.

Углы сдвижения для Кузнецкого бассейна согласно Правилам охраны [11] определяется следующим образом: $\beta = 82^\circ - 30^\circ = 52^\circ$; $\delta = \gamma = 80^\circ$, $\varphi = 55^\circ$. Угол θ для прямолинейных участков определяется как острый угол между границей (контуром) охраняемой площади и направлением простирания пласта (см. рис. 175); для криволинейной части — как острый угол между касательной, проведенной к кривой в характерных ее точках (в нашем случае точки В, Д, Ж). Значения угла θ , измеренные в точках А, В, Д, Ж, И, приведены в табл. 39.

Определение глубин залегания пласта в характерных точках производится по разности абсолютных отметок земной поверхности и изогипс пластов (см. табл. 39).



Плост	Контур целика	Площадь целика, тыс. м ²	Производительность пласти, т/м ²	Запас углов в целике, тыс. т
2	$a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, g_1, h_1, i_1, j_1, k_1, l_1, m_1, n_1, o_1, p_1, q_1, r_1, s_1, t_1, u_1, v_1, w_1, x_1, y_1, z_1$	194,1	2,08	237,3
3	$a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2, g_2, h_2, i_2, j_2, k_2, l_2, m_2, n_2, o_2, p_2, q_2, r_2, s_2, t_2, u_2, v_2, w_2, x_2, y_2, z_2$	135,0	2,73	368,5

Рис. 175

Характер- ные точки	θ , градус	$\text{ctg } \beta'$	$\text{ctg } \gamma'$	$H - h$, м		q , м		l , м	
				пл. 2	пл. 3	пл. 2	пл. 3	пл. 2	пл. 3
Б	45	0,566		67	128	38	66		
Г	45	0,566		170	232	85	144		
Е	14	0,759		198	259	111	144		
З	17	0,749		195	257	110	143		
К	17	0,749		166	227	95	127		
А	45		0,176	67	128			20	31
В	45		0,176	194	255			43	55
Д	14		0,176	229	291			52	64
Ж	17		0,176	228	285			51	63
И	17		0,176	201				46	58

Длины перпендикуляров q и l определяются по формулам

$$q = h \text{ ctg } \varphi + \frac{(H - h) \text{ ctg } \beta'}{1 + \text{ctg } \beta' \cos \theta \text{ tg } \alpha}; \quad (26.39)$$

$$l = h \text{ ctg } \varphi + \frac{(H - h) \text{ ctg } \gamma'}{1 - \text{ctg } \gamma' \cos \theta \text{ tg } \alpha}; \quad (26.40)$$

где

$$\text{ctg } \beta' = \sqrt{\text{ctg}^2 \beta \cos^2 \theta + \text{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta}; \quad (26.41)$$

$$\text{ctg } \gamma' = \sqrt{\text{ctg}^2 \gamma \cos^2 \theta + \text{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta}; \quad (26.42)$$

φ — угол сдвижения в наносах; β , γ , δ — углы сдвижения в коренных породах; α — угол падения пласта; h — мощность наносов; H — глубина залегания пласта; θ — угол между простиранием пласта и направлением оси охраняемого сооружения; β' , γ' — углы сдвижения в разрезах, расположенных диагонально по отношению к простиранию пласта.

Вычисленные значения перпендикуляров q и l , приведенные в табл. 39, проводятся из соответствующих характерных точек границы охраняемой площади. Соединив концы отрезков перпендикуляров, получим на плане границы предохранительного целика:

по пласту 2 — a_1 , b_1 , $г_1$, e_1 , $з_1$, $к_1$, $и_1$, $ж_1$, $д_1$, $в_1$;

по пласту 3 — a_2 , b_2 , $г_2$, e_2 , $з_2$, $и_2$, $ж_2$, $д_2$, $в_2$.

Подсчитываются запасы в предохранительных целиках.

Глава 27

УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ КАРЬЕРОВ

§ 189. Общие сведения

Устойчивость горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых является важным вопросом, определяющим как экономику добычи, так и безопасность трудящихся. Открытый способ разработки стал преобладающим при

добыче руды черных и цветных металлов и неметаллических руд. В ближайшие годы удельный вес открытой добычи угля достигнет 50—55%. При открытой разработке наблюдается постоянная тенденция непрерывного роста глубины карьеров. Подсчитано, что при глубине карьера 500 м увеличение угла наклона борта карьера на 1° ведет к увеличению объема вскрыши 1 км длины борта на 6 млн. м³. Если учесть, что в нашей стране объем вскрышных работ исчисляются более чем 2 млрд. м³ пустой породы в год, то становится очевидным, какое актуальное значение с точки зрения экономики горного производства имеют в настоящее время вопросы устойчивости бортов карьеров и какое еще большее значение они приобретут в будущем. Завышенные углы бортов карьеров ведут к возникновению обрушений и оползней горных пород. Обрушения бортов, имеющих угол наклона более 30—35°, представляют большую опасность для людей и механизмов. Часты случаи, когда в процессе оползания борта карьера вовлекались массы (до десятков млн. м³), нарушавшие нормальный технологический режим эксплуатации месторождения.

Потеря устойчивости (сдвигание) бортов и уступов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых связана главным образом с изменением напряженного состояния нетронутого массива, вызванного проведением горных выработок. Разрушение горных пород происходит под действием касательных напряжений, которые при определенной величине вызывают в массиве необратимые деформации сдвига по поверхностям, называемым поверхностями скольжения.

Все многообразие деформации пород бортов карьеров может быть разделено на 5 видов: осыпи, обрушения, оплывины, просадки и оползни. Особенности отмеченных видов деформаций горных пород заключаются в следующем.

Осыпи характеризуются тем, что с верхней части откоса происходит постепенное скатывание небольшими объемами сыпучих масс в нижнюю часть. Такое перемещение происходит в том случае, когда угол откоса больше угла внутреннего трения при практическом отсутствии сцепления пород.

Обрушения — быстрое смещение породных масс по поверхности скольжения, которыми могут являться: поверхности, ослабленные геологическими нарушениями и трещиноватостью; плоскости напластования, падающие в сторону почвы карьера; вновь возникшие поверхности.

Для предотвращения обрушений проектирование борта и уступов карьера производится с обязательным учетом особенностей слагающего массива. Возможно применение соответствующих инженерных мероприятий, повышающих устойчивость горных пород.

Оплывины происходят в породах, способных насыщаться водой и в результате переходить из твердого в текучее состояние. Чаще всего оплывины наблюдаются при насыщении влагой рыхлых и высокопористых отложений (лессов, лёссовидных суглин-

ков и т. п.) до консистенции текучести и при выносе песчаных частиц фильтрующимся потоком. Устраняются оплывины с помощью дренажа.

Просадки — вертикальное опускание прибортовых участков рыхлых породных масс без образования сплошной поверхно-

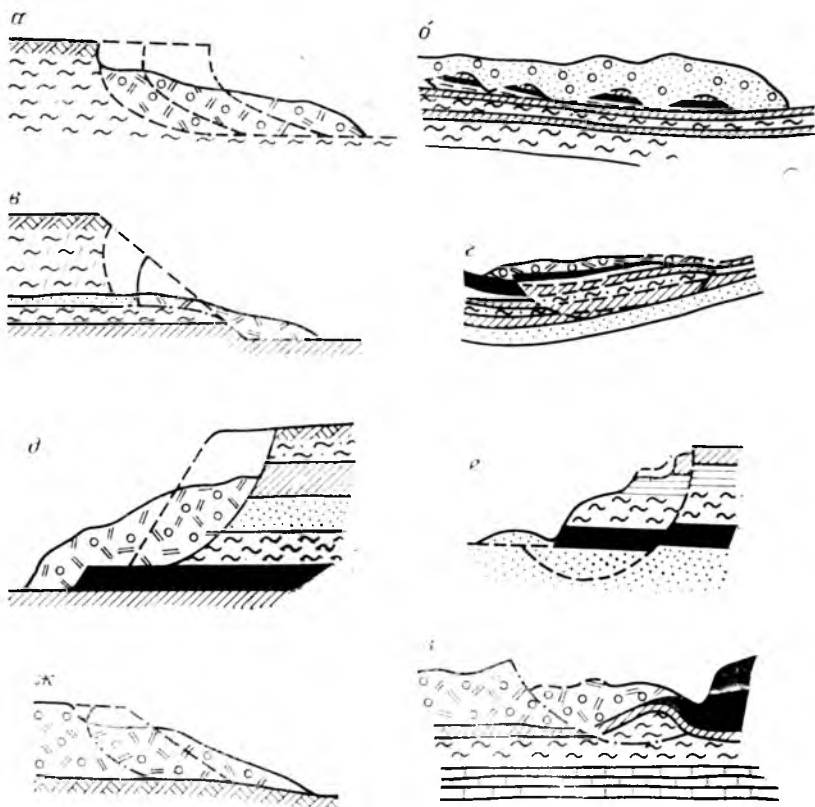


Рис. 176

сти скольжения. Причинами их возникновения являются уплотнение отвалов рыхлых пород, которое усиливается при увлажнении, насыщение водой высокопористых отложений, наличие слабых пластических слоев в основании откоса.

Оползни характеризуются тем, что движение пород происходит медленно, процесс продолжается в течение длительного времени и сдвигению подвергаются большие горные массивы. В движении могут принимать участие как коренные породы, так и породы отвалов.

Наблюдаемые на карьерах оползни пород Г. Л. Фисенко классифицирует следующим образом.

Оползни изотропных массивов, характеризующиеся тем, что они не связаны с наличием в массиве поверхностей ослабления. Поверхность скольжения имеет вид плавной кривой заканчивающейся вверху вертикальной трещины (рис. 176, а).

Покровные оползни происходят в рыхлых водонасыщенных породах, расположенных на склоне твердых пород, при присутствии регулирования стока дождевых вод (рис. 176, б).

Фильтрационные оползни являются результатом выноса фильтрующимся потоком слабосвязанных частиц (рис. 176, в). Основной причиной их появления чаще всего бывает подкапывание откоса.

Глубинные оползни слоистых пород лежащего бока, которые чаще всего проявляются на участках, сложенных слабыми глинистыми породами, и где слои имеют слабое или наклонное падение в сторону выработанного пространства (рис. 176, г). Причиной возникновения этих оползней в большинстве случаев являются напорные воды в породах лежащего бока.

Особенность оползней надвигов заключается в том, что в нижней части оползня поверхность скольжения проходит по ослабленному контакту между слоями или по слабому пластическому прослойку, полностью пересеченному бортом, а средняя и верхняя части поверхности скольжения пересекают слои пород (рис. 176, д).

Оползни выпирания происходят в тех случаях, когда в основании бортов залегают слои слабых пластичных глин, прочность которых значительно меньше прочности вышележащих пород (рис. 176, е).

Контактные оползни, возникающие в тех случаях, когда производится подрезка обводненных контактов пологозалегающих слоев глинистых пород и дизъюнктивных нарушений, заполненных глиной трения.

При деформациях отвалов возможны следующие виды оползней.

Надпочвенные оползни, происходящие при слабых песчано-глинистых породах отвалов, расположенных на устойчивом основании (рис. 176, ж).

Подпочвенные оползни отвалов возникают в тех случаях, когда отвалы размещаются на пластичных обводненных породах лежащего бока (рис. 176, з). Основной причиной возникновения оползней является небольшая прочность пород основания отвалов, возникают они в тех случаях, когда в основании отвалов залегают наклонно-слоистые породы с незначительными сдвиговыми характеристиками по контактам слоев.

§ 190. Факторы, влияющие на устойчивость откосов карьеров

Устойчивость откосов определяется соотношением сил, удерживающих откос и стремящихся его сдвинуть. Величина этих сил определяется рядом факторов.

Прочность горных пород. Устойчивость углов наклонных бортов карьеров (откосов) по существу является задачей теории предельного равновесия, согласно которой прочность горной породы можно охарактеризовать следующим уравнением:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + k,$$

где τ — касательное напряжение по площадке сдвига; ρ — угол внутреннего трения пород; σ_n — нормальное напряжение на площадке сдвига; k — коэффициент сцепления пород.

Массивные горные породы представляют собой сложную среду, обладающую неравномерностью (анизотропией) свойств. Основной причиной, вызывающей анизотропность механических свойств, является структура — различные поверхности ослабления (напластование, трещиноватость и пр.), из-за которой законы геометрического подобия, используемые для изотропных твердых тел (металла, пластмасс и т. п.), не могут быть применены к массивам пород.

Слоистые породы, располагаясь в горных породах на определенном расстоянии друг от друга, пересекаясь или сопрягаясь, образуют пространственную сетку. Первичной ячейкой подобной сетки (элементарной единицей) является структурный блок, ограниченный соседними трещинами.

Механические свойства в массиве отличаются от свойств, полученных на образцах. Для определения свойств в массиве производятся специальные испытания на сдвиг больших призм, оконеченных в местах их естественного залегания. Опыты, проведенные в массивах горных пород, показали, что из двух параметров (сцепления и угол внутреннего трения), характеризующих сопротивление сдвигу, наиболее изменчивым является сцепление.

Угол внутреннего трения в массиве, когда поверхность скольжения не совпадает с поверхностями контактов между слоями, можно принять равным углу внутреннего трения, определенного при испытаниях на срез образцов горных пород. В табл. 40 приведены значения углов внутреннего трения для некоторых пород. Углы внутреннего трения по контактам слоев принимаются равными углу трения, полученному по результатам лабораторных испытаний на трение по этим поверхностям.

Таблица 40

Литературное наименование породы	Угол внутреннего трения в куске, градус	Угол естественного откоса, градус
Песчаник	36	34—36
Алевролит	33	34—36
Аргиллы	27—30	
Известняки	34	
Метаморфические сланцы	29	33—35
Кварцевые порфиры и гранодиорит-порфиры	36	
Синиты и порфиристы	35	35

Механические свойства горных пород в массиве (особенно сцепление) не только отличаются от свойств в образце, но и являются величинами переменными, зависящими в значительной степени от соотношения размеров деформирующегося объекта, размера структурного блока и прочности горной породы в образце.

Учет размеров структурных блоков и их влияния на прочностные свойства массива производится при помощи коэффициентов структурного ослабления. Г. Л. Фисенко для определения величины сцепления в массиве предложил следующее выражение:

$$k_m = \frac{k_k}{1 + a \ln H/l},$$

где k_k — сцепление в массиве и образце; a — коэффициент, определяемый по табл. 41; H/l — отношение высоты борта к среднему размеру структурного блока.

Для оценки механических характеристик массивов горных пород необходимо знание особенностей трещиноватости. Ее изучение должно выявить основные и второстепенные системы трещин, установить удельный вес каждой из систем в общей массе трещин, пространственные углы между системами трещин, оценить интенсивность трещиноватости, характер ее размещения в карьерном поле, значение каждой из систем трещин в структуре месторождения, ее влияние на устойчивость откосов.

Полевые наблюдения трещиноватости выполняются в разведочных и дренажных выработках на естественных и искусствен-

Таблица 41

Группа пород	Наименование пород и характер трещиноватости	Величина сцепления в куске, кгс/см ²	Величина коэффициента a
III	Слабоуплотненные и слаботрещиноватые песчано-глинистые отложения, сильно выветрелые, полностью каолинизированные изверженные	4—9	0,5
	Уплотненные песчано-глинистые, в основном с нормально-секущей трещиноватостью	10—20	
II	Сильно каолинизированные изверженные	30—80	2
	Уплотненные песчано-глинистые с развитой кососекущей трещиноватостью, каолинизированные изверженные	30—80	
	Средней крепости, слоистые, преимущественно с нормально-секущей трещиноватостью	100—150	3
		150—170	4
		170—200	5
I	Крепкие, преимущественно с нормально-секущей трещиноватостью	200—300	6
	Крепкие изверженные с развитой кососекущей трещиноватостью	300	7
		200	10

ных обнажениях горных пород. Количество участков замера трещиноватости и их взаимное расположение определяются сложностью геологического строения месторождения или шахтного поля, но они должны располагаться так, чтобы изучению был подвергнут весь комплекс горных пород и все элементы структур месторождения. Массивы горных пород, расчлененные крупными геологическими нарушениями, должны иметь каждый 1—2 участка замеров трещин. При простом строении месторождения или шахтного поля расстояние между участками замеров принимается равным 150—200 м.

На каждом участке замера трещиноватости определяются элементы залегания всех систем трещин, элементы напластования и сланцеватости, линейные размеры отдельных трещин, расстояние между трещинами каждой системы, характер поверхности трещин, форма и размер структурных блоков.

Элементы залегания трещин определяются с помощью обычного или специального горного компаса. Измерению должны быть подвергнуты по возможности все трещины, которые встречаются на площадке замера. Общее число замеров элементов залегания трещин на площадке замера определяется количеством систем трещин и характером их поверхности. При этом следует исходить из того, чтобы каждая система трещин имела не менее 15—20 замеров элементов залегания. При сильном разбросе данных для отдельных систем число замеров увеличивается до 30.

Камеральная обработка замеров трещин состоит в определении средних значений ориентировки трещин и интенсивности трещиноватости. Определение элементов ориентировки трещин в пространстве чаще всего производят на стереографических сетках, из которых наибольшее распространение получила равнопромежуточная сетка.

Статистическая обработка точечной диаграммы, заключающаяся в подсчете трещин, располагающихся в определенных площадных интервалах, позволяет разделить всю совокупность трещин в изучаемом массиве на системы.

На прочность горных пород существенное влияние оказывает их выветрелость. Особенно этот фактор важен для карьеров с большим сроком службы, когда из-за выветривания происходят обрушения уступов, оползни и осыпи. В результате указанных деформаций наблюдается выполаживание первоначальных откосов с накоплением осыпей, что приводит к уменьшению ширины предохранительных и транспортных берм.

Гидрогеологические факторы. К ним относятся подток грунтовых вод, гидростатическое и гидродинамическое давление, суффозия, выщелачивание, внезапные прорывы воды, оплывание.

Влияние как каждого из этих факторов в отдельности, так и в совокупности приводит к резкому снижению прочностных характеристик пород, а также к уменьшению сопротивления сдвигу.

Климатические факторы: количество атмосферных осадков, температурный режим района, микрорельеф, ветры.

Атмосферные осадки при отсутствии регулируемого стока приводят к обводнению песчано-глинистых пород и насыщению их влагой, что резко снижает силу сопротивления сдвигу и уменьшает устойчивость откосов. Существенное влияние на устойчивость горных пород оказывают резкие изменения температуры и ветры, вызывающие ускорение выветривания.

Горнотехнические факторы. Способ производства взрывных работ наиболее существенно влияет на устойчивость бортов, так как после взрыва в некоторой области массива его прочность существенно снижается. На устойчивость откосов влияют также ширина берм очистки и транспортных берм, профиль рабочих площадок, подработка бортов подземными горными выработками и т. п.

§ 191. Маркшейдерские наблюдения за деформациями горных пород при открытых разработках

Наблюдения за сдвижением горных пород при открытых разработках и обработка результатов наблюдений являются важнейшими задачами маркшейдерской службы карьеров.

Систематические наблюдения за оползневыми очагами разделяются на два основных этапа: 1) разведка и выявление ополневых очагов, 2) наблюдения ополневых очагов и разработка мероприятий по ликвидации ополневых явлений. Различаются два основных типа наблюдений: наблюдения видимых деформаций бортов и уступов с целью установления формы оползня и характера его развития во времени и пространстве; наблюдения участков, где нет видимых деформаций, но где они могут возникнуть и принести значительный ущерб предприятию.

В результате наблюдений должны быть установлены: характер сдвижения; размеры сдвигающегося массива; поверхности скольжения; стадии процесса сдвижения (начальная, активная, затухающая); степень опасности сдвижения пород для горных работ или сооружений на поверхности и под землей, если отработка месторождения ведется комбинированным способом. Для проведения наблюдений за сдвижением горных пород на борту карьера закладываются наблюдательные станции, на которых периодически (через определенные промежутки времени) производятся инструментальные наблюдения. Наблюдательные станции представляют собой систему реперов, закладываемых на откосе борта карьера и в горных выработках исследуемого участка. Реперы закладываются по линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера, располагаются они по возможности в различных горно-геологических условиях. В первую очередь профильные линии следует располагать в менее устойчивых местах борта и в местах, где имеются факторы, способствующие ослаблению устойчивости борта или отдельных уступов (крутой угол заоткоски,

большая глубина карьера, подрезка слоев, наличие тектонических нарушений, обводненность и т. п.).

Длина профильных линий должна быть такой, чтобы оба или один конец ее были вне зоны ожидаемых сдвижений. При небольшой глубине профильные линии могут быть проведены через весь карьер, но в большинстве случаев на каждом борту они закладываются самостоятельно. Расстояние между реперами профильной линии зависит от глубины карьера и размеров уступов. На каждом уступе должно быть заложено не менее двух реперов: один вблизи бровки уступа, другой — у почвы вышележащего уступа. Реперы на уступах располагаются так, чтобы была обеспечена безопасность наблюдателя при работе на них.

На каждом конце профильной линии имеется не менее двух опорных реперов. Одновременно с устройством наблюдательной станции закладывается не менее трех исходных реперов таким образом, чтобы была гарантирована их сохранность. К исходным реперам привязываются опорные реперы всех линий.

Маркшейдерские наблюдения на станциях складываются из нивелировки всех реперов, включая опорные, измерения расстояний между реперами стальными рулетками с постоянным натяжением с помощью динамометров и замеров температуры, инструментальной съемки отдельных уступов, навалов пород, особенностей залегания пород, трещиноватости, образовавшихся смещений и т. п.

Все измерения должны производиться с контролем. Точность наблюдений должна удовлетворять следующим условиям: при геометрическом нивелировании разность превышений из двух нивелировок должна быть не более 3 мм; при измерении длин непосредственно между реперами расхождение двух измерений не должно быть более 2 мм; при тригонометрическом нивелировании разность между двумя измерениями одного и того же превышения при длинах до 10 м не должна превышать 5 мм, при длинах более 10 м — 8 мм.

По результатам наблюдений составляется следующая графическая документация:

- 1) план наблюдательной станции в масштабах 1:500÷1:2000 с нанесением всех реперов профильных линий, изменений состояния и положения бортов карьеров и ситуации поверхности;
- 2) вертикальные разрезы по каждому профилю, на которых должно быть отмечено положение борта на момент закладки профильной линии и данной серии наблюдений;
- 3) графики векторов сдвижений реперов в вертикальной плоскости (масштабы 1:1, 1:5, 1:10, 1:20);
- 4) графики скоростей сдвижения реперов по направлению векторов.

Одной из задач маркшейдерских наблюдений за оползнями является определение положения в теле откоса поверхности скольжения и установление причин возникновения оползня. При интерпретации результатов наблюдений по профильным линиям необ-

ходимо иметь в виду, что векторы перемещения отдельных точек, находящихся на поверхности скольжения, совпадают с перемещениями точек поверхности откоса, расположенных на нормалях к поверхности скольжения. Таким образом, по известным из маркшейдерских наблюдений векторам перемещений поверхности оползня можно, решая обратную задачу, определить положение линии скольжения.

Построение линии скольжения производится следующим образом (рис. 177).

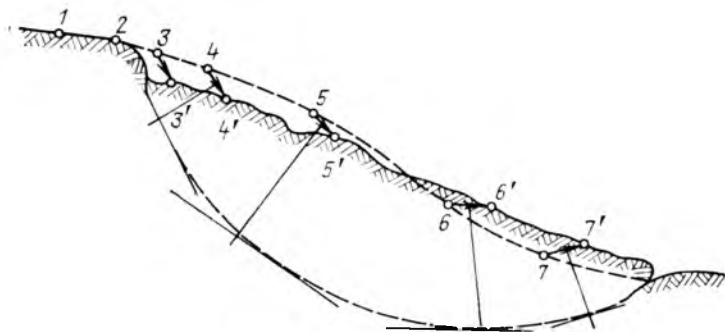


Рис. 177

По результатам наблюдений за сдвижением оползня строят профиль откоса, на который наносят положение всех реперов и трещин, возникающих при оползне. Особенно тщательно должны документироваться трещины в верхней части и у основания оползня. На построенный профиль наносят векторы перемещений реперов, к серединам которых восставляют в сторону массива перпендикуляры. От верхней и нижней границ оползня (вверху — трещина отрыва, внизу — линия надвига) проводятся отрезки, параллельные векторам перемещения реперов на соответствующих перпендикулярах. Если при построении ломаной линии от верхней и нижней границ она не смыкается, то проводят среднюю ломаную кривую, которая затем сглаживается в плавную кривую.

§ 192. Устойчивость уступов и бортов карьеров

При проектировании, строительстве и эксплуатации карьеров важное значение имеет правильный выбор методики расчета углов наклона борта, которая должна обеспечить устойчивость уступов и бортов карьеров, размещение на бортах необходимых съездов и бERM, экономичность работ.

Линия погашения борта может быть конструктивной, когда она соответствует профилю, отстроенному по горнотехническим

условиям; устойчивой, когда борт карьера имеет минимально достаточный запас устойчивости для данных особенностей горных пород; конструктивно-устойчивой, когда оба вышеуказанных профиля совпадают или очень близки между собой.

Если для карьеров, борта которых сложены скальными необводненными породами, угол наклона, определенный по конструктивным соображениям, зачастую совпадает с устойчивым, то в случаях бортов, сложенных слабыми или сильно обводненными породами, устойчивый борт, как правило, более пологий, чем отстроенный по горнотехническим условиям.

Для суждения об устойчивости откосов широко используется коэффициент устойчивости, понимаемый как отношение суммы всех удерживающих сил к сумме сил, сдвигающих оползневой клин.

Удерживающие силы возникают главным образом за счет трения и сцепления. Сдвигающие силы являются главным образом результатом сдвигающего действия массы оползневого клина. Возможно также действие других сил. Выражение для коэффициента устойчивости записывается следующим образом:

$$\eta = \frac{\sum F_{\text{тр}} + \sum F_{\text{сц}}}{\sum F_{\text{сдв}}}, \quad (27.1)$$

где $\sum F_{\text{тр}} = f c \sum N_i$; $\sum F_{\text{сц}} = k L$; $\sum F_{\text{сдв}} = c \sum T_i$; L — длина поверхности скольжения; f — коэффициент внутреннего трения пород; k — сила сцепления, приходящаяся на единицу площади расчетной поверхности; $F_{\text{тр}}$ — сила трения; $F_{\text{сц}}$ — сила сцепления.

В верхней части откоса в результате действия растягивающих усилий образуются вертикальные трещины разрыва, глубина которых может быть определена по формуле

$$H_{90} = 2k \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\rho}{2} \right) / \gamma, \quad (27.2)$$

где k и ρ — соответственно сцепление и угол внутреннего трения пород; γ — средняя плотность пород.

При расчете устойчивого положения бортов большую сложность представляет отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения. Рассмотрение условия равновесия оползневого клина дает только одно уравнение, не позволяющее решать задачу однозначно. Поэтому отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения осуществляется путем подбора, что сопряжено со сложными вычислениями.

Проф. Г. Л. Фисенко предложил способ определения поверхности скольжения, использующий теорию предельного равновесия, при котором сразу определяется ее положение с наименьшим запасом устойчивости.

Согласно теории предельного равновесия элементарные площадки скольжения в однородном массиве горных пород могут

возникнуть при напряжениях не менее $\sigma_s = 2k \operatorname{ctg} (45^\circ - \frac{\rho}{2})$, и эти площадки располагаются под углом $(45^\circ - \frac{\rho}{2})$ к направлению наибольшего главного напряжения. В нетронутом горными процессами массиве, если исходить из гравитационного генеза естественных полей напряжений, направление главного наибольшего напряжения совпадает с вертикалью, в некоторой же близости от поверхности откоса оно поворачивается в сторону выемки.

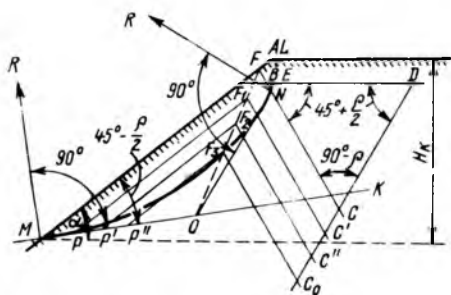


Рис. 178

Исходя из этих положений, Г. Л. Фисенко рекомендует следующий порядок построения поверхности скольжения (рис. 178).

1. На профиле откоса проводят линию BD , отстоящую от поверхности откоса на расстоянии H_{90} , и одновременно вертикально линию AB .

2. На линии BD выбирают произвольную точку D и через нее проводят линию DC под углом $45^\circ + \frac{\rho}{2}$ к линии BD . Под этим же углом из точки B проводят линию BC .

3. Из нижней точки откоса M под углом $45^\circ - \frac{\rho}{2}$ к линии откоса MA проводят линию MK .

4. На линию MK от точки M откладывают равные отрезки $MP, PP', P'P''$, а на линию DC от точки C вниз — отрезки $CC', C'C''$ и $C''C_0$.

5. Из точек P, P', P'' проводят прямые линии, параллельные линии откоса MA , а из точек C' и C'' и C_0 — линии, параллельные BC . Пересечение этих линий дает точки F, F_1, F_2, F_3 , через которые проводят прямую FO до пересечения с линией MK .

6. Из точки O проводят прямую, параллельную DC , до пересечения с линией BD в точке E .

7. Из точки N проводят перпендикуляр к линии OE , а из точки M — перпендикуляр к линии MK . Пересечение перпендикуляров дает положение центра окружности, проходящей через точки M и E . Кривая MF_3N представляет наиболее опасное положение поверхности скольжения. Точки E и N соединяют прямой.

После проделанных операций производится проверка устойчивости откоса. Для этого в крупном масштабе строится оползневой клин, который вертикальными линиями разбивается на ряд призм (рис. 179). Измеряется площадь каждого блока S_i , определяется масса пород в каждой призме на 1 м фронта карьера по формуле $Q_i = S_i \gamma$.

Вертикальные линии, являющиеся границами призм, продолжаютсЯ вниз на расстояния, соответствующие в выбранном масштабе массе призм. Из точек пересечения этих линий с поверхностью скольжения восстанавливают перпендикуляры. Для каждой призмы определяют нормальную (N_i) и касательную (T_i) составляющие массы. Измеряют угол θ , заключенный между ними.

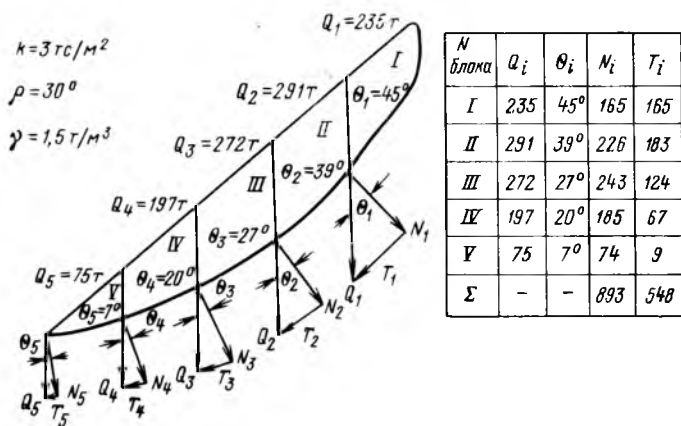


Рис. 179

Находится длина поверхности скольжения L , после чего определяется коэффициент устойчивости по формуле

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \rho \sum N_i + kL}{\sum T_i}, \quad (27.3)$$

где ρ — угол внутреннего трения, градус; k — сцепление породы, МПа; L — длина поверхности скольжения, м.

Если полученный коэффициент устойчивости больше или равен заданному, то постоянный борт считается устойчивым, если меньше, то неустойчивым, и необходимо его выполаживание или проведение искусственных мероприятий по увеличению устойчивости горных пород.

§ 193. Проектирование противооползневых явлений

При проектировании противооползневых мероприятий необходимо различать случаи, когда поверхность скольжения ярко выражена в природе (по поверхности ослабления, контактам слоев и пр.) или же является условной линией при проектировании.

В первом случае поверхность скольжения может быть представлена наиболее слабыми контактами, когда напластования горных пород падают в сторону выработки. Роль поверхности скольжения играют также прослойки глинистых и суглинистых пород в

однородной толще откоса. Примером такой поверхности может служить контакт песка с суглинком.

Во втором случае положение поверхности скольжения не обнаруживается видимыми признаками и определяется только на основании маркшейдерских наблюдений за деформациями откоса или расчетным путем. При этом невозможно установить точное положение этой поверхности, однако даже приближенное ее определение дает возможность установить характер ожидаемого оползня и принять соответствующие меры охраны.

Ниже излагаются некоторые способы проектирования противооползневых мероприятий.

Выполаживание угла откоса. Сущность данного способа заключается в том, что в целях предупреждения оползня угол наклона борта или уступа уменьшают до величины, при которой оползания не произойдет.

Расчет такого угла откоса производится последовательно для нескольких углов наклона борта. По результатам подсчета коэффициента устойчивости и для ряда значений угла строится график $\eta = f(\alpha)$, по которому выбирается угол откоса с заданным коэффициентом устойчивости.

Снятие нагрузки с призмы активного давления. При ведении горных работ в зоне действующих глубинных оползней или в зоне их возможного образования целесообразно управление устойчивостью откоса путем разгрузки призмы активного давления и увеличения массы упора отсыпкой упора в ее нижней части.

Отгрузка очага оползня дает хорошие результаты в тех случаях, когда падение слоев направлено в сторону выработанного пространства и угол их наклона не менее $18-20^\circ$. При подрезке слоев горными работами неизбежно скольжение пород по плоскостям напластования, и поэтому для предотвращения оползня целесообразно заранее снять часть пород борта и тем самым повысить его устойчивость.

Искусственное упрочнение горного массива. Рассматриваются два направления: упрочнение откосов, сложенных скальными и полускальными породами, и упрочнение откосов, сложенных мягкими (песчаными и песчано-глинистыми) породами.

При рассмотрении искусственного укрепления скальных и полускальных откосов имеют в виду, что общее уменьшение угла наклона борта карьера вызывается не недостаточной устойчивостью всего объема пород откоса, а наличием ослабленных зон из-за неблагоприятной ориентировки слоистости, большой интенсивности трещиноватости, дизъюнктивных нарушений и пр.

Существующие способы укрепления откосов удобно разделить на следующие группы: использующие механические принципы укрепления; использующие повышение механических характеристик путем инъекций в массиве укрепляющих сред; использующие изоляцию участков откосов устойчивыми покрытиями.

При выборе методов искусственного укрепления должны быть учтены технико-экономические показатели выбираемого способа повышения устойчивости откосов.

Экономическое обоснование определяется оценкой эффективности мероприятий по укреплению и удалению в отвал 1 м³ породы, слагающей борт карьера. Так, при укреплении бортов глубоких карьеров, когда укрепляемая зона находится на значительной глубине, необходимо сравнивать затраты на укрепление ослабленного участка со стоимостью ликвидации обрушений пород и стоимостью восстановления проектного контура борта. Целесообразно проведение укрепительных мероприятий даже тогда, когда их стоимость выше стоимости удаления объемов вскрыши, так как искусственное укрепление осуществляется без нарушения основных добычных процессов.

Объем породы, подлежащей выемке, при реконструкции борта и ликвидации последствий обрушения можно определить по формуле

$$V = ahLe, \quad (27.4)$$

где a — ширина обрушившейся бермы; h — высота от бермы до поверхности; L — длина обрушившегося участка; e — коэффициент, зависящий от конфигурации борта и принятого вида транспорта.

Стоимость выемки указанного объема будет

$$S = buq + S_0, \quad (27.5)$$

где S_0 — затраты на ликвидацию последствий обрушения с учетом ущерба неполной или частичной остановки предприятия; b — себестоимость 1 м³ вскрыши; q — коэффициент удорожания 1 м³ вскрыши при разкose борта.

Стоимость укрепительных работ может быть вычислена из выражения

$$S_y = b_y V_y, \quad (27.6)$$

где b_y — себестоимость укрепления 1 м³ породы; V_y — объем пород, подлежащих укреплению.

Таким образом, эффективность укрепительных работ равна разности стоимости работ по выемке и отгрузке объема пород, связанного с реконструкцией борта и ликвидацией последствий обрушения, и стоимости укрепления участка борта.

К первой группе относятся способы укрепления анкерной крепью, тросовыми тяжами, контрфорсными стенками и т. п. Во втором случае наиболее распространенным является способ инъекций цементного раствора. Эффективными в ряде случаев могут быть инъекции полимерных смол. Среди способов третьей группы наибольшее распространение получили покрытия торкрет-бетоном, битумом, эпоксидными смолами. Часто искусственное покрытие применяется вместе с металлической сеткой и анкерной крепью.

Приведенные выше способы повышения устойчивости откосов имеют свои оптимальные условия применения. Так, железобетонные сваи наиболее надежно закрепляют участки, имеющие ярко выраженные плоскости ослабления: тектонические трещины, слоистость, зоны нарушений и т. п.

К достоинствам свайного метода необходимо отнести в первую очередь высокую их несущую способность при работе на срез и возможность укрепления участков с глубоким залеганием поверхностей скольжения.

Технология сооружения свай включает в себя бурение скважин, изготовление и спуск в них арматуры и набивку скважины бетоном или цементным раствором. Наибольшее распространение получила гибкая арматура, состоящая из стальных прожилых стержней, связанных поперечными хомутами. Диаметр стержней может быть от 20 до 40 мм, для поперечной арматуры используется сталь диаметром 6—8 мм.

После закрепления арматуры в скважине в последнюю засыпается заполнитель (щебень, гравий, песок). В качестве цемента используются все виды портландцементов, шлакопортландцементов, глиноземистых цементов и пр.

При укреплении участков, сложенных сильно трещиноватыми породами, целесообразно производить нагнетание в массив укрепляющего цементного раствора.

Упрочнение горных пород путем инъекции цементного раствора и других материалов проводится в горных породах, обладающих хорошей водопроницаемостью. Наилучший эффект цементации достигается в трещиноватых скальных породах: известняках, песчаниках, сланцах, габбро и пр., но при отсутствии в трещинах глинистых примазок.

При цементации горных пород бортов карьеров необходимо, чтобы сцементированные участки не создавали условий для гидростатического напора подземных вод.

Анкерная крепь обычно применяется в породах крупноблочного строения и сланцеватой структуры и является простым и высоконадежным методом закрепления уступов и бортов карьеров. Длина анкеров определяется мощностью ослабленной зоны, но ограничивается технологическими возможностями ее установки. По характеру закрепления в массиве анкера могут быть точечного и рассредоточенного закрепления. К первому типу относятся анкера с замками распорного типа, ко второму — анкера, у которых соединение анкера с горными породами осуществляется на всем протяжении (железобетонные анкера, анкера со смолами, отчасти деревянные анкера).

Способ укрепления откосов гибкими тросами можно рассматривать как разновидность анкерного крепления. Известны случаи установки гибких тросов в скважинах длиной до 30 м. Особенно эффективны гибкие тросы в тех случаях, когда элемент крепи помимо растягивающих испытывает изгибающие напряжения.

Одним из способов укрепления песчаных и песчано-глинистых откосов является метод, заключающийся в искусственном, дополнительном пригрузении фильтрующих откосов слоем чистых песков, гравием или щебнем.

Пригрузка по высоте откоса неравномерна: внизу наибольшая, кверху уменьшается до нуля.

Перспективными для упрочнения откосов, сложенных песчаными и песчано-глинистыми породами, являются способы, использующие постоянное электрическое поле, в результате воздействия которого на супеси и пески пластичной и тугоплавкой консистенции формируются породные сваи, обладающие повышенной прочностью.

Физическая сущность способа упрочнения заключается в том, что наложение постоянного электрического поля на горные породы вызывает в них явление электропереноса (перемещение между полюсами постоянного электрического поля электрически заряженных частиц). Возникающие при этом электрокинетические и электрохимические процессы снижают влажность пород, увеличивают их плотность и вызывают коагуляционно-кристаллизационные процессы, которые продолжаются без воздействия электрических полей еще 2—3 года.

Для повышения экономичности способа целесообразно применение неоднородных электрических полей, в которых силовые линии сгущаются к катоду. Это достигается концентрическим расположением анодов вокруг катода.

При такой схеме упрочняемый массив горных пород обретает форму сваи радиусом, равным расстоянию между разноименными полюсами.

При упрочнении постоянным электрическим полем в укрепляемом борте бурятся кусты из 6 анодных скважин длиной на 10—15% больше мощности оползаемых пород. Расстояние между кустами скважин выбирается таким образом, чтобы была обеспечена устойчивость откоса.

Для создания породных свай в глинах нарушенной и ненарушенной структуры с высоким содержанием тонкодисперсных частиц и весьма низким коэффициентом фильтрации эффективен способ с применением композиционного вяжущего. В этом случае бурится скважина в центре будущей сваи и в нее вводится композиционное вяжущее на основе цемента, негашеной извести и глинистых пород (40% портландцемента марки 300—350, 10% негашеной извести активностью 85—92%, 50—55% неогеновой глины). В результате взаимодействия композиционного вяжущего с породами в некотором объеме вокруг скважины происходит осушение пород, вызываемое гидратацией вяжущего материала, образование под действием адсорбционно-химических процессов водостойких и прочных гидросиликатов кальция, цементирующих дисперсные частицы. Таким образом, создается скважина упрочненного материала диаметром, например, 50 см при диаметре пробуренной скважины 23 см.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДР

§ 194. Общие сведения

Рост потребления минерального сырья повышает значение бережливого использования недр, которые в нашей стране являются общегосударственной собственностью. Предприятию недр передаются во временное пользование, поэтому их эксплуатация должна производиться с выполнением ряда условий, направленных на полное и комплексное использование недр и охрану природы и техногенных объектов как на поверхности, так и под землей. В связи с этим важнейшим условием рационального использования минерального сырья и нормальной работы горнодобывающих предприятий является своевременный и достоверный геолого-маркшейдерский учет состояния и движения разведанных запасов полезного ископаемого.

Основная задача геологоразведочных работ заключается в подсчете запасов полезных ископаемых, с последующим их утверждением в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров ~~СССР~~ (ГКЗ).

Для каждого вида минерального сырья запасы подсчитываются отдельно, если из полезного ископаемого извлекаются содержащиеся в них полезные компоненты, то подсчет ведется как по запасам руды, так и по запасам компонентов. В комплексных рудах также подсчитываются запасы сопутствующих полезных ископаемых. Подсчитанные запасы полезного ископаемого учитываются в весовом выражении, иногда и в м³ (вода, песок и т. п.).

В зависимости от пригодности к использованию в промышленности запасы при подсчете разделяются на две группы:

Балансовые запасы месторождения, использование которых экономически целесообразно и которые удовлетворяют условиям, установленным для подсчета запасов в недрах.

Забалансовые запасы месторождения, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно вследствие малого количества, малой мощности залежей, низкого содержания ценных компонентов, особой сложности условий эксплуатации, необходимости очень сложных процессов переработки, но которые в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения.

Сумму балансовых и забалансовых запасов принято называть геологическими запасами.

Запасы полезных ископаемых, оставляемые в охранных целях шахт, транспортных магистралей и других капитальных сооружений, если они удовлетворяют условиям, относят к балансовым. Под условиями и на полезное ископаемое понимают комплекс требований к качеству и количеству полезного ископаемого, отражающий техническую возможность и экономическую целесообразность промышленного его использования в течение опреде-

ленного периода. Кондиции разрабатываются для отдельных месторождений полезных ископаемых или предприятиями, или научно-исследовательскими или проектными институтами.

Из числа балансовых выделяются промышленные запасы, под которыми понимают запасы в пределах проектных границ поля горного предприятия, подлежащие извлечению из недр согласно техническому проекту разработки месторождения. Количество промышленных запасов предприятия представляет собой разность между балансовыми запасами предприятия, с одной стороны, и проектными потерями и запасами, нецелесообразными для отработки по технико-экономическим причинам, с другой стороны.

Промышленные и балансовые запасы месторождения по мере их уточнения в процессе эксплуатации корректируются.

Промышленные запасы подсчитываются по эксплуатируемым, строящимся и проектируемым добывающим предприятиям. На действующих горных предприятиях ведется учет состояния и движения балансовых и промышленных запасов и проектных потерь.

§ 195. Классификация запасов полезных ископаемых

Запасы полезных ископаемых классифицируются по двум признакам — по степени разведанности и изученности и по степени подготовленности к добыче.

Классификация запасов полезных ископаемых по степени разведанности. В зависимости от степени разведанности, изученности качества сырья и горнотехнических условий разработки запасы полезных ископаемых подразделяются на следующие четыре категории:

Категория А — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, формы и строения полезного ископаемого, полное выявление природных и промышленных сортов минерального сырья, выделение и оконтуривание безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого, полное выяснение качества полезного ископаемого и природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Категория В — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залеганий, формы и характера строения тел полезного ископаемого, выявление природных типов и промышленных сортов минерального сырья и закономерности их распределения без точного отображения пространственного положения каждого типа, выяснение соотношения и характера безрудных и некондиционных участков внутри тел полезного ископаемого без точного их оконтуривания, выяснение качества полезного ископаемого и основных природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Категория С₁ — запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий

залегания, формы и строения тел полезного ископаемого, его природных типов, промышленных сортов, качества, технологических свойств, а также природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Категория C_2 — запасы, предварительно оцененные; условия залегания, форма и распространение тел полезного ископаемого определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытием полезного ископаемого в отдельных точках, либо по аналогии с изученными участками. Качество полезного ископаемого определено по единичным пробам и образцам или по данным примыкающих разведанных участков.

Утвержденные данные о запасах месторождения используются для проектирования разработки месторождения. Проектная организация определяет количество балансовых запасов, относящихся к общешахтным потерям (например, предохранительные и барьерные целики), и количество балансовых запасов, теряемых в виде эксплуатационных потерь. Сумма общешахтных и эксплуатационных потерь составляет проектные потери полезного ископаемого. Кроме того, подлежат учету также запасы, нецелесообразные для отработки по технико-экономическим причинам, которые снимаются с балансовых запасов, но без отнесения их в потери.

По балансовым запасам, проектным потерям и промышленным запасам горными предприятиями в ходе эксплуатации ведется учет состояния и движения запасов.

Классификация запасов полезных ископаемых по степени их подготовленности. С целью ритмичной работы предприятия по добыче полезного ископаемого производится нормирование запасов по степени их подготовленности.

А. При подземной разработке по степени подготовленности к выемке промышленные запасы подразделяются на три категории.

Вскрытые запасы, к которым относят часть промышленных запасов, вскрытых капитальными горными выработками и для отработки которых не требуется проведения дополнительных вскрывающих (капитальных) выработок (шахтных стволов, капитальных кваршлагов, капитальных уклонов и т. п.), а только подготовительных и нарезных выработок. Количество вскрытых запасов не нормируется.

Подготовленные запасы — являющиеся частью вскрытых запасов полезного ископаемого, для отработки которых пройдены все горноподготовительные выработки, предусмотренные проектом в соответствии с принятой системой разработки, обеспечивающие безопасность работ, полноту выемки запасов.

Из числа подготовленных выделяют временно неактивные запасы полезного ископаемого, которые могут находиться:

— во временных целиках (междукамерных, потолочинах, днищах, временных целиках, поддерживающих горные выработки, и т. п.);

— в нижележащих пластах до тех пор, пока не будут отработаны запасы в вышележащем пласте;

— в блоках, очистная выемка которых по горнотехническим условиям временно невозможна, и т. п.

Необходимое количество подготовленных запасов предусматривается проектом рудника (шахты), пятилетним и годовыми планами развития горных работ предприятия.

Готовые к выемке запасы — представляющие собой часть подготовленных запасов, для отработки которых пройдены все подготовительные и нарезные выработки, необходимые для начала очистной выемки полезного ископаемого в соответствии с принятой системой разработки.

В. Классификация запасов по степени их подготовленности к выемке при открытой разработке месторождений полезных ископаемых также предусматривает три категории запасов:

Вскрытые запасы — запасы полезного ископаемого месторождения или его части из числа промышленных запасов предприятия, верхняя часть которых искусственно освобождена от покрывающих пустых пород или обнажена вследствие естественного обнажения, на нижнюю поверхность пройдена вскрывающая выработка (въездная траншея) и выполнены работы по осушению запасов, предусмотренные проектом.

Подготовительные запасы — часть промышленных из числа вскрытых запасов в уступах с обнаженной верхней и боковой поверхностями, для разработки которых выполнены горно-подготовительные работы, предусмотренные техническим проектом.

Готовые к выемке запасы — запасы из числа подготовленных, для разработки которых выполнены вспомогательные работы, заключающиеся в зачистке уступов от остатков пород вскрыши; подготовке уступов к производству буровых работ; строительству автодорог (подъездов) к экскаваторам; проведении временных водоотливных канав на отдельных горизонтах и т. п.

Конкретные контуры вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов определяются в соответствии с требованиями, предъявляемыми отраслевыми инструкциями по определению и учету вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых.

Подготовленные и готовые к выемке запасы нормируются, причем нормы выражаются в месяцах работы предприятия, например, если норматив подготовленных к добыче равен 12 месяцев, это значит, что на предприятии постоянно должны быть подготовлены запасы на 12 месяцев работы.

§ 196. Учет состояния и движения запасов

Каждое горное предприятие ведет учет движения запасов, заключающийся в периодическом определении количества запасов, числящихся на его балансе.

Основными задачами учета является получение достоверных и полных данных о состоянии и движении разведанных запасов в

недрах, обобщение, систематизация и анализ полученных данных для определения обеспеченности предприятия балансовыми, промышленными, вскрытыми, подготовленными и готовыми к выемке запасами, что используется предприятием для правильного планирования эксплуатационных, капитальных и геологоразведочных работ и контроля полноты извлечения запасов из недр.

Учету подлежат все разведанные балансовые и забалансовые запасы по категориям А, В, С₁ по всем основным и попутным компонентам. При определении запасов на конец отчетного периода исходными являются запасы, числившиеся на балансе предприятия на начало этого периода.

Учет движения запасов складывается из первичного учета, сводного учета и отчетного баланса запасов.

Первичный учет на горнодобывающих предприятиях производится на основе данных о разведочных, горно-капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработках, получаемых в результате выполнения геолого-маркшейдерских измерений; учитываются также материалы другой производственной деятельности предприятий. Объектами первичного учета запасов являются выемочные единицы, под которыми понимаются блок, панель, лава, камера, магазин, уступ и т. д., обрабатываемые одной системой разработки.

В результате проведения учета определяется числовая характеристика состояния запасов на начало отчетного периода; устанавливаются также изменения, имевшие место за отчетный период и с начала разработки, и состояние запасов на конец отчетного периода, кроме того, составляется характеристика по отдельным видам запасов, что позволяет предприятию иметь возможность контролировать ход выполнения плана подготовки запасов. Изменение запасов за отчетный период может происходить из-за уменьшения запасов за счет выявления в процессе эксплуатации участков с некондиционным полезным ископаемым и участком, разработка которых нецелесообразна по технико-экономическим причинам; из-за уменьшения запасов в результате добычи и потерь; из-за изменения запасов в результате увеличения или уменьшения шахтного поля в результате доразведки и т. д.

На основании данных первичного учета выполняется сводный учет балансовых запасов, заключающийся в получении обобщенных данных о движении запасов и о состоянии их на начало и конец отчетного периода в целом по предприятию. Осуществляется сводный учет путем суммирования данных первичного учета по отдельным выемочным единицам. Сводный учет состояния и движения запасов осуществляется ежеквартально по всем действующим, подготавливаемым и находящимся в доразведке выемочным единицам и является основой для составления статистической отчетности.

Сводный учет запасов предусматривает пересчет разведанных запасов на 1 апреля, 1 июля, 1 октября и 1 января, осуществляется он в специальной книге учета, являющейся официальным

документом предприятия, на основе которого составляется отчетный баланс запасов по форме 5-гр. Последний составляется на 1 января каждого года.

§ 197. Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи полезного ископаемого

На горнодобывающих предприятиях осуществляется оперативный учет добычи полезного ископаемого, позволяющий производить оценку деятельности отдельных лав, блоков, забоев, участков и всего предприятия практически за любой промежуток времени (обычно за смену, сутки, месяц). Оперативный учет производится или по числу и массе (нетто) вагонеток, вагонов, самосвалов, скипов, или по данным взвешивания добываемого полезного ископаемого. В первом случае количество добытого полезного ископаемого за смену определяется умножением числа выданных вагонеток (вагонов, автосамосвалов и т. п.) на установленную среднюю массу полезного ископаемого, которая определяется несколько раз в год специальной комиссией, назначаемой директором предприятия. Например, определение средней массы угля в вагонетках производится 2 раза в год взвешиванием не менее 10 однотипных вагонеток, выдаваемых с каждого участка и загруженных до уровня бортов. Объем суточной добычи в целом по руднику (шахте) определяется после окончания рабочих суток суммированием данных о добыче по сменам.

Правильность оперативного учета контролируется или маркшейдерскими съемками горных выработок, или маркшейдерскими замерами остатков полезного ископаемого на складах и в бункерах. Во втором случае добыча в тоннах определяется по формуле

$$Q = Q_1 - Q_2 + Q_3,$$

где Q_1 — количество полезного ископаемого, отправленного по данным бухгалтерского учета потребителям; Q_2 и Q_3 — остатки полезного ископаемого соответственно на начало и конец отчетного периода на складах и в бункерах.

При использовании маркшейдерских замеров выработок для контроля оперативного учета массу добытого из выработок полезного ископаемого получают умножением объема выемки по полезному ископаемому на плотность полезного ископаемого в массиве.

Маркшейдерские замеры горных выработок производятся комиссиями, назначаемыми руководителем предприятия; результаты замеров регистрируются в специальных книгах замеров. Периодичность замеров регламентируется отраслевыми инструкциями.

§ 198. Потери и разубоживание полезного ископаемого

Одной из основных задач маркшейдерской службы горнодобывающего предприятия является учет рационального использования недр, выполняемый через определение уровня размеров по-

терь и разубоживание. Это помогает производить анализ соответствия применяемых систем разработки горно-геологическим условиям в части полноты извлечения запасов полезного ископаемого из недр, разрабатывать мероприятия по снижению величины потерь и повышению качества полезного ископаемого, а также выполнять планирование горных и разведочных работ.

Потери. Принято различать фактические и проектные потери. Под фактическими потерями при добыче полезного ископаемого считается часть вовлеченных в разработку балансовых запасов в пределах утвержденного контура горных работ предприятия, не извлеченная из недр или не попавшая в дальнейшую переработку в течение периода существования предприятия. В зависимости от причин их возникновения фактические потери подразделяются на два класса: общешахтные и эксплуатационные потери.

Общешахтные потери — к ним относятся потери полезного ископаемого в предохранительных целиках, оставляемых для охраны поверхностных и подземных искусственных и естественных объектов; в барьерных целиках, оставляемых между соседними рудниками или шахтами или между открытыми и подземными разработками одного предприятия, барьерные целики, оставляемые для охраны предприятия от прорыва в него воды из обводненных зон.

Эксплуатационные потери разделяются на два подкласса:

Подкласс А, к которому относятся потери полезного ископаемого в массиве, например, потери в междуканальных, межэтажных, междублоковых целиках, потолочинах, в междупанельных целиках, в целиках, оставляемых внутри выемочного участка, в целиках у пожарных и затопленных участков, а также потери от неполноты выемки и потери из-за геологических нарушений.

Подкласс Б — к нему относятся потери отбитого полезного ископаемого, которые, в свою очередь, подразделяются на две группы:

Первая группа — потери в выработанном пространстве: невыпущенная руда, потери в закладке, в местах обрушения кровли, завалах, в затопленных участках, в пожарах, в местах смешанного с пустой породой полезного ископаемого.

Вторая группа — потери вне выработанного пространства: потери смешанного с пустой породой полезного ископаемого и выданного в породные отвалы, потери в местах складирования, погрузки, разгрузки, сортировки.

Под проектными потерями понимаются потери, предусмотренные проектом горных работ.

Кроме того, различают нормативные потери, под которыми понимают оптимальную величину эксплуатационных потерь полезного ископаемого на весь период отработки выемочного участка, и плановые потери, также являющиеся нормативными.

ми потерями, но рассматриваемые на некоторый по времени период развития горных работ.

Разубоживание. Под разубоживанием полезного ископаемого понимают потерю его качества, т. е. происходящее в процессе добычи снижение содержания полезного компонента или полезной составляющей в добытом полезном ископаемом по сравнению с содержанием их в балансовых запасах. Разубоживание происходит вследствие засорения (примешивания) балансовых запасов пустыми породами или некондиционным полезным ископаемым, а также вследствие потери части полезного ископаемого или полезной составляющей в виде мелочи, вследствие выщелачивания полезного компонента т. п.

В зависимости от вызывающих причин существует следующая классификация разубоживания.

Первичное разубоживание полезного ископаемого, происходящее из-за вовлечения в добываемое полезное ископаемое пустой породы или потери богатой мелочи при отбойке полезного ископаемого от массива.

Вторичное разубоживание полезного ископаемого, происходящее из-за попадания в рудную массу боковых пород при ее выпуске из очистного пространства.

По характеру образования различают разубоживание конструктивное и разубоживание эксплуатационное.

Конструктивное разубоживание полезного ископаемого возникает, главным образом, вследствие невозможности или экономической нецелесообразности отработки залежи в пределах естественных границ. Например, для удобства отработку блоков проектируют вести не в пределах естественных границ, представляющих сложные поверхности, а в пределах их заменяющих плоскостей. При этом допускается конструктивное разубоживание из-за вовлечения в отбойку участков боковых пород.

Эксплуатационное разубоживание полезного ископаемого возникает, главным образом, в процессе отбойки и выпуска полезного ископаемого.

§ 199. Показатели извлечения полезного ископаемого

Для характеристики полноты и качества извлечения твердых полезных ископаемых из недр используются коэффициент извлечения качества и коэффициент извлечения из недр.

Коэффициент извлечения качества полезного ископаемого выражает отношение содержания полезного компонента в добытой рудной массе a к содержанию полезного компонента в погашенных балансовых запасах c , таким образом

$$K_{\text{кач}} = a/c. \quad (28.1)$$

Коэффициент извлечения качества является одним из важных показателей экономической оценки ущерба, возникающего при добыче и переработке полезных ископаемых.

Как правило, коэффициент извлечения качества меньше единицы, так как качество добытого полезного ископаемого из-за примешивания пустой породы и потерь богатой мелочи ниже качества полезного ископаемого в массиве. Однако бывают случаи, когда $K_{\text{кач}} > 1$; это может быть, если оставляемые в недрах целики располагать в местах с наименьшим содержанием полезного компонента или при выемке полезного ископаемого оставить нетронутыми участки с содержанием полезных компонентов ниже средних значений.

Коэффициент извлечения из недр полезного ископаемого характеризуется отношением количества полезного компонента в извлеченной из недр рудной массе D_a к количеству полезного компонента, заключенного в балансовых запасах B_c , подлежащих выемке, т. е.

$$K_n = D_a / B_c. \quad (28.2)$$

Этот коэффициент является обобщающим показателем, так как, с одной стороны, он отражает потери полезного ископаемого в недрах и одновременно привнос полезного компонента с примешиваемыми породами, с другой стороны, он характеризует обеднение качества извлекаемого полезного ископаемого из-за потерь обогащенных участков или мелочи и повышение его качества вследствие оставления в недрах более бедных участков.

§ 200. Определение размеров потерь и разубоживания полезных ископаемых

Для определения потерь и разубоживания полезного ископаемого применяют прямой, косвенный и комбинированный методы.

Прямой метод. При прямом методе определение потерь и разубоживания производится или на основе непосредственно замеренных параметров, характеризующих количество и качество теряемых запасов полезного ископаемого, или определением на составленных в результате инструментальных съемок планах и разрезах элементов, необходимых для подсчета потерь и разубоживания.

Объемы теряемого полезного ископаемого подсчитываются по непосредственно измеренным размерам выработок (длина, ширина, высота); качество теряемого полезного ископаемого определяется по данным непосредственного опробования.

Прямой метод определения потерь и разубоживания является наиболее точным, его погрешность, как правило, не превышает 1—3% от количества погашаемых балансов запасов.

В прямом методе для подсчета потерь и разубоживания используются следующие формулы:

$$П = \frac{Д}{В} 100, \%; \quad (28.3)$$

$$K_{\text{пр}} = \frac{В}{А} 100, \%; \quad (28.4)$$

$$Р = \frac{с - а}{с} 100, \%, \quad (28.5)$$

где Π и P — соответственно потери и разубоживание, %; B — балансовые запасы, т; V — количество добытой пустой породы, т; D — количество добытого полезного ископаемого, т; c — содержание полезного компонента в массиве, %; a — содержание полезного компонента в добытом полезном ископаемом, %; $K_{пр}$ — коэффициент примешивания при прямом методе.

Существенным достоинством прямого метода является то, что он позволяет определять величину потерь и разубоживания в любое время, независимо от состояния горных работ в выемочных единицах.

Косвенный метод. Этот метод основан на определении разности между количеством погашенных балансовых запасов руды и металла и количеством добытой руды и металла.

При косвенном методе определение количества потерь и разубоживания может производиться только после полной отработки блока, что является существенным недостатком метода, так как он не обладает возможностью оперативного учета потерь и разубоживания может производиться только после полной отработки блока. Погрешность косвенного метода обычно составляет 3—10% от количества погашенных балансовых запасов.

Формулы, применяемые в косвенном методе для подсчета количества потерь и разубоживания, следующие:

$$\Pi = B - D + V; \quad (28.6)$$

$$V = D + \Pi - B; \quad (28.7)$$

$$P = \frac{c - a}{c} 100, \%. \quad (28.8)$$

Здесь обозначения такие же, как и в формулах (28.3), (28.4), (28.5).

Косвенный метод обычно применяется в тех случаях, когда прямой метод неприемлем по условиям ведения горных работ, например, метод применяется для определения потерь и разубоживания при разработке системами с обрушением.

Комбинированный метод. При комбинированном методе определение потерь и разубоживания основано на совместном использовании элементов прямого и косвенного методов, например, при отработке рудной залежи камерами с отбойкой скважинными рядами объем отбитой горной массы определяется непосредственно по данным маркшейдерской съемки и, следовательно, потери можно определить прямым методом; а разубоживание определяется косвенным, например, петрографическим способом, необходимым условием применения которого является макроскопическое различие руды и пород (по цвету, текстуре). В петрографическом методе отобранные пробы рудной массы разделяются на мелкую и крупную фракции, последнюю макроскопически сортируют на рудную и породную составляющие и взвешивают их. Количество

засоряющей руды определяется по формуле

$$B = \frac{B_n}{D} 100, \%, \quad (28.9)$$

где D — количество исследуемой рудной массы; B_n — количество засоряющих пород в исследуемой рудной массе, определенное петрографическим способом.

Глава 29

ОРГАНИЗАЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ

§ 201. Общие сведения

Горнодобывающие и геологоразведочные предприятия для производства маркшейдерских работ располагают маркшейдерской службой, которая представлена во всех структурных подразделениях — от предприятия до министерства. Основы организации маркшейдерской службы регламентируются «Типовым положением о ведомственной маркшейдерской службе», утвержденным Советом Министров ~~СССР~~ 27 октября 1981 г.

§ 202. Структура и задачи маркшейдерской службы на горных предприятиях

В горнодобывающих подотраслях, имеющих, как правило, трехступенчатую структуру: шахта (рудник) — производственное объединение (комбинат) — министерство, маркшейдерская служба повторяет это организационное построение: маркшейдерский отдел рудника (шахты) — маркшейдерский отдел производственного объединения (комбината) — маркшейдерское управление (отдел) министерства.

1. Первичным подразделением маркшейдерской службы является маркшейдерский отдел (бюро) горного предприятия (рудника, шахты, карьера и т. п.), на который возлагается обязанность выполнения всех основных и текущих маркшейдерских работ, возникающих при производственной деятельности предприятий. Штат маркшейдерского отдела, возглавляемого старшим маркшейдером, состоит из участковых маркшейдеров, техника-картографа и маркшейдерских рабочих. В численном отношении состав маркшейдерских отделов зависит от производительности предприятия, количества очистных забоев (блоков), объема подготовительных выработок и т. п. Крупные капитальные маркшейдерские работы (развитие обширных маркшейдерских опорных сетей, ориентирование глубоких шахт с применением гирокомпасов, производство аэрофотосъемки и т. п.), требующие для исполнения сложных технических средств, специальных методов и приборов, обычно выполняются специализированными маркшейдерскими организациями.

2. Маркшейдерская служба в производственном объединении (комбинате) возглавляется главным маркшейдером, который организует и обеспечивает правильное проведение маркшейдерских работ на подведомственных предприятиях, а также составление сводной документации и отчетности. Кроме того, на маркшейдерский отдел объединения (комбината) возлагается контроль за выполнением на предприятиях требований, содержащихся в проектах предприятий по добыче полезных ископаемых, в планах развития горных работ, проектах и схемах разработки месторождения, требований по рациональному использованию и охране недр.

Маркшейдерский отдел объединения (комбината) также выполняет разработку норм потерь и разубоживания полезных ископаемых при их добыче, ведет учет объемов выполненных горных и строительно-монтажных работ, в том числе объемов добычи и потерь полезных ископаемых, и полноты отработки запасов полезных ископаемых; учет состояния в скрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезных ископаемых.

При маркшейдерском отделе объединения (комбината) могут быть организованы специальные подразделения по выполнению наблюдений за сдвижением горных пород и проявлением горного давления (геомеханическая служба), по проведению таких специальных работ, как проверка подъемных комплексов и стволов шахт, фотограмметрическая съемка карьеров и т. п.

3. Маркшейдерская служба министерств (ведомств) представлена маркшейдерским отделом (или маркшейдерским управлением) министерства, возглавляемого главным маркшейдером министерства (ведомства). Основными задачами маркшейдерской службы министерства (ведомства) являются:

- обеспечение технического и методического руководства маркшейдерской службы на предприятиях отрасли;

- контроль за правильностью разработки месторождений полезных ископаемых, за выполнением требований по охране недр и наиболее полному извлечению недр, за правильностью определения объемов выполненных работ;

- разработка предложений о проведении научных исследований по совершенствованию теории и практики маркшейдерских работ, охраны недр, сдвижения горных пород и охраны сооружений;

- планирование и координация маркшейдерских работ, осуществляемых на предприятиях отрасли, а также подбор и расстановка маркшейдерских кадров и повышение их квалификации.

Кроме того, служба главного маркшейдера министерства (ведомства) принимает участие:

- в разработке годовых пятилетних планов развития отрасли в части обеспечения охраны недр и рационального использования минеральных ресурсов;

- в рассмотрении проектов на строительство, реконструкцию, консервацию и ликвидацию предприятий по добыче полезных ископаемых;

— в составлении статистической отчетности об объемах добычи и потерях полезных ископаемых;

— в работе по приемке — сдаче разведанных месторождений полезных ископаемых для промышленного освоения, по приемке в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий по добыче полезных ископаемых и подземных сооружений и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобир Н. Я., Лобанов А. Н., Федорук Г. Д. Фотограмметрия. М., Недра, 1974.
2. Дейнеко В. Ф. Аэрофотогеодезия. М., Недра, 1968.
3. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., Недра, 1982.
4. Коськов Б. И. Справочное руководство по съемке городов. М., Недра, 1974.
5. Кудряшов П. И., Кузьмин В. И. Геометризация и учет запасов месторождений твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1981.
6. Лаврова Н. П., Стеценко А. Ф. Аэрофотосъемка. М., Недра, 1981.
7. Лобанов А. Н. Фототопография М., Недра, 1983.
8. Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г. Геодезия. М., Недра, 1980.
9. Наставление по топографическим съемкам в масштабах 1:1000 и 1:25 000. Ч. 1. Полевые работы. М., Недра, 1965.
10. Оглоблин Д. Н., Герасименко Г. И., Акимов А. Г. Маркшейдерское дело. М., Недра, 1981.
11. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. М., Недра, 1981.
12. Прихода А. Г. Барометрическое нивелирование. М., Недра, 1972.
13. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Наземные съемки. М., Недра, 1977.
14. Сборник инструктивных материалов по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. М., Недра, 1977.
15. Справочник геодезиста. Под редакцией В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. М., Недра, 1974.
16. Справочник по маркшейдерскому делу. М., Недра, 1979.
17. Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ. Л., Недра, 1971.
18. Трунин А. П., Аствацатуров Е. Л., Кораблев Д. П. Наземная стереофотограмметрическая съемка горных выработок. М., Недра, 1979.
19. Хренов Л. С. Таблицы для барометрического нивелирования. М., Недра, 1970.

Предисловие	3
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. ГЕОДЕЗИЯ	
Глава 1. Основы геодезии	4
§ 1. Предмет и задачи геодезии	4
§ 2. Значение геодезии в народном хозяйстве	5
§ 3. Краткая история развития геодезии	5
Глава 2. Определение положения точек на земной поверхности	9
§ 4. Общие сведения о форме и размерах Земли	9
§ 5. Изображение земной поверхности. Метод проекций	13
§ 6. Географические координаты	14
§ 7. Система плоских прямоугольных координат	16
§ 8. Влияние кривизны Земли на определение горизонтальных и вертикальных расстояний	16
§ 9. Общегосударственная система прямоугольных координат	18
Глава 3. Ориентирование линий. Ориентирующие углы	22
§ 10. Общие сведения	22
§ 11. Ориентирование линий по географическому меридиану	22
§ 12. Ориентирование линий по магнитному меридиану	23
§ 13. Ориентирование линий по осевому меридиану	26
§ 14. Сближение меридианов	27
§ 15. Связь дирекционных углов двух линий с углом, заключенным между ними	28
§ 16. Румбы	29
Глава 4. Топографическая карта и план	30
§ 17. Масштабы	30
§ 18. Понятие о карте и плане	33
§ 19. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов	35
§ 20. Географическая и километровая сетки карт. Зарамочное оформление	36
§ 21. Ориентирование карты или плана на местности	39
§ 22. Условные знаки топографических карт и планов	41
§ 23. Изображение рельефа на топографических картах и планах	41
§ 24. Определение высот точек местности, уклонов линий и крутизны скатов по карте с горизонталями. График заложений	46
§ 25. Задачи, решаемые на топографических картах с использованием горизонталей	48
Глава 5. Элементы теории погрешностей	50
§ 26. Общие сведения	50
§ 27. Погрешности измерений	51
§ 28. Абсолютные и относительные погрешности	52
§ 29. Основные свойства случайных погрешностей	52
§ 30. Среднее арифметическое из результатов измерений	53
§ 31. Средняя квадратическая погрешность одного измерения	53
§ 32. Предельная погрешность	54
§ 33. Средняя квадратическая погрешность функции непосредственно измеренных величин	55

§ 34. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины	59
§ 35. Средняя квадратическая погрешность, выраженная через вероятнейшие погрешности	60
§ 36. Понятия о неравноточных измерениях	61
§ 37. Общие положения о действиях с приближенными числами	63
Глава 6. Общие сведения о топографических работах	66
§ 38. Организация съемочных работ	66
§ 39. Опорные геодезические сети	66
§ 40. Обозначение и закрепление геодезических пунктов на местности	67
§ 41. Государственные геодезические сети	69
§ 42. Геодезические сети сгущения	73
§ 43. Съемочные геодезические сети	73
§ 44. Общие сведения о съемках	74
Глава 7. Измерение углов	76
§ 45. Общие сведения	76
§ 46. Устройство теодолита	77
§ 47. Основные части теодолитов	78
§ 48. Оптические технические теодолиты	88
§ 49. Вертикальный круг	91
§ 50. Исследования, поверки и юстировка теодолитов	97
§ 51. Измерение горизонтальных углов способом приемов	101
§ 52. Измерение углов наклона	104
Глава 8. Измерение линий на местности	105
§ 53. Приборы для непосредственного измерения линий	105
§ 54. Компарирование мерных приборов	107
§ 55. Вешение линий	108
§ 56. Измерение линий	109
§ 57. Вычисление горизонтальных проложений линий	111
§ 58. Определение расстояний, недоступных для непосредственного измерения лентой	113
§ 59. Измерение расстояний светодальномерами	114
§ 60. Оптические дальномеры	118
§ 61. Оптический дальномер двойного изображения	120
Глава 9. Теодолитная съемка	123
§ 62. Общие сведения	123
§ 63. Привязка теодолитных ходов	126
§ 64. Съемка подробностей (ситуации)	126
§ 65. Эккер	129
§ 66. Обработка результатов измерений при теодолитных ходах	130
§ 67. Решение обратной геодезической задачи	140
§ 68. Построение плана теодолитной съемки	142
Глава 10. Определение площадей	145
§ 69. Общие сведения	145
§ 70. Определение площадей графическим способом	146
§ 71. Определение площадей палетками	148
§ 72. Аналитический способ вычисления площадей	150
§ 73. Определение площади при помощи планиметра	151
Глава 11. Нивелирование	156
§ 74. Общие сведения	156
§ 75. Сущность геометрического нивелирования	157
§ 76. Горизонт прибора	158

§ 77. Связующие и промежуточные точки	159
§ 78. Погрешность геометрического нивелирования	161
§ 79. Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования	162
§ 80. Нивелиры	163
§ 81. Нивелиры с уровнем при зрительной трубе	164
§ 82. Поверки нивелиров с уровнем при зрительной трубе	165
§ 83. Нивелиры с компенсатором угла наклона	168
§ 84. Поверки нивелиров с самоустанавливающимися линиями визирования	171
§ 85. Нивелирные рейки	172
§ 86. Техническое нивелирование	174
§ 87. Трассирование	175
§ 88. Нивелирование по пикетажу	179
§ 89. Вычисления высот точек	183
§ 90. Составление профиля трассы	184
§ 91. Нанесение проектной линии на профиль	186
§ 92. Нивелирование поверхности	187
§ 93. Составление плана по результатам нивелирования поверхности	191
Глава 12. Тригонометрическое нивелирование	193
§ 94. Общие сведения	193
§ 95. Вывод общей формулы тригонометрического нивелирования	193
§ 96. Высотные ходы	194
Глава 13. Тахеометрическая съемка	195
§ 97. Общие сведения	195
§ 98. Съемочные сети тахеометрической съемки	197
§ 99. Приборы, применяемые для тахеометрической съемки	198
§ 100. Порядок работы на станции при тахеометрической съемке	204
§ 101. Обработка результатов тахеометрической съемки	206
Глава 14. Мензульная съемка	207
§ 102. Сущность мензульной съемки	207
§ 103. Мензула	209
§ 104. Кипрегели	209
§ 105. Поверки мензулы и центрировочной вилки	213
§ 106. Поверки кипрегеля	214
§ 107. Съемочные сети, выполняемые при мензульной съемке	216
§ 108. Установка мензулы на станции (пункте)	221
§ 109. Проведение полевых работ	221
Глава 15. Барометрическое нивелирование. Глазомерная съемка	224
§ 110. Основные принципы барометрического нивелирования	224
§ 111. Приборы, применяемые при барометрическом нивелировании	225
§ 112. Организация работ при барометрическом нивелировании	227
§ 113. Вычисление превышений и высот точек барометрического нивелирования	228
§ 114. Глазомерная съемка	231
Глава 16. Топографо-геодезическое обеспечение геологоразведочных работ	233
§ 115. Общие сведения	233
§ 116. Геодезическая основа геологоразведочных работ	234
§ 117. Топографическая основа геологоразведочных работ	237
§ 118. Перенесение в натуру проекта геологоразведочных выработок. Привязка объектов геологических наблюдений	238
§ 119. Методы перенесения проекта в натуру	240
§ 120. Разбивка разведочной траншеи	245
	445

Глава 17. Основы аэрофотосъемки	241
§ 121. Общие сведения	241
§ 122. Летно-съёмочные работы	241
§ 123. Масштаб горизонтального снимка. Основные условия аэрофотосъемки местности	25
§ 124. Накладной монтаж и оценка качества материалов аэрофотосъемки	25
§ 125. Съёмка из космоса	253
§ 126. Геометрические свойства аэроснимков	254
§ 127. Искажения на снимке из-за влияния угла наклона и рельефа местности	257
§ 128. Определение среднего масштаба снимка	259
§ 129. Методы перенесения информации с аэроснимка на карту	262
§ 130. Перенесение геологической информации с аэроснимка местности со сложным рельефом на топографическую основу	265
§ 131. Фотосхемы	266
§ 132. Понятие о трансформировании	268
§ 133. Понятие о фототриангуляции	272
§ 134. Стереоскопическая модель местности	274

Глава 18. Составление топографических планов и карт при аэрофотосъемке	276
§ 135. Способы составления топографических планов и карт при аэрофотосъемке	276
§ 136. Продольные параллаксы. Определение превышений по аэроснимкам	276
§ 137. Дешифрирование аэроснимков	284
§ 138. Особенности геологического дешифрирования	285
§ 139. Об использовании материалов космической съемки при геологических исследованиях	286
§ 140. Наземная фототопографическая съемка	287

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Глава 19. Основы маркшейдерского дела	290
§ 141. Общие сведения	290
§ 142. Некоторые сведения из истории развития маркшейдерского дела	292

Глава 20. Основы геометрии недр	296
§ 143. Общие сведения	296
§ 144. Проекция с числовыми отметками	298
§ 145. Преобразование проекций	301
§ 146. Геометрические параметры залежи	304
§ 147. Топографические поверхности	305
§ 148. Изогипсы висячего и лежащего боков залежи	308
§ 149. Изомощности залежи	309
§ 150. Изоглубины залежи	309
§ 151. Геометризация качественных свойств месторождений полезных ископаемых	309

Глава 21. Маркшейдерская документация	310
§ 152. Классификация и содержание маркшейдерских планов	310
§ 153. Первичная и вычислительная маркшейдерская документация	315

Глава 22. Соединительные съемки	316
§ 154. Общие сведения	316
§ 155. Соединительная съемка через горизонтальную (наклонную) выработку	318
§ 156. Геометрическое ориентирование	319

§ 157. Понятие о магнитном и гироскопическом ориентировании.	324
§ 158. Передача в шахту высотной отметки	326
Глава 23. Съёмка подземных горных выработок	329
§ 159. Общие сведения	329
§ 160. Подземные маркшейдерские опорные сети	330
§ 161. Съёмочные сети	332
§ 162. Измерение горизонтальных углов теодолитами с эксцентренной трубой	333
§ 163. Съёмочные работы в нарезных и очистных выработках. Назначение съёмочных работ	334
§ 164. Приборы для съёмки нарезных и очистных выработок	336
§ 165. Съёмка нарезных и очистных выработок	340
§ 166. Маркшейдерские работы при проходке выработок	347
§ 167. Проведение выработок встречными забоями	349
§ 168. Лазерная система направления комбайнов при проходке выработок	350
§ 169. Правила безопасности при выполнении маркшейдерских съёмок	351
Глава 24. Вертикальные съёмки в горных выработках	352
§ 170. Общие сведения	352
§ 171. Производство геометрического нивелирования в подземных условиях	353
§ 172. Тригонометрическое нивелирование	355
Глава 25. Маркшейдерские работы на карьерах	358
§ 173. Общие сведения	358
§ 174. Опорные и съёмочные сети	359
§ 175. Высотное обоснование	362
§ 176. Съёмочные работы	362
§ 177. Маркшейдерское обслуживание взрывных работ	367
§ 178. Горная графическая документация карьеров	368
§ 179. Маркшейдерский учет объемов вскрыши и добычи полезного ископаемого	369
§ 180. Восстановление земной поверхности	372
Глава 26. Сдвигение горных пород под влиянием подземных разработок и охрана сооружений	373
§ 181. Некоторые сведения о напряженном состоянии массивов горных пород	373
§ 182. Общие сведения о процессе сдвигения горных пород	374
§ 183. Параметры процесса сдвигения	375
§ 184. Факторы, обуславливающие процесс сдвигения горных пород	381
§ 185. Наблюдения за сдвижением горных пород	384
§ 186. Расчет сдвижений горных пород	389
§ 187. Меры охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок	393
§ 188. Построение предохранительных целиков	401
Глава 27. Устойчивость откосов карьеров	413
§ 189. Общие сведения	413
§ 190. Факторы, влияющие на устойчивость откосов карьеров	416
§ 191. Маркшейдерские наблюдения за деформациями горных пород при открытых разработках	420
§ 192. Устойчивость уступов и бортов карьеров	422
§ 193. Проектирование противооползневых явлений	425
Глава 28. Рациональное использование недр.	430
§ 194. Общие сведения	430
§ 195. Классификация запасов полезных ископаемых	431

§ 196. Учет состояния и движения запасов	433
§ 197. Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи полезного ископаемого	435
§ 198. Потери и разубоживание полезного ископаемого	435
§ 199. Показатели извлечения полезного ископаемого	437
§ 200. Определение размеров потерь и разубоживания полезных ископаемых	438
Глава 29. Организация маркшейдерской службы	440
§ 201. Общие сведения	440
§ 202. Структура и задачи маркшейдерской службы на горных предприятиях	440
Список литературы	442

Виталий Иванович БОРЦ-КОМПОНИЕЦ

ГЕОДЕЗИЯ, ОСНОВЫ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

Редактор издательства *Н. Т. Куприна*
 Переплет художника *К. В. Голикова*
 Художественный редактор *В. В. Шутько*
 Технический редактор *А. В. Трофимов*
 Корректоры *С. В. Зимина, Г. Г. Большова*

ИБ № 5746

Сдано в набор 04.10.83. Подписано в печать 05.12.83. Т-22626. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типогр. № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 28,0. Усл. кр.-отт. 28,0. Уч.-изд. л. 30,0. Тираж 10 000 экз. Заказ 1600/21—15. Цена 1 р. 30 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-11
 Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113106.
 Нагатинская ул., д. 1.