

В.И.БОРЩ-КОМПОНИЕЦ

ГЕОДЕЗИЯ. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

*Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебника для студентов
горных и геологоразведочных
специальностей вузов*



МОСКВА "НЕДРА" 1989

ВВЕДЕНИЕ

Глава I.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОМУ ДЕЛУ

Геодезия и маркшейдерское дело являются близкими науками, решающими вопросы, во многом схожие между собой; средства, при помощи которых выполняются задачи, по существу, одни и те же — маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты. Исторически маркшейдерия явилась продолжением (развитием) геодезии применительно к горному и геологоразведочному делу.

Маркшейдерское дело как и геодезия имеют важное значение при проведении поисковых и геологоразведочных работ, при строительстве и эксплуатации горных предприятий, где маркшейдерско-геодезическое обслуживание выполняется для различных видов работ и технологических процессов, требующих зачастую применения сложных методов измерений и инструментов и предъявляющих высокую профессиональную подготовленность у исполнителей работ. Геодезия и маркшейдерское дело тесно связаны с математикой, физикой, астрономией, картографией, радиоэлектроникой, радиотехникой, географией, геоморфологией.

Геодезия изучает форму и размеры Земли или отдельных ее частей и методы измерения на земной поверхности, производимые как для отображения ее на картах и планах, так и для выполнения различных инженерных задач.

Маркшейдерское дело является разделом горной науки, включающим измерения на поверхности и в горных выработках, выполняемых при разведке и эксплуатации месторождений, строительстве горных предприятий с целью построения планов и чертежей изучаемых объектов, а также для решения горно-геометрических задач.

В геодезии различают две ее части: высшую геодезию и геодезию. В высшей геодезии изучают методы измерений для высокоточного определения положения в плане и по высоте отдельных точек на земной поверхности, используемых в дальнейшем для уточнения фигуры и размеров Земли, а также для создания опорных геодезических сетей, без которых невозможны правильная постановка и проведение топографических съемок и инженерных работ. Геодезия включает в себя съемочные

работы, относящиеся к топографии, фототопографии и прикладной (инженерной) геодезии.

В топографии выполняют измерения на земной поверхности, математическую и графическую обработку измерений с целью ее изображения на картах и планах. В фототопографии изучаются методы создания топографических планов и карт при помощи снимков, полученных при фотографировании местности фотоаппаратом, установленным на самолете (аэрофототопографическая съемка) или на Земле (наземная фототопографическая съемка). Прикладная (инженерная) геодезия рассматривает методы, технику и организацию геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений (промышленных объектов, горнорудных предприятий, гидротехнических сооружений, гражданского строительства, транспортных магистралей, мелиоративных работ и т. п.) и при монтаже и установке сложного оборудования.

Геодезические измерения используются практически во всех отраслях народного хозяйства: при изысканиях и строительстве жилых и промышленных объектов, железных и автомобильных дорог, каналов, высоковольтных передач, трубопроводов, аэропортов, речных и морских портов; она также находит применение при землеустройстве кооперативных хозяйств при осушении и орошении земель, при лесоустройстве. Большую роль геодезия играет в военном деле, которое немыслимо без топографических карт.

Главная задача маркшейдерской службы заключается в обеспечении съемок для построения графической документации горных предприятий, отображающих как состояние недр, так и комплекс подземных и поверхностных выработок и обеспечивающих нормальное функционирование производства. Маркшейдерской службой также решается ряд других задач, возникающих при эксплуатации и разведке месторождений полезных ископаемых, а также изучение особенностей протекания сдвижения горных пород при подземной и открытой разработках. При этом большое внимание уделяется охране поверхностных и подземных сооружений, обеспечению безопасного ведения горных работ при их приближении к опасным зонам, борьбе с горными ударами. К задачам, решаемым маркшейдерской наукой, также относится изучение пространственных форм месторождений, размещения и закономерностей изменения качественных показателей и изображение этих свойств на специальных горногеометрических графиках. Одной из проблем, решаемых в этой области маркшейдерского дела, является контроль за соблюдением мероприятий по охране недр, полноте извлечения полезного ископаемого.

Маркшейдер участвует во всех этапах работы горного пред-

приятии, начиная с разведки месторождений и кончая погашением отработавшего свой срок предприятия. Причем каждый этап требует своей специфики производства маркшейдерских работ.

Разведка месторождений полезных ископаемых. При разведке месторождений полезных ископаемых маркшейдер участвует в съемке земной поверхности: согласно проекту геолого-разведочных работ определяет и задает в натуре положение разведочных выработок (шурфов, канав, штолен и т. п.); производит съемку разведочных выработок, мест взятия проб, обнажений горных выработок, элементов залегания пластов полезного ископаемого и вмещающих пород; совместно с геологом составляет на основе съемок графическую документацию, отражающую форму и условия залегания месторождения. Существенное значение для оценки месторождений имеют работы маркшейдеров по составлению различных горно-геометрических графиков, отражающих качественные свойства полезного ископаемого.

Маркшейдерские планы и разрезы, построенные по данным геологической разведки, используются для подсчета запасов и проектирования горного предприятия.

Проектирование строительства горного предприятия. При проектировании горных предприятий маркшейдер участвует в проектно-изыскательских работах; в оформлении границ шахтных полей в соответствии с действующими положениями о горных и земельных отводах; в проектировании системы разработки и сооружений на поверхности; в разработке мер охраны сооружений (поверхностных и подземных) от вредного влияния подземных разработок; в составлении графиков организации и планов горных работ в процессе строительства и эксплуатации месторождения; в определении промышленных запасов и потерь полезного ископаемого.

При строительстве горных предприятий маркшейдер выполняет широкий круг задач, связанных с перенесением проекта в натуру (планировка промышленной площадки, разбивка центра и осей ствола, разбивка осей шахтного комплекса, трассировка подъездных путей и т. п.). Он осуществляет контроль за строительством подземного комплекса, проходкой и армированием ствола и проведением проекта специальных методов строительства стволов шахт.

Эксплуатация месторождений. Роль маркшейдера при разработке месторождений полезных ископаемых исключительно велика: он производит съемки выработок; задает направления горным выработкам; по результатам съемок составляет планы; осуществляет контроль ведения горных работ в соответствии с проектами и правилами безопасности; выполняет соединительные съемки, обеспечивает связь поверхностных и подземных

маркшейдерских опорных сетей; производит постоянный контроль полноты извлечения полезного ископаемого; осуществляет наблюдения за сдвижением и давлением горных пород; участвует в составлении мер охраны сооружений, природных объектов, горных выработок от вредного влияния подземных разработок и рекультивации плодородного слоя сельскохозяйственных угодий; принимает участие в планировании как очистных, так и подготовительных работ; составляет квартальные, годовые и перспективные планы развития горных работ; выполняет учет движения балансовых и промышленных запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого.

При ликвидации и консервации горного предприятия маркшейдер определяет полноту выемки полезного ископаемого, а также наряду со съемкой горных выработок и пополнением планов горных работ приводит в соответствующий порядок журналы вычислений подземных съемок и ориентировок шахт и подготавливает основные планы горных работ для хранения.

§ 2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

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, составленной 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 хорошее для того времени умение измерять земельные участки.

Высокое развитие получила геодезия в античной Греции, где были выполнены серьезные теоретические работы, о чем могут служить дошедшие до нас книги Герона Александрийского «О диоптрах» и «Измерение площадей», в которых приведено описание простейших геодезических работ и геодезических инструментов. Эратосфен (276—194 гг. до н. э.) впервые определил размеры Земли, он показал, что радиус земного шара составляет примерно шесть тысяч километров.

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. Для примера можно привести 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 сооружения было заложено более 100 вертикальных и наклонных стволов. Некоторые из них были глубиной более 100 м.

Большое развитие, так же как и геодезия, получило маркшейдерское дело в Древней Греции. Применявшиеся в то время способы съемки 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.

Существенный этап в развитии маркшейдерско-геодезического обеспечения народного хозяйства начался в XVI в., когда 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 одна глава посвящена описанию съемок горных выработок как с помощью компаса, так и другими методами. В частности, им описан способ определения необходимых глубин шахты и длины штольни при помощи наклонного шнура и отвесов. В XVI—XVII вв. в Германии создаются компас с визирным приспособлением и подвесная буссоль. Последняя совместно с подвесным полукругом в течение многих веков была одним из наиболее распространенных маркшейдерских приборов.

В XVII в. изобретается астрономическая труба, уровень, верньер и дальномер. В геодезии первыми приборами, использующими оптическую трубу, были нивелиры (вторая половина XVII в.). Теодолиты с оптическими трубами впервые появились в конце XVII в. Тогда же создается триангуляция, в которой при помощи построенных на местности сетей треугольников определяют положение опорных геодезических пунктов. Триангуляция до сих пор остается одним из способов высокоточного получения координат опорных точек, расположенных на земной поверхности.

В XVIII—XIX вв. были выполнены большие геодезические работы, имеющие важное значение для определения размеров Земли. В этот период производится определение размеров земного эллипсоида Деламбром (1800 г.), Бесселем (1841 г.), Кларком (1880 г.).

С XIX в. для съемки горных выработок стали применяться теодолиты и нивелиры, появились ориентир-буссоль, зеркальная буссоль, проектировочные тарелочки, были изготовлены длинные ленты 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 маркшейдерской науке с XVIII в. начинает развиваться важное для горной промышленности направление — теория и практика сдвижения горных пород. Особенно серьезно вопросы сдвижения горных пород начинают изучаться со второй половины XIX века, в результате чего появилась теория нормалей, выдвинутая Туалье в 1838 г., а затем теория Гоно в 1858 г., по которой сдвижение подработанной толщи развивается по нормалям к пласту. Затем в 1885 г. появилась теория купола, предложенная Файолом, основная идея которой заключалась в том, что зона сдвижения пород ограничивается куполообразным пространством. В конце прошлого столетия появились работы, в которых отмечалось, что на процесс сдвижения влияют мощность залежи, угол падения залежи, глубина разработок, свойства залегающих пород.

В XIX в. в связи с развитием промышленности и сельского хозяйства, орошения и осушения земель, ростом городов, проведения войн за колониальные владения и пр., перед геодезией были выдвинуты новые задачи по созданию достаточно подробных и точных топографических карт крупного масштаба. К этому времени относится разработка тахеометрической съемки, совершенствование метода нивелирования и использование геодезии в инженерном строительстве.

Первое летописное упоминание о геодезических работах в нашей стране 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. 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. Он составил атлас и генеральную географическую карту Российской империи. Атлас был издан в 1745 г., состоял из 20 карт, на 13 из них была изображена европейская часть страны, на 6 картах — некоторые районы Сибири, и по обилию использованных материалов и их новизне соперничал с лучшими атласами, имевшимися в те годы во Франции и Италии.

В 1734 г. В. Н. Татищевым было составлено первое в нашей

стране горное законодательство, включившее вопросы маркшейдерского дела. В 1763 г. М. В. Ломоносовым была издана книга «Об измерении рудников» — первая в нашей стране работа, в которой обстоятельно излагались многие вопросы маркшейдерского дела.

В Москве в 1779 г. создается Землемерная школа, преобразованная вначале в Константиновское землемерное училище, а затем (1835 г.) — в Константиновский межевой институт — крупнейшее высшее учебное заведение дореволюционной России по подготовке геодезических кадров. В 1822 г. организовался корпус военных топографов, выполнявший в дореволюционной России практически все основные геодезические работы. В 1816 г. 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. Эти работы Струве и Теннера для того времени были выполнены на очень высоком уровне и получили мировое признание.

В 1847 г. профессор Петербургского горного училища П. А. Олышев (1817—1896 гг.) опубликовал учебник «Маркшейдерское искусство». В нем автор описал разработанный им 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. 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 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.

Послеоктябрьский период развития нашей страны охарактеризовался бурным развитием геодезии и маркшейдерского дела. 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. Сразу же после гражданской войны состоялся Всероссийский съезд маркшейдеров (1921 г.), в решениях кото-

рого были даны рекомендации по восстановлению горнорудной и угольной промышленности и поставлены задачи в этой области перед маркшейдерами. 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.

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. 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 масштаба 1:1 000 000.

Еще 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. По его инициативе были организованы широкие инструментальные наблюдения за сдвижением горных пород. Результаты этих исследований позволили решить многие вопросы охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок.

Ф Н Красовским еще в предвоенные годы были проведены исследования по установлению размеров земного эллипсоида, принятого в СССР при производстве топографо-геодезических и маркшейдерских работ. Создание советской геодезической наукой астрономо-геодезических сетей и картографирование территории страны позволило обеспечить 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.

В настоящее время происходит дальнейшее развитие как геодезии, так и маркшейдерского дела. Особенно большие изменения произошли в последние 2—3 десятилетия, совпавшие с общим ускорением научно-технического прогресса. Создаются принципиально новые приборы, совершенствуются старые, внедряются новые методы маркшейдерско-геодезических измерений. Дальнейшее развитие получили геодезические работы по всем направлениям — от имеющих научное направление (уточнение формы и размеров Земли, наблюдения в сейсмически активных районах) 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-гравитационными наблюдениями. Почти во всех сейсмически активных районах планеты заложены геодезические полигоны, на которых получают данные о движении земной коры, позволяющие решать ряд проблем геодинамики Земли. Повышение точности геодезических измерений позволило 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.

Прогресс в развитии топографо-геодезических работ и картографического производства связывается с использованием космической техники и применением приборов и систем, позволяющих существенным образом автоматизировать полевые работы и построение цифровых и геометрических моделей местности.

Основные направления развития маркшейдерского дела заключаются в широком внедрении современных приборов, позволяющих автоматизировать как процесс съемки, так и построение маркшейдерских планов и разрезов.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что понимают под геодезией?
- 2 Что рассматривается в высшей геодезии?
- 3 Каковы отличительные черты топографии, инженерной (прикладной) геодезии, фототопографии?
- 4 Что понимают под маркшейдерским делом?
- 5 В чем заключается главная задача маркшейдерской службы горного предприятия?
- 6 С какими науками связаны геодезия и маркшейдерское дело?
- 7 Назовите основные вехи развития геодезии и маркшейдерского дела

Раздел I

ГЕОДЕЗИЯ

Глава 2

ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОТОБРАЖЕНИЕ НА ПЛОСКОСТИ

§ 3. ПОНЯТИЕ О ФОРМЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ

Физическая поверхность Земли не является правильным геометрическим телом. При общей площади поверхности Земли 510 млн. км² около 29 % приходится на сушу и 71 % — на дно морей и океанов. На суше располагаются горные системы, некоторые вершины которых достигают более 8000 м, нагорья, обширные равнины, осложненные тектонической и эрозийной деятельностью. Не только материки, но и дно океанов имеет сложный рельеф (рис. 1), состоящий из подводной окраины *I*, включающей шельф *Ia* и материковый склон *Ib*; материкового подножия *Ic*, переходной зоны *II*, включающей котловины окраинных морей *IIa*, островные дуги *IIb*, глубоководные желоба *IIc*; ложа океана *III*; срединных океанических хребтов *IV*. В некоторых местах глубина Мирового океана достигает более 10 км.

В Марианском глубоководном желобе Тихого океана советскими исследователями была измерена наибольшая известная глубина Мирового океана — 11 054 м.

Таким образом, реальная поверхность Земли представляет собой сложную структуру, не поддающуюся математическому описанию, что исключает ее использование в качестве общей фигуры Земли для использования в геодезии и маркшейдерском деле. Однако, 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 *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, находящегося в состоянии полного покоя и равновесия, называется *основной* *уровенной* *поверхностью* и продолженная под материками, образует фигуру, ко-

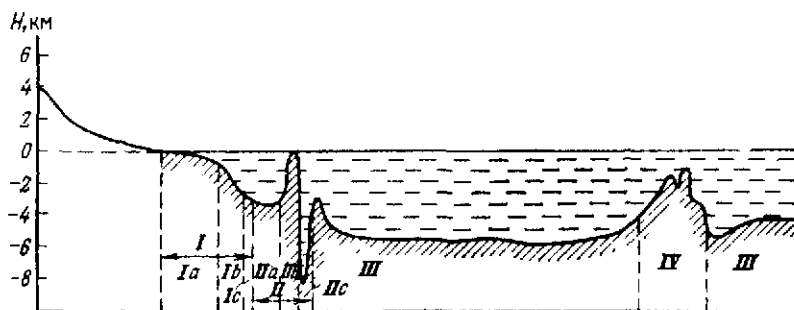


Рис 1. Профиль дна океана

торая в геодезии принята за общую фигуру Земли и носит название геоид.

Изучение формы и размеров геоида выполняется при помощи высокоточных геодезических измерений на поверхности Земли и с использованием спутников, а также при помощи изучения гравиметрического поля Земли.

В связи с тем, что поверхность геоида связана с изменяющимся в пространстве распределением масс внутри Земли, геоид имеет сложную форму. Кривизна поверхности геоида меняется по законам, неподдающимся или трудноподдающимся математическому описанию.

На форме геоида существенно сказывается суточное вращение Земли, поэтому в первом приближении он похож на эллипсоид вращения. Однако при более точном рассмотрении было установлено, что Земля имеет грушевидную форму (рис. 3). 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 эллипсоида, 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 поверхностям геоида подходит эллипсоид вращения, полученный от вращения эллипса вокруг его малой оси и называемый земным эллипсоидом.

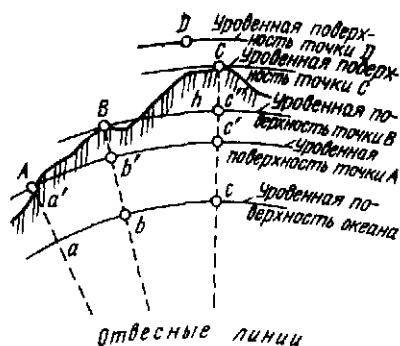


Рис. 2. Уровенные поверхности

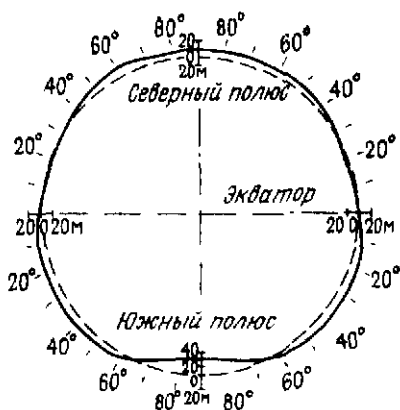


Рис. 3. Геоид (сплошная линия) и земной эллипсоид (пунктирная линия)

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

$$\alpha = \frac{a - b}{a}.$$

Эллипсоид с малым сжатием называется также сфероидом. В геодезии земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат, принято называть референц-эллипсоидом.

Поверхность эллипсоида и геоида близки друг к другу только в том случае, если надежно определены размеры полуосей эллипсоида вращения, и эллипсоид правильно ориентирован в теле Земли. К эллипсоиду, заменяющему собой геоид, предъявляются следующие требования:

- должно быть равенство объемов геоида и эллипсоида;
- положение плоскостей экватора должно совпадать;
- должны совпадать центры тяжести геоида и эллипсоида;
- сумма квадратов отклонений эллипсоида от геоида должна быть минимальной.

Учеными ряда стран в разные годы были определены размеры земного эллипсоида. В табл. 1 приведены результаты наиболее важных определений за последние полтора века, показывающие, что размеры эллипсоида постоянно уточнялись, что было связано с развитием и совершенствованием геодезических измерений.

В нашей стране до 1946 года использовался эллипсоид Бесселя. В 1946 году правительственным постановлением были

Таблица 1

Исследователи	Год	Большая полуось a , м	Малая полу ось b , м	Сжатие α
Деламбр	1800	6 375 653	6 356 564	1 334,0
Бессель	1841	6 377 397	6 356 079	1 299,2
Кларк	1880	6 378 249	6 356 515	1 293,5
Хейфорд	1909	6 378 388	6 356 912	1 297,0
Красовский	1940	6 378 245	6 356 863	1 298,3

введены для обязательного использования размеры земного эллипсоида, вычисленные в ЦНИИГАиК под руководством Ф. Н. Красовского. В последние годы спутниковая геодезия позволила уточнить размеры референц-эллипсоида Красовского. Оказалось, что сжатие земного эллипсоида составляет $1 \cdot 298,26$, 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

§ 4. МЕТОДЫ ПРОЕЦИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Для получения карты точки земной поверхности предварительно должны быть отнесены (спроецированы) на поверхность референц-эллипсоида, а в некоторых случаях и на плоскость, заменяющую небольшую часть поверхности референц-эллипсоида, называемых поверхностью относимости. Перенесение точек с земной поверхности на поверхность относимости может быть осуществлено различными методами проецирования. В геодезии и маркшейдерском деле проецирование ведется или нормальными к поверхности референц-эллипсоида (рис. 4, а), или перпендикулярами к плоскости (рис. 4, б). В результате проецирования на поверхности получают точки $abcde$, которые являются проекциями точек земной поверхности $ABCDE$. Положение проекций точек на поверхности земного эллипсоида определяется географическими координатами. В случае проецирования на плоскость отвесные линии перпендикулярны к плоскости и, следовательно, параллельны между собой. Спроецированные таким образом точки на плоскость проекций позволяют построить подобное изображение земной поверхности.

Проецирование точек местности на горизонтальную плоскость под прямым к ней углом называется ортогональным, а полученные проекции — ортогональными. Линию ab , обозначенную через s (рис. 4, б) называют ортогональной проекцией или горизонтальным проложением линий $AB(S)$ местности. Для вычисления горизонтального проложения s измеряют длину, линии

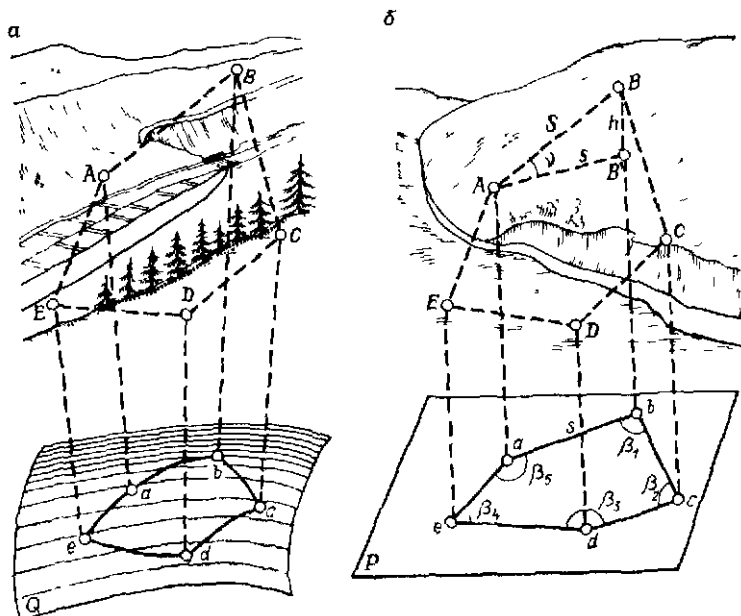


Рис 4 Схемы, объясняющие принципы проецирования точек местности

AB на местности и угол наклона v этой линии относительно горизонтальной линии AB' . Таким образом,

$$s = S \cos v.$$

Направление проецирования 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 проецируются, называется высотой точек. Высоты считаются абсолютными, если точки проецируются на основную уровенную поверхность, и считаются относительными, если проецирование ведется на любую другую уровенную поверхность.

§ 5. СИСТЕМА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

Для определения положения точек на сфере со времен Птолемея (ок. 150 г. н. э.) используются географические координаты: широта φ и долгота λ , отсчитываемые от плоскости земного экватора и нулевого меридиана.

Под плоскостью земного экватора понимают плоскость, проходящую через центр Земли перпендикулярно к ее оси враще-

ния; под плоскостью географического (астрономического) меридиана — плоскость, проходящую через отвесную линию и ось вращения Земли или параллельно последней. Линии пересечения плоскостей географических меридианов с поверхностью эллипсоида называются меридианами. Линии, образованные при пересечении плоскостей, проходящих перпендикулярно к оси вращения Земли, с поверхностью эллипсоида, называются параллелями. Нулевым меридианом считается меридиан, проходящий через центр главного зала Гринвичской обсерватории, находящейся в окрестностях Лондона. Сеть меридианов и параллелей, нанесенных определенным образом на поверхность эллипсоида, представляют собой координатные оси географической системы координат.

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 (рис 5, а).

Географические координаты отдельных точек могут определяться при помощи астрономических наблюдений. Такие географические координаты принято называть астрономическими φ , λ . Положение точек на земной поверхности может также определяться с помощью географических координат, полученных из геодезических наблюдений и отнесенных к нормали к поверхности эллипсоида. Такие координаты называются геодезическими и обозначаются: широта B , долгота L .

Из-за того, что поверхность геоида не совпадает с поверхностью эллипсоида, нормали, проведенные к поверхности

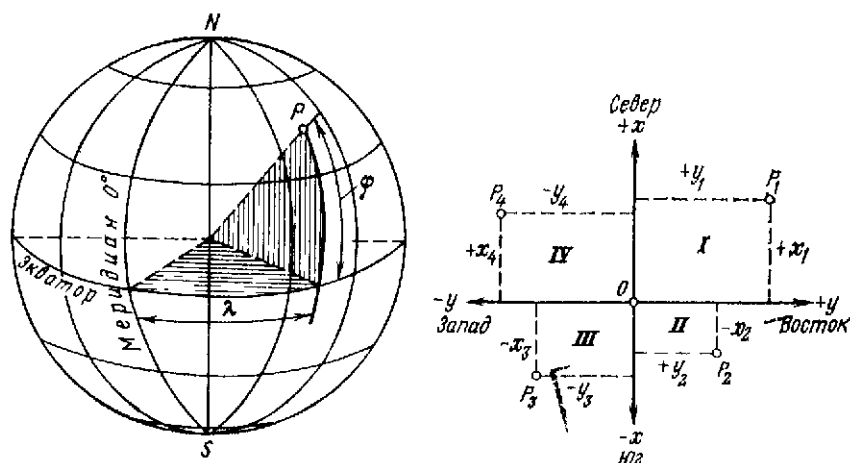


Рис 5 Системы координат

последнего, отклоняются от направления отвесных линий, в среднем, на 3—4". Если иметь в виду, что на поверхности Земли разность широт в 1" соответствует линейному расстоянию 31 м, то положения точек на Земле в астрономических и геодезических координатах могут различаться в среднем на 100 м. В общем случае, когда отклонения отвесных линий не учитывают, вводится обобщенное понятие о геодезических и астрономических координатах — географические координаты.

В географических координатах долготы могут отсчитываться: на восток и запад от Гринвичского меридиана, тогда они изменяются от 0 до 180° и считаются восточными и западными. Восточные долготы считаются положительными, западные — отрицательными; только на восток от Гринвичского меридиана, в этом случае они изменяются от 0 до 360° и считаются восточными. Широты изменяются от 0 до 90° и отсчитываются от экватора на север и на юг. Северные широты принято считать положительными, южные — отрицательными.

§ 6. СИСТЕМА ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Географические координаты, выражаемые в угловой мере, неудобны для их практического использования в расчетах при решении различных инженерных задач. Поэтому в геодезических и маркшейдерских работах, выполняемых на ограниченных территориях, когда в качестве поверхности относимости принята плоскость, используется плоская прямоугольная система координат. Эта система значительно упрощает топографические и маркшейдерские съемки на разведываемых 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. 5, 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.

В особых случаях, например для разбивочных работ при шахтном строительстве, возможно применение местных плоских прямоугольных систем координат, в которых положительная ось x может иметь направление, обусловленное спецификой решаемой задачи. Точка пересечения осей принимается за начало координат и ее положение также может быть выбрано произвольно.

§ 7. УЧЕТ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ

Небольшие участки земной поверхности могут изображаться в ортогональной проекции на плоскости. В связи с этим возникает задача по определению предельных значений площади земного эллипсоида, когда применение ортогональной проекции не ведет к погрешностям, значительно искажающим горизонтальные и вертикальные расстояния.

Пусть имеем некоторый участок уровенной поверхности AB (рис. 6), который заменим поверхностью шара с центром O и радиусом R . Обозначим дугу AB через s , центральный угол — через α . Проведем через точку A касательную к дуге AB , отрезок AC которой обозначим через d .

Обозначим разность между длиной касательной d и длиной дуги s $\Delta s = d - s$. Согласно рис. 6 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, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \dots$$

С учетом приведенного выражения можно написать

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

Полагая, что $\alpha = s/R$, получим

$$\Delta s = s^3/3R^2.$$

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

Полученные результаты показывают, что при замене кривой $AB = 10$ км отрезком касательной величина погрешности $\Delta s =$

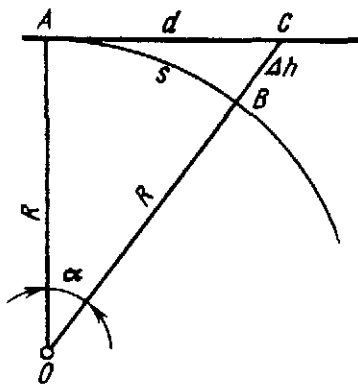


Рис. 6. Схема определения поправки за кривизну Земли

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.

При рассмотрении погрешности измерения вертикальных расстояний из-за неучета кривизны земной поверхности необходимо иметь в виду, что точка B находится на уровне поверхности и высота равна нулю. За счет замены криволинейного участка прямой возникает погрешность $\Delta h = BC$.

Из рассмотрения треугольника OAC (см. рис. 6) можно написать

$$\frac{OC}{OA} = \frac{R + \Delta h}{R} = \sec \alpha,$$

откуда

$$\Delta h = R \sec \alpha - R.$$

Разложим $\sec \alpha$ в тригонометрический ряд, ограничиваясь вторым членом ряда,

$$\sec \alpha = 1 + \frac{\alpha^2}{2} + \dots$$

С учетом приведенного выражения можно написать

$$\Delta h = R \cdot \frac{R\alpha^2}{2} - R = R \frac{\alpha^2}{2}.$$

Учитывая, что $\alpha = s/R$, получим

$$\Delta h = s^2/2R.$$

$= 1$ см, что в относительной мере составляет $1:1\,000\,000$. Высоточные измерения линий длиной $10-20$ км выполняются с погрешностями $1:1\,000\,000$. Таким образом, такая погрешность является допустимой при самых высокоточных измерениях на земной поверхности горизонтальных расстояний длиной $10-20$ км. С увеличением же дуги s погрешность, возникающая при замене сферической поверхности плоскостью, увеличивается пропорционально кубу расстояний, выходя за пределы

Величину Δh называют поправкой за кривизну Земли. Вычислим ее 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. Следовательно, при передаче высотных отметок на расстояние более 0,5 км необходимо учитывать влияние кривизны Земли.

§ 8. ПРОЕКЦИЯ ГАУССА—КРЮГЕРА

При изображении на топографических картах территорий, больших по площади 20×20 км, проецирование ведется на поверхность референц-эллипсоида. Однако последний для построения карт не может быть развернут в плоскость без разрывов и складок. Для решения этой задачи используются дополнительные поверхности, легко разворачивающиеся в плоскость, например, цилиндр или конус. В данном случае производится проецирование частей референц-эллипсоида на вспомогательную геометрически правильную поверхность (цилиндр, конус), которую впоследствии разворачивают в плоскость. Для удобства выполнения операции перенесения вспомогательная поверхность предполагается касательной к референц-эллипсоиду. На эту поверхность переносится (проецируется) 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. Особенности перехода от изображения земной поверхности со сферы на плоскость определяют картографическую проекцию.

Картографические проекции предполагают некоторое искажение географических объектов, расположенных на референц-эллипсоиде и плоском листе карты. Современные картографические проекции обладают большим разнообразием изображения и по характеру искажения подразделяются на равноугольные, равновеликие 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.

Теория картографических проекций рассматривается в математической картографии, где законы изображения описываются аналитическими зависимостями между координатами точек на поверхности референц-эллипсоида и координатами их проекций

на плоскость. Эти зависимости представлены выражениями, определяющими связь между прямоугольными координатами точек на плоскости и географическими координатами на референц-эллипсоиде.

Среди требований, предъявляемых к картографическим проекциям для топографических карт, основное заключается в том, чтобы искажения изображения не превышали погрешности соответствующих геодезических измерений. Наиболее полно таким требованиям отвечает проекция, предложенная в 1820 г. К. Ф. Гауссом, в которой разработана теория плоских конформных координат, позволяющая получать по возможности свободное от искажений изображение земного эллипсоида на плоскость.

Л. Крюгер развил идею Гаусса и предложил систему координат, при помощи которой можно охватить практически всю Землю.

Сущность этой проекции 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. Другие же меридианы, перенесенные (спроецированные) на цилиндр, на поверхности последнего будут увеличены по длине. При удалении от осевого меридиана происходит искажение длин, тем большее, чем дальше они расположены от осевого меридиана. 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.

Цилиндры, на которые переносятся участки земного эллипсоида, разрезаются по образующим, проходящим через полюсы, и полученные части разворачиваются в плоскости. При использовании проекции Гаусса—Крюгера получают на листе бумаги подобное изображение поверхности земного эллипсоида в пределах отдельных фигур, показанных на рис. 7, а и называемых зонами.

Были установлены оптимальные размеры зоны, которая переносится на данный касательный цилиндр: сфероидический двугрульник, ограниченный меридианами с разностью долгот 6° . Таким образом, поверхность земного шара разбита на 60 зон. 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.

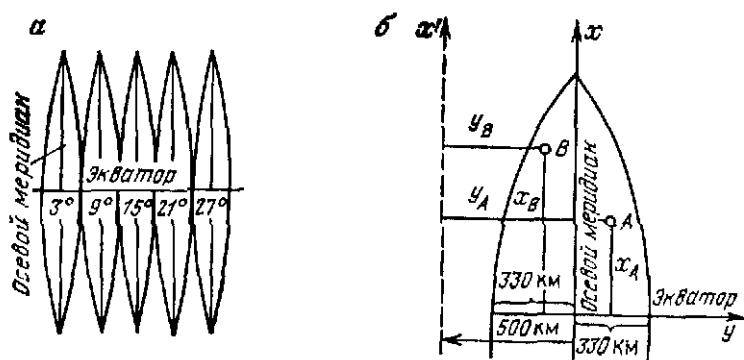


Рис 7 Шестиградусные зоны проекции Гаусса — Крюгера на плоскости (а); система прямоугольных координат в зоне (б)

Оказывается, что для территорий, расположенных в полосе по широте от 30° до 70° , относительные погрешности от искажения длин линий при проецировании 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.

В каждой зоне выбирается начало системы: пересечение осевого меридиана данной зоны с экватором (рис. 7, б). Осевой меридиан 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.

Территория Советского Союза 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. 7, б). Полученную таким образом ординату принято называть преобразованной. 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 преобразованные 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 перед координатой 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.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое физическая поверхность Земли?
- 2 Что такое уровенная поверхность? Сформулируйте ее основные особенности
- 3 Что такое геоид?
- 4 Что такое земной эллипсоид?
- 5 Что такое референц эллипсоид?
- 6 В чем заключается смысл метода проекций, применяемого в геодезии?
- 7 Что такое высота точки?
- 8 Что называется географической широтой и долготой?
- 9 Назовите границы, при которых уровенную поверхность можно считать за плоскость при измерении расстояний
- 10 Укажите границы, при которых уровенную поверхность можно считать за плоскость при определении превышений точек
- 11 В чем заключается смысл проекции Гаусса — Крюгера?
- 12 Охарактеризуйте форму и назовите размер зон
- 13 Что такое осевой меридиан?

Глава 3

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ

Под ориентированием линии понимают определение ее направления на местности или плане относительно другого направления, принятого за исходное. Слово «ориентирование» произошло от латинского *oriens* — восток, так как раньше определение направлений производилось относительно направления на восток. В настоящее время ориентирование производится относительно северных направлений магнитного, географического или осевого (оси абсцисс) меридианов.

В связи с тем, что направление истинного меридиана на местности определяют из наблюдений за небесными светилами, на картах оно обозначается звездочкой. Направление же магнитного меридиана обозначают стрелкой.

§ 9. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ

ПО ГЕОГРАФИЧЕСКОМУ И МАГНИТНОМУ МЕРИДИАНАМ

При ориентировании по географическому меридиану используют *географический азимут*, представляющий собой горизонтальный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направ-

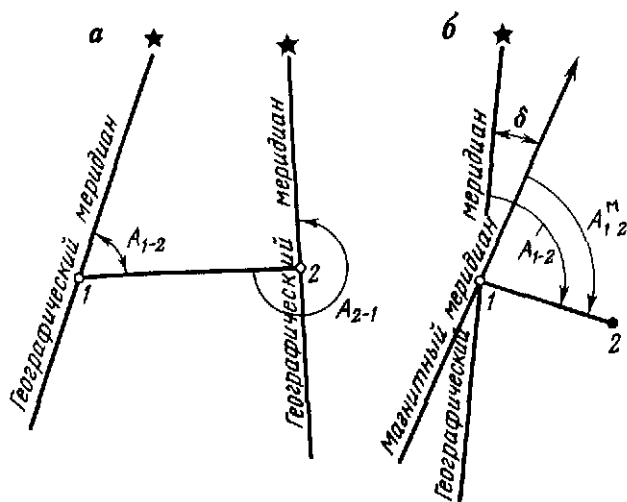


Рис. 8 Азимуты географические и магнитный

ления географического меридиана до направления линии (рис. 8).

Географический азимут обозначается буквой A и может изменяться от 0 до 360° . Различают прямой и обратный азимуты линии. Например, у показанной на рис. 8, а линии 1—2 азимут A_{1-2} , определенный в точке 1, называется прямым, а азимут A_{2-1} , определенный в точке 2,— обратным.

Планета Земля обладает магнитным полем, состоящим из главного геомагнитного поля, источники которого находятся внутри планеты, и внешнего поля, по своей величине не превышающего 1% от главного. 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 вызваны электрическими токами в ионосфере. Долговременные вариации выражаются в виде закономерного смещения магнитного поля на запад, называемого западным дрейфом. 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

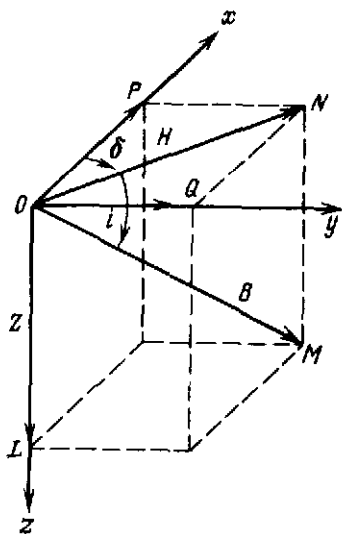


Рис. 9 Схема разложения вектора напряженности магнитного поля Земли на его составляющие

поле складывается 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. Происхождение локальных и региональных аномалий одинаково и связано с залеганием в земных не-

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

Магнитное поле Земли характеризуется вектором напряженности, занимающем в пространстве некоторое положение, меняющееся от точки к точке земной поверхности. Рассмотрим в некоторой точке Земли вектор напряженности магнитного поля, обозначенной буквой B (рис. 9). 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 направлению географического меридиана, а ось y — по направлению параллели.

Проекция вектора B на горизонтальную плоскость обозначается H и носит название горизонтальной составляющей. Проекцию вектора B на ось z называют вертикальной составляющей и обозначают Z . Угол i между горизонтальной составляющей напряженности H и полным вектором напряженного состояния

В называется углом магнитного наклоения. Угол δ , 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. Магнитное склонение можно также определить как угол, образованный плоскостями географического и магнитного меридианов.

Для использования магнитной стрелки при ориентировании направлений вертикальная составляющая Z не играет никакой роли, поэтому в приборах, предназначенных для ориентирования, магнитные стрелки снабжены балансирами, нейтрализующими действие на них вертикальной составляющей магнитного поля. Таким образом, магнитным меридианом можно называть направление 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. 8, 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

$$\delta = A - A^m.$$

Вековое изменение магнитного поля не постоянное, а меняется от года к году. В связи с этим оно регулярно определяется обсерваториями.

Суточные вариации магнитного поля Земли отличаются быстрыми изменениями, длящимися от нескольких дней до секунд. Обычно они составляют около $15'$, но в беспокойные дни с существенными вариациями поля амплитуда может достигать до 1° .

§ 10. ДИРЕКЦИОННЫЙ УГОЛ

Из-за непараллельности географических меридианов, проходящих через различные точки одной и той же прямой, азимуты, определенные в ряде точек этой прямой, не равны между собой.

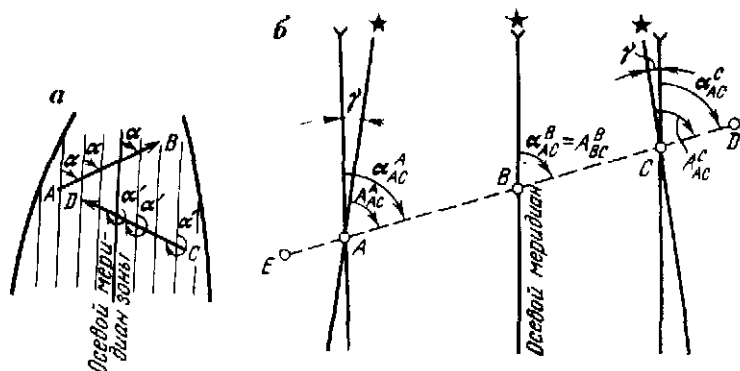


Рис. 10. Положение линий в зоне Гаусса — Крюгера и их дирекционные углы (а) и сближение меридианов (б)

Это представляет определенные трудности при ориентировании прямых по азимуту, так как надо указывать точку, для которой был взят азимут, а также возникает неудобство использования азимута при обработке результатов измерений.

Для того, чтобы упростить ориентирование линий и процесс вычислений, предложено ориентирующие углы брать не от меридианов, а от направлений, параллельных какому-нибудь одному меридиану. В этом случае все ориентирующие углы одной линии в любых ее точках равны между собой (рис. 10, а). С этой целью используется осевой меридиан зоны, относительно которого в пределах зоны выполняют ориентирование направлений. 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° .

§ 11. СБЛИЖЕНИЕ МЕРИДИАНОВ

Проведем прямую ED (рис. 10, б) в пределах одной зоны, но пересекающую осевой меридиан, проходящий через точку B. Пусть через точки A и C проведены географические меридианы

(обозначены звездочками) и линии, параллельные осевому меридиану. В этом случае 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 , 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 , представляющий собой разность между географическим азимутом линии в какой-либо точке и дирекционным углом этой линии, называется сближением меридианов, т. е.

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

Для точек местности, расположенных к востоку от осевого меридиана, сближение меридианов положительное, а для точек, расположенных к западу от него — отрицательное. 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

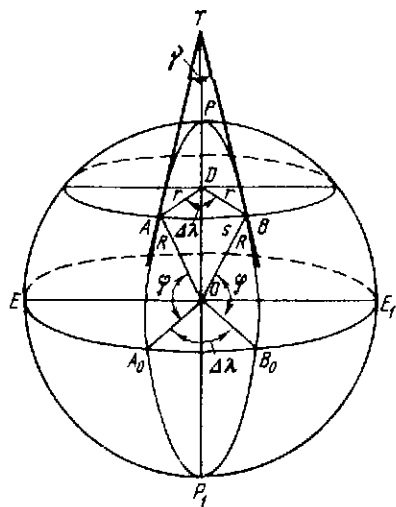
$$\alpha = A - \gamma$$

Сближение меридианов в какой-либо точке можно определить по значениям ее географической широты и долготы. На поверхности Земли условно принятый за шар возьмем две точки A и B (рис. 11), расположенные на одной широте φ . При этом точка A находится на меридиане с долготой λ_A , точка B — на меридиане с долготой λ_B . Разность долгот обозначим через $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$, 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 продолжении оси вращения Земли, образуя угол, равный сближению меридианов γ точек A и B . Рассмотрим треугольник ODB , у которого угол в точке D равен 90° . Следовательно,

$$DB = OB \cos \varphi.$$

Если обозначить радиус r параллели, проходящей через точки A, B , то можно написать

$$r = R \cos \varphi.$$



(1) Рис. 11 Сближение меридианов

Из того, что дуга AB , обозначенная через s , проведена радиусом r , следует, что

$$\frac{s}{r} = \frac{\Delta\lambda}{\rho},$$

откуда с учетом (1) получим

$$s = R \frac{\Delta\lambda}{\rho} \cos \varphi$$

Если расстояние между точками A и B небольшое, то при рассмотрении фигуры ATB с незначительной погрешностью можно считать, что дуга AB проведена радиусом AT . В этом случае справедливо следующее выражение

$$\frac{s}{TA} = \frac{\gamma}{\rho},$$

откуда

$$s = TA \frac{\gamma}{\rho}$$

Из прямоугольного треугольника OAT следует, что

$$TA = R \operatorname{ctg} \varphi$$

Если полученное выражение подставить в предыдущее, то получим

$$s = R \operatorname{ctg} \varphi \frac{\gamma}{\rho},$$

откуда

$$\gamma = \frac{s\rho}{R} \operatorname{tg} \varphi$$

Если ρ выразить в минутах ($\rho' = 3438'$), а радиус Земли принять равным 6371 км, то выражение для определения величины сближения меридианов примет следующий вид

$$\gamma' = 0,540s \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где s — длина дуги, км

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

$$\Delta\lambda = s/AD$$

Но так как $AD = AT \sin \varphi$, а $AT = s/\gamma$, получим

$$\Delta\lambda = \frac{s}{AT \sin \varphi} = \frac{\gamma}{\sin \varphi},$$

откуда

$$\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi = \Delta\lambda (\lambda_B - \lambda_A).$$

Если принять λ_A за долготу осевого меридиана, то можно написать

$$\gamma = \Delta\lambda (\lambda_B - \lambda_0). \quad (3)$$

Приведенные выражения показывают, 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. $\gamma=\Delta\lambda$. 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 «—». Ниже приведены результаты определения величины сближения меридианов на дугу длиной 1 км для территории СССР

φ°	...	30	35	40	45	50	55	60	65	70
γ''	...	18,7	23,3	27,2	32,4	38,6	46,2	56,1	69,4	89,0

Отсюда видно, что эта величина значительная и должна учитываться при решении различных маркшейдерско-геодезических задач.

§ 12. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДИРЕКЦИОННЫМИ УГЛАМИ И УГЛАМИ ПОВОРОТА

Представим три точки 1, 2, 3, соединенные последовательно двумя линиями (рис. 12, а). Эти линии в точке 2 образуют два угла поворота, один из них справа по ходу лежащий или просто правый угол $\beta_{\text{п}}$, второй слева по ходу лежащий — левый угол $\beta_{\text{л}}$.

Пусть известны дирекционный угол α_{1-2} линии 1—2 и угол $\beta_{\text{п}}$ (или $\beta_{\text{л}}$). 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. 12, а будет $\omega = 180^\circ - \beta_{\text{п}}$. Из рис. 12, а видно, что $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \omega$. Подставив значение ω , получим

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - \beta_{\text{п}} + 180^\circ. \quad (4)$$

Так как $\beta_{\text{п}} = 360^\circ - \beta_{\text{л}}$,

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \beta_{\text{л}} - 180^\circ. \quad (5)$$

Полученные в (4) и (5) зависимости представим в общем виде: дирекционный угол последующей стороны равен дирекци-

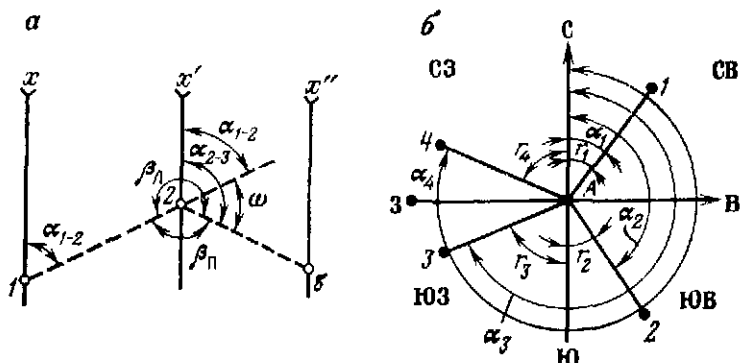


Рис. 12. Схема определения дирекционного угла последующей стороны (а) и румба по дирекционному углу (б)

онному 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° .

§ 13. РУМБЫ

При проведении маркшейдерско-геодезических работ ориентирование линий возможно не только при помощи азимутов и дирекционного угла, отсчитываемых от северного направления меридиана и изменяющихся от 0 до 360° , но при помощи острых углов, отсчитываемых как от северного, так и южного (ближайшего) направления меридиана.

Горизонтальный угол, составленный данной линией с ближайшим концом меридиана (или направления, параллельного осевому меридиану), называется румбом и обозначается буквой r .

Представим себе некоторую точку A (рис. 12, б). Проведем через нее меридиан СЮ и линию, обозначающую направление запад—восток (ЗВ). Полученные четверти обозначаются в зависимости от начала отсчета (северного направления) по ходу часовой стрелки. Границами четвертей являются линии AC , AB , $AЮ$, $AЗ$, направленные соответственно на север, восток, юг и запад. Направления линий характеризуются названием четвертей. Например, румбы линий $A-1$, $A-2$, $A-3$, $A-4$ называются так: СВ: $33^\circ 30'$, ЮВ: $29^\circ 20'$; ЮЗ: $33^\circ 18'$; СЗ: $69^\circ 52'$. В зависимости от того, какое из исходных направлений принимают для ориентирования, румбы могут быть географическими, магнитными, дирекционными.

Румбы, так же как и дирекционные углы и азимуты, могут быть прямыми и обратными. Так, например, название линии

Таблица 2

№ четверти, ее название	Определение румба по дирекционному углу (азимуту)	Определение дирекционного угла (азимута) по румбу
I. СВ	$r = \alpha$	$\alpha = r$
II ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	$\alpha = 180^\circ - r$
III. ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ + r$
IV СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	$\alpha = 360^\circ - r$

$A-1$ (рис. 12, б) будет разным в зависимости от того, какой конец линии взять за начальный. Если за начало взять точку A , то название румба этой линии будет СВ, и его считают прямым. Обратным румбом в данном случае является румб линии $1-A$ и его название ЮЗ. Таким образом, следует сделать вывод о том, что прямой и обратный румбы равны по величине, но противоположны по направлению.

Румбы связаны с дирекционными углами и азимутами. Например, линия $A-1$ находится в первой четверти (рис. 12, б). Из рис. 12, б видно, что в первой четверти румб равен дирекционному углу (азимуту). Если рассмотреть линию во второй четверти, то румб равен разности между 180° и значением дирекционного угла (азимута). В третьей четверти для определения румба из дирекционного угла (азимута) следует вычесть 180° , и в четвертой четверти румб получают вычитанием из 360° значения дирекционного угла (азимута). Нетрудно обнаружить и обратные связи между дирекционным углом (азимут) и румбом. В табл. 2 приведены выражения, показывающие связь между дирекционными углами (азимутами) и румбами.

Угловую величину румба без указания направления (наименования четверти) принято называть табличным углом.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется ориентированием линии на местности?
2. Что называется азимутом линии?
3. Что представляет собой склонение магнитной стрелки?
4. Что понимают под дирекционным углом линии?
5. Что называется румбом, в каких пределах он изменяется?
6. Что понимают под сближением меридианов?
7. Вспомните формулы, используемые для вычисления величины сближения меридианов.
8. Как перейти от дирекционных углов к румбам и обратно?
9. По какой формуле вычисляют дирекционный угол последующей стороны, если известен дирекционный угол предыдущей и правый (левый) угол, измеренный между ними?
10. Вычислите дирекционный угол α_{2-3} , если $\alpha_{1-2} = 137^\circ 27'$, а угол $\beta_{\text{п}} = 128^\circ 18'$.
11. Вычислите румб, если дирекционный угол стороны равен $283^\circ 57,2'$.

§ 14. МАСШТАБЫ

Построение планов, карт, профилей, разрезов производится с уменьшением изображаемых объектов. Степень уменьшения линии на плане определяется масштабом, выражаемым отвлеченным числом, в котором числитель — единица, знаменатель — число, показывающее, во сколько раз горизонтальное проложение линии местности уменьшено по сравнению с его изображением на плане. Такой масштаб называется численным и выражается дробью $1/M$, где M — знаменатель численного масштаба.

На планах и картах значения численного масштаба подписываются следующим образом $1:500$; $1:1000$; $1:2000$; $1:10\,000$; $1:25\,000$ и т. д. Приведенные выше значения численных масштабов показывают, что горизонтальные проложения линий местности на картах (планах) уменьшены соответственно в 500, 1000, 2000, 10 000 и 25 000 раз. Например, если горизонтальное проложение линии местности равно 174,30 м, масштаб плана $1:2000$, то длина линии на плане — $174,3:20=8,71$ см, или, если линия на плане масштаба $1:5000$ равна 10,20 см, то горизонтальное проложение этой линии местности будет $10,20 \cdot 50=510,0$ м.

На картах и планах численный масштаб записывается также именованными масштабами, где за единицу измерения на карте (плане) принимают 1 см, а горизонтальное проложение, ему соответствующее на местности, выражается в метрах или километрах. Например, для численного масштаба $1:10\,000$ именованный записывается следующим образом: «в сантиметре 100 м».

Топографические планы и карты составляют в стандартных масштабах:

Для карт

Численный масштаб	$1:1\,000\,000$	$1:500\,000$	$1:200\,000$	$1:100\,000$
В сантиметре	10 км	5 км	2 км	1 км
Численный масштаб	$1:50\,000$	$1:25\,000$		$1:10\,000$
В сантиметре	500 м	250 м		100 м

Для планов

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

Различают масштабы крупные и мелкие. Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем масштаб считается крупнее. Наиболее крупными масштабами планов и карт будут соответственно масштабы $1:500$ — $1:10\,000$, а наиболее мелкими — $1:50\,000$ — $1:1\,000\,000$. На плане и карте более крупного масш-

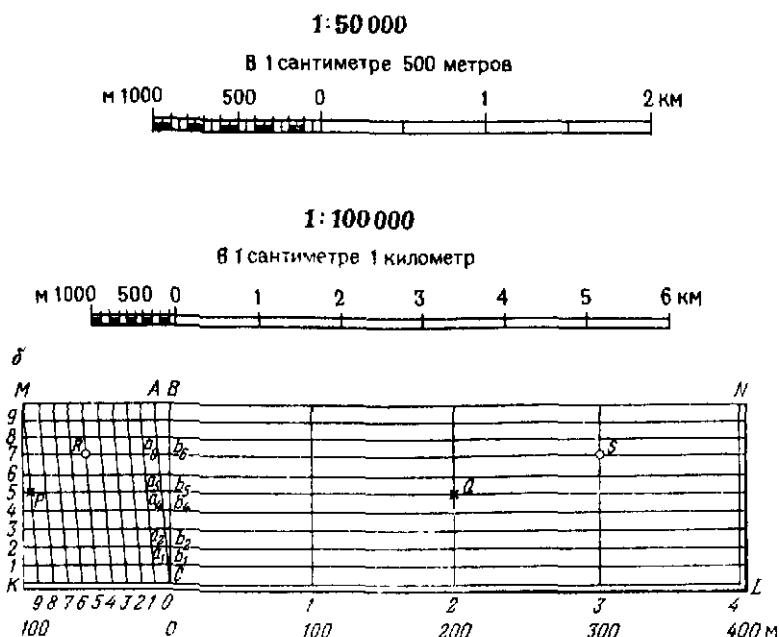


Рис. 13. Изображение численного, именованного и линейного масштабов на картах (а) и поперечный масштаб (б)

таба можно отобразить больше подробностей местности. Масштаб плана или карты выбирается согласно техническим инструкциям в зависимости от их назначения.

На практике для перевода длины линий местности в ее длину на плане или для решения обратной задачи используют графические построения в виде линейного и поперечного масштабов.

На рис. 13, а показаны линейные масштабы, представляющие собой шкалы, разделенные на равные отрезки, называемые основанием масштаба; отрезки принимаются равными 1, 2 или 2,5 см, что должно соответствовать круглому числу метров на местности (5, 10, 20, 50, 100, 200 м и т. д.). Первые слева основания делятся на равные части. Подпись 0 ставится справа первого основания. Остальные штрихи, обозначающие концы оснований, надписываются в соответствии с принятым численным масштабом плана. Изображенные линейные масштабы построены по численным масштабам 1:50 000 и 1:100 000. Основание линейного масштаба в первом случае равно 2 см, во втором — 1 см. Наименьшие деления левых оснований при подписанном значении 1000 м (1 км) соответственно равны 500 м и 100 м.

При пользовании линейным масштабом измеряемое на плане расстояние берут в раствор измерителя, затем одну из игл уста-

навливают на штрих одного из оснований таким образом, чтобы вторая игла располагалась внутри крайнего левого основания. Десятые доли наименьшего деления оценивают на глаз.

Для того, чтобы избежать оценки делений на глаз и таким образом повысить точность измерения и построения отрезков на картах и планах, применяют номограмму, построенную на основаниях линейного масштаба и использующую метод пропорционального клина. Такая номограмма называется графическим масштабом длин или поперечным масштабом.

При построении поперечного масштаба на прямой KL откладывают несколько раз основание масштаба (рис. 13, б). Из концов оснований $K, 0, 1, 2, 3, 4$ (L) восстанавливают перпендикуляры к основанию.

От точки K вверх по перпендикуляру отложим произвольные, но не равные расстояния $K1=12=23$ и т. д., всего m , в нашем случае $m=10$. Левое основание в нижней части KO и верхней MB разделим на n частей, в нашем случае $n=10$. Полученные верхние и нижние точки соединим наклонными линиями (как это показано на рис. 13, б). Через точки $1, 2, \dots, 9$ проведем линии, параллельные основанию KL . Полученная таким образом номограмма носит название поперечного масштаба.

Рассмотрим прямоугольный треугольник OAB , образованный линиями OA и OB . Его верхний катет AB равен $1/m$ основания. На первой параллели от основания наклонная линия OA находится от линии OB на расстоянии $a_1b_1=1/n$, на второй параллели — на расстоянии $a_2b_2=2a_1b_1=2/n$ и т. д. Следовательно, при переходе на следующую параллельную линию наклонная линия OA отодвигается от вертикальной линии OB на $1/m$ отрезка AB . Учитывая, что отрезок AB составляет $1/n$ основания, на каждой следующей параллели наклонная линия отходит от вертикали на расстояние a/mn , где a — величина основания. Если $n=m=10$, то наименьшее деление, которое можно отложить при помощи поперечного масштаба равно $a/mn=a/100$.

Чаще всего применяют нормальный (или сотенный) масштаб, у которого $n=m=10$. На рис. 13, б показан нормальный поперечный масштаб с основанием 2 см. Если принять численный масштаб 1:5000, то для удобства пользования поперечным масштабом его необходимо подписать. В нашем случае вдоль линии оснований и вправо и влево от нуля — 100, 200, 300 и 400 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. Например, расстояния RS и PQ , которые соответственно равны 357 и 295 м.

Разрешающая способность человеческого глаза (при критическом угле зрения $60''$ и расстоянии наилучшего зрения 250 мм) принимается равной 0,1 мм. Соответствующее ему горизонтальное расстояние на местности называется точностью масштаба. Для масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000; 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 объекта 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.

§ 15. КАРТА И ПЛАН

Под картой понимается построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение на плоскости поверхности Земли или отдельного ее участка, 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 достоверными, 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.

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

Основной отличительной особенностью карты является то, что масштаб карт, особенно тех, которые изображают значительную часть 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).

Изображение земной поверхности осуществляется на географических картах, на которых помимо поверхности, показываются качественные и количественные характеристики различных объектов и явлений природы в 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. В частности, геологические карты представляют 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.

Топографические карты относятся к общегеографическим картам и представляют собой подробные карты 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.

В СССР принят масштабный ряд карт, приведенный в табл. 3.

Для изучения земной поверхности и природных условий крупных географических районов, а также при планировании и проектировании крупных государственных объектов используют топографические карты масштаба 1 : 1 000 000. Обзорно-топографические карты масштаба 1 : 500 000—1 : 200 000 использу-

Т а б л и ц а 3

Численный масштаб	Наименование карты	1 см на карте соответствует на местности расстоянию	1 см ² на карте соответствует на местности площади
1 : 10 000	десятитысячная	100 м	1 га
1 : 25 000	двадцатипятитысячная	250 м	6,25 га
1 : 50 000	пятидесятитысячная	500 м	25 га
1 : 100 000	стотысячная	1 км	1 км ²
1 : 200 000	двухсоттысячная	2 км	4 км ²
1 : 500 000	пятисоттысячная	5 км	25 км ²
1 : 1 000 000	миллионная	10 км	100 км ²

ются 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.

§ 16. РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ

Изображение территории нашего государства осуществляется по частям на отдельных картах, размеры которых подбирают таким образом, чтобы ими было удобно пользоваться. Наличие большого количества топографических карт вызвало необходимость создания системы учета отдельных листов карт. Для этого листы топографических карт различных масштабов объединены единой системой разграфки и номенклатуры. Разграфкой называется деление листов одного масштаба на листы более крупного масштаба, номенклатурой — система обозначений отдельных листов карт (трапеций). 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 карт:				
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 карт:				
по ширине	20'	10'	5'	2'30"
по долготе	30'	15'	7'30"	3'45"

Номенклатурой называют систему обозначения (нумерации) отдельных листов топографических карт. 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° (рис. 14). В пересечении поясов и колонн образуются трапеции в 4° по широте и в 6° по

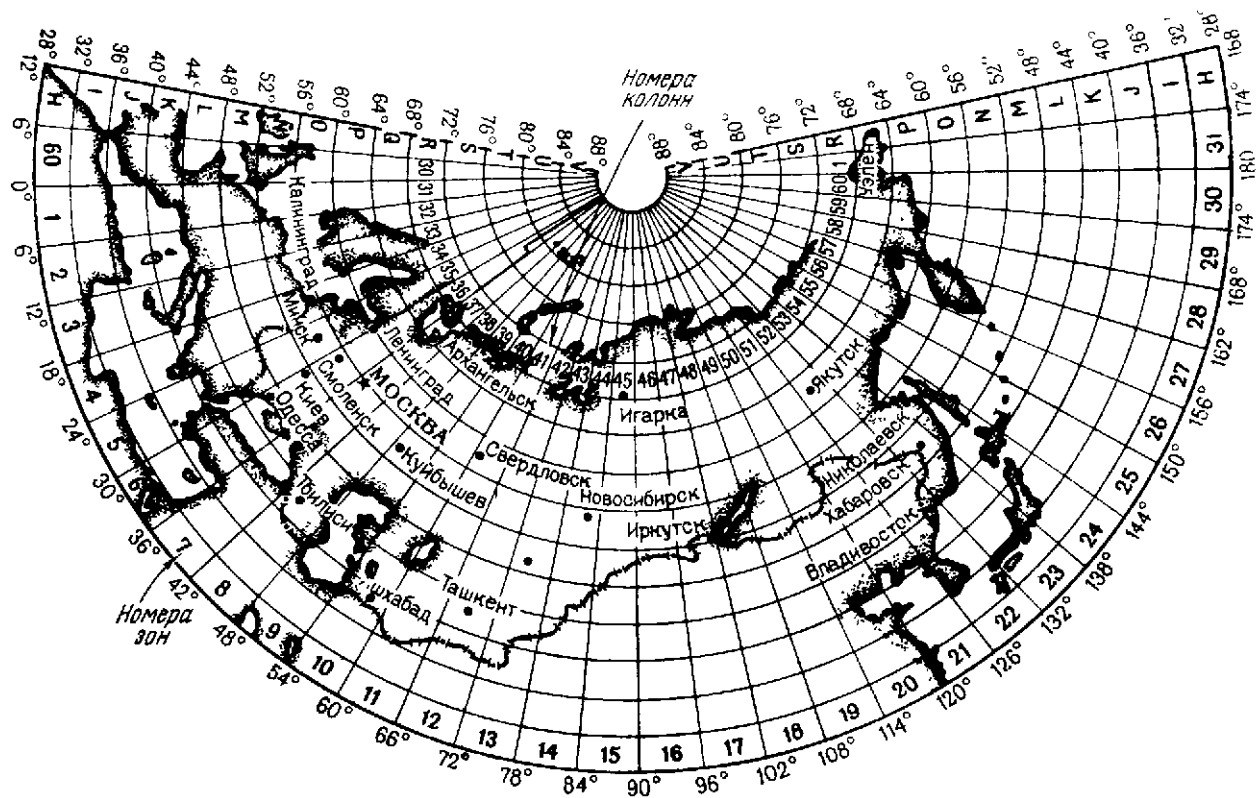


Рис. 14. Схема разграфки и номенклатуры международной карты масштаба 1 : 1 000 000

долготе, каждая из которых изображается на отдельном листе бумаги. 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, на котором находится Киев, — M-36.

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

Переход к листам карты более крупных масштабов осуществляется делением листа карты масштаба 1:1 000 000.

Лист карты масштаба 1:500 000 получается делением каждого масштаба 1:1 000 000 на 4 части с обозначением каждой части заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, ко-

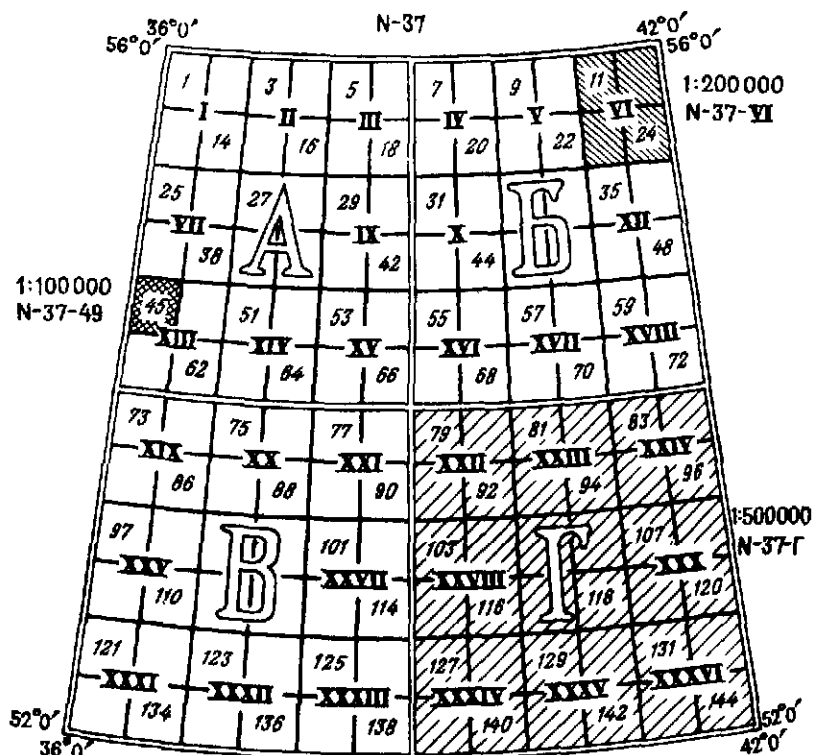


Рис 15 Расположение и порядок нумерации листов карт масштабов 1:500 000, 1:200 000 и 1:100 000.

торые добавляются к номенклатуре листа карты масштаба 1:1 000 000 (например, буквы Г, рис 15)

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 (см рис. 15).

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 (см. рис 15)

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, например, N-37-49-А

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, например, N-37-49-А-б.

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, например, N-37-49-А б-2

Лист карты масштаба 1:5000 получают путем деления листов карты масштаба 1:100 000 на 256 частей Номенклатура этих листов образуется прибавлением к номенклатуре листа 1:100 000 номера в скобках соответствующего листа карты масштаба 1:5000, например N-37-49-(253)

Для разграфки листа карты масштаба 1:2000 лист карты масштаба 1:5000 делят на девять частей, обозначаемых строчными буквами русского алфавита от а до и, записываемыми

Т а б л и ц а 4

Масштаб карты	Размер листа		Пример номенклатуры
	по широте	по долготе	
1:1 000 000	4°	6°	N-37
1:500 000	2°	3°	N-37-Г
1:200 000	40'	1°	N-37 VI
1:100 000	20'	30'	N-37 49
1:50 000	10'	15'	N-37-49 А
1:25 000	5'	7'30"	N-37 49 А б
1:10 000	2'30"	3'45"	N 37-49 А б 2
1:5 000	1'15"	1'52 5'	N 37 49 (253)
1:2 000	25"	37,5"	N 37-49 (253 д)

в круглых скобках после цифры, обозначающей номер листа карты масштаба 1 : 5000, например; N-37-49- (253-д).

В табл. 4 показаны разграфка и номенклатура топографических карт, принятые в СССР.

§ 17. КООРДИНАТНАЯ СЕТКА.

ЗАРАМОЧНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

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 (рис. 16). Широты северную и южную, долготы западную и восточную подписывают во всех четырех углах листа карты. Для определенного масштаба карт разность долгот и широт является величиной постоянной, для различных масштабов эта величина показана в табл. 4.

Важной характеристикой топографических карт является их координатная сетка, позволяющая определить 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.

На некотором расстоянии от внутренней рамки проведены две линии (минутная рамка), разделенные на отрезки, соответствующие одной минуте географических координат. Каждая минута точками разделена на равные отрезки по десять секунд.

За минутной рамкой проведена утолщенная линия, называемая внешней рамкой, которая отделяет саму карту от дополнительных описаний, расположенных на полях листа карты.

Для определения географических координат некоторой точки через нее проводят меридиан и параллель, и по соответствующим пересечениям минутной рамки берут отсчеты.

Для нанесения на топографические карты точек с использованием прямоугольных координат применяется прямоугольная сетка, представляющая собой сеть квадратов, образованных линиями, параллельными осям x и y . Линии проводятся на расстоянии 1 км для карт масштаба 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 2 км — для карты масштаба 1 : 100 000, 10 км — для карты масштаба 1 : 200 000.

Эту сетку также называют километровой. Линии километровой сетки не параллельны рамкам карты. Выраженные в километрах значения координат километровых сеток подписывают между внутренней и внешней рамкой. Полное число километров по оси подписывается только на крайних — южной и северной линиях километровой сетки, у промежуточных линий — только десятки и километры.

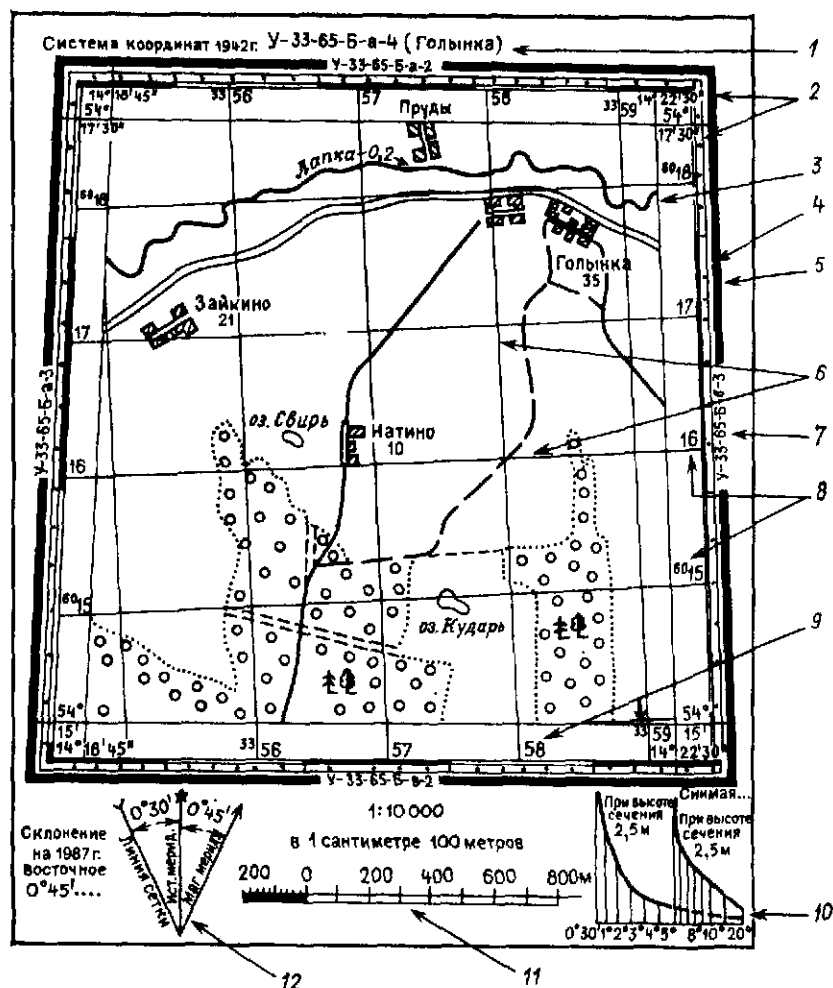


Рис. 16 Лист топографической карты.

1 — номенклатура листа (У — учебная); 2 — подписи географических координат углов внутренней рамки; 3 — внутренняя рамка; 4 — минутная рамка (сетка географических координат); 5 — внешняя рамка; 6 — линии сетки прямоугольных координат; 7 — номенклатура соседних листов; 8 — оцифровка горизонтальных координатных линий; 9 — наименование километровой сетки; 10 — масштаб заложений; 11 — линейный масштаб; 12 — схема сближения меридианов и магнитного склонения

Вертикальные линии километровой сетки подписываются в преобразованных ординатах, причем крайние — восточная и западная — подписываются четырьмя цифрами, первая обозначает номер зоны, остальные — преобразованную ординату. Например, число 3256, написанное у западной линии километровой сетки (см. рис. 16), указывает на то, что лист карты располо-

жен в третьей зоне, а сама линия отстоит от осевого меридиана на $256-500=-244$ км, т. е. западнее осевого меридиана. У всех промежуточных вертикальных линий координатной сетки подписываются только последние две цифры, обозначающие десятки километров и километры.

Километровая сетка используется для определения координат точек, расположенных на карте, или нанесения на карту точек по их известным координатам. Для определения прямоугольных координат некоторой точки записывают абсциссу нижней километровой линии и ординату западной километровой линии квадрата, в которой находится точка. Измеряют расстояние от точки до названных выше линий координатной сетки и определяют, чему соответствуют эти отрезки в масштабе карты. Последние величины соответственно складывают с величинами абсциссы и ординаты линий координатной сетки.

За пределами внешней рамки выполняют подписи и графики, называемые зарамочным оформлением. Над северной рамкой в середине листа указывается номенклатура листа карты и в скобках — название наиболее крупного населенного пункта, расположенного на данной карте, под номенклатурой — 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. В разрывах в середине рамки указывается номенклатура смежных листов.

§ 18. ОРИЕНТИРОВАНИЕ КАРТЫ НА МЕСТНОСТИ

С картой в поле приходится работать большому количеству специалистов, в том числе и геологам. В данном случае решают с помощью карты три задачи:

ориентирование карты на местности;

определение положения на местности объекта, обозначенного на карте;

определение на карте места стояния наблюдателя

Ориентирование карт и планов производится или по компасу (буссоли), по линии местности, изображенной на карте (ось шоссейной, железной дороги, улица поселка и т. п.), или по каким-то другим характерным особенностям рельефа или ситуации.

Распространенным является способ ориентирования карты по компасу или буссоли, которые по своему устройству не отличаются друг от друга и представляют собой градуированное

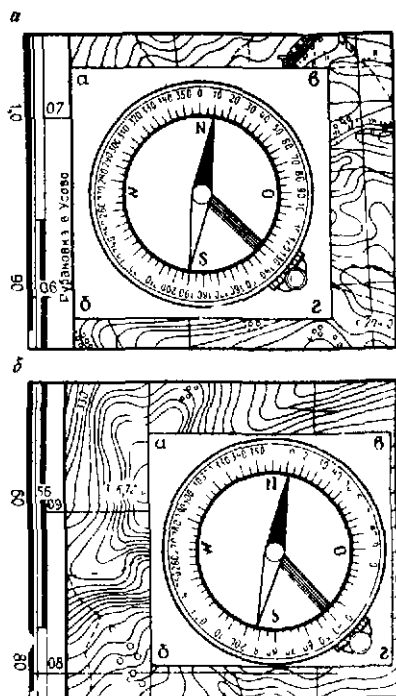


Рис. 17 Схемы, объясняющие ориентирование карт по рамке карты (а) и километровой сетке (б)

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. $\text{ПН} = \delta - (\pm \gamma)$. В случае, рассмотренном на рис. 17, б, склонение магнитной стрелки $\delta = +10^\circ$, сближение меридианов $\gamma = -2^\circ 25'$, следовательно, $\text{ПН} = \delta - (-\gamma) = 10^\circ + 2^\circ 25' = 12^\circ 25'$.

Если на карте и местности известно какое-либо направление, то возможно выполнение ориентирования карты по этой линии местности. Для ориентирования карты наблюдатель становится на местности на данном направлении, например, на шоссеной дороге, приводит карту в горизонтальное положение и совмещает скошенный край визирной линейки с данным направлением. Карту вращают до тех пор, пока скошенный край линейки не совпадет с направлением на местности. В случае известных двух точек наблюдатель становится в одной из них, скошенный край визирной линейки совмещает с известными

кольцо, укрепленное на квадратном или прямоугольном основании. В центре кольца подвешивается на вертикальной оси магнитная стрелка. Ребра аб и вг основания буссоли параллельны нулевому диаметру NS буссольного кольца. При ориентировании карты одно из ребер аб или вг прикладывают к западной или восточной внутренней рамке карты (рис. 17, 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. 17, а, магнитное склонение восточное и равно 10° .

Ориентирование карты также может быть произведено при помощи вертикальных линий километровой сетки. Для этого ребро буссоли аб, соответствующее диаметру азимутального круга NS (0— 180°), прикладывают к одной

точками и вращает карту до тех пор, пока направление на карте не совпадет с направлением на местности.

При определении положения на местности предмета, обозначенного на карте, необходимо прежде всего в районе этого предмета найти хорошо идентифицируемые точки. Одна из этих точек выбирается за место стояния, по другим (или при помощи компаса) ориентируется карта. Для отыскания в натуре нужного предмета на карте прикладывают ребро линейки к точке стояния и отыскиваемому предмету. Наблюдают по направлению линейки. Искомый предмет должен находиться вблизи этого направления.

Определение на карте места стояния наблюдателя может быть выполнено несколькими приемами. Рассмотрим способ проф. А. П. Болотова, в котором лист кальки накладывают на планшет. На нем приблизительно в центре отмечают точку. На местности находят три хорошо видимых предмета и на каждый из них из отмеченной точки проводят направления. Затем, сняв кальку с планшета, ее помещают на карту таким образом, чтобы все три начерченные направления проходили через соответствующие изображения предметов. Точка, отмеченная на кальке, переносится (перекладывается) на карту и таким образом отмечается точка стояния.

§ 19. УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ

Местность, под которой понимают участок со всеми находящимися на нем непеременяющимися предметами, характеризуется двумя основными элементами: местными предметами и рельефом. 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. Кроме того, условные знаки должны быть простыми, напоминать своим начертанием предметы, которые они изображают.

В связи с тем, что местные предметы отличаются большим разнообразием, разработано достаточно большое количество условных знаков. Так число условных знаков, применяемых для карт и планов масштабов 1 : 1000, превышает 400.

По своему назначению условные знаки подразделяют на следующие виды.

1. Масштабные условные знаки, применяются для изображения объектов, очертания которых могут быть показаны на карте с сохранением истинных пропорций. Эти знаки состоят из внешнего контура, заполненного площадными картографическими знаками. Контуры наносятся на карту сплошной или пунктир-

ной линией с сохранением ориентирования участков контура относительно стран света. Площадные условные знаки могут быть в виде значков, характеризующих особенности объекта, а также в виде цветового фона, определяющего сущность объекта (например, зеленый цвет, обозначающий лес).

2. Условные картографические 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.

3. 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.

В СССР имеются разработанные условные знаки различных масштабов, использование которых обязательно при составлении топографических планов и карт.

§ 20. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА

Рельеф земной поверхности представляет собой сложную совокупность пространственных форм, отличающихся друг от друга размерами, конфигурацией, высотой, положением относительно основной поверхности и т. п.

Однако все многообразие форм рельефа для упрощения его анализа типизировано сравнительно на небольшое количество элементарных (типовых) форм. В этой связи рельеф рассматривают как сочетающиеся между собой трехмерные тела, занимающие определенные объемы земной коры и ограниченные двухмерными поверхностными элементами, главным образом склонами.

По современным представлениям рельеф земной поверхности 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 тек-

тоническим. 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.

Более того, в настоящее время считается установленным фактом, что строение рельефа земной поверхности платформенного типа обусловлено действием тектонических сил. Также установлено, что все современные тектонические движения находят свое выражение в рельефе, поэтому рельеф может быть использован для расшифровки состояния современной тектоники.

Различают формы рельефа положительные (выпуклые, возвышающиеся над окружающей местностью) и отрицательные (вогнутые, понижающиеся относительно окружающей местности). В зависимости от величин форм (амплитуды 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.

Изучение рельефа имеет 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.

При изображении рельефа на топографических картах показывают как естественные, так и искусственные его формы. Первые могут быть как положительные, т. е. возвышающиеся над местностью — гора, холм, хребт и т. п., так и отрицательные, находящиеся ниже плоскости горизонта — ущелье, котловина, балка, овраг. К искусственным формам рельефа относятся выемки вдоль дорог, насыпи, ямы и т. п.

Рассмотрим более подробно отдельные формы рельефа (рис. 18).

Гора, холм — положительные куполообразные формы земной поверхности. Самая высокая часть горы или холма назы-

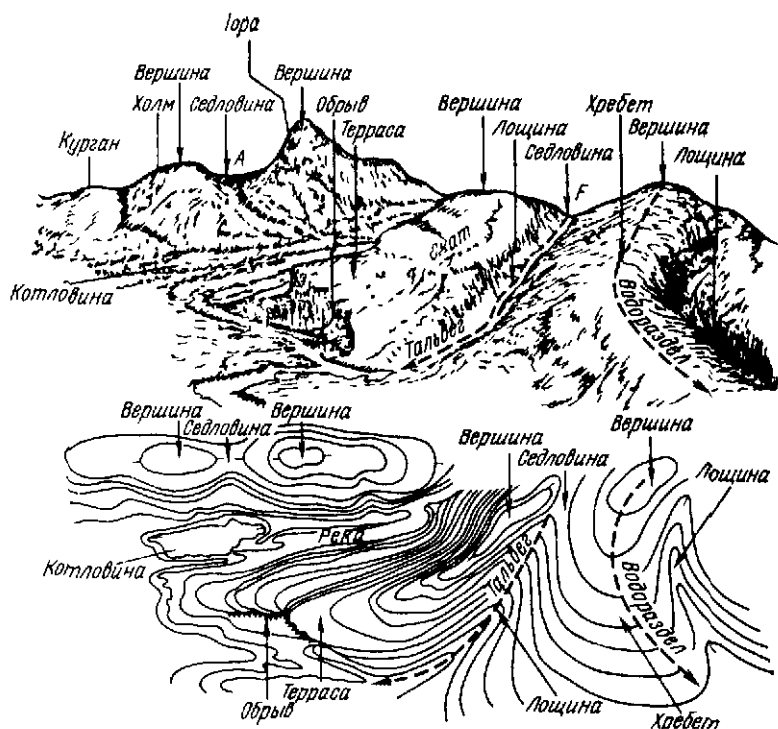


Рис. 18. Элементы рельефа

вается вершиной, от нее во все стороны идут склоны, называемые также скатами. Подошвой горы называется линия перехода скатов в равнину. Гора отличается от холма, под которым понимают возвышенность высотой до 200 м, высотой. К разновидности этих форм относится курган — изолированная, расположенная на равнине возвышенность, высотой не более 50 м и с резко выраженной подошвой.

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

При изображении рельефа большое значение имеют его основные линии — водоразделы, водотоки (тальвеги), бровки. Их совокупность, нанесенная на план, носит название скелета рельефа.

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.

Изображение рельефа на карте прежде всего должно обладать наглядностью, кроме того, давать информацию о высоте отдельных точек, крутизне и направлении скатов. Наиболее подходящим с этой точки зрения является изображение рельефа при помощи горизонталей, позволяющих различать отдельные формы рельефа и определять высоту любой точки местности в пределах топографического плана или карты.

Горизонталью называется геометрическое место точек, имеющих одинаковую отметку.

Сущность способа горизонталей 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. 19). 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

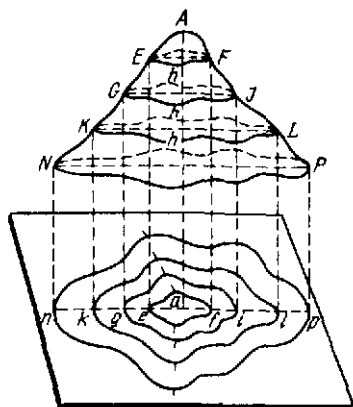


Рис. 19. Горизонтали

от сечения земной поверхности урочной поверхностью, и является горизонталью.

Вертикальные расстояния h между соседними горизонталями называются высотой сечения рельефа (или сечением рельефа).

При изображении на плоскости рельефа в горизонталях ef , gi , kl , pr они располагаются на расстоянии друг от друга, зависящем от крутизны скатов: чем круче скат, тем меньше расстояние между горизонталями.

Расстояние на карте (плане) между двумя смежными горизонталями называется заложением. Заложение по направлению, нормальному к горизонталям, называется заложением ската. Угол, образованный направлением ската с горизонтальной плоскостью, называется крутизной ската. Уклоном местности называется тангенс угла наклона линии местности к горизонтальной плоскости в данной точке.

Гора, показанная на рис. 19, изображена при помощи замкнутых горизонталей. Очевидно, что и котловина изображается замкнутыми горизонталями, поэтому, чтобы различать формы рельефа, на горизонталях указывают направления скатов с помощью небольших штрихов, вычерчиваемых перпендикулярно к горизонталям и называемых скатштрихами или бергштрихами (см. рис. 19). Хребт или лощина изображаются соответственно выпуклыми и вогнутыми горизонталями. На горизонталях хребта бергштрихи показываются с выпуклой стороны, а на горизонталях лощины — с вогнутой стороны.

Горизонтали обладают следующими свойствами: они являются плавными 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 расстояния между горизонталями у вершин больше, у подошвы меньше. Наоборот, при вогнутом скате эти расстояния меньше в верхней его части, а к подножию больше.

Таблица 5

Масштаб	Высота сечения рельефа, м	Примечание
1 : 500	0,5; 1,0	Второе значение для горных и предгорных районов
1 : 1 000	0,5; 1,0	Второе значение для участков с углами наклона более 4°
1 : 2 000	0,5; 1,0; 2,0	Последнее значение для участков с углами наклона более 4°
1 : 5 000	0,5; 1,0; 2,0; 5,0	
1 : 10 000	1,0; 2,0; 5,0	Первое значение для участков с углами наклона до 2°; последнее — для горных и предгорных районов
1 : 25 000	2,5; 5,0; 10,0	Последнее значение для высокогорных районов
1 : 50 000	10 и 20	
1 : 100 000	20 и 40	
1 : 200 000	20, 40 и 80	

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

Высота сечения рельефа зависит главным образом от масштаба карты, характера (расчлененности) рельефа (табл. 5), при этом, 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 полугоризонтالي, высоты которых кратны половине высоты сечения.

Горизонтالي на планах и картах вычерчивают коричневым цветом тонкими сплошными линиями, а полугоризонтالي — 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).

§ 21. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА ПЛАНЕ С ГОРИЗОНТАЛЯМИ

1. *Определение отметок отдельных точек.* Если точка *A* находится на горизонтали (рис. 20, а), то ее высота совпадает с высотой этой горизонтали. Например, в рассматриваемом случае отметка точки $H_A = 135$ м.

Если точка лежит между горизонталями (младшей и старшей), например, точка *B*, то для определения ее отметки про-

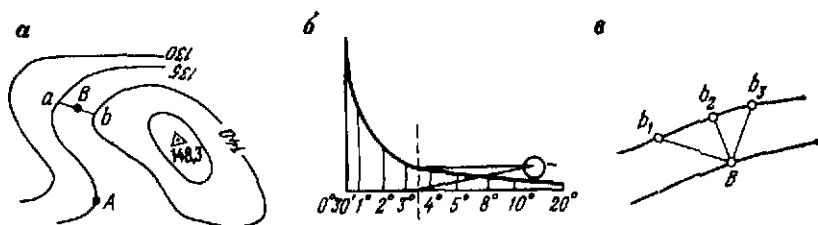


Рис. 20 Схемы определения по горизонталям высот точек (а), уклонов рельефа при помощи графика заложений (б), направления ската (в)

водят заложение $ab = l$, примерно по кратчайшему расстоянию между горизонталями. Если расстояние aB обозначить через x , превышение точки B над младшей горизонталью через Δh , а высоту сечения рельефа через h , то можно написать следующее отношение

$$\frac{h}{l} = \frac{\Delta h}{x},$$

откуда

$$\Delta h = hx/l.$$

Прибавив к высоте точки a , т. е. отметке младшей горизонтали, значение Δh , получим отметку точки B .

2. *Определение крутизны скатов.* По карте с горизонталями можно определить уклон линии местности. Например, уклон линии ab (см. рис. 20, а) можно выразить формулой

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

где v — угол наклона к горизонту линии; h — превышение между концами линии, в данном случае равное высоте сечения рельефа; l — горизонтальное проложение линии, в данном случае расстояние ab , представляющее заложение горизонталей.

Уклон часто выражают не в градусах угла наклона, а в тысячных долях или процентах. Например, $h = +5$ м, $l = 125$ м, тогда $i = h:l = +0,04$ или $+4\%$. Уклон $i = +0,04$ показывает, что линия ab повышается от a к b на 40 мм через каждый метр расстояния.

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

Чтобы построить график заложений для определения углов наклона, вычисляют горизонтальные проложения l , соответствующие различным углам v и принятой высоте сечения рельефа

h , по формуле $l = h : \operatorname{tg} v = h \operatorname{ctg} v$. Например, для высоты сечения рельефа $h = 2,5$ м заложения l равны: $v = 30'$, $l = 286$ м, $v = 1^\circ$, $l = 143$ м; $v = 5^\circ$, $l = 29$ м; $v = 20^\circ$, $l = 7$ м. Затем горизонтальную прямую линию (рис. 20, б) 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 проложения, соответствующие выбранным углам наклона. Концы перпендикуляров соединяют плавной кривой.

Для определения по графику заложений угла наклона в интересующем нас направлении берут измерителем расстояние между точками на соседних горизонталях, 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. 20, б он равен $3,5^\circ$.

Таким же образом можно построить график заложений для определения уклонов, где по оси, обозначающей углы наклона v отложены значения соответствующих уклонов i .

4. *Направление скатов.* Заложение между двумя горизонталями, например, из точки В можно определить по разным направлениям: Vb_1 , Vb_2 , Vb_3 и т. д. (рис. 20, в). Наиболее характерным из них является наименьшее по величине заложение Vb_2 , так как скат по нему имеет наибольшую крутизну, что следует из формулы $\operatorname{tg} v = h/l$. Действительно, при постоянном h значение $\operatorname{tg} v$ приобретает максимальное значение при минимальной величине заложения $l = Vb_2$. Направление наименьшего заложения принято называть линией крутизны.

5. *Построение профиля по данному направлению.* При геологических 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 в вертикальной плоскости. 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 особенности рельефа.

Пусть требуется построить профиль по линии АВ (рис. 21, а). Для этого на миллиметровой бумаге строят сетку профиля (названия граф указаны на рис. 21, б). В графу «План местности» переносят при помощи измерителя ситуацию с карты в границах прямоугольника (см. рис. 21, а), построенного на карте. Определяют высоты точек пересечения направления АВ с го-

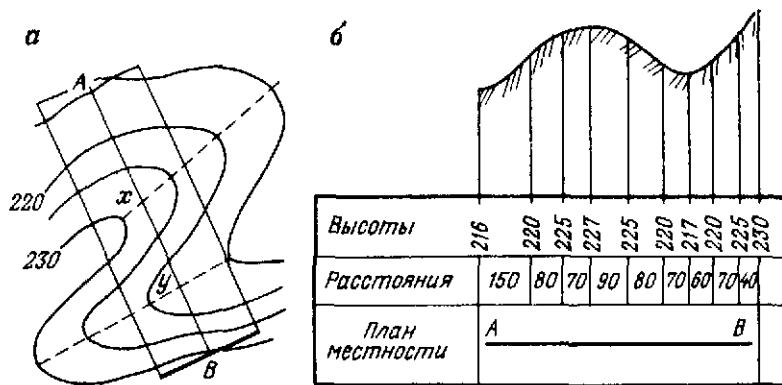


Рис. 21. План местности (а) и построение профиля по направлению АВ (б)

ризонताлями, вычисляют также высоты начала, конца профиля и точек его перегиба А, В, х, у, 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, восстановленных из ранее намеченных точек. Соединив концы перпендикуляров, получают линию профиля местности. Чтобы не иметь длинных перпендикуляров, для верхней линии сетки выбирают условную высоту.

6. **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.

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.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется масштабом?
- 2 Что представляют собой линейный и поперечный масштабы?
- 3 Определите цену наименьшего деления нормального поперечного масштаба, если его основание 2 см, а численный масштаб равен 1 : 2000.
- 4 Что понимают под топографическим планом?
- 5 Что понимают под картой?
- 6 Что называется профилем местности?
- 7 Напишите номенклатуру любого листа карты масштаба 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000.
- 8 С какой точностью измеряют длины линий на плане масштаба 1 : 1000? 1 : 500?

9. Что представляет собой координатная сетка топографической карты?
10. Что представляет собой зарамочное оформление?
11. Как выполняют ориентирование карты на местности?
12. Как определить на карте место стояния наблюдателя?
13. Что называется поправкой наблюдения (ПН)?
14. Что называется ситуацией?
15. Что называется масштабными условными знаками?
16. Что называется линейными условными знаками?
17. Что называется рельефом местности?
18. Назовите основные формы рельефа.
19. Что называется горизонталью?
20. Что называется высотой сечения?
21. Что называется заложением?
22. Что называется уклоном линии?
23. Что понимают под графком заложений?
24. Как определить отметку точки на топографической карте (плане)?

Глава 5.

ЭЛЕМЕНТЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

§ 22. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При выполнении геодезических работ производят 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.

Определения величин 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 определений может служить вычисление гипотенузы прямоугольного треугольника по измеренным катетам.

Если измерение некоторой величины производится в однородной среде одним наблюдателем, одним и тем же прибором, 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.

§ 23 ПОНЯТИЯ О ПОГРЕШНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений всегда содержат некоторую погрешность.

Под погрешностью δ результата измерений l понимают разность

$$\delta = l - X,$$

где X — точное значение измеренной величины.

Измерения, проводимые определенным прибором, по всей видимости, не могут быть произведены с меньшей погрешностью, чем погрешность, 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 измерения (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 слу-

чайные 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.

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 выше, чем в первом.

§ 24. СВОЙСТВА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Случайные погрешности обладают четырьмя 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:

$$\delta_1 = l_1 - X; \quad \delta_2 = l_2 - X; \quad \dots; \quad \delta_n = l_n - X. \quad (6)$$

Согласно третьему свойству,

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

или в другой записи

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [\delta]/n = 0, \quad (7)$$

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

§ 25. 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 (6). Сложив правые и левые части, получим

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

т. е.

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

Разделив на n , запишем

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

Учитывая свойство (7), будем иметь

$$X = \frac{[l]}{n}, \quad (8)$$

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

§ 26. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ОДНОГО ИЗМЕРЕНИЯ. ПРЕДЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

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, 1, 0, 4, 3, 2, 3; второй ряд отклонений: 0, 1, 7, 2, 1, 8, 0, 3, 1. Средняя арифметическая 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 квадратный из суммы квадратов погрешностей, разделенной на количество измерений. Например, средние квадратические погрешности m для тех же рядов измерений будут

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

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

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:

$$m = \sqrt{[\delta\delta]/n}, \quad (9)$$

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

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

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

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, маловероятно. 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. $\Delta_{доп} = 2m$.

§ 27. 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

$$x = l^I + l^{II}. \quad (10)$$

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

$$X = L^I + L^{II},$$

Предположим, что величина L^I была измерена несколько раз и в результате представлена рядом значений $l_1^I, l_2^I, \dots, l_n^I$. Аналогично для величины L^{II} получен ряд $l_1^{II}, l_2^{II}, \dots, l_n^{II}$. На основании (10) имеем

$$x_1 = l_1^I + l_1^{II}; \quad x_2 = l_2^I + l_2^{II}; \quad \dots; \quad x_n = l_n^I + l_n^{II}. \quad (11)$$

Если ввести отклонения частных значений x_i, l_i от истинных значений X, L , то вместо (11) будем иметь

$$\Delta_1 = \delta_1^I + \delta_1^{II}; \quad \Delta_2 = \delta_2^I + \delta_2^{II}; \quad \dots; \quad \Delta_n = \delta_n^I + \delta_n^{II}.$$

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

$$[\Delta\Delta] = [\delta^I\delta^I] + [\delta^{II}\delta^{II}] + 2[\delta^I\delta^{II}],$$

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

$$[\Delta\Delta] = [\delta^I\delta^I] + [\delta^{II}\delta^{II}],$$

или средние значения

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

где обозначим

$$\frac{[\Delta\Delta]}{n} = m_x^2; \quad \frac{[\delta^I\delta^I]}{n} = m_{I1}^2; \quad \frac{[\delta^{II}\delta^{II}]}{n} = m_{II1}^2,$$

откуда

$$m_x^2 = m_{I1}^2 + m_{II1}^2. \quad (12)$$

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:

$$\Delta_1 = \delta_1^I - \delta_1^{II}; \quad \Delta_2 = \delta_2^I - \delta_2^{II}; \quad \dots; \quad \Delta_n = \delta_n^I - \delta_n^{II},$$

откуда можно написать

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

где $[\delta^I\delta^{II}]$ стремится к нулю. Следовательно, квадрат средней квадратической погрешности разности двух независимых измерений определяется по формуле (12).

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

$$x = al,$$

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

$$X = aL. \quad (13)$$

Пусть при измерении получен ряд измерений $l_1, l_2, \dots, l_n$. Используя эти величины, напомним по формуле (13): $x_1 = al_1; x_2 = al_2; \dots; x_n = al_n$. Если $X - x = \Delta$ и $L - l = \delta$, то $\Delta_1 = a\delta_1; \Delta_2 = a\delta_2; \dots; \Delta_n = a\delta_n$, 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,

$$m_x = am_l. \quad (14)$$

Средняя квадратическая погрешность функции непосредственно измеренных величин. Пусть дана функция

$$x = f(l_1, l_2, \dots, l_n), \quad (15)$$

где $l_1, l_2, \dots, l_n$ — непосредственно измеренные величины, имеющие соответственно истинные погрешности $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$. Если

истинную погрешность обозначить через Δx , то можно написать следующее равенство:

$$x + \Delta x = f(l_1 + \delta_1, l_2 + \delta_2, \dots, l_n + \delta_n). \quad (16)$$

Погрешности — малые величины по сравнению с измеряемыми, поэтому функцию (16) запишем в следующем виде:

$$x + \Delta x = f(l_1, l_2, \dots, l_n) + \frac{\partial f}{\partial l_1} \delta_1 + \frac{\partial f}{\partial l_2} \delta_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial l_n} \delta_n, \quad (17)$$

представляющем основную часть ряда Тейлора.

Вычитая из (17) равенство (15), получим

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{\partial f}{\partial l_1} \delta_1 + \frac{\partial f}{\partial l_2} \delta_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial l_n} \delta_n = \\ &= k_1 \delta_1 + k_2 \delta_2 + \dots + k_n \delta_n, \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \frac{[\Delta x \Delta x]}{n} &= k_1^2 \frac{[\delta_1 \delta_1]}{n} + k_2^2 \frac{[\delta_2 \delta_2]}{n} + \dots + k_n^2 \frac{[\delta_n \delta_n]}{n} + \\ &+ \frac{2k_1 [\delta_1 (k_2 \delta_2 + k_3 \delta_3 + \dots + k_n \delta_n)]}{n} + \dots + 2k_{n-1} \frac{[\delta_{n-1} (k_n \delta_n)]}{n}. \end{aligned} \quad (18)$$

Учитывая, что удвоенные произведения в (18) при большом числе n стремятся к нулю, напишем

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

откуда

$$m_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial l_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_2}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial l_n}\right)^2 m_n^2}. \quad (19)$$

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.

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

$$x = l_1 + l_2 + \dots + l_n, \quad (20)$$

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

Используем формулу (19), для чего найдем частные производные функции (20):

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

Таким образом,

$$m_x^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2. \quad (21)$$

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 (19), 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

$$m_x^2 = v^2 m_u^2 + u^2 m_v^2. \quad (22)$$

§28. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ АРИФМЕТИЧЕСКОЙ СЕРЕДИНЫ

Пусть имеем среднее арифметическое результатов измерений

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

т. е.

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

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

Так как

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

по формуле (19) получим

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

откуда

$$M = m/\sqrt{n}. \quad (23)$$

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

§ 29. 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 , напишем:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= l_1 - X; \quad \delta_2 = l_2 - X; \quad \dots; \quad \delta_n = l_n - X, \\ v_1 &= l_1 - x; \quad v_2 = l_2 - x; \quad \dots, \quad v_n = l_n - x. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \delta_1 - v_1 &= x - X = \Delta; \quad \delta_2 - v_2 = x - X = \Delta; \quad \dots; \quad \delta_n - \\ - v_n &= x - X = \Delta, \end{aligned}$$

откуда

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

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

$$\frac{[\delta\delta]}{n} = \frac{[vv]}{n} + \Delta^2. \quad (24)$$

Принимая во внимание, что $m = \sqrt{[\delta\delta]/n}$, а $M = m/\sqrt{n} = \Delta$, перепишем (24) в виде

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

откуда

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

т. е.

$$m = \sqrt{[vv]/(n-1)}, \quad (25)$$

где m — средняя квадратическая погрешность отдельного измерения.

Формула средней квадратической погрешности арифметической середины, получаемая на основе (23) и (25):

$$M = \sqrt{[vv]/n(n-1)}. \quad (26)$$

§ 30. 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.

$$p = C/m^2, \quad (27)$$

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

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

$$l_1, \text{ с весом } p_1 = \frac{C}{m_1^2};$$

$$l_2, \quad \text{»} \quad p_2 = \frac{C}{m_2^2};$$

.

$$l_n, \quad \text{»} \quad p_n = \frac{C}{m_n^2}.$$

Общая арифметическая середина в таком случае определяется по формуле

$$L_p = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[lp]}{[p]} \quad (28)$$

с весом $[p] = p_1 + p_2 + \dots + p_n$.

Выражение (28) называют *весовым средним значением* или *общей арифметической серединой*.

Обозначим через μ среднюю квадратическую погрешность измерения, вес которого равен единице. Согласно (27) можно написать $p = C/\mu^2 = 1$, откуда

$$\mu = \sqrt{C}$$

или

$$\mu^2 = C.$$

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

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{p}}, \quad (29)$$

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:

$$M_0 = \mu/\sqrt{[p]}. \quad (30)$$

§ 31 ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Важной частью геодезических работ являются вычисления, во-первых, потому что на их основе производится анализ всей графики и необходимых оценок для решения инженерных задач, во-вторых, вычисления занимают большой удельный вес во всем комплексе рассматриваемых работ. Для проведения вычислительных работ должен быть установлен порядок математических действий, а также выбрана оптимальная вычислительная техника. В настоящее время для вычислений геодезистами применяется широкий набор современных электронных вычислительных машин, начиная от мощных быстродействующих ЭВМ серии ЕС и кончая настольными микрокалькуляторами. Среди последних перспективными являются также настольные программируемые микрокалькуляторы БЗ-34, МК-56, МК-54 и др.

По-прежнему находят применение при вычислениях вычислительные линейки, математические таблицы, номограммы.

При геодезических вычислениях приходится иметь дело с так называемыми приближенными числами. Приближенные числа появляются в результате ошибок измерений; из-за неточности формул, методов и моделей; из-за ошибок округлений и т. п. Существуют правила вычислений с приближенными числами, которые позволяют облегчить вычисления и применить наиболее подходящие средства вычислений.

При проведении вычислений необходимо руководствоваться следующими правилами:

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

точность результата определяется его погрешностью;

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

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

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

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

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

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

при извлечении квадратного или кубического корня из

приближенного числа количество значащих цифр в результате должно соответствовать количеству цифр подкоренного выражения. При возведении числа в степень в полученном результате оставляют столько значащих цифр, сколько их в возводимом в степень числе;

при вычислении среднего какой-либо величины, отдельные значения которой близки, необходимо записать общую часть значения, для остатков вычислить поправки,

для каждого вычисления следует предварительно составить формуляр

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

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

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

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, $17,2575 \approx 17,258$.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется измерением?
2. Что такое прямые и косвенные измерения?
- 3 Что такое равноточные измерения?
- 4 Что такое погрешность измерения?
- 5 Что такое грубые, систематические и случайные погрешности измерений?
- 6 Что понимают под абсолютной и относительной погрешностью?
- 7 Что такое средняя квадратическая погрешность?

- 8 Назовите основные свойства квадратической погрешности
- 9 Вспомните формулу средней квадратической погрешности одного измерения, функции измеренных величин, арифметической середины
- 10 Что понимают под предельной погрешностью?
- 11 Что такое неравноточные измерения?
- 12 Что такое вес измерения?

Глава 6

ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

§ 32. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЪЕМКАХ

Под съемкой понимают совокупность измерений, выполняемых на местности с целью создания карты или плана. Различают горизонтальную (контурную), вертикальную и топографическую съемки. При горизонтальной съемке получают план, на котором изображены лишь предметы и контуры местности, без изображения рельефа. При вертикальной съемке определяют высоты точек местности, которые используются для построения рельефа. Сочетание горизонтальной и вертикальной съемок составляют топографическую съемку, в результате которой изображаются рельеф и местные предметы.

Съемка выполняется с точек, расположенных определенным образом на местности и положение которых заранее известно.

Применяют различные виды съемок.

Теодолитная съемка, в результате которой получают контурный или ситуационный план. При теодолитной съемке измеряют горизонтальные углы и углы наклона и расстояния.

Нивелирование или вертикальная съемка выполняется для получения высот точек. Различают тригонометрическое, геометрическое, барометрическое, гидростатическое и механическое нивелирование.

Тахеометрическая съемка, в результате которой получают изображение рельефа и контуров предметов.

Мензульная съемка, при выполнении которой топографический план (карта) строят непосредственно на местности. В этом заключается преимущество этой съемки, так как имеется возможность уже в процессе съемки сравнивать полученное изображение на плане (карте) с оригиналом.

Фототеодолитная съемка выполняется фототеодолитом, который представляет из себя сочетание теодолита и специальной фотокамеры. Съемка при помощи фототеодолита ведется с двух точек, являющихся концами базиса. Получаемая для одного и того же участка местности пара снимков является основой для построения топографического плана.

Аэрофотосъемка является наиболее распространенным способом съемки, выполняется она путем фотографирования мест-

ности при помощи специального аэрофотоаппарата (АФА), устанавливаемого на самолете. Аэрофотосъемка увязывается с наземными геодезическими работами, при помощи которых осуществляется привязка аэроснимков в плане и по высоте.

Различают контурную, комбинированную и стереоскопическую аэрофотосъемку. При контурной получают на плане контуры местности. При комбинированной контурный план получают в результате аэросъемки, а рельеф—наземной съемкой. Стереоскопическая аэрофотосъемка позволяет получать в камеральных условиях топографический план по результатам обработки на специальных приборах.

Глазомерная съемка относится к упрощенным видам съемок и выполняется в поле при помощи визирной линейки и компаса.

Съемочные работы сопровождаются появлением погрешностей, которые накапливаются по мере удаления съемки от начальных (опорных) точек. При этом возможна такая ситуация, когда вероятно появление погрешностей, недопустимо искажающих изображаемую на карте местность. 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. Такие точки называются опорными и в своей совокупности образуют геодезическую опорную сеть. Приведенный 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.

Таким образом, организация геодезических работ требует соблюдения двух принципов:

- развитие работ должно идти от общего к частному;
- работы должны вестись с контролем предыдущих действий.

§ 33. ОПОРНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

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

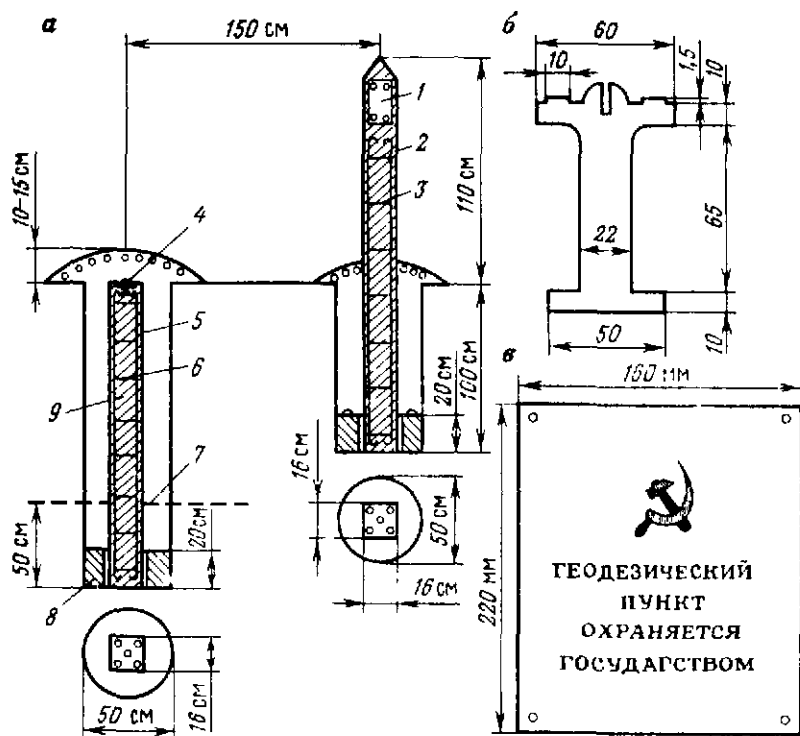


Рис. 22. Центр геодезического пункта (а), чугунная марка (б) и охранная плита (в):

1 — опознавательный знак; 2, 3, 5, 6 — арматура; 4 — чугунная марка; 7 — граница промерзания; 8 — якорь; 9 — пилон

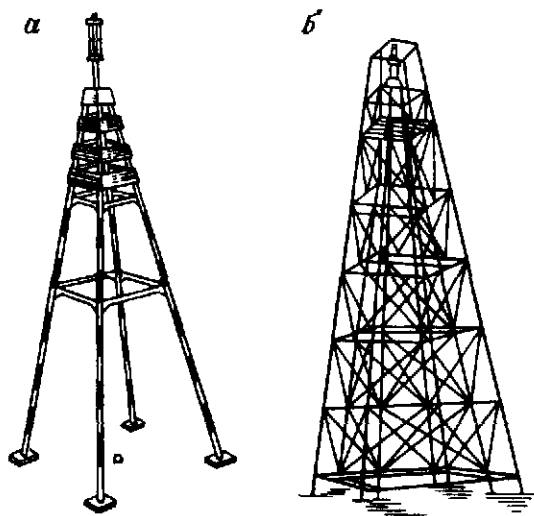


Рис. 23. Пирамида (а), сигнал (б)

действующим инструкциям, геодезические сети СССР 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 высоких 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 астрономическими и геодезическими 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 геодезических систем.

Для установления взаимной видимости между геодезическими опорными пунктами их обозначают знаками, а для сохранения пунктов от их разрушения и изменения положения в пространстве пункты закрепляются центрами. На рис. 22, а показан центр, устанавливаемый в районах неглубокого (до 1,5 м) промерзания грунта. Он состоит из железобетонных пилона и якоря. В верхней части пилона укреплен чугунная марка (рис. 22, а, поз. 4 и рис. 22, б). На расстоянии около 1,5 м от центра устанавливается опознавательный знак в виде железобетонного столба с укрепленной на нем охранной плитой (рис. 22, а, поз. 1, и рис. 22, в).

Знаки, в зависимости от видимости между пунктами, могут быть в виде сигналов, пирамид или вех. На рис. 23, а показана пирамида, в верхней части которой прикреплен визирный цилиндр, ось которого проходит вертикально через центр знака. При отсутствии видимости с земли сооружаются сигналы (рис. 23, б), у которых для наблюдений делаются инструментальные столики. Если высота столика не более 12 м, то сигнал называется простым. Сигналы, имеющие внутреннюю пирамиду высотой более 12 м, считаются сложными.

§ 34 ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Опорные геодезические сети, развиваемые на территории всего государства в общей системе координат, называются государственными или основными опорными геодезическими сетями. Методами создания плановых государственных геодезических сетей являются триангуляция, трилатерация и полигонометрия 1, 2, 3 и 4 классов, высотных сетей — нивелирные сети I, II, III и IV классов.

Густота пунктов государственной геодезической сети установлена в следующих размерах. для съемки в масштабе 1 : 25 000 и

1:10 000 — 1 пункт на 50—60 км²; для съемок в масштабе 1:5000 — 1 пункт на 20—30 км²; для съемок в масштабе 1:2000 и крупнее — 1 пункт на 5—15 км².

При создании государственной опорной плановой сети основным является метод триангуляции, использующий сеть треугольников, расположенных в определенном порядке. В треугольниках измеряются все углы, благодаря чему имеется надежный контроль полевых угловых измерений. Для определения линейных размеров сторон треугольников измеряется одна из сторон сети треугольника. Длины остальных сторон вычисляются.

Метод триангуляции позволяет определить плановые координаты вершин треугольников, составляющих ряды триангуляции. Триангуляционные ряды состоят из треугольников со сторонами 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, лежащая в пересечении нескольких звеньев, является общей, называется выходной стороной. В связи с тем, что на местности практически невозможно измерить с высокой точностью линию длиной до 25 км, измеряется не выходная сторона, а поперечная к ней линия длиной около 6 км, называемая базисом триангуляции. Выходная и базисная стороны образуют базисную сеть, построенную в виде ромба, в котором непосредственно измеряется короткая диагональ и все углы при вершинах. Измеренная длина базисной стороны и углы базисной сети позволяют вычислить длину выходной стороны.

Внутри полигона звеньев триангуляции 1 класса территория заполняется сплошной сетью треугольников триангуляции 2 класса, длина сторон которых 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, определяют из астрономических наблюдений. Дальнейшее сгущение плановой геодезической опорной сети осуществляют триангуляцией 3 и 4 классов.

В табл. 6 приведена характеристика триангуляции 1, 2, 3, 4 классов.

В труднодоступных районах страны и на сильно застроенных территориях государственная геодезическая сеть создается в виде полигонометрических ходов, представляющих собой сомкнутые или разомкнутые многоугольники. Полевые работы заключаются в измерении углов в точках 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. 7.

Таблица 6

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 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 исходную, вычисляют длины других сторон и координаты пунктов трилатерации.

В государственной высотной сети главной основой, на базе которой устанавливается единая система высот для всей территории страны, является нивелирная сеть I и II классов. Нивелирные сети III и IV классов обеспечивают топографические съемки и решение различных задач, возникающих при геодезическом и маркшейдерском обслуживании объектов граждан-

Таблица 7

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

Таблица 8

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

ского и промышленного строительства. В табл. 8 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.

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 приборами. 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. Главная цель нивелирования II класса заключается в создании точной основы, являющейся базой для развития нивелирования III и IV классов. Периметры полигонов при проложении нивелирных сетей II класса не должны превышать 600 км. При проложении нивелирных ходов III класса длины ходов между пунктами нивелирования старших классов не должны превышать 150—200 км.

Высотные отметки пунктов триангуляции и полигонометрии I, 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 нивелирования 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 одной стенной марки.

§ 35. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ И СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

Геодезические сети сгущения развиваются на основе пунктов государственной геодезической сети и служат для проведения съемки земной поверхности в масштабе от 1:5000 до 1:500, а также выполнения различных маркшейдерских работ.

Плановые сети сгущения выполняются в виде триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов. Триангуляция создается в виде сплошных сетей, цепочек треугольников и засечек. 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. Полигонометрия может создаваться в виде одиночных ходов или системы ходов с узловыми точками, являющимися пунктами государственных геодезических опорных сетей и пунктами триангуляционной сети 1 разряда.

Съемочные сети строятся на основе пунктов геодезической опорной сети. В случаях, если площади участков не превышают 20 км² для съемок в масштабе 1:5000 и 10 км² — в масштабе 1:2000, они строятся на основе только пунктов съемочной сети.

Плановые съемочные сети выполняют продолжением теодолитных, тахеометрических, мензульных ходов, или в виде триангуляции. 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, как правило, не должны быть меньше 30° , длина сторон должна быть больше 150 м.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что понимают под съемкой?
- 2 Какие виды съемок Вы знаете?
- 3 Что представляет собой государственная геодезическая сеть?
- 4 Что представляет собой триангуляция?
- 5 Что представляет собой трилатерация?
- 6 Что представляет собой полигонометрия?
- 7 Что представляет собой государственная высотная сеть?
- 8 Что представляют собой сети сгущения?
- 9 Каково назначение съемочных сетей?

Глава 7

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ

§ 36. ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ.

СХЕМА УСТРОЙСТВА УГЛОМЕРНЫХ ПРИБОРОВ

Геодезические измерения подразделяются на угловые и линейные. При проведении угломерных измерений определяют горизонтальные углы и углы наклона.

В основу приборов для измерения углов положены следующие соображения. Пусть требуется измерить горизонтальную проекцию угла ABC (рис. 24), стороны AB и BC не являются горизонтальными. Проведем через стороны 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 и P_2 , пересекающихся по отвесной линии, можно взять одну плоскость, вращающуюся вокруг оси VV (отвесная линия). Представим себе, что эта плоскость проходит через сторону AB . Одновременно она оставляет след, который можно выразить в градусной мере, на горизонтальном круге Q' . Если эта вертикальная плоскость

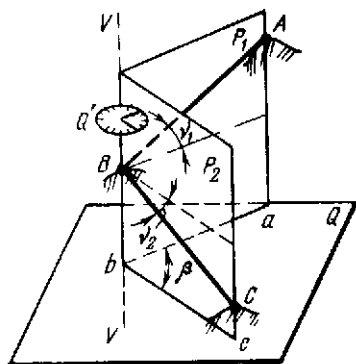


Рис. 24 Схема, объясняющая измерение горизонтальных и вертикальных углов

пройдет также через сторону угла BC , то будет получен второй отсчет по градусной шкале круга Q' . По разности полученных отсчетов можно определить значение измеряемого горизонтального угла β .

Для измерения углов наклона v_2 и v_1 сторон BC и BA по аналогии можно использовать имеющий градусные деления вертикально расположенный круг, центр которого совпадает с вершиной угла ABC .

Приведенные на рис. 24 геометрические построения положены в основу конструкции прибора для измерения углов, называемого теодолитом. Таким образом, 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 горизонтального круга в горизонтальное положение (операция горизонтирования) и вертикальный угломерный круг для измерения углов наклона.

Принципиальная схема теодолита показана на рис. 25, где 4 — угломерный горизонтальный круг (лимб), в полую ось которого размещается ось алидады 8. Ось горизонтального круга крепится к подставке 6 теодолита, причем у некоторых теодолитов ось закрепляется неподвижно, у некоторых может свободно вращаться. Такие теодолиты называются повторительными. Вращающаяся верхняя часть теодолита 3 одновременно является подставкой для горизонтальной оси вращения HH зрительной трубы 10. Горизонтальная ось зрительной трубы наглухо скреплена с вертикальным угломерным кругом 9, имеющим так же как и горизонтальный круг равномерную угловую шкалу (лимб). Так как угломерный круг наглухо скреплен со зрительной трубой, он вращается вместе с ней при изменении положения визирной оси в вертикальной плоскости.

Для отсчитывания по лимбу вертикальный круг теодолита снабжен отсчетным устройством и приспособлен для приведения отсчетного индекса 2, расположенного на алидаде 1 (рис. 26), в горизонтальное положение. Причем, применяются два конструктивных решения: отсчетный индекс 2 приводится в гори-

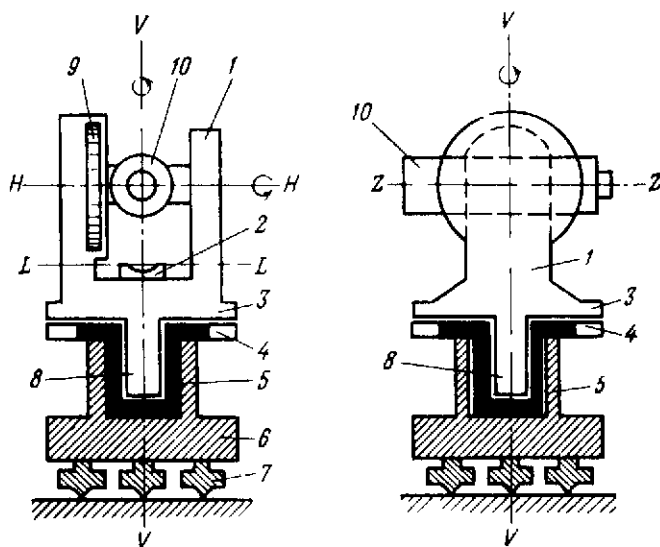


Рис 25. Теодолит (принципиальная схема):

ZZ — визирная ось, VV — ось вращения прибора, HH — горизонтальная ось прибора, LL — ось уровня, 1 — колонки (подставки) зрительной трубы 2 — уровень 3 — алидада горизонтального круга, 4 — угломерный горизонтальный круг (лимб), 5 — ось вращения горизонтального круга, 6 — подставка, 7 — подъемные винты, 8 — ось вращения алидады горизонтального круга, 9 — вертикальный угломерный круг 10 — зрительная труба

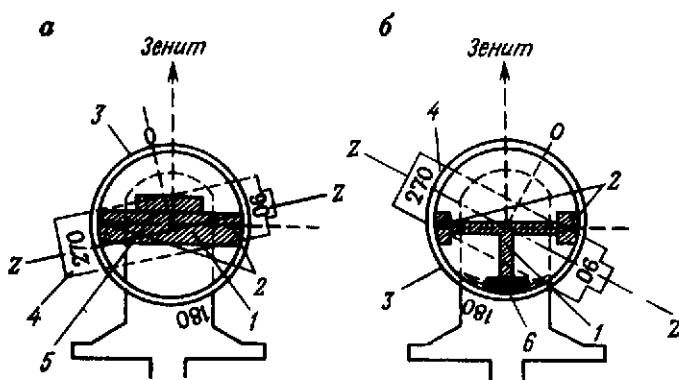


Рис 26 Схема вертикального круга теодолита:

ZZ — визирная ось, 1 — алидада вертикального круга, 2 — отсчетный индекс алидады, 3 — лимб вертикального круга, 4 — зрительная труба, 5 — уровень, 6 — маятник компенсатора

горизонтальное положение при помощи уровня 5 (рис. 26, а) или автоматически при помощи компенсатора (рис. 26, б) в данном случае маятникового типа 6.

Ось вращения теодолита VV (см. рис. 25) приводят в отвесное положение при помощи подъемных винтов 7 с использованием уровня 2, ось LL которого должна быть в горизонтальном положении, и который крепится или к алидаде горизонтального круга, или к колонке (подставке) зрительной трубы.

§ 37. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ТЕОДОЛИТОВ

Угломерный круг. Угломерный круг, являющийся основной частью теодолита, изготавливается в виде 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.

Градуировка лимбов у теодолитов, выпускаемых в нашей стране, производится в угловых градусах, возрастание надписей — по ходу часовой стрелки. Дуга шкалы 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.

Уровни. В геодезических приборах уровни (рис. 27, а) служат для установки всего прибора или отдельных его частей в определенное положение относительно горизонтальной плоскости. Применяются круглые (менее точные) и цилиндрические (более точные) уровни.

Уровень состоит из запаянной ампулы цилиндрической или круглой формы, наполненной термоустойчивой жидкостью (этиловый спирт, этиловый наркотный эфир и т. д.) таким образом, чтобы оставался пузырек, заполненный парами этой жидкости, называемый пузырьком уровня. Стеклянные ампулы помещаются в металлическую оп-

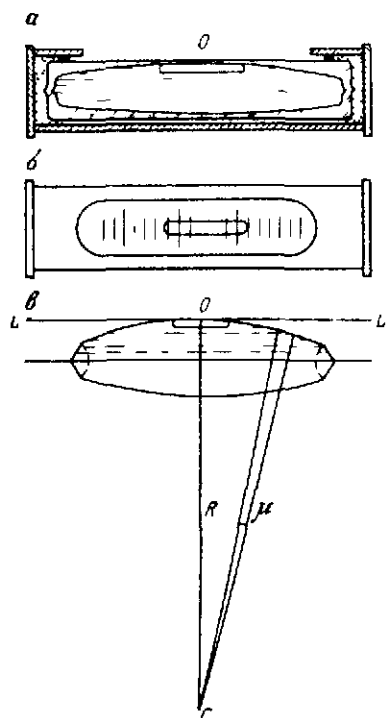


Рис. 27. Уровень цилиндрический

рапу, служащую для предохранения ампул от повреждений и для крепления уровня к прибору.

Верхняя часть внутренней поверхности ампулы круглого уровня имеет сферическую форму, у цилиндрических уровней — форму, получающуюся при вращении дуги окружности некоторого радиуса R (рис. 27, в).

На внешней стороне ампулы цилиндрических уровней наносят через 2 мм штрихи (шкалу). Середина шкалы носит название нуль-пункта (0).

Угол μ , на который необходимо наклонить ампулу так, чтобы пузырек переместился на одно деление шкалы, равное 2 мм (см. рис. 27, б, в), называется ценой деления уровня. Касательная, проведенная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте, называется осью уровня (прямая LL , см. рис. 27, в). Таким образом, если пузырек находится в нуль-пункте, то ось уровня занимает горизонтальное положение.

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, т. е. положением отсчетного индекса относительно ближайших штрихов отсчетной шкалы. Определение части интервала осуществляется при помощи отсчетных устройств. При этом надо иметь в виду, что отсчетный индекс занимает определенное положение по отношению к визирной линии прибора.

В настоящее время в геодезических приборах (в том числе и теодолитах) применяют визуальную, фотографическую или автоматическую систему отсчета. В отечественных теодолитах наибольшее распространение получила визуальная система, основанная на способности глаза определять совпадение штрихов одной шкалы со штрихами другой или симметричное расположение штрихов шкал, а также на способности оценивать доли промежутка между штрихами.

Визуальные отсчетные устройства теодолитов включают в себя приспособление для оценки положения отсчетного индекса на делениях лимба и приспособление для увеличения рассматриваемого соотношения, конструктивно оформленное в виде

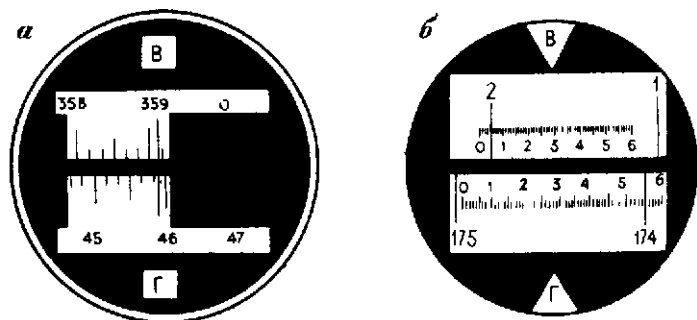


Рис 28 Поле зрения штрихового (а) и шкалового (б) микроскопов

штрихового или шкалового микроскопов и оптического микрометра. Наибольшее распространение получили штриховые и шкаловые микроскопы.

Штриховой микроскоп представляет собой отсчетное устройство, в поле зрения которого видны отсчетный штрих и деления шкал лимбов вертикального и горизонтального кругов (рис. 28, а). На рис. 28, а отсчет по вертикальному кругу $358^{\circ}48'$, по горизонтальному $70^{\circ}05'$.

Шкаловой микроскоп выполнен таким образом, чтобы при совмещенном изображении длина шкалы была равна величине изображения одного деления лимба. На рис. 28, б показано поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т5, 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 $174^{\circ}55,0'$.

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

В современных геодезических приборах применяются зрительные трубы с внутренней фокусировкой (рис. 29, а), имеющие сплошной объектив 1, перемещающаяся рассеивающая линза 2 которого обеспечивает получение резкого изображения предметов, находящихся на расстоянии визирования от 1,5 м до бесконечности. В переднем фокусе окуляра 5 располагается диафрагма 4, имеющая сетку нитей (рис. 29, б). Перемещение рассеивающей линзы осуществляется с помощью кремальеры 3.

Сетка нитей, применяющаяся для визирования, представляет собой тонкую плоскопараллельную пластинку, на которую нанесены тонкие штрихи.

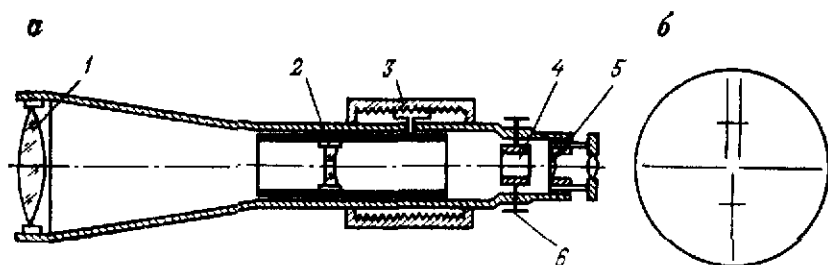


Рис 29 Зрительная труба

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

Для исправления положения сетки нитей в зрительной трубе пластина диафрагмы крепится в трубе при помощи двух пар юстировочных винтов 6, регулирующих положение пластинки по горизонтали и вертикали.

Под увеличением зрительной трубы понимают отношение угла, под которым виден предмет в зрительную трубу, к углу, под которым виден предмет невооруженным глазом. На практике увеличение зрительной трубы выражают отношением фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра $\Gamma = f_{об}/f_{ок}$.

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, характеризующаяся 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. У современных геодезических приборов угол ϵ является небольшой величиной и редко превышает $1-2^\circ$.

Под разрешающей способностью зрительной трубы понимают способность оптической системы изобразить раздельно две точки. Характеризуется разрешающая способность наименьшим углом τ , под которым две точки не слива-

ются в одну. Если разрешающая способность невооруженного глаза принять равной $1'$, то разрешающая способность зрительной трубы

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

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

Параллакс нитей. Под параллаксом нитей понимают несовпадение 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 зрительной трубы для наблюдения. 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 помещает 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 нитей, изображение наблюдаемого предмета.

Вертикальный круг. В теодолитах для измерения углов наклона — вертикальных углов между направлением визирной оси зрительной трубы и горизонтальной плоскостью — используется угломерный круг (см. рис. 26, поз. 3), жестко укрепленный на оси вращения зрительной трубы. На внешней части угломерного круга нанесены деления лимба, оцифровка которых отличается в различных конструкциях теодолитов, однако, ее положение относительно визирной оси зрительной трубы является неизменным при любых ее наклонах.

Зрительная труба пересворачивается через зенит. В связи с этим, вертикальный круг может оказаться справа от нее, это положение называется круг справа (КП), и слева — в этом случае положение называется круг слева (КЛ).

Роль горизонтальной плоскости в теодолитах выполняет алидада (см. рис. 26, поз. 1), осуществляющая фиксирование отсчетного (нулевого) горизонтального штриха (см. рис. 26, поз. 2). Приведение в горизонтальное положение отсчетных штрихов алидады осуществляется или с использованием цилиндрического уровня (см. рис. 26, а), или автоматически (см. рис. 26, б) при помощи так называемого компенсатора.

Главное условие, которое должно соблюдаться в вертикальном круге, заключается в том, чтобы при совмещении нуля верньера с нулем шкалы вертикального круга визирная ось зрительной трубы ZZ была параллельна оси цилиндрического

уровня *LL*. 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.

Для определения значения места нуля визируют зрительную трубу при КП и КЛ на одну и ту же точку, и берут отсчеты по вертикальному кругу при каждом наведении трубы. Перед отсчетами по лимбу пузырек уровня при алидаде вертикального круга приводится в нуль-пункт.

Общей формулой для вычисления места нуля является следующая

$$МО = (КП + КЛ)/2.$$

Для вычисления угла наклона могут быть использованы следующие формулы:

измерение при КП и КЛ

$$v = (КП - КЛ)/2;$$

измерение только при КП

$$v = КП - МО;$$

измерение только при КЛ

$$v = МО - КЛ.$$

При отсчитывании по вертикальному кругу при двух положениях КП и КЛ отсчеты бывают небольшие, в пределах 0—60°, называемые малым отсчетом, 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°. Например, отсчеты по вертикальному кругу при измерении угла наклона $КП = 1^{\circ}33'$, $КЛ = 358^{\circ}29'$.

Определение места нуля

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

или $МО = 0^{\circ}01'.$

Определим угол наклона по формулам:

$$\nu = \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2} = \frac{361^{\circ}33' - 358^{\circ}29'}{2} = +1^{\circ}32';$$

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

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

§ 38. ТЕОДОЛИТЫ

Основными приборами при производстве угломерных съемок являются теодолиты. Согласно ГОСТ 10529—86, теодолиты подразделяются по точности в соответствии со средней квадратической погрешностью измерения углов.

Шифр теодолита содержит букву Т и цифру, соответствующую погрешности измерения, например, Т30 — теодолит со средней квадратической погрешностью измерения угла 30". В СССР ГОСТом предусмотрено изготовление высокоточных теодолитов Т05, Т1, точных — Т2, Т5, технических — Т15, Т30.

У некоторых моделей теодолитов сообщается дополнительная информация, например, Т30М — теодолит маркшейдерский, Т30МЭ — теодолит маркшейдерский с эксцентренной трубой, 2Т30П — вторая модификация теодолита Т30, имеющего трубу прямого (П) изображения.

В маркшейдерской и геодезической практике широкое распространение получили следующие теодолиты отечественного производства

Теодолиты Т5, Т5К относятся к точным приборам. Горизонтальный круг скрепляется с алидадой или открепляется от нее с помощью защелки повторительного устройства. Повторительная система вертикальных осей позволяет измерять горизонтальные углы способом повторений или способом приемов. Теодолит предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в горных выработках при построении опорных сетей и на поверхности — в тригонометрических сетях и полигонометрии 1 и 2 разрядов.

Отличительной особенностью теодолита Т5К от Т5 является наличие в нем компенсатора, автоматически устраняющего погрешность измерения вертикальных углов, вызванную наклоном вертикальной оси прибора. Диапазон действия компенсатора $\pm 3'$. Устройство такого компенсатора позволяет также с достаточной точностью устанавливать визирную ось теодолита в горизонтальное положение и, следовательно, работать им как нивелиром.

В теодолитах Т5 и Т5К применена зрительная труба с увеличением 27 $\times$, пределы визирования от 2 м до бесконечности. Сверху и снизу трубы установлены оптические визиры для гру-

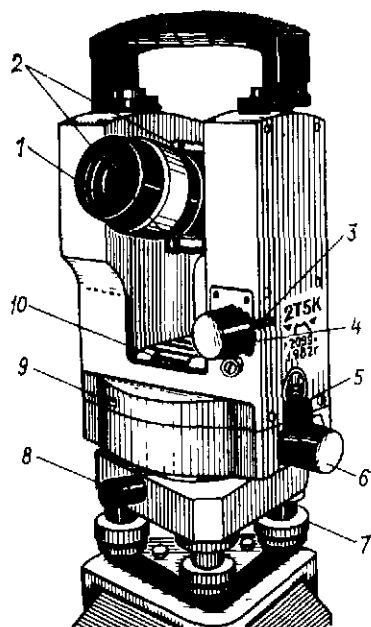


Рис 30. Теодолит 2Т5К

1 — объектив, 2 — оптический визир, 3 — зажимное устройство вертикального круга, 4 — наводящий винт вертикального круга, 5 — зажимное устройство горизонтального круга, 6 — наводящий винт горизонтального круга, 7 — подъемный винт трегера, 8 — зажимной винт трегера (подставки), 9 — окно искателя горизонтального круга, 10 — уровень

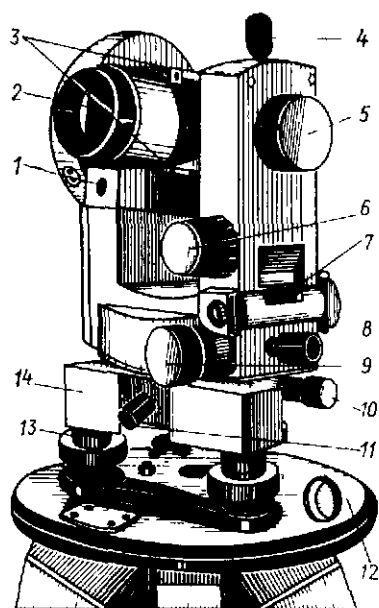


Рис 31. Теодолит 2Т30

1 — уровень накладной, 2 — объектив зрительной трубы, 3 — визиры, 4 — зажимной винт зрительной трубы, 5 — кремальера зрительной трубы, 6 — наводящий винт зрительной трубы, 7 — уровень, 8 — зажимной винт алидады горизонтального круга, 9 — наводящий винт алидады горизонтального круга, 10 — наводящий винт горизонтального круга, 11 — зажимной винт лимба горизонтального круга, 12 — основание прибора, 13 — подъемный винт подставки, 14 — подставка (трегер)

бой наводки Отсчет снимают с помощью шкалового микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Цена одного деления шкалы микроскопа $1'$. Точность отсчитывания равна 0,1 интервала шкалы микроскопа, т. е. $\pm 6''$ (см. рис. 28, б).

Теодолиты 2Т5, 2Т5К (2Т5КП) являются инструментами последующей модернизации теодолита Т5. Их особенностью является отсутствие повторительной системы.

В теодолите типа 2Т5К (рис. 30) роль уровня при алидаде вертикального круга выполняет оптический компенсатор с самоустанавливающимся индексом; показание с лимбов снимается по одной его стороне. Наводящие винты зрительной трубы и алидады горизонтального круга соосны с соответствующими закрепительными винтами.

При зрительной трубе имеются два коллиматорных визира для грубой наводки трубы на цель. Точное наведение на цель осуществляется наводящими микрометренными винтами 4, 6 при закрепленных винтах куркового типа 3, 5

Для контроля установки горизонтального круга при смене его участков между приемами используется искатель

Горизонтальный и вертикальный круги разделены и оцифрованы через 1° . Изображения штрихов и цифр проектируются на плоскость отсчетных шкал микроскопа. Изображение вертикального круга оттенено голубым фоном, горизонтального — желто-зеленым. Четкость изображения шкал регулируется вращением диоптрийного кольца окуляра микроскопа

Теодолиты ТЗ0, 2ТЗ0, 2ТЗ0П представляют собой класс угломерных приборов технической точности (средняя квадратическая погрешность измерения углов $\pm 30''$). Предназначены они для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при построении плановых и высотных съемочных сетей на земной поверхности и в подземных выработках, а также для измерения расстояний по нитяному дальномеру зрительной трубы.

Теодолиты имеют повторительные устройства, позволяющие выполнять измерения горизонтальных углов способом повторений.

Основные детали и узлы теодолитов защищены от попадания пыли, грязи, воды. Зрительная труба обоними концами переводится через зенит. На рис. 31 показан теодолит 2ТЗ0, его подставка 14 наглухо прикреплена к основанию 12, служащему одновременно дном футляра прибора. В отвесное положение ось вращения прибора приводится подъемными винтами подставки 13 с использованием цилиндрического уровня 7. Зрительная труба теодолита имеет закрепительный и наводящий винты. Для грубого визирования зрительная труба снабжена оптическим визиром 3. Кремальера 5 зрительной трубы, имеющей накладной уровень 1, расположена на ее подставке. Рядом с окуляром зрительной трубы расположен окуляр микроскопа отсчетной системы, поле зрения которого показано на рис. 28, а. Точность отсчитывания 1'.

Прибор снабжен зажимными винтами алидады 8 и лимба 11 и наводящими винтами алидады 9 и лимба 10 горизонтального круга.

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 становым винтом. Центрирование производится механическим отвесом или визированием вертикальной зрительной трубой через отверстие в вертикальной оси теодолита (оси алидады).

Теодолиты ТЗМ, 2ТЗМ, 2ТЗМЭ выпускаются в рудничном исполнении и предназначены для работы как в подземных условиях, так и на земной поверхности.

Конструкция вертикальной оси вращения прибора, наличие съемной подставки и реверсивного уровня обеспечивают работу теодолита как в нормальном, так и перевернутом положении, что имеет важное значение при съемках в подземных условиях. На зрительной трубе нанесен керн для центрирования теодолита по нитяному отвесу под точкой.

Для подсвечивания отсчетной системы в условиях подземных горных выработок предусмотрен осветитель, включение которого производится нажатием специальной кнопки, возможно постоянное освещение.

В микроскоп теодолита, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы, передаются одновременно изображения вертикального и горизонтального кругов.

Теодолит выпускается в варианте с эксцентренной трубой 2ТЗМЭ и предназначен также для производства маркшейдерских съемок в крутопадающих выработках. Теодолит (рис. 32) имеет центральную и эксцентренную зрительные трубы, снабженные визирами 5 для грубой наводки. Эксцентренная труба по оптическим параметрам соответствует центральной зрительной трубе. Для фокусирования трубы снабжены кремальерами 2. Зрительные трубы имеют зажимной 3 и наводящий винты.

Точное наведение теодолита на предмет в горизонтальной плоскости производится при зажатом зажимном винте 8 наводящим винтом 9.

Для фиксации оси прибора в подставке используется винт 7. При алидаде горизонтального круга имеется цилиндрический уровень.

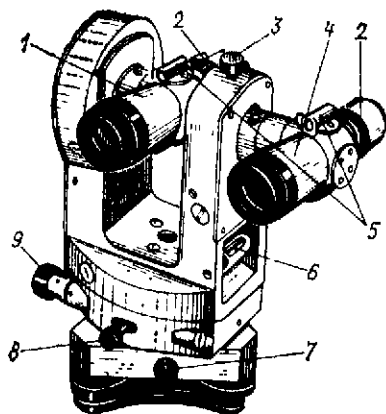


Рис. 32 Теодолит 2ТЗМЭ:

1 — центральная зрительная труба; 2 — кремальера, 3 — зажимной винт вертикального круга, 4 — эксцентренная зрительная труба, 5 — визир, 6 — уровень; 7 — зажимной винт подставки (трегера); 8 — зажимной винт горизонтального круга, 9 — наводящий винт горизонтального круга

§ 39. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКА ТЕОДОЛИТОВ

Перед проведением полевых работ необходимо выполнить проверки теодолитов, т. е. установить правильность соотношения ряда геометрических осей, а также других условий. В резуль-

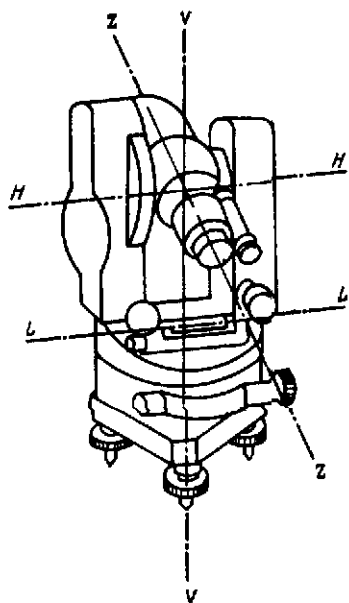


Рис 33 Оси теодолита

тате поверки, если это окажется необходимым, производится юстировка (наладка) прибора.

Основными осями теодолита считаются (рис. 33) ось вращения прибора VV , горизонтальная ось прибора HH (ось вращения трубы), визирная ось зрительной трубы ZZ и ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга LL .

Поверки и юстировка производятся в следующей последовательности.

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита (ось $LL \perp$ к оси VV , см. рис. 33). 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 контроля 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.

При поверке этого условия вращением алидады устанавливают цилиндрический уровень по направлению двух подъемных винтов и выводят пузырек на середину. Поворачивают алидаду на 180° и фиксируют величину дуги, на которую сместился пузырек уровня. Юстировочным винтом уровня смещают пузырек к середине на половину дуги отклонения, после чего ось уровня LL 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 середину, после чего вертикальная ось VV 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 отклонился от него не более чем на одно деление.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита (ось $ZZ \perp$ к оси HH , см. рис. 33). Если это условие не выполняется, то между направлениями визирной оси и перпендикуляром к горизонтальной оси теодолита образуется угол, называемый коллимационной погрешностью.

Для проверки приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение и визируют на удаленную цель, расположенную приблизительно на уровне высоты теодолита. Визируя на цель при положении круга право, получают отсчет $КП_1$. Правильный отсчет, лишенный коллимационной погрешности, будет

$$\alpha = КП_1 - c_1.$$

Аналогично визируя на ту же цель при положении круга лево, получают отсчет $КЛ_1$. Правильный отсчет равен

$$\alpha = КЛ_1 - 180^\circ + c_1.$$

Вычтя из первого равенства второе, получим

$$2c_1 = КП_1 - КЛ_1 + 180^\circ,$$

или коллимационная погрешность равна

$$c_1 = \frac{КП_1 - КЛ_1 \pm 180^\circ}{2}.$$

Современные оптические теодолиты имеют, главным образом, односторонние отсчетные приспособления, поэтому величина c_1 характеризует не только влияние коллимационной погрешности, 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 $КЛ_2$. При этом правильный отсчет соответственно будет

$$\alpha = КП_2 - 180^\circ - c_2,$$

$$\alpha = КЛ_2 + c_2,$$

откуда коллимационная погрешность

$$c_2 = \frac{КП_2 - КЛ_2 \pm 180^\circ}{2}.$$

Без влияния эксцентриситета величина коллимационной погрешности равна

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

Подставив значения c_1 и c_2 , получим

$$c = \frac{(KP_1 - KJ_1 \pm 180^\circ) + (KP_2 - KJ_2 \pm 180^\circ)}{2}.$$

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

а) вычисляют правильный отсчет

$$a = \frac{KJ_2 + KP_2 \pm 180^\circ}{2},$$

б) наводящим винтом алидады устанавливают правильный отсчет на лимбе горизонтального круга; при этом центр сетки сместится с наблюдаемой цели на величину, соответствующую коллимационной погрешности; боковыми юстировочными винтами сетки нитей совмещают ее центр с наблюдаемой целью.

3. Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси (ось $NN \perp$ оси VV , см. рис. 33). Установив теодолит недалеко от какого-либо высокого предмета (например, стены 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 проецируют 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 и расстояние Mm , вычисляют угловую погрешность невыполнения данного условия по формуле

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

где $\rho' = 3438'$. Предельная величина угла i не должна превышать 0,5. Если условие не выполняется, то юстировку производят в мастерской.

4. 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.

5. Перед началом измерений необходимо убедиться в том, что место нуля действительно близко к нулю. Для чего 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. Для этого возможны два способа.

А. Из наблюдений на удаленный предмет при КП и КЛ вычисляют 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 приводится в нуль-пункт. Для контроля повторно определяют значение МО.

Б. 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 ТЗ0 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 совпадет с изображением наблюдаемого предмета.

§ 40. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

При измерении горизонтальных углов применяются способы приемов, круговых приемов или повторений. Теодолит устанавливают в вершине угла и приводят его в рабочее положение. Направление сторон угла, если измерения выполняются на дневной поверхности, обозначается вехами, устанавливаемыми на соседних точках. В подземных условиях стороны обозначаются отвесами или специальными сигналами.

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 станкового винта, проектировалось на точку. 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 горизонтального круга по направлению двух подъемных винтов и, вращая их, выводят пузырек уровня на середину; открепив алидаду, устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и вращением последнего снова выводят пузырек на середину.

В способе приемов при измерении правых углов зрительную трубу при КП наводят на заднюю точку, по горизонтальному кругу берут отсчет, который записывают в журнал. Открепив алидаду, зрительную трубу наводят на переднюю точку. Полученный второй отсчет по лимбу горизонтального круга также записывают в журнал. Для вычисления угла из отсчета на заднюю точку вычитают отсчет на переднюю. Полученная разность является значением угла из первого полуприема.

После этого зрительную трубу переводят через зенит, лимб поворачивают на $2-3^{\circ}$ и при КЛ повторяют измерения аналогичные первому полуприему. Если расхождение между полуприемами не превышает $0,7'$ для теодолитов Т15 и $1,5'$ для теодолитов Т30, то за окончательное значение угла принимают среднее арифметическое.

Способ круговых приемов применяют при измерении углов между несколькими направлениями. При этом совмещают приблизительно нулевые штрихи лимба и алидады, закрепляют алидаду. При освобожденном лимбе зрительную трубу наводят на начальную точку, берут начальный отсчет a_1 .

Вращением алидады по часовой стрелке зрительную трубу визируют последовательно на вторую, третью и т. д. точки. При этом по лимбу берут отсчеты на каждое направление. Наблюдение в первом полуприеме заканчивают наведением зрительной трубы на начальную точку для того, чтобы убедиться, что лимб во время измерений был неподвижен. Второй полуприем выполняется при другом положении круга. Наблюдения ведутся в обратном направлении вращением алидады против ча-

совой стрелки. За окончательные значения берутся средние значения углов, измеренных в полуприемах.

В маркшейдерской практике широкое распространение получил способ повторений, выполняемый в следующей последовательности

Совмещают нулевой штрих алидады горизонтального круга с нулевым — лимба, после чего открепляют лимб, наводят зрительную трубу на задний сигнал, берут отсчет a_1 . Освобождают алидаду, вращением инструмента по ходу часовой стрелки наводят зрительную трубу на передний сигнал, берется контрольный отсчет a_2 . Переводят трубу через зенит, открепляют лимб и вращают его вместе с алидадой, зрительную трубу наводят на задний сигнал, отсчет не берется. Открепляют алидаду, вращают ее против хода часовой стрелки, зрительную трубу наводят на передний сигнал и берут отсчет a_3 .

Левый по ходу горизонтальный угол β и его контрольное значение β_k вычисляют по формулам:

$$\beta = (a_3 - a_1) \cdot 2;$$

$$\beta_k = a_2 - a_1.$$

Если расхождение между измеряемым углом и его контрольным значением будет больше полуторной точности прибора, измерение угла необходимо повторить

При прокладывании теодолитных ходов повышенной точности измерение горизонтальных углов производят более чем двумя повторениями. В этом случае при первом положении круга (например, КЛ) движением лимба n раз наводят трубу на задний сигнал и столько же раз движением алидады наводят зрительную трубу на передний сигнал. Отсчеты берут только при первом, втором и последнем наведениях и вычисляют контрольное значение угла по формуле $\beta_k = a_2 - a_1$. Суммарное значение угла, измеренного n раз, будет равно $a_3 - a_1$. После этого переводят трубу через зенит и при другом положении круга аналогичным образом визируют n раз на задний и передний сигналы. После последнего наведения на передний сигнал берут только один отсчет a_4 . При n полных повторениях получают

$$\beta = \frac{a_4 - a_1 + k180^\circ}{2n},$$

где k — число полных оборотов алидады вокруг лимба.

При измерении углов наклона кроме отсчетов по вертикальному кругу необходимо знать высоту прибора i и высоту визирования v . Высоту прибора i измеряют с помощью рулетки от верха торца точки теодолитного хода до горизонтальной оси прибора. Высоты всех на смежных точках — от верха торца точки

теодолитного хода до некоторой отметки на вехе. 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 совмещаю средний горизонтальный штрих сетки нитей с точкой, обозначенной как высота визирования. В теодолитах, имеющих уровень при алидаде вертикального круга, перед каждым отсчетом по лимбу вертикального круга уточняется положение пузырька уровня.

Контролем измерения углов наклона является постоянство значения места нуля при наблюдении с данной станции задней и передней точек. Допустимое расхождение двух значений МОН должно превышать $1,5'$ для теодолитов типа ТЗО.

Вопросы для самопроверки

- 1 В чем заключается сущность измерения углов?
- 2 Назовите основные оси теодолита
- 3 Какие отсчетные приспособления используются в современных теодолитах?
- 4 Назовите основные части зрительной трубы
- 5 Что такое параллакс нитей?
- 6 Что понимают под увеличением зрительной трубы?
- 7 Что такое поле зрения зрительной трубы?
- 8 Что понимают под разрешающей способностью зрительной трубы?
- 9 Что называется местом нуля (МОН)?
- 10 Какие Вы знаете формулы для вычисления МОН?
- 11 Что такое коллимационная погрешность?
- 12 Как привести ось теодолита в вертикальное положение?
- 13 Объясните порядок измерения горизонтальных углов способом приемов
- 14 Почему горизонтальные углы измеряют при КП и КЛ?

Глава 8

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

§ 41 ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ МЕРНЫМИ ЛЕНТАМИ И СТАЛЬНЫМИ РУЛЕТКАМИ

Измерения длин линий мерными лентами, стальными рулетками и некоторыми другими аналогичными приспособлениями являются непосредственными измерениями.

Наибольшее распространение получили мерные ленты (рис. 34, а, б), представляющие собой тонкую полосу из стали длиной обычно 20 м, шириной 10—15 мм и толщиной 0,4—

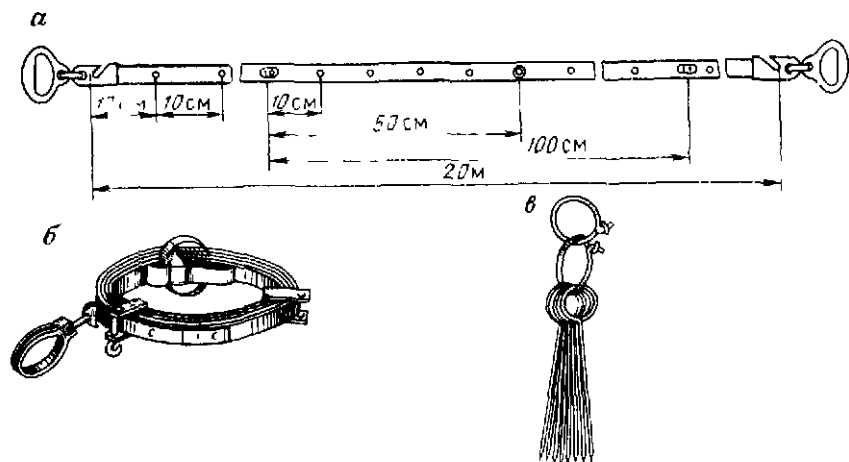


Рис 34 Лента мерная и шпильки

0,5 мм. За длину ленты принимается расстояние между штрихами, нанесенными на концевых пластинках у прорезей (см. рис. 34, а). Каждый метр с обеих сторон ленты обозначен приклепанными к ней плашками, оцифрованными с одной стороны метрами в прямом порядке — 1, 2, 3, ..., 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 линий вставляют шпильки (рис. 34, в). К ленте прилагается комплект из 5, 6, 10 или 11 шпилек. Шпильки изготовляют из проволоки диаметром 5 мм, длиной 30 см.

В маркшейдерско-геодезических измерениях используется несколько типов рулеток. Рулетки РВ-20, РВ-30 имеют соответственно длины 20 и 30 м, рулетки РК-50 — 50 м. Изготавливаются они из нержавеющей стали. Деления на рулетке сантиметровые или миллиметровые.

Для измерения небольших расстояний и при менее точных работах применяются тесьмяные рулетки РТ-10 длиной 10 м, изготавливаемые из ткани с вплетенными металлическими нитями.

Мерные ленты и рулетки перед измерениями должны быть прокомпарированы, т. е. необходимо провести сравнение их длины с нормальной мерой, принимаемой за эталон. Компарирование выполняют на компараторах, которые могут быть как полевыми, так и лабораторными.

Полевой компаратор представляет собой линию на ровной местности длиной около 100 или 200 м, закрепленную на концах металлическими штырями, на которые нанесены крестообразные насечки. Длину компаратора определяют при помощи нормальной (эталонной) ленты или рулетки.

Если длину компаратора обозначить через s , а через s' — расстояние между штрихами, измеряемое рабочей лентой, то поправка рабочей ленты за компарирование определится по формуле

$$\Delta s_k = (s' - s)/n,$$

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

$$\Delta s_k = s' - s,$$

где s' — длина компаратора, s — номинальная длина рабочей ленты ($s = 20$ м).

Результат измерения линии с поправкой за компарирование вычисляют по формуле

$$s = s_{\text{изм}} + n\Delta s_k,$$

где n — количество уложений ленты при измерении линии.

Обычно измеряемые линии значительно длиннее ленты рулетки. В этом случае мерный прибор должен быть уложен в створе линии, под которым понимают вертикальную плоскость, проходящую через закрепленные вехами концы линий. Для повышения точности измерения длинных линий в створе через 50—100 м устанавливаются дополнительные вехи. *Установка вех в створе линии называется вешением линии.* Для вешения линии наблюдатель встает перед вехой A (рис. 35) 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 метод менее точен. Более точное вешение выполняют при помощи теодолита.

Процесс измерения линий мерной лентой (рулеткой) заключается в последовательном укладывании ленты в створе линии.

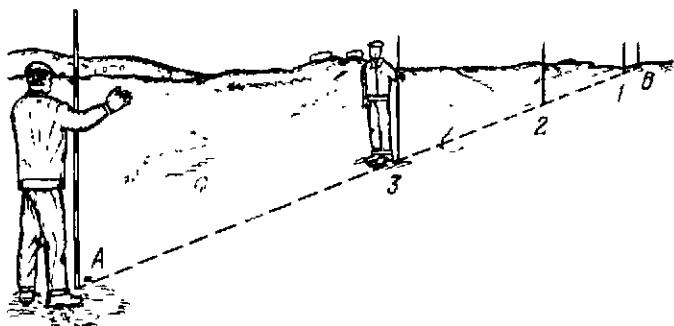


Рис. 35 Вешение линии

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 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 шпилек, 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. Измерения продолжают в таком же порядке. После того как у переднего рабочего не останется ни одной шпилек, он прижимает конец ленты к земле, задний рабочий передает все шпилек переднему и измерения продолжают в прежнем порядке. Когда передний рабочий подходит к концу линии и остается отрезок, не кратный 20 м, ленту протягивают за конец линии, и остаток линии отсчитывают по ленте с округлением до сантиметра.

Длина измеренной линии определяется по формуле

$$s = (km + n) 20 + q,$$

где k — число шпилек в комплекте; 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 шпилек и отсчет по ленте равен 1,08 м, то длина измеряемой линии $s = [10 \cdot 2 + 3] \cdot 20 + 1,08 = 461,08$ м. Во избежание грубых погрешностей при измерении линии следует при передаче шпилек и по окон-

чании измерения линии сверить число шпилек у обоих рабочих. При отсчитывании остатка линии надо проследить, какой стороной лежит лента (подписи метров должны возрастать по направлению измеряемой линии).

Для контроля и повышения точности каждую линию измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях. Точность измерения линий 20-метровой лентой оценивается относительной погрешностью, которая не должна превышать 1:2000 при благоприятной местности (болото, скошенный луг, невысокие посевы на пашне и т. п.), и 1:1000 при неблагоприятной местности (вспаханная, заболоченная с кустарником и т. п.). 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.

При измерении линий лентой углы наклона менее $1,5^\circ$ не принимаются во внимание и в результате измерения поправка не вводится, так как учет угла наклона в 1° ведет к относительной погрешности горизонтального проложения 1:7000, что значительно меньше допустимой погрешности измерения длин лентой. В табл. 9 показана допустимая погрешность измерения угла наклона линии, при которой относительная погрешность определения горизонтального проложения, обусловленная погрешностью определения угла наклона, не превышает 1/2000.

Данные табл. 9 показывают, что при линейных измерениях, выполняемых с относительной погрешностью 1:2000 и ниже, небольшие по значению углы наклона могут измеряться с небольшой точностью. Для измерения таких углов используется прибор невысокой точности, называемый эклиметром (рис. 36), у которого в круглом металлическом корпусе 1 на горизонтальной оси вращается металлический маятниковый диск 8, на ободке 7 нанесены градусные деления от 0 до $\pm 60^\circ$. Деления ниже нуля со знаком плюс, выше нуля — минус. К вращающемуся диску прикреплен грузик 9, под действием которого ну-

Таблица 9

Угол наклона α	Допустимая погрешность измерения угла	Угол наклона α	Допустимая погрешность измерения угла
$1^\circ 30'$	66'	7°	14'
2	49	8	12
3	33	10	10
4	25	12	8
5	20	15	7
6	16	20	5

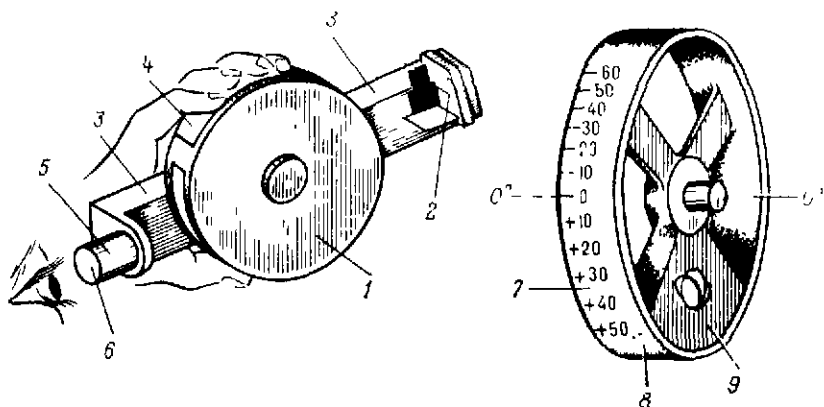


Рис 36 Эклиметр

левой диаметр диска всегда находится в горизонтальном положении. К корпусу прикреплена визирная трубка 3 с глазным диоптром 5 и предметным диоптром с горизонтальной нитью 2. В нерабочем состоянии маятниковый диск зажимается пружиной. Для приведения его в рабочее состояние следует нажать кнопку 4.

При измерении угла наклона наблюдатель становится в начальной точке, визирует трубкой эклиметра на метку на вехе, стоящей на следующей точке (высота метки должна быть равна высоте глаза наблюдателя), нажимает на кнопку 4 и через лупу 6 производит отсчет по маятниковому диску 8.

Погрешность измерения угла наклона эклиметром около $0,5^\circ$.

По измеренным длинам наклонных линий S и углам их наклона α вычисляют горизонтальные проложения s по формуле

$$s = S \cos \alpha.$$

В большинстве случаев измеряемая линия состоит из участков с различными углами наклона. В этом случае ее горизонтальное проложение равно сумме горизонтальных проложений участков.

§ 42. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ, НЕДОСТУПНЫХ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛЕНТОЙ

При измерениях на местности возникают случаи, когда длину линии непосредственно мерной лентой измерить невозможно, например, через реку.

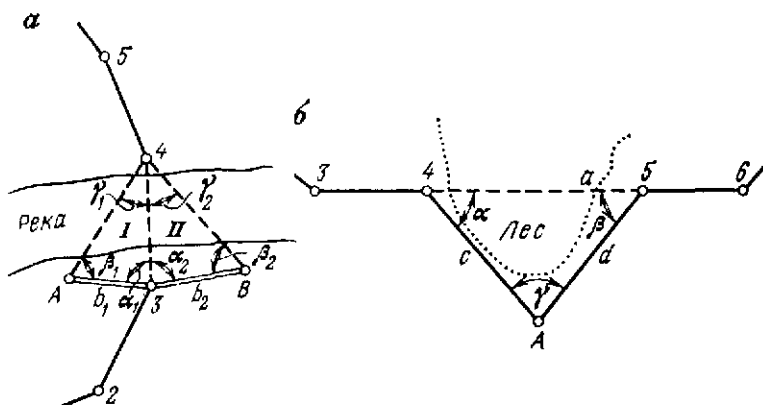


Рис 37. Схемы определения расстояний, недоступных для непосредственного измерения лентой

Допустим, что длину линии 3—4, обозначенную x , непосредственно измерить нельзя (рис. 37, а), поэтому определяют горизонтальное проложение линии 3—А, называемое базисом b_1 и углы α_1 , β_1 в треугольнике 3А4. Базис выбирают по возможности на ровной местности, удобной для измерения рулеткой или лентой, и с таким расчетом, чтобы углы γ_1 и β_1 , лежащие против базиса и определяемой линии, были не менее 30° и не более 150° .

Применяя теорему синусов, вычисляют длину линии 3—4 (горизонтальное проложение) по формуле

$$x' = \frac{\sin \beta_1 b_1}{\sin [180 - (\alpha_1 + \beta_1)]} = \frac{\sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} b_1.$$

Для контроля измерений и вычислений измеряют второй базис b_2 , углы α_2 , β_2 в треугольнике В34 и получают второе значение длины линии 3—4 по формуле

$$x'' = \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} b_2.$$

Относительное расхождение в длине линии 3—4, полученное из решения двух треугольников, не должно превышать 1 : 1500.

За окончательное берут среднее значение.

Возможны случаи, когда, например, между точками 4 и 5 (рис. 37, б) нет взаимной видимости. Для этого измеряют две линии (базисы) 4—А=с и А—5=д и угол между ними γ . Из треугольника А45 вычисляют длину линии 4—5=а по формуле

$$a^2 = c^2 + d^2 - 2cd \cos \gamma.$$

Затем при точках 4 и 5 вычисляют углы α и β по формулам

$$\sin \alpha = \frac{d}{a} \cdot \sin \gamma; \quad \sin \beta = \frac{c}{a} \sin \gamma$$

и по этим углам теодолитом задают направление линии 4—5.

§ 43. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ

В последние годы для измерения расстояний стали использоваться свето- и радиодальномеры, причем, наибольшее распространение получили светодальномеры. Физический принцип измерений расстояний при помощи светодальномеров основан на определении времени прохождения электромагнитными волнами измеряемого расстояния. Для определения расстояний между двумя точками в одной из них устанавливается приемопередаточное устройство, в другой — отражатель. Таким образом, электромагнитные волны, посланные передаточным устройством, отразившись от ретранслятора, возвращаются в начальную точку и поступают в приемное устройство дальномера. В общем виде формула для определения расстояний при помощи светодальномера записывается следующим образом

$$s = \frac{c}{2} \tau + k,$$

где c — скорость света в условиях измерений; τ — время прохождения световым сигналом двойного расстояния от начальной до конечной точки; k — постоянная светодальномера.

Время распространения волн τ может быть определено как прямым, так и косвенным методами. Непосредственное (прямое) определение промежутка времени τ осуществляется в дальномерах, получивших название импульсных. В них измерение времени производится по запаздыванию принимаемого после отражения светового 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.

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.

Светодальномеры в зависимости от назначения, дальности и точности разделяются на три группы:

светодальномеры, применяемые в государственной геодезической сети,

светодальномеры, применяемые в прикладной геодезии и маркшейдерии;

светодальномеры, применяемые в геодезических сетях сгущения и топографических съемках.

Маркшейдерский светодальномер МСД-1М является взрывобезопасным прибором и поэтому может применяться в подземных условиях в любых шахтах.

Пределы измерения от 1 до 400 м со средней квадратической погрешностью $(2 \pm 5 \cdot 10^{-6} s)$ мм, где s — измеряемое расстояние, мм. Светодальномер МСД-1М является прибором фазового типа с полупроводниковым источником излучения (светодиод).

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 приемного устройства поступает в фотоумножитель, куда од-

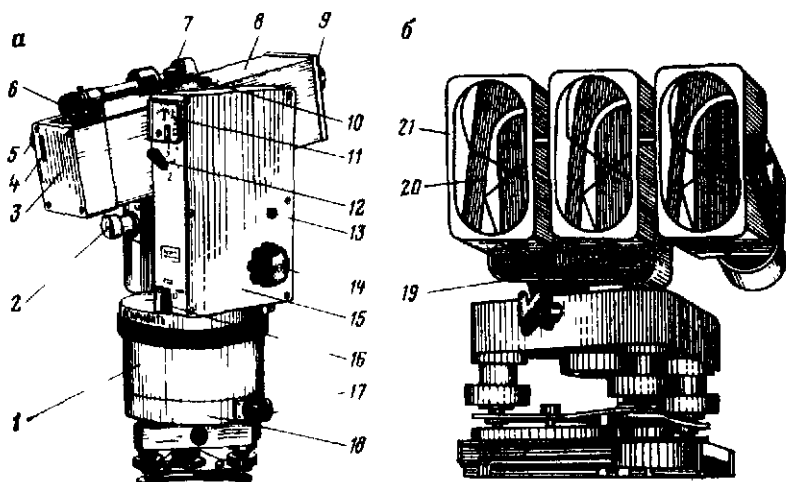


Рис. 38' Светодальномер маркшейдерский МСД-1М

1 — горизонтальный круг, 2 — ручка наводки в вертикальной плоскости, 3 — лицевая крышка электронно оптического блока, 4 — окно, 5 — ручка от оптической линии за держки, 6 — визирная трубка, 7 — ручка апертурной диафрагмы; 8 — блок электронно оптический, 9 — передняя крышка, 10 — ручка поворота зеркала, 11 — индикатор, 12 — ручка переключателя частот, 13 — ручка потенциометра фазовращателя «грубо», 14 — ручка потенциометра фазовращателя «точно», 15 — блок электронный, 16 — ручка переключателя рода работ, 17 — ручка наводки в горизонтальной плоскости, 18 — крышка, 19 — вилка, 20 — трипель — призма, 21 — оправка

повременно от кварцевого генератора подается опорное напряжение масштабной частоты, что позволяет сравнивать фазы.

При измерении расстояний светодальномер МСД-1М (рис. 38, а) устанавливается над точкой и наводят на отражатель (рис. 38, б). Расстояние определяется косвенным путем через разность фаз отправленных и принятых колебаний; при этом используются следующие формулы

$$s = \frac{v}{4\pi f} \Delta\varphi, \quad s = \frac{1}{4\pi} \lambda \Delta\varphi,$$

где λ — длина волны колебаний; $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$, $\varphi_1 = \omega t$ — фаза отправленного колебания, $\varphi_2 = \omega(t - \gamma)$ — фаза принятого отраженного колебания, t — время, γ — запаздывание фазы отраженного колебания за счет прохождения им измеренного расстояния дважды; f — частота колебаний; v — скорость распространения света в атмосфере

Светодальномер СМ-5 (рис. 39) предназначен для измерения длин линий в теодолитных ходах и полигонометрии, а также при выполнении различных линейных изысканий. Светодальномер может применяться как самостоятельный прибор и как насадка на теодолит. Отличительными особенностями светодальномера СМ-5 являются небольшая масса и габариты, высокий уровень автоматизации процесса измерений. Присмо-

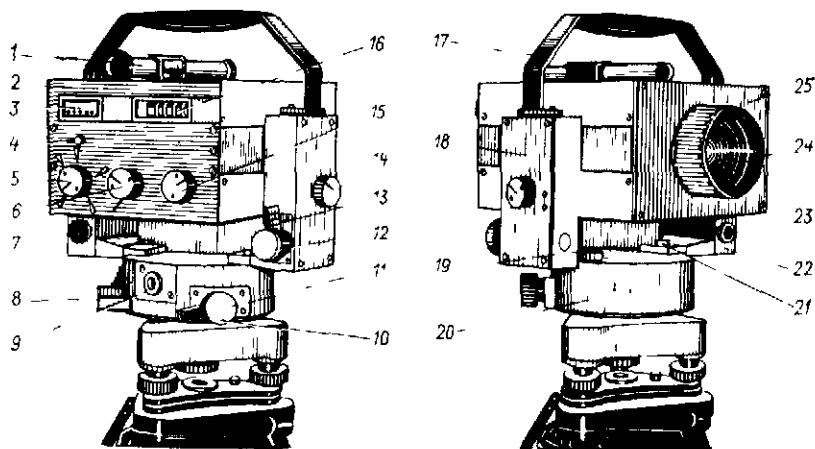


Рис. 39 Светодальномер СМ-5

1 — зрительная труба, 2 — лицевая панель, 3 — стрелочный прибор, 4 — ручка установки контрольного отсчета, 5 — ручка регулировки уровня сигнала, 6 — переключатель «Измерение — 00000 — 0 — 9°», 7 — микрофон подачи звукового сигнала, 8 — цилиндрический уровень, 9 — окуляр оптического центра, 10, 13 — закрепительные винты, 11, 12 — наводящие винты, 14 — переключатель «Выкл. — введение — счет», 15 — переключатель «грубо — точно — акк», 16 — цифровое табло, 17 — ручка для переноски прибора, 18, 22 — стойки, 19, 21 — винты для установки прибора на самостоятельное основание или теодолит, 20 — основание, 23 — разъем для подключения питания, 24 — объектив приемопередающей системы, 25 — передняя панель (головка)

передатчик снабжен уровнем и оптическим центриром. Результаты измерений индуцируются на пятиразрядном электронно-цифровом табло в метрической системе. Момент окончания счета сопровождается звуковым сигналом, после которого считываются показания табло.

В комплект светодальномера входят: приемопередатчик, два отражателя, два источника питания, зарядное и разрядное устройства, два оптических центрира, три штатива, две вешки, термометр, барометр и запасные части с принадлежностями.

Технические характеристики светодальномера СМ-5

Диапазон измеряемых расстояний, м:	
при использовании отражателя с одной призмой	2—300
то же, с тремя призмами	2—500
при благоприятных внешних условиях	2—700
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния одним приемом, мм	20—30
Время одного отсчета, с	10
Максимальные углы наклона приемопередатчика, градус	±20
Увеличение зрительной трубы искателя	4,5
Масса, кг:	
приемопередатчика	4,5
приемопередатчика без основания	3,7
отражателя с тремя призмами	0,7
подставки	0,7
источника питания	3,6

Если прибор установлен на теодолите, то система теодолит — светодальномер может использоваться как тахеометр.

§ 44. ОПТИЧЕСКИЕ ДАЛЬНОМЕРЫ

Основной принцип определения расстояний при помощи оптических дальномеров показан на рис. 40, а, согласно которому искомое расстояние AB из решения равнобедренного треугольника ADC вычисляют по формуле

$$s = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \beta/2,$$

где $l = CD$ — основание треугольника, называемое базисом; β — параллактический угол.

По принципу действия оптические дальномеры разделяют на дальномеры с постоянным параллактическим углом (см. рис. 40, а) и переменным параллактическим углом (рис. 40, б).

Среди дальномеров с постоянным параллактическим углом большое распространение получили нитяные дальномеры (рис. 40, в), у которых постоянный угол обеспечивается дополнительными дальномерными штрихами xx , yy , нанесенными на стеклянную пластинку сетки нитей. Лучи от этих штрихов, пройдя

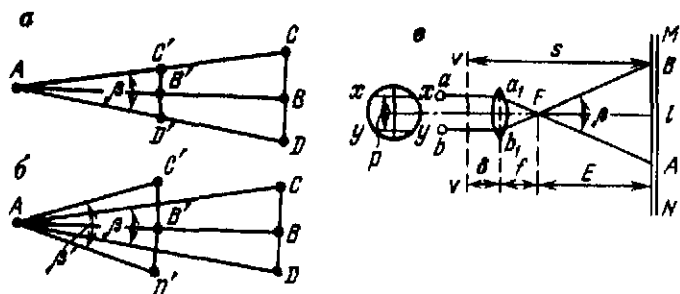


Рис. 40. Принципы определения расстояний при помощи оптического дальномера с постоянным параллактическим углом (а), с переменным параллактическим углом (б) и нитяного дальномера (в)

через объектив, пересекаются в переднем главном фокусе объектива F , образуя постоянный угол β .

Если перпендикулярно к визирному лучу зрительной трубы (см. рис. 40, в) установить рейку MN , то в точках A и B пересекутся с ней дальномерные лучи. Длина $AB=l$ обозначается дальномерным отсчетом; VV' — 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

$$s = \delta + f + E.$$

Из подобных треугольников $a_1 F b_1$ и AFB найдем

$$E = \frac{f}{p} l.$$

Если $\delta + f$ обозначить через c , f/p — через k называемое коэффициентом дальномера, то предыдущее выражение примет вид

$$s = kl + c.$$

Полученная формула показывает, что для определения расстояния нитяным дальномером необходимо знать отсчет l по рейке, коэффициент дальномера k и величину c . Применение нитяного дальномера позволяет значительно ускорить процесс измерения расстояний, однако относительная погрешность сравнительно невелика и в среднем равна 1:300—1:400.

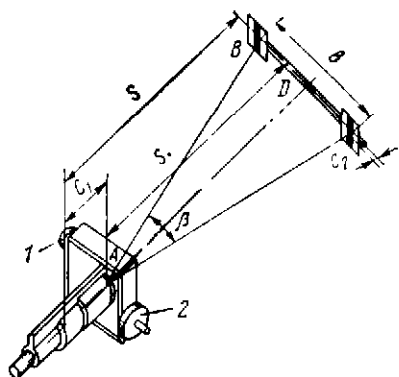


Рис 41 Оптический дальномер ДН-8.
1 — маховик установочной части компенсатора, 2 — маховик измерительной части компенсатора

В современных приборах коэффициент k равен 100, а величина c близка к нулю, поэтому

$$s = 100l.$$

В тех случаях, когда требования к точности измерения расстояний выше, чем может обеспечить нитяный дальномер, применяются оптические дальномеры иных конструкций. Среди последних широкое распространение получили дальномеры двойного изображения, в основу которых положено свой-

ство стеклянной призмы (клина) отклонять проходящий через нее луч к основанию клина.

Если перед объективом зрительной трубы поместить оптический клин так, чтобы он закрывал половину поля зрения, и перпендикулярно к визирной оси установить рейку, то изображение некоторой точки рейки, лежащей на визирной оси, сместится на некоторый отрезок l , пропорциональный измеряемому расстоянию. Коэффициент пропорциональности k в клиньях подбирается таким образом, чтобы он был равен 100.

В настоящее время в нашей стране серийно выпускаются три типа оптических дальномеров двойного изображения: Д-2, ДН-8, ДНР-5. Конструктивно эти дальномеры изготавливаются или в виде самостоятельного прибора (Д-2), или в виде насадки на объектив зрительной трубы теодолита (ДН-8, ДНР-5). Дальномеры Д-2 и ДН-8 являются приборами с переменным параллактическим углом, ДНР-5 — с переменным базисом.

Оптическая дальномерная насадка ДН-8 относится к дальномерам двойного изображения с переменным параллактическим углом и постоянным базисом у цели, представленной горизонтальной рейкой. Предназначен дальномер для измерения расстояний с относительной погрешностью 1:2000—1:5000 в теодолитных ходах, при построении аналитических сетей и съемках в крупных масштабах в городах.

Рейку с двумя марками, оси которых удалены друг от друга на расстоянии b , устанавливают перпендикулярно к визирной оси. Согласно схеме, показанной на рис. 41, искомое расстояние s может быть определено по формуле

$$s = s_1 + c_1 + c_2, \quad (31)$$

где s_1 — расстояние от вершины параллактического угла до плоскости марок, c_1 — расстояние от вершины параллактического угла до вертикальной оси вращения теодолита, c_2 — расстояние от центра штанги до плоскости марок.

Величина s_1 может быть определена из треугольника ABD по формуле

$$s_1 = 1/2b \operatorname{ctg} \beta/2, \quad (32)$$

где b — база рейки; β — параллактический угол.

Если в формуле (31) обозначить $c_1 + c_2 = c$, то получим

$$s = 1/2b \operatorname{ctg} \beta/2 + c. \quad (33)$$

По малости угла β (32) можно выразить через

$$s_1 \approx \frac{bp''}{\beta''},$$

откуда выражение (33) примет вид

$$s = \frac{bp''}{\beta''} + c. \quad (34)$$

В дальномере ДН-8 параллактический угол измеряется в делениях миллиметровой шкалы. Для того, чтобы перейти от секунд к делениям шкалы, используется величина v , обозначающая цену деления шкалы:

$$\beta'' = \beta_0 v,$$

где β_0 — параллактический угол, выраженный в делениях шкалы.

Если учесть сказанное, то формула (34) приобретает следующий вид

$$s = \frac{bp''}{\beta_0 v} + c.$$

Отметим, что величина bp''/v является постоянной, ее принято называть коэффициентом дальномера, и если обозначить через k , то получим

$$s = \frac{k}{\beta_0} + c.$$

Дальномерная рейка представляет штангу из алюминия 2 (рис. 42), на которой расположены две пары марок: пара больших 1, 7 на расстоянии 102 см и две малые 3, 6 на расстоянии 55 см. На рейке расположен круглый уровень 5, марка 4 для измерения углов теодолитом.

В зависимости от длины измеряемой линии определяют или половину или полный параллактический угол. Расстояние от 100 до 180 м измеряют по малому базису, а от 200 до 700 м —

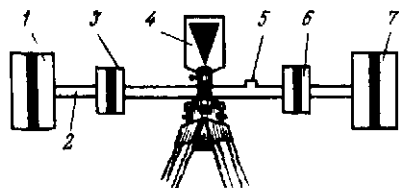


Рис. 42 Дальномерная рейка даль-
номера ДН 8

по большому базису с использо-
ванием полного параллак-
тического угла. При расстоя-
ниях менее 100 используется
малый базис и измеряется по-
ловиной параллактического
угла.

Дальномер Д-2 (ста-
рое название ОТД) является
оптическим дальномером двой-

ного изображения с переменным параллактическим углом и по-
стоянным базисом у цели, в качестве которого применяется вер-
тикальная или горизонтальная рейка. Прибор предназначен для
измерения сторон полигонометрических и теодолитных ходов,
а также используется при построении планового обоснования
топографических съемок. Измерение длин дальномером Д-2
производится с относительной погрешностью 1 : 5000 при ис-
пользовании горизонтальной рейки и 1 : 3000 — с вертикальной
рейкой.

В качестве базиса используется рейка длиной 2000 мм, со-
держащая шесть марок, формирующих пять баз длиной 400 мм
каждая.

Дальномерный блок состоит из зрительной трубы, имеющей
разделительное устройство в виде бипризмы, щелевой диа-
фрагмы и комбинированного компенсатора, в котором сочета-
ется действие клинового и линзового компенсаторов. Клино-
вой компенсатор, выполненный в виде оптического перекидного
клина, компенсирует параллактический угол на постоянную ве-
личину, линзовый компенсатор, позволяющий совмещать два
полуизображения рейки, определяет переменную часть парал-
лактического угла. Полное значение параллактического угла
получается суммированием постоянной и переменной его ча-
стей.

Измерение расстояний дальномером Д-2 основано на реше-
нии равнобедренного треугольника по известным острому углу
 β и базису b . Рабочая формула для определения расстояний,
приведенного к горизонту, имеет вид

$$s = \frac{Nk}{\beta} + c + \delta s_v - \delta s_r,$$

где N — количество интервалов рейки, использованных при из-
мерении параллактического угла; k — коэффициент дально-
мера; δs_v — поправка за наклон линии визирования для гори-
зонтального положения рейки:

$$\delta s_v = -2s \sin^2 v/2,$$

для вертикального положения рейки

$$\delta s_v = -2 \sin^2 v;$$

δs_t — поправка за температуру.

Дальномер ДНР-5 является оптическим дальномером двойного изображения с постоянным параллактическим углом и переменной базой у цели в виде вертикальной рейки.

Дальномер выполнен в виде насадки на зрительную трубу теодолитов, имеющих посадочный диаметр 46 мм, и применяется, главным образом, с теодолитами типа 2Т5. Для теодолита ТЗ0, имеющего диаметр объектива 38 мм, применяется переходное кольцо.

Оптический компенсатор дальномера включает в себя дальномерный клин, задающий параллактический угол, телескопическую линзу, выполняющую роль микрометра, и подвесной оптический клин, редуцирующий наклонные расстояния на горизонтальную плоскость.

Редуцирующий клин позволяет автоматически преобразовывать измеряемые наклонные расстояния в горизонтальные проложения в пределах углов наклона $\pm 10^\circ$. Дальномером ДНР-5 измеряются горизонтальные проложения с относительной погрешностью 1:1500—1:2000 при проложении теодолитных ходов и съемке застроенных территорий.

Вопросы для самопроверки

1. Как закрепляют на местности отрезки линий?
2. Что называется вешением линии на местности?
3. Что такое компарирование мерных приборов?
4. Как приводят к горизонту измеренные наклонные отрезки линий?
5. Какие физические принципы положены в основу измерения расстояний *светодальномерами*?
6. Какие принципы положены в основу определения расстояний оптическими дальномерами?
7. Что называется коэффициентом дальномера?

Глава 9.

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 45. СУЩНОСТЬ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Съемка местности, при которой в качестве угломерного прибора используется теодолит, а для измерения длин применяют мерные ленты (рулетки) или оптические дальномеры, называется теодолитной. В ней определяют только плановое положение снимаемых точек. Производится теодолитная съемка для получения материалов, используемых в геологической разведке, горном деле, сельском хозяйстве, строительстве и т. п. Съёмоч-

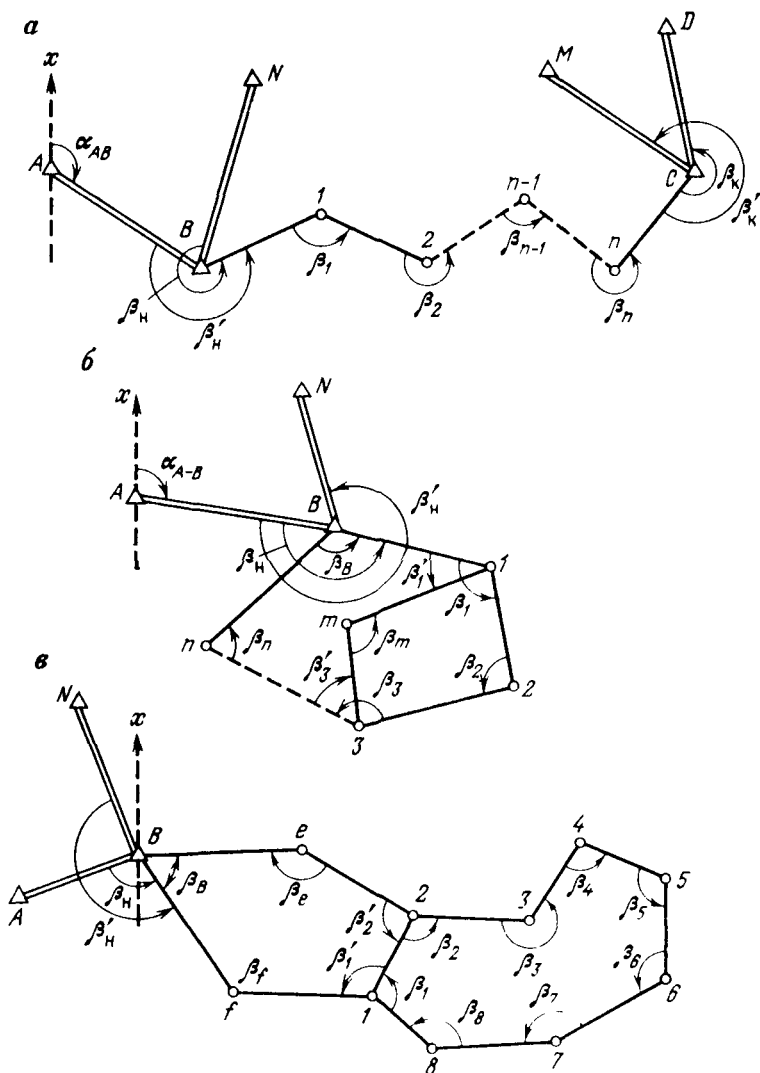


Рис 43 Схемы теодолитных ходов и возможные схемы их привязки

ным обоснованием чаще всего служат теодолитные ходы в виде системы линий (полигонов), образующих или сомкнутые (рис. 43, б), или разомкнутые ходы (рис. 43, а). Предельно допустимая длина ходов зависит от масштаба съемки (табл. 10). Внутри замкнутых теодолитных ходов в ряде случаев прокладывают дополнительные ходы, называемые диагональными (рис. 43, б, ход 1—*m*—3).

Т а б л и ц а 10

Масштаб съемки	Длина хода, км		Удаленность угловых 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

В теодолитных ходах точки поворота отмечают на местности простейшими геодезическими пунктами в виде забитых в землю деревянных кольев, металлических стержней и т. п. Съемку подробностей выполняют способами прямоугольных координат, полярным, угловым и линейным засечек.

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.

При прокладке теодолитных ходов на местности закрепляют вершины, измеряют горизонтальные углы, длины сторон и их углы наклона. Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряют одним полным приемом теодолитом, обеспечивающим погрешность измерения не более $30''$. Если при измерении в значениях из полуприемов окажется недопустимая разница (более $0,7'$), измерения проводятся заново. Результаты угловых измерений заносятся в полевой журнал. 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. В тех случаях, когда наклон линий превышает $1,5^\circ$, измеряют углы их наклона и вводят поправки за приведение длин линий к горизонту. 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.

Теодолитные ходы привязываются к пунктам опорной геоде-

зической сети. Это выполняется для того, чтобы вершины теодолитных ходов были определены в существующей системе координат. Привязка может быть осуществлена различными способами. В результате ее выполнения на стороны и вершины теодолитного хода должны быть переданы дирекционный угол и координаты x, y .

Привязка теодолитного хода может быть осуществлена путем включения в него пунктов существующей опорной сети (исходные пункты), например B и C (см. рис. 43 *а*), координаты которых известны и с которых имеется видимость на смежные опорные пункты, дирекционные углы направлений на которые известны (исходные дирекционные углы), например, $\alpha_{BA}, \alpha_{BC}, \alpha_{CM}, \alpha_{CD}$. В случае, показанном на рис. 43, *а*, привязка состоит в том, что на начальном B и конечном C пунктах измеряются горизонтальные углы β_B и β_C , называемые примычными углами. Этого достаточно, чтобы вычислить дирекционные углы и координаты x, y точек теодолитного хода.

Для контроля на исходных пунктах измеряются по два примычных угла: $\beta_B, \beta'_B, \beta_C, \beta'_C$ (см. рис. 43).

В теодолитных ходах, являющихся замкнутыми, для привязки в них достаточно включить один пункт существующей сети, с которого имеется видимость на два пункта этой сети (см. рис. 43, *б*).

В тех случаях, когда теодолитный ход ($1-2-3 \dots 8-1$, рис. 43, *в*) расположен в стороне от пунктов существующей опорной сети и последние не могут быть непосредственно использованы для привязки, прокладывается теодолитный ход ($B-e-2-1-f-B$, рис. 43, *в*), который должен быть замкнутым, или применяется прямая (обратная) геодезическая засечка.

Теодолитный ход, не привязанный к пунктам опорной геодезической сети, носит название свободного, привязанный лишь в начальной точке — висячим.

§ 46. СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ

После проложения теодолитных ходов производят съемку контуров ситуации (съемка подробностей), которая чаще всего выполняется одновременно с проложением теодолитных ходов. Съемка контуров местности выполняется с меньшей точностью, чем определение точек теодолитного хода, поэтому для съемки подробностей используются методы, не обладающие высокой точностью, но отличающиеся быстротой работ. Съемка подробностей заключается в измерениях, позволяющих определять положение контуров и точек ситуации, которые в соответствии с масштабом съемки должны быть изображены на плане.

Применяются следующие способы съемки подробностей.

Способ прямоугольных координат, используемый для съемки, главным образом, контуров, имеющих вытянутую форму и расположенных вблизи сторон теодолитного хода. Одна из линий теодолитного хода принимается за ось абсцисс, начальная ее точка — за начало оси абсцисс. Из характерных точек ситуации опускают на линию теодолитного хода перпендикуляры, длины которых (ординаты) измеряют рулеткой, а абсциссы от начала линии до основания перпендикуляра отсчитывают по мерной ленте.

Полярный способ применяется на открытой местности. Положение точек контуров ситуации определяется горизонтальными (полярными) углами, измеряемыми от линии теодолитного хода, и горизонтальными расстояниями от точек ситуации до вершины теодолитного хода, принятой за полюс. Полярные углы измеряются теодолитом. Расстояния до снимаемых точек определяют при помощи нитяного дальномера, предельные расстояния, которые могут измеряться при этом способом нитяным дальномером, составляют для масштаба 1:5000 — 150—200 м, для масштаба 1:1000 — 250 м.

При использовании для съемки ситуации засечек, применяются как угловые так и линейные засечки. 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 точку.

Наиболее точно положение точки получается при угловой 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.

§ 47. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Обработка полевых измерений в теодолитной съемке заключается в вычислительных работах и построении плана теодолитной съемки. Вычислительные работы включают обработку измеренных углов, вычисление дирекционных углов, вычисление горизонтальных проложений, вычисление приращений координат и координат вершин теодолитного хода.

После проверки правильности вычислений в полевом журнале средние значения углов из полуприемов записывают в

Таблица 11

Номер точки	Горизонтальные углы		Дирекционные углы, α	Румбы, r	Горизонтальные проложения, s	Приращения координат				Координаты		Номер точки
	β_{Π}	β_T				вычисленные		исправленные		x	y	
						$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$	$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$			
A						+0.03 -73.97	-0.01 -25.04	-73.94	-25.05	2212,25	6165,08	A
1	-0.4 111°01.5'	111°01.1'	198 42.1'	ЮЗ 18 42,1'	78,09	+0.06 -92.67	-0.02 +111.54	-92.61	+111.52	2138,31	6140,03	1
2	-0.4 79°25.3	79 24.9	129 43.2	ЮВ 50 16.8	145,01	-0.07 +136.52	-0.03 +76.09	+136.59	+76.06	2045,70	6251,55	2
3	-0.4 106 17.8	106 17.4	29 08.1	СВ 29 08 1	156,29	+0.04 -74.92	-0.02 -73.81	+74.96	-73.83	2182,29	6327,61	3
4	-0.4 107 39.2	107 38.8	315 25.5	СЗ 44 34,5	105,17	+0.04 -45.04	-0.02 -88.68	-45.00	-88.70	2257,25	6253,78	4
A	-0.4 135 38.2	135 37.8	243 04.3	ЮВ 63 04,3	99,46	+211,44 -211,68	+187,63 -187,53	0.00	0,00	2212,25	6165,08	A
1			198 42,1	ЮЗ 18 42,1								1

$$\begin{aligned}\Sigma \beta_{\Pi} &= \\ - 540^{\circ}02,0' \\ \Sigma \beta_T &= \\ 540^{\circ}00'\end{aligned}$$

$$f_{\beta} = +02,0$$

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1,5\sqrt{5} \quad 2,8'$$

$$[s] = 584,02'$$

$$f_x = -0,24, \quad f_y = +0,10$$

$$\begin{aligned}f_{\text{абс}} &= \sqrt{0,24^2 + 0,10^2} = 0,26 \text{ м} \\ f_{\text{отн}} &= \frac{f_{\text{абс}}}{[s]} = \frac{0,26}{584,02} = \frac{1}{2200} < \frac{1}{2000}\end{aligned}$$

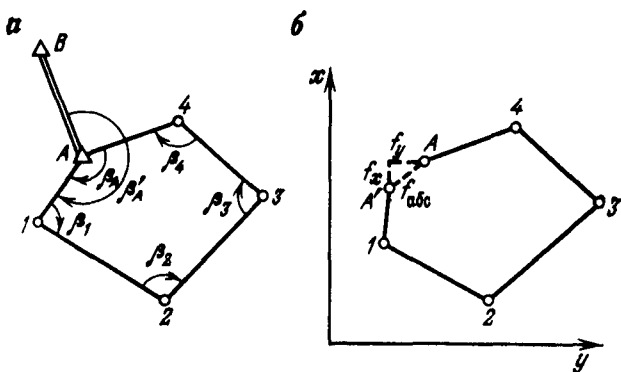


Рис 44 Схема сомкнутого теодолитного хода

ведомость координат (столбец 2, табл. 11). Сумма измеренных углов сравнивается с теоретической суммой. Разность между практической $\Sigma\beta_n$ и теоретической $\Sigma\beta_r$ — суммами называется угловой невязкой

$$f_\beta = \Sigma\beta_n - \Sigma\beta_r,$$

которая не должна превышать допустимую невязку, определяемую по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 3t\sqrt{n},$$

где t — точность измерения угла.

Если угловая невязка равна или меньше допустимой, то угловые измерения должны быть исправлены. В теодолитных ходах в этих случаях угловую невязку распределяют поровну с обратным знаком во все углы (см. столбец 2, табл. 11). При этом сумма всех поправок должна быть равна угловой невязке, а сумма увязанных углов (столбец 3, табл. 11) — теоретической сумме.

При увязке углов сомкнутого полигона (рис. 44, а) теоретическая сумма углов вычисляется по формуле

$$\Sigma\beta_r = 180^\circ (n-2),$$

где n — количество внутренних углов многоугольника (измеренных углов).

При увязке разомкнутого теодолитного хода, проложенного между двумя твердыми направлениями, например AB и CD (см. рис. 43, а), контролем правильности угловых измерений является совпадение вычисленного и известного значения дирекционного угла конечного направления.

Если в теодолитном ходе измерялись правые по ходу углы, то согласно схеме, показанной на рис. 43, а, можно написать равенство

$$\alpha_{CD} - \alpha_{AB} + 180^\circ n - \Sigma \beta,$$

где n — количество измеренных углов; β — измеренные углы.

Из-за погрешностей, допущенных при измерении углов, вычисленный дирекционный угол не совпадает с заданным, вследствие чего возникает угловая невязка

$$f_\beta = \alpha_{CD}^{\text{выч}} - \alpha_{CD}^{\text{зад}}.$$

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. В столбце 4 табл. 11 выполнено вычисление дирекционных углов по значению дирекционного угла исходной стороны α_{A-1} и уравненным углам в вершинах теодолитного хода с использованием следующих формул:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{A-1} + \beta_1 - 180^\circ; \quad \alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \beta_2 - 180^\circ;$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + \beta_3 - 180^\circ; \quad \alpha_{4-A} = \alpha_{3-4} + \beta_4 - 180^\circ.$$

Для контроля правильности вычислений определяется также дирекционный угол исходной стороны через внутренний угол теодолитного хода β_A :

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{4-A} + \beta_1 - 180^\circ.$$

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.

Вычисление румбов (табличных углов) выполняется по формулам, приведенным в табл. 2. Значения румбов показаны в столбце 5, табл. 11.

Для определения координат точки необходимо иметь координаты исходной точки, горизонтальное проложение линии, соединяющей эти точки, и дирекционный угол этой линии. Такая задача в

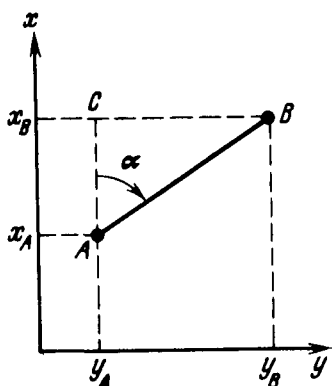


Рис. 45 Схема определения приращения координат

геодезии называется прямой геодезической задачей, решение ее сводится к следующему.

Пусть на плоскости (рис. 45) 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, y_B, y_A, y_B .

На основании схемы, показанной на рис. 45 можно написать, что катеты

$$AC = x_B - x_A = \Delta x; \quad BC = y_B - y_A = \Delta y.$$

Из треугольника ABC можно написать выражения

$$AC = AB \cos \alpha; \quad BC = AB \sin \alpha.$$

Учитывая, что $AC = \Delta x, BC = \Delta y$, получим

$$\Delta x = s \cos \alpha; \quad \Delta y = s \sin \alpha. \quad (35)$$

Откуда формулы прямой геодезической задачи записываются в следующем виде:

$$x_B = x_A + \Delta x; \quad y_B = y_A + \Delta y, \quad (36)$$

т. е. координата конечной точки равна координате предыдущей точки плюс соответствующее приращение координат.

В выражениях для вычисления приращений координат (35), дирекционные углы могут быть заменены румбами линий:

$$\Delta x = s \cos r; \quad \Delta y = s \sin r. \quad (37)$$

При вычислении приращения координат по формуле (35) знаки приращений координат определяют в зависимости от величины дирекционного угла, если для вычисления приращений координат применяются румбы [формула (37)], то знаки приращений координат могут быть определены в соответствии с данными табл. 12.

Т а б л и ц а 12

Дирекционный угол (в пределах)	Название четверти	Название румба	Знаки приращения координат	
			Δx	Δy
0—90°	I	СВ	+	+
90°—180°	II	ЮВ	—	+
180°—270°	III	ЮЗ	—	—
270°—360°	IV	СЗ	+	—

Вычисленные по формуле (37) приращения координат показаны в столбцах 7 и 8 табл. 11.

Приращения координат являются проекциями сторон теодолитного хода на координатные оси. Известно, что сумма проекций сторон замкнутого многоугольника на координатные оси равна нулю, следовательно:

$$\Sigma \Delta x = 0; \quad \Sigma \Delta y = 0,$$

т. е. сумма приращений координат по оси x и сумма приращений координат по оси y должны быть равны нулю.

Однако, 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 (см. рис. 44, б) по оси $x (f_x)$, по оси $y (f_y)$, т. е.

$$\Sigma \Delta x = f_x; \quad \Sigma \Delta y = f_y.$$

В результате замкнутый теодолитный ход оказывается разомкнутым на некоторую величину, называемую абсолютной линейной невязкой (f_{abc}), которая с невязками по осям x и y связана выражением

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (38)$$

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:

$$f_{отн} = f_{abc}/[s],$$

где под периметром понимается сумма горизонтальных проложений сторон теодолитного хода. Относительная невязка 1:2000 считается допустимой в благоприятных условиях и 1:1000 — для неблагоприятных условий, таким образом,

$$f_{отн} = f_{abc}/[s] \leq 1/1000 \div 1/2000.$$

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 (см. столбец 7, табл. 11) по формулам:

$$\delta_{x_i} = -f_x s_i/[s]; \quad \delta_{y_i} = -f_y s_i/[s], \quad (39)$$

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 (см. столбец 8, табл. 11).

При недопустимой линейной невязке по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = f_y / f_x$$

определяют дирекционный угол линии, при измерении которой наиболее вероятно была допущена погрешность. Если при повторном измерении этой линии окажется, что она была определена с достаточной точностью, необходимо пересмерить остальные линии.

Вычисление координат x , y вершин теодолитного хода (столбцы 11, 12, табл. 11) производят последовательно, путем прибавления к координатам предыдущих точек соответствующих превышений:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + \Delta x_{1-2}; & y_2 &= y_1 + \Delta y_{1-2}; \\ x_3 &= x_2 + \Delta x_{2-3}; & y_3 &= y_2 + \Delta y_{2-3}; \\ x_4 &= x_3 + \Delta x_{3-4}; & y_4 &= y_3 + \Delta y_{3-4}; \\ . & & . & \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

Для замкнутого хода контролем правильности вычислений является равенство заданных и вычисленных координат начальной точки.

Вычисления приращений координат и координат диагонального хода производят соответственно по формулам (35) и (40).

В связи с тем, что полевые измерения выполнялись с погрешностями, суммы приращений координат диагонального хода не равны разностям координат конечной и начальной точек диагонального хода (см. рис. 44, б). Откуда

$$\sum \Delta x - (x_k - x_n) = f_x;$$

$$\sum \Delta y - (y_k - y_n) = f_y.$$

Если невязки получены допустимыми, то они в соответствии с формулами (39) в виде поправок распределяются в приращении координат диагонального хода.

По данным ведомости составляется каталог координат точек для участка, на котором была выполнена съемка. В каталоге показаны номера точек, увязанные углы, дирекционные углы или румбы, горизонтальные проложения линий, координаты точек.

§ 48. ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Обратная геодезическая задача заключается в вычислении дирекционного угла и горизонтального проложения линии по координатам x , y ее концов.

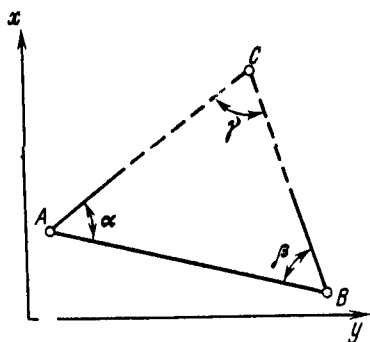


Рис 46. Схема определения прямой угловой засечки

Пусть даны две точки A и B (см. рис. 45), координаты которых соответственно x_A, y_A, x_B, y_B . Катеты треугольника ABC являются приращениями координат x и y . Согласно схеме, показанной на рис. 45, дирекционный угол линии AB определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_{A-B} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (41)$$

По значению тангенса угла, пользуясь таблицами натуральных значений тригонометрических величин, находят величину румба (табличного угла) в градусах. Затем по знакам приращения координат (см. табл. 12) находят название четверти, что, в свою очередь, позволяет определить значение дирекционного угла (см. табл. 2).

Горизонтальные расстояния между точками (проложения) могут быть определены по формуле

$$s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (42)$$

или по формулам

$$s = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha}; \quad s = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha}. \quad (43)$$

Рассмотрим применение прямой и обратной геодезических задач для вычислений прямой угловой засечки.

Пусть дана прямая AB с известными координатами x, y ее точек A и B . В точках A и B измерены углы α и β между прямой AB и точкой C , координаты x, y которой необходимо определить (рис. 46).

Угол γ вычисляют как дополнение до 180° .

$$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta).$$

Дирекционный угол и длину исходной стороны AB можно определить соответственно по формулам (41) и (42)

Из решения косоугольного треугольника ABC по теореме синусов находят длины линий AC и BC :

$$AC = AB \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}; \quad BC = AB \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}.$$

Вычислим дирекционные углы сторон AC и BC

$$\alpha_{AC} = \alpha_{AB} - \alpha; \quad \alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta.$$

Используя прямую геодезическую задачу можно вычислить координаты точки C :

с использованием стороны AC

$$x_C = x_A + AC \cos \alpha_{AC};$$

$$y_C = y_A + AC \sin \alpha_{AC},$$

с использованием стороны BC

$$x_C = x_B + BC \cos \alpha_{BC};$$

$$y_C = y_B + BC \sin \alpha_{BC}.$$

Таблица 13 Программа вычисления координат x и y точки C , положение которой определяется прямой угловой засечкой

Адрес	Наименование клавиши	Код	Адрес	Наименование клавиши	Код
00	«ПП»	53	31	«ИП» «7»	67
01	«51»	51	32	« »	13
02	«П» «1»	41	33	«П» «7»	47
03	«С/П»	50	34	«ИП» «6»	66
04	«ПП»	53	35	«ИП» «1»	61
05	«S1»	51	36	«—»	11
06	«П» «2»	42	37	«П» «8»	48
07	«ИП» «1»	61	38	«F» «cos»	1
08	«+»	10	39	«ИП» «7»	67
09	«F» «sin»	1	40	«х»	12
10	«П» «3»	43	41	«ИП» «А»	6
11	«ИП» «С»	6	42	«+»	10
12	«ИП» «А»	6	43	«С/П»	50
13	«—»	11	44	«ИП» «8»	68
14	«П» «4»	44	45	«F» «sin»	1
15	«ИП» «Д»	6Г	46	«ИП» «7»	67
16	«ИП» «В»	6	47	«х»	12
17	«—»	11	48	«ИП» «В»	6
18	«П» «S»	45	49	«+»	10
19	«ИП» «4»	64	50	«С/П»	50
20	« »	13	51	«6»	06
21	«F» «arctg»	1	52	«0»	00
22	«П» «6»	46	53	« »	13
23	«F» «sin»	1	54	«С/П»	50
24	«ИП» «3»	63	55	«+»	10
25	«х»	12	56	«6»	06
26	«П» «7»	47	57	«0»	00
27	«ИП» «2»	62	58	« »	13
28	«F» «sin»	1	59	«С/П»	50
29	«ИП» «5»	65	60	«+»	10
30	«х»		61	«В/О»	52

Таблица 14

№ п/п	Операции	Наименование клавиши
1	Включите микрокалькулятор	
2	Установите переключатель «Р Г» в положение «1»	
3	Перейдите в режим «Программирование»	«F» «ПРГ»
4	Занесите программу (таблица 6 2)	
5	Очистите программный счетчик	«F» «ABT» «B'O»
6	Наберите на клавиатуре значение координаты x_A	
7	Выполните операцию ввода	«П» «A»
8	Наберите на клавиатуре значение координаты y_A	
9	Выполните операцию ввода	«П» «B»
10	Наберите на клавиатуре значение координаты x_B	
11	Выполните операцию ввода	«П» «C»
12	Наберите на клавиатуре значение координаты y_B	
13	Выполните операцию ввода	«П» «D»
14	Наберите на клавиатуре значение секунд угла α	
15	Вычислите десятые доли минуты	«C П»
16	Наберите на клавиатуре значение минут угла α	
17	Вычислите десятые доли градуса	«C П»
18	Наберите на клавиатуре значение градусов угла α	
19	Вычислите угол α	«C П»
20	Наберите на клавиатуре значение секунд угла β	
21	Вычислите десятые доли минуты	«C П»
22	Наберите на клавиатуре значение минут угла β	
23	Вычислите десятые доли градуса	«C П»
24	Наберите на клавиатуре значение градусов угла β	
25	Вычислите координату x искомого пункта C	«C П»
26	Вычислите координату y искомого пункта C	«C П»

За окончательное значение координат x , y точки принимают средние, полученные при вычислениях через стороны AC и BC .

Для вычисления прямой угловой засечки целесообразно использование микрокалькуляторов типа «Электроника БЗ-34», что значительно ускоряет выполнение расчетов. Ниже приводится программа вычисления прямой угловой засечки на микрокалькуляторе «Электроника БЗ-34» (табл. 13).

Исходными данными являющиеся координаты пунктов A и B (x_A , y_A , x_B , y_B) и измеренные горизонтальные углы α и β . Расчеты координат точки C выполняются только через сторону AC (см. рис. 46). Используются следующие расчетные формулы:

$$\alpha_{AB} = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A};$$

$$x_C = x_A + \frac{(y_B - y_A) \sin \beta}{\sin \alpha_{AB} \sin (\alpha + \beta)} \cos (\alpha_{AB} - \alpha);$$

$$y_C = y_A + \frac{(y_B - y_A) \sin \beta}{\sin \alpha_{AB} \sin (\alpha + \beta)} \sin (\alpha_{AB} - \alpha).$$

Инструкция к программе приведена в табл. 14.

§ 49. ПОСТРОЕНИЕ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ И НАНЕСЕНИЕ ПО КООРДИНАТАМ ВЕРШИН ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Построению плана теодолитной съемки предшествует вычерчивание координатной сетки, которую строят в виде сетки квадратов со стороной 8 см для планов масштаба 1 : 25 000, а для планов более крупных масштабов — 10 см.

Размеры листа бумаги, на котором будет составляться план съемки, определяют по координатам точек теодолитного хода. Для этого из координатной ведомости выписывают максимальные и минимальные значения x и y . Пусть $x_{\max}=6\,254\,307,76$, $y_{\max}=5\,328\,623,28$; $x_{\min}=6\,253\,983,35$; $y_{\min}=5\,328\,261,11$ и масштаб построения плана 1 : 1000. В этом случае сторона квадрата координатной сетки размером 10 см соответствует длине 100 м на местности, и подписи линии координатной сетки кратны 100. Для того, чтобы точка теодолитного хода с максимальным значением $x=6\,254\,307,76$ оказалась внутри координатной сетки, северная (верхняя) горизонтальная линия сетки 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, т. е. 50×50 см. Также надо иметь в виду, что сверху для размещения рамки и соответствующих надписей необходимо прибавить около 10 см, снизу для рамки, масштаба и пр. — 8 см, и с боков для размещения рамки и надписей — по 10 см. В результате определяется общий размер листа, на котором будет построен план теодолитной съемки.

Построение координатной сетки может выполняться при помощи линейки Дробышева, линейки ЛБЛ, циркуля-измерителя, масштабной линейки, шаблонов.

Линейка Дробышева (рис. 47) представляет собой металлическую полоску 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 от начального штриха до соответствующего окна, радиус дуги скошенного конца линейки равен диагонали квадрата со стороной 500 мм — 707,11 мм. При помощи линейки Дробышева можно построить квадрат со сторонами 500×500 мм или прямоугольник со сторонами 400×300 мм. Построение выполняется следующим образом.

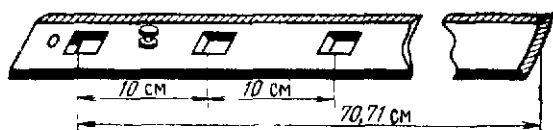


Рис. 47. Линейка Дробышева

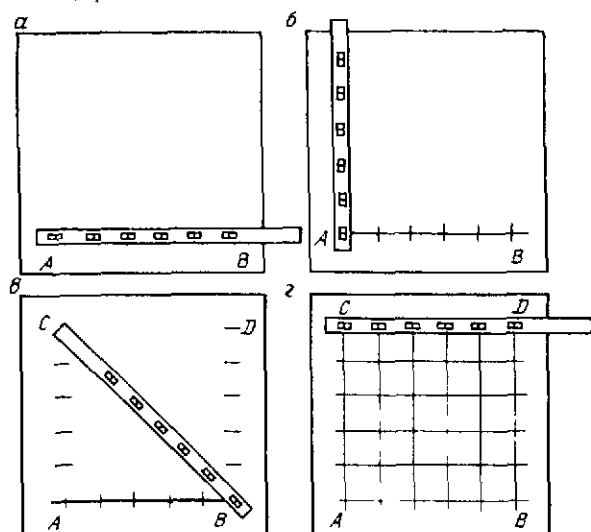


Рис. 48. Очередность построения координатной сети при помощи линейки Дробышева

Накладывают линейку параллельно нижнему концу листа бумаги и по скошенному краю проводят горизонтальную линию (например, AB , рис. 48). Затем помещают линейку так, чтобы линия была видна через окошки и через них отмечают штрихи (рис. 48, а). Поворачивают линейку на 90° , совмещая скошенный край первого окна с первым штрихом линии AB и проводят дугу по скошенному краю шестого окошка (рис. 48, 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. 48, в). Аналогичные построения производят для точки D . Затем линейка прикладывается окнами вдоль линий AC , CD и DB , на которых по скошенным краям окон через 100 мм отмечаются штрихами промежуточные точки, через которые проводятся линии, образующие координатную сетку со сторонами малых квадратов 10 см (рис. 48, г).

Для построения координатной сетки размером 30×40 см построения выполняются аналогичным образом, но размеры ка-

тетов принимаются 30 и 40 см, а в качестве гипотенузы (диагонали) служит расстояние между первым и последним окнами линейки, равное 500 см

Контроль построения координатной сетки может быть осуществлен двумя способами. В первом способе линейка Дробышева укладывается сначала по диагонали большого квадрата, вершины малых квадратов должны лежать на одной прямой (прямая EF , рис. 49). Затем линейку укладывают по направлениям других диагоналей (прямая GH , рис. 49). 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.

При построении координатной сетки с помощью циркуля-измерителя по линейке проводят линии по диагоналям листа бумаги. От точки их пересечения циркулем вдоль линий откладывают произвольной длины равные отрезки. Полученные таким образом отметки соединяются прямыми, в результате получается прямоугольник, стороны которого делятся пополам. Полученные точки на противоположных сторонах соединяются прямыми, которые должны пройти через точку пересечения диагональных прямых. От середины каждой стороны измерителем с использованием поперечного масштаба откладываются отрезки длиной 10 см. Полученные точки на противоположных сторонах соединяются прямыми, в результате получается координатная сетка.

По типу линейки Дробышева изготовлена линейка ЛБЛ, при помощи которой строятся квадраты со стороной 8 см. Она позволяет построить сетки квадратов с максимальным общим размером 32×32 см, 40×40 см, 48×48 см. Делением каждого квадрата построенной сетки на две равные части можно получить сетку квадратов со стороной 4 см, используемую в картах масштаба 1 : 25 000.

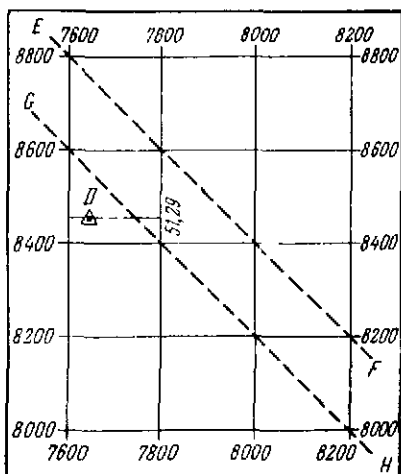


Рис. 49 Схема, объясняющая принципы нанесения точек по координатной сетке

Шаблон, используемый для построения координатной сетки представляет собой металлический лист с отверстиями, расположенными в вершинах квадратов. Через эти отверстия на бумаге иглой накалываются точки, которые затем соединяются прямыми линиями.

После построения координатной сетки она подписывается в соответствии со значениями координат пунктов, которые будут нанесены на план: абсциссы — слева и справа от координатной сетки, ординаты — сверху и снизу (см. рис. 49). Для нанесения вершины теодолитного хода на план определяют прежде всего квадрат, в котором находится точка, например, для точки D , координаты которой $x_D=8451,29$, $y_D=7642,58$ (см. рис. 49) является квадрат с координатами юго-западного угла $x_0=8000$, $y_0=7600$. После этого из координаты x_D точки вычисляют координату x_0 юго-западного угла квадрата. Разность $x_D-x_0=\gamma$, выраженную в масштабе плана, при помощи измерителя откладывают от южной стороны квадрата на его вертикальных сторонах. Полученные точки 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 последующих точек. Для контроля правильности нанесения точек в раствор измерителя по поперечному масштабу берут соответствующие горизонтальные проложения и сравнивают их с отложенными на плане. Если расхождение не более 0,2 мм, то точки нанесены правильно. Аналогичным образом определяется положение остальных точек теодолитного хода.

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.

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

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется теодолитной съемкой?
- 2 Как измеряют длины теодолитных ходов с использованием мерных лент?
- 3 Какова точность измерений?
- 3 Какие задачи решают при привязке теодолитных ходов?
- 4 Что представляет собой способ съемки подробностей методом прямых угловых координат, полярный, засечек?
- 5 По какой формуле определяют допустимую угловую невязку в теодолитном ходе?
- 6 Как распределяют допустимую угловую невязку в теодолитном ходе?
- 7 По какой формуле определяют абсолютную линейную невязку теодолитного хода?
- 8 Относительную невязку?
- 8 Какая величина относительной невязки является допустимой?
- 9 Каким образом допустимая линейная невязка распределяется в вычисленные приращения?
- 10 В чем заключается обратная геодезическая задача?
- 11 Как выполняют контроль правильности нанесения на план точек теодолитного хода?

Глава 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

§ 50 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Площади участков местности и залежей полезного ископаемого необходимо знать при решении большого количества инженерно-технических и планово-экономических задач. В зависимости от формы, размеров, значения измеряемой площади возможно применение нескольких способов определения площади, которые можно разделить на аналитические, графические и механические.

В аналитическом методе площади участков вычисляют или по результатам непосредственных измерений на местности длин линий и углов, или по координатам вершин полигонов. Этот метод наиболее точный, так как его погрешность определяется точностью полевых измерений, которая несравненно выше точности измерений, выполняемых непосредственно по плану. Относительная погрешность аналитического метода измерения площадей $1/1000$ — $1/2000$.

При графическом методе определяемая площадь на плане разделяется на элементарные фигуры (треугольники, трапеции и т. п.), измерения площадей которых не представляет труда. Этот способ менее точный, чем аналитический, его относительная погрешность определения площадей составляет $1/500$ — $1/1000$. К графическому способу также относят определение

площадей при помощи палеток, представляющие собой прозрачные листы, на которые нанесена система параллельных линий, квадратов или окружностей.

В механическом способе площади измеряются специальными приборами (планиметрами). Относительные погрешности измерения площадей механическим способом составляют $1/200—1/400$.

В ряде случаев для измерения площадей используются комбинации нескольких способов, например, площадь полигона вычисляется аналитическим способом, а площади участков, расположенных между линиями полигона и границей участка, определяются при помощи планиметра или палетки

§ 51. АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ

В аналитическом способе вычисление площадей производят с использованием формул геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии по измеренным в натуре углам и линиям. Например, площадь треугольника (рис 50, а) по формуле

$$p = 0,5 ab \sin \beta_2,$$

площадь четырехугольника (рис 50, б) по формуле

$$p = 0,5 (ab \sin \beta_2 + cd \sin \beta_4)$$

Если известны координаты x, y вершин замкнутого полигона (рис 50, в), то его площадь может быть определена из выражения площадей трапеции

$$p = p_{ABV_1A} + p_{B_1V_2C_1} + p_{A_1ADD_1} - p_{D_1DCC_1}$$

Предыдущее выражение позволяет получить формулу, площадь полигона в которой выражена через координаты его вершин.

$$p = 0,5 [(x_A + x_B)(y_B - y_A) + (x_B + x_C) \times \\ \times (y_C - y_B) - (x_A + x_D)(y_D - y_A) - \\ - (x_D + x_C)(y_C - y_D)],$$

которое легко приводится к виду

$$2p = (x_A - x_B)(y_B - y_A) + (x_B + x_C) \times \\ \times (y_C - y_B) + (x_C + x_D)(y_D - y_C) + \\ + (x_D + x_A)(y_A - y_D).$$

Закономерность, наблюдаемая в полученном выражении, может быть сформулирована следующим образом: двойная пло-

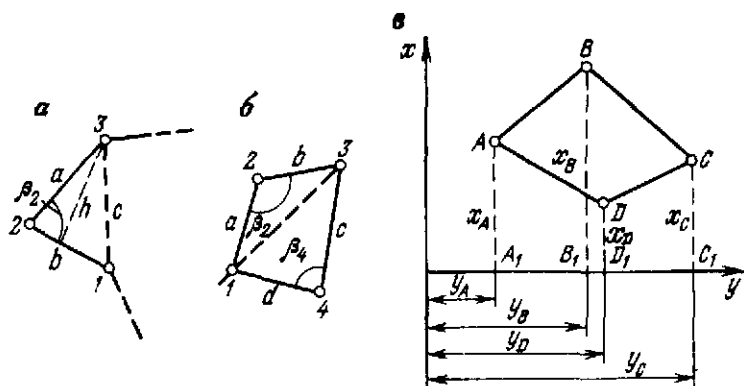


Рис 50 Схемы определения площадей аналитическими методами

щадь замкнутого полигона равна сумме столькох 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.

$$2p = \sum (x_k + x_{k+1})(y_{k+1} - y_k).$$

Ниже приведены значения координат x и y восьми вершин замкнутого полигона, для которого произведено определение площади по приведенной формуле:

Номер вершин	1	2	3	4
Координаты, м				
x	666,6	1110,0	1376,4	1493,6
y	242,6	110,6	232,5	333,5
Номер вершин	5	6	7	8
Координаты, м				
x	1312,5	1189,5	856,8	524,5
y	752,5	999,6	792,4	653,8

Таким образом,

$$p = 1776,6(-132,6) + 2486,4(122,5) + 2870,0(101,0) + \\ + 2806,1(419,0) = 2502,0(247,1) + 2046,3(-207,2) + 1381,3 \times \\ \times (-138,6) + 1191,1(-411,2) = 1047,6 \text{ тыс. м}^2, \text{ или } 104,76 \text{ га.}$$

Для определения площади по координатам вершин полигонов удобно использовать программируемые микрокалькуляторы. В табл. 15 приведена программа таких вычислений при помощи микрокалькулятора БЗ-34

Т а б л и ц а 15

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
00	С/П	50	15	x	12
01	П о	40	16	+	10
02	Сх	ОГ	17	$\overleftarrow{XV}$	14
03	П А	4—	18	$\rightarrow$	11
04	С/П	50	19	—	4—
05	С/П	50	20	ИП 1	61
06	С/П	50	21	ИП 2	62
07	П 1	41	22	FLO	5Г
08	С/П	50	23	06	06
09	П 2	42	24	ИП А	6—
10	$F\ominus$	25	25	2	02
11	x	12	26	ВП	ОС
12	ИП А	6—	27	4	04
13	$F\ominus$	25	28	$+$	13
14	$F\ominus$	25	29	С/П	50

Инструкция к программе

1. Нажать клавиши В/О, F, ПРГ.
2. Ввести команды программы.
3. Нажать клавиши F, АВТ.
4. Запустить программу, то есть нажать клавиши В/О, С/П.
5. Ввести n (число вершин многоугольника), нажать клавишу С/П.
6. Ввести x_1 , нажать С/П; ввести y_1 , нажать С/П.
Ввести x_2 , нажать С/П; ввести y_2 , нажать С/П; (идет счет)
- Ввести x_n , нажать С/П; ввести y_n , нажать С/П; (идет счет).
- Ввести x_1 , нажать С/П; ввести y_1 , нажать С/П; (идет счет).
7. Чтение искомой площади в га.

§ 52. ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ

В графическом способе измеряемая площадь разбивается на простейшие геометрические фигуры, преимущественно треугольники (рис. 51, а). Криволинейные фигуры, при этом, заменяются прямыми отрезками. В треугольниках измеряют высоту и основание, в прямоугольниках — две стороны, в трапециях — среднюю линию или основания и высоту. В табл. 16 показано определение площади фигуры, предварительно разбитой на шесть треугольников (см. рис. 51, а), в которых для контроля и повышения точности вычисления выполнены два раза по двум различным основаниям и высотам. Расхождение площади тре-

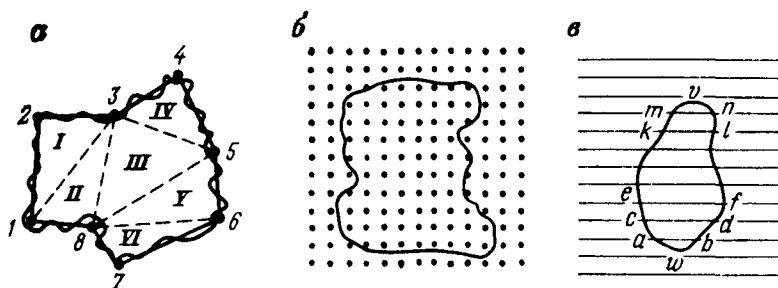


Рис. 51. Схема определения площади графическими способами

угольника в двух вариантах его вычисления не должно превышать величины

$$p = 0,05 \frac{M}{10\,000} \sqrt{P},$$

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

Погрешности графического способа определения площадей в значительной степени определяются неточностью измерения линий на плане, которая принимается равной 0,2 мм. Отсюда следует, что точность измерения площади зависит от масштаба плана: чем мельче масштаб, тем больше погрешность измерения.

Таблица 16

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

$p = 113,82$ га

ния длин и, следовательно, тем больше погрешность определения площади. Кроме того, в связи с тем, что относительная погрешность определения на плане короткой стороны больше, чем длинной, целесообразно короткие линии, принимаемые для подсчетов, определять полевыми измерениями. По этой же причине площади вытянутых участков имеют большие погрешности, чем площади участков равновеликих, невытянутых.

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

$$\delta = (l_0 - l)/l,$$

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

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

Для измерения площади точечная палетка (рис. 51, б), представляющая собой систему точек, расположенных в вершинах квадратов, произвольно накладывается на контур и подсчитывается количество точек, оказавшихся внутри контура. Определение повторяют при втором положении палетки, подсчитывается новое число точек палетки, заключенных внутри измеряемой площади. Находится среднее значение из результатов двух определений. Полученное число точек умножают на основание палетки, которое равно площади квадрата палетки, выраженной в масштабе плана. В результате получают площадь измеряемой фигуры. К примеру, пусть в результате первого положения палетки оказалось $n_1 = 75$ точек, второго — $n_2 = 77$, среднее значение $n = 76$ точек. При размере квадратов палетки 5×5 мм и масштабе плана $1 : 10\,000$ площадь основания равна $p = 2500$ м², откуда измеряемая площадь $P = pn = 2500 \cdot 76 = 190\,000$ м², или 19 га.

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

При использовании параллельных палеток, они накладываются на контур измеряемой площади (рис. 51, в) так, чтобы крайние точки u и w оказались посередине между параллельными линиями палетки. В этом случае контур будет расчленен-

ным на фигуры, близкие к трапециям, в которых все высоты h одинаковые, а отрезки $ab, cd, ef \dots kl, mn$ представляют средние линии трапеций.

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

$$\begin{aligned} p &= ab \cdot h + cd \cdot h + ef \cdot h + \dots + \\ &+ kl \cdot h + mn \cdot h \\ &= h(ab + cd + ef + \dots + kl + mn). \end{aligned}$$

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

§ 53. МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ. ПЛАНИМЕТР

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

Среди планиметров наибольшее распространение получили полярные планиметры (рис. 52), состоящие из двух рычагов — полюсного 3 и обводного 7. В нижней части груза 4 полюсного рычага имеется игла для крепления полюса к листу бумаги. Полюсный рычаг соединяется с обводным при помощи шарнира 10. На обводном рычаге расположены один или два счетных механизма. Обводной рычаг на своем конце имеет стекло 6 с обводным индексом (центр кружочка на стекле) и ручку для обводки 5. Каретка со счетным механизмом может перемещаться по обводному рычагу, за счет этого меняется его длина. Для точной установки необходимой длины обводного рычага используются шкала делений 8 на обводном рычаге, верньер 9, расположенный на каретке.

На рис. 52 показаны основной 1 и дополнительный 2 счетные механизмы, состоящие из счетного колесика 12, имеющего 100 делений, верньера 13 с десятью делениями, что позволяет делать отсчет до 1 : 1000 доли окружности счетного колесика. Ось счетного колесика соединена с циферблатом 11, регистрирующим полные обороты колесика. Отсчет по счетному меха-

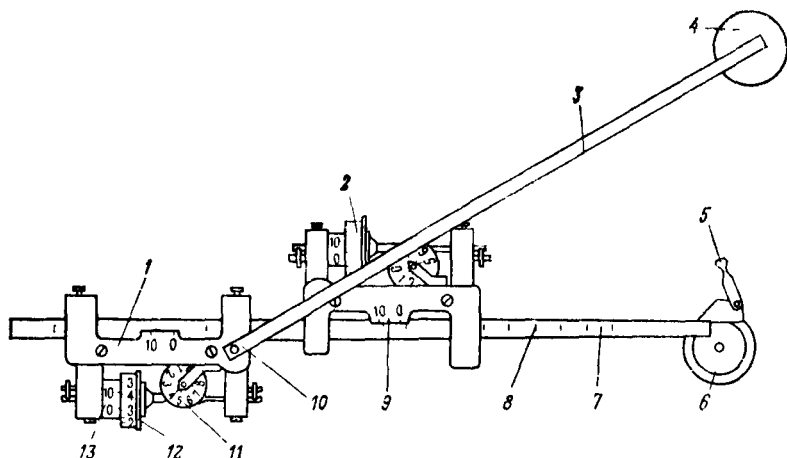


Рис 52 Планиметр полярный

низму, состоящий из четырех цифр, выполняется в следующей последовательности: отсчет по циферблату, затем две цифры по счетному колесу и номер совпадающего штриха верньера.

При определении площади планиметром возможны два случая: полюс планиметра помещен внутри или вне измеряемого контура. В обоих случаях обводной индекс устанавливают в какой-либо начальной точке, берут первоначальный отсчет по счетному механизму m_1 . Обводят обводным индексом контур измеряемой площади и возвращаются в начальную точку. По счетному механизму берут конечный отсчет m_2 . В том случае, если полюс планиметра расположен вне измеряемой площади, то разность в отсчетах $m = m_2 - m_1$ представляет собой величину площади, выраженную в делениях планиметра. Если полюс расположен внутри измеряемой площади, то к полученной величине должна быть добавлена постоянная планиметра q .

Зная цену деления планиметра c , т. е. величину площади, соответствующую одному делению планиметра, можно следующим образом написать формулы для определения площадей:

полюс планиметра расположен вне измеряемого контура

$$p = c(m_2 - m_1); \quad (44)$$

полюс планиметра расположен внутри измеряемого контура

$$p = c(m_2 - m_1) + q. \quad (45)$$

Измерения площадей выполняются двумя полуприемами, положение полюса между которыми изменяется. В каждом полуприеме измерения выполняются дважды, расхождения между ними не должны превышать при площади до 200 делений 2 де-

Т а б л и ц а 17

Отсчеты по счет- ному механизму	Разность отсчетов	Отсчеты по счет- ному механизму	Разность отсчетов
Полюс право		Полюс лево	
1885	2090	8223	2089
3675	2090	0312	2091
6065		2403	
Среднее из разностей отсчетов 2090			
Цена деления планиметра			
$c = 500\,000\text{ м}^2/2090 = 239,2\text{ м}^2/\text{дел}$			

ления, 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.

Для повышения точности измерений для случаев, когда полюс находится вне площади, полюс планиметра целесообразно разместить в таком месте, чтобы при обводе угол между обводным и полюсным рычагами был близок к 90° (не был больше 150° и меньше 30°).

Для определения цены деления планиметра c чаще всего используют квадрат со стороной 100 мм. Обводят его планиметром при двух положениях полюса: полюс право (ПП) и полюс лево (ПЛ); при каждом положении полюса площадь измеряется дважды. 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. 17.

Постоянная величина планиметра q может быть определена опытным путем, для чего некоторая площадь измеряется с положением полюса внутри площади и вне ее. Пусть в первом случае 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

$$q = c(m_2' - m_1') - c(m_2 - m_1).$$

В связи с тем, что цена деления планиметра зависит от радиуса счетного колесика, который у основного и дополнитель-

ного счетных механизмов может отличаться, цена деления счетных механизмов иногда не совпадает. При обводе фигур в таких случаях цену деления планиметра принимают как среднее арифметическое для обоих счетных механизмов.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие измерения используют при вычислении площадей аналитическим методом?
- 2 Какова точность графического метода определения площадей, механического метода определения площадей?
- 3 По какой формуле может быть вычислена поправка за деформацию бумаги?
- 4 Какие палетки для определения площадей Вы знаете?
- 5 Что такое цена деления планиметра?
- 6 Как определить цену деления планиметра?

Глава 11

НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 54. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Геометрическое нивелирование выполняется с помощью специальных приборов (нивелиров), позволяющих получать горизонтальную визирную ось, и вертикально устанавливаемых реек.

Применяют два метода геометрического нивелирования. из середины и вперед.

При определении превышения между точками A и B (рис. 53, a) методом из середины в точках A и B устанавливают отвесно рейки, а в середине расстояния AB — нивелир. Горизонтальную визирную ось нивелира наводят 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

$$h = a - b. \quad (46)$$

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. 53, b) 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. расстояние от центра окуляра до точки A , и бе-

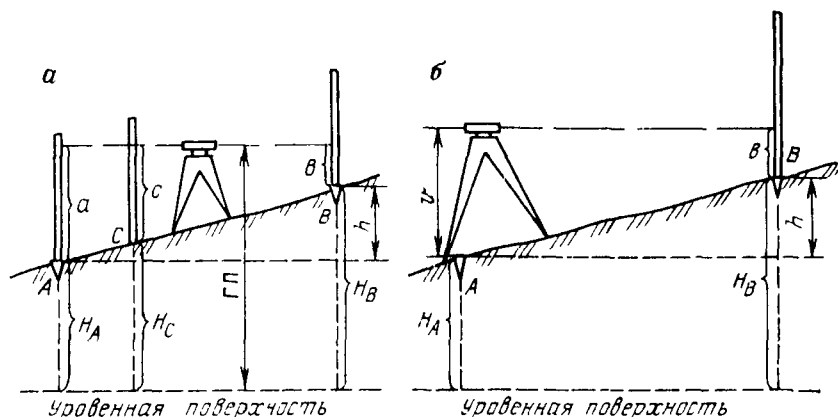


Рис 53 Схемы геометрического нивелирования

рут отсчет b по передней рейке. Превышение определяется из выражения

$$h = v - b, \quad (47)$$

т. е. превышение между двумя точками при нивелировании вперед равно высоте прибора минус отсчет по рейке.

Если высота точки A известна и измерено превышение между точками A и B (см рис. 53), то высота точки B может быть вычислена по формуле

$$H_B = H_A + h,$$

т. е. высота последующей точки равна высоте предыдущей точки плюс превышение между ними.

При геометрическом нивелировании высота точки может быть также получена через горизонт нивелира, под которым понимают отвесное расстояние от уровенной поверхности до горизонтального визирного луча нивелира. Из рис. 53, a видно, что горизонт нивелира равен высоте точки плюс отсчет по рейке, установленной на этой точке:

$$ГН = H_A + a \text{ или } ГН = H_B + b. \quad (48)$$

Для некоторой точки, находящейся внутри интервала AB , например C , (см рис 53, a) высота может быть определена с использованием горизонта нивелира, но для этого надо взять отсчет (в данном случае отсчет c) по рейке, установленной в точке C :

$$H_C = ГН - c, \quad (49)$$

т. е. высота точки равна горизонту нивелира минус отсчет по рейке, установленной на этой точке.

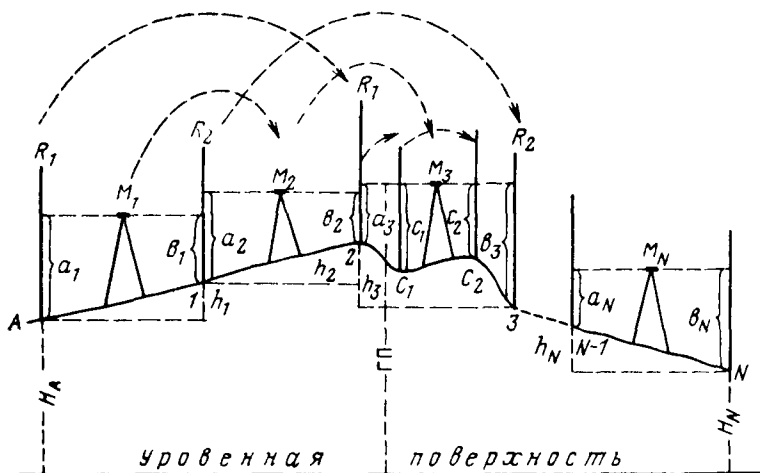


Рис 54. Схема сложного нивелирования

Определение превышений геометрическим нивелированием с одной установки нивелира (станции) возможно, если точки расположены на расстоянии 100—200 м и превышение между ними небольшое. В тех случаях, когда расстояние между точками значительное, необходимо вести последовательное нивелирование с ряда станций $M_1, M_2, \dots, M_N$ (рис. 54), называемое сложным нивелированием.

Нивелирование начинается со станции M_1 , где берут отсчет по задней рейке a_1 и отсчет b_1 по передней рейке. В результате получают превышение h_1 . Затем заднюю рейку R_1 из начальной точки A переносят в точку 2, рейку R_2 оставляют в точке 1, а нивелир устанавливают на второй станции M_2 , с которой берут отсчеты по рейкам a_2, b_2 . В том же порядке продолжают нивелирование со следующих станций вплоть до конечной точки B (на рис. 54 стрелками указан порядок переноса нивелира и реек с одной точки на другую). Отметим, что точка 1 при нивелировании со станции M_1 является передней, а при нивелировании со станции M_2 — задней. Также точка 2 при нивелировании со станции M_2 является передней, а со станции M_3 — задней. Точки, общие для двух смежных станций, называются связующими.

Если между связующими окажутся характерные точки, высоты которых необходимо определить (например, точки C_1, C_2 , рис. 54), то такие точки называют промежуточными (или плюсовыми), 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.

Согласно схеме, показанной на рис 54, превышения между связующими точками равны разности соответствующих отсчетов назад a_i и отсчетов вперед b_i . Если сложить превышения, полученные на станциях, то будет получено превышение конечной точки B над исходной точкой A :

$$h = \sum a_i - \sum b_i = \sum h_i,$$

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

$$H_1 = H_A + h_1;$$

$$H_2 = H_1 + h_2;$$

.....

$$H_B = H_{B-1} + h_B.$$

Высоту конечной точки можно вычислить сразу по сумме превышений хода

$$H_B = H_A + \sum h_i \text{ или } H_B = H_A + (\sum a_i - \sum b_i)$$

Погрешность определения превышений при геометрическом нивелировании обусловлена, главным образом, погрешностью отсчитывания по рейкам. Последняя же зависит от погрешности визирования и погрешности установки уровня. Погрешность за счет визирования определяют из выражения

$$m_v = \frac{60}{\Gamma \rho''} l,$$

где l — расстояние до рейки, $\rho'' = 206\,265''$; Γ — увеличение зрительной трубы. Погрешность отсчитывания, возникающая из-за неточности установки уровня определяют из выражения

$$m_\mu = \frac{1,15 \mu}{\rho''} l,$$

где μ — цена деления уровня.

Общая же погрешность отсчитывания равна

$$m_0 = \sqrt{m_v^2 + m_\mu^2}.$$

Таким образом, если принять увеличение зрительной трубы $\Gamma = 20\times$, расстояние до рейки 50 м, $\mu = 20''$, то средняя квадратическая погрешность отсчета по рейкам равна

$$m_0 = \sqrt{m_v^2 + m_\mu^2} = \sqrt{0,74^2 + 0,74^2} = 1,0 \text{ мм.}$$

Откуда средняя квадратическая погрешность превышения, определяемого нивелированием из середины, когда расстояние от нивелира до рейки 50 м

$$m = \sqrt{m_0^2 + m_0^2} = 1,4.$$

§ 55. ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ЗЕМЛИ И РЕФРАКЦИИ НА ТОЧНОСТЬ НИВЕЛИРОВАНИЯ

В предыдущем параграфе при рассмотрении способов геометрического нивелирования уровенная поверхность и луч визирования условно были приняты прямыми линиями. В действительности же, особенно при визировании на большие расстояния, необходимо учитывать кривизну земной поверхности и искривление визирного луча при прохождении через слои воздуха с различной плотностью, называемое рефракцией. Это обусловило необходимость введения поправок в определяемые превышения за кривизну Земли и рефракцию.

Пусть кривая AC (рис. 55) является уровенной поверхностью с радиусом приблизительно равным радиусу Земли. Если представить, что визирный луч, проходящий через точку O совпадает с кривой, параллельной уровенной поверхности, то отсчет по рейке, установленной в точке B , должен быть равен b . Если бы визирный луч шел по касательной в точке O к этой кривой, то отсчет по рейке был бы равен b_1 . Поскольку визирный луч проходит через атмосферу, плотность которой различна, он искривляется. Траектория такого луча называется рефракционной кривой. Пусть отсчет по рейке, соответствующей

такому лучу, равен b_2 . Из рис. 55 видно, что превышение точки B над точкой A определится следующим образом:

$$h = v - b = v + (b_2 + r - k),$$

где k — поправка за кривизну Земли; r — поправка за рефракцию.

Обозначив

$$k - r = f,$$

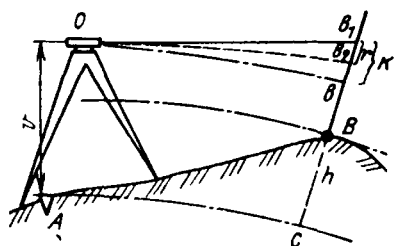


Рис. 55. Схема, объясняющая влияние на превышение кривизны Земли и рефракции

где f — поправка за кривизну Земли и рефракцию, получим

$$h - v = b_2 + f.$$

Поправку за кривизну Земли вычисляют по формуле (см. § 7):

$$\Delta h = k = l^2/(2R),$$

где R — средний радиус Земли; l — расстояние от нивелира до рейки.

Поправку за рефракцию можно выразить формулой

$$r = l^2/(2R_1),$$

где R_1 — радиус рефракционной кривой.

Принято, что $R_1 = 6R$, тогда

$$r = l^2/(12R) = k/6.$$

Общая поправка за кривизну Земли и рефракцию будет

$$f = k - k/6 = 0,42 l^2/R. \quad (50)$$

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.

Представим себе при нивелировании из середины визирную ось горизонтальной, а отсчеты по рейкам a и b . Если же визирная ось отклонится от горизонтального положения вследствие кривизны Земли и рефракции, то отсчеты по рейкам должны быть $a + f_a$ и $b + f_b$. Тогда превышение

$$\begin{aligned} h &= (a + f_a) - (b + f_b) = \\ &= (a - b) - (f_a - f_b). \end{aligned}$$

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.

§ 56. НИВЕЛИРЫ

В нашей стране нивелиры по точности подразделяются на следующие типы.

Высокоточные нивелиры для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 0,5 мм на 1 км двойного хода. Применяются преимущественно при нивелировании I и II классов в государственных геодезических сетях. К ним относится нивелир Н-05.

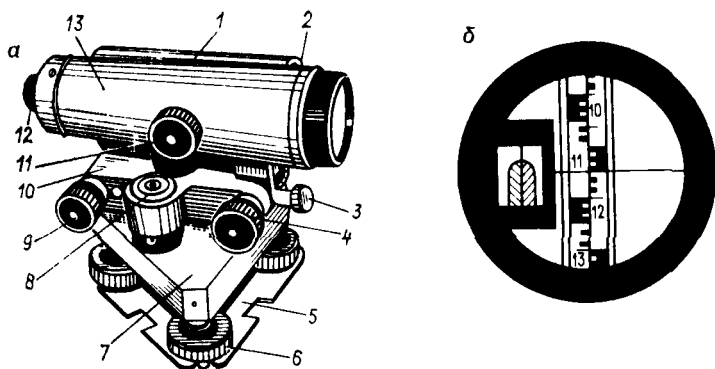


Рис 56 Нивелир Н-3

Нивелиры точные для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода. Применяются при нивелировании III и IV классов в инженерно-геодезических изысканиях. К ним относятся нивелиры Н-3, Н-3К, Н-3Л.

Нивелиры технические для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода. Применяются для обоснования топографических съемок в инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве. К техническим нивелирам относятся Н-10, 2Н-10Л, Н-10К, Н-10КЛ.

По способу установки визирной оси в горизонтальное положение современные нивелиры всех типов выпускаются в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. У нивелиров с компенсаторами к шифру добавляется буква К. Нивелиры Н-10 могут выпускаться с лимбом для измерения горизонтальных углов, в этом случае к шифру добавляется буква Л.

Нивелир Н-3 (рис. 56, 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, опорная 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. 56, 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 (рис. 57) представляет собой малогабаритный прибор, предназначенный для технического нивелирования.

Нивелир состоит из вращающейся части со зрительной трубой 9, цилиндрического уровня 8 с системой призм, круглого уровня 3, элевационного винта 4 и неподвижной части с горизонтальным кругом 7, закрепляемой непосредственно на шаровой головке 5 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 2 получают резкое изображение сетки, фокусирование изображения рейки осуществляют вращением головки 1.

Отсчеты по лимбу берут по индексу, расположенному в окне 6

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

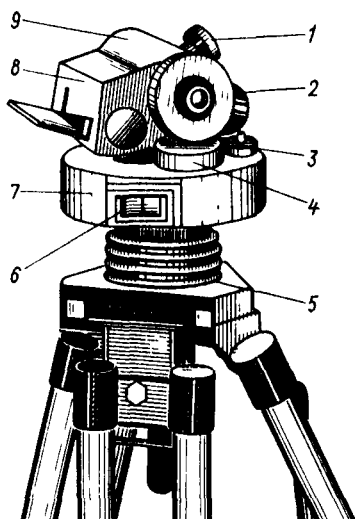


Рис 57 Нивелир Н-10Л

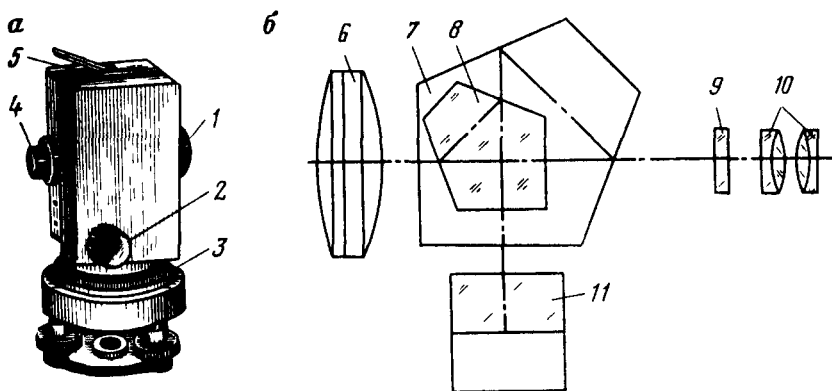


Рис 58 Нивелир Н-10КЛ

компенсаторов. В современных нивелирах компенсаторы работают в пределах от $\pm 6'$ до $\pm 40'$.

Нивелир Н-10КЛ (рис. 58, а) является прибором с самоустанавливающейся линией визирования и предназначен для выполнения технического нивелирования.

Зрительная труба 1 нивелира, 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 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 (рис. 58, б), попадает на отражающие грани большой пентапризмы 7, изменяет направление на 90° , после чего вступает на чувствительный элемент компенсатора. После двукратного отражения в призме 11 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 прямоугольной призмы выбрано так,

чтобы расстояние от главной задней плоскости до прямоугольной призмы было равно оптическому расстоянию от этой призмы до сетки нитей 9.

Фокусировка зрительной трубы осуществляется перемещением призмы 11 в вертикальной плоскости в специальных салазках при помощи головки 2 (см. рис. 58, а) фокусирующего устройства нивелира

Нивелир Н-ЗКЛ (рис 59) предназначен для производства нивелирования IV класса, а также для технического нивелирования. На станциях при расстояниях 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 1, цена деления которого $10'$.

Вращение зрительной трубы в горизонтальной плоскости производится от руки, более точное наведение осуществляется вращением бесконечного винта 2

Нивелир Н-ЗКЛ снабжен горизонтальным кругом 3, 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.

§ 57. ИСПЫТАНИЯ И ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ

Перед использованием нивелиров в полевых измерениях приборы должны быть осмотрены и проверены отдельные их части. Должны быть проверены качество изображения сетки нитей и фокусировки зрительной трубы, плавность движения при вращении подъемных винтов, наводящего и элевационного винтов. К испытаниям относятся определение увеличения зрительной трубы и цены деления уровня.

У нивелиров всех типов перед полевыми работами должны быть проверены следующие условия

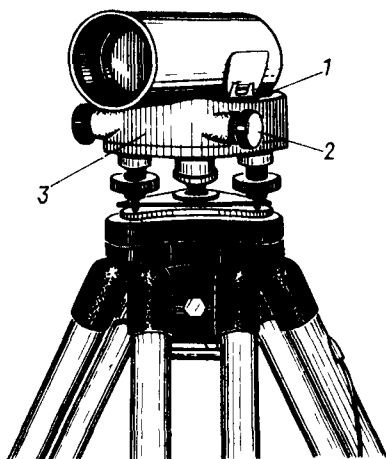


Рис 59 Нивелир Н-ЗКЛ

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. После этого нивелир поворачивают на 180°, и если пузырек опять сместился с середины, исправление повторяется.

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 вертикальной нити. После ее установки закрепляют средний, а затем верхний и нижний винты оправы сетки, а также окулярную часть трубы.

Визирная ось зрительной трубы у нивелиров с цилиндрическим уровнем должна быть параллельна оси цилиндрического уровня или визирная ось должна быть горизонтальной у нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования. Это условие является главным у нивелиров, и его поверка может производиться двумя способами.

Первый способ — нивелирование вперед, при котором поверку выполняют двойным нивелированием методом вперед точек *A* и *B*, расположенных на расстоянии 50—70 м одна от другой, их закрепляют колышками. Над одной из точек, например *B*, ставят рейку, а над другой (точкой *A*) устанавливают нивелир (рис. 60, *a*). 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. 60, *b*) 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

$$a'_1 = a_1 + x; \quad a'_2 = a_2 + x.$$

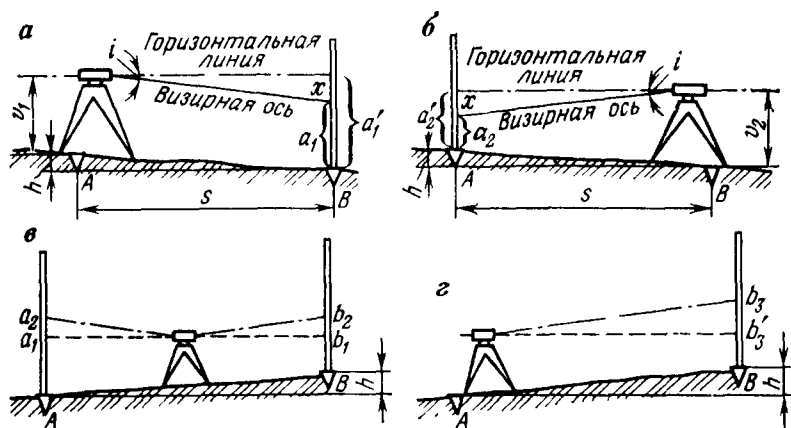


Рис. 60 Схема проверки основного условия нивелиров

Обозначив превышение точки B над точкой A через h , из рис. 60 получим

$$h = v_1 - a'_1 = v_1 - a_1 + x$$

и

$$h = a'_2 - v_2 = a_2 + x = v_2,$$

откуда

$$x = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

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

$$i'' = \frac{[(v_1 + v_2) - (a_1 + a_2)] \rho''}{2s},$$

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.

Если значение угла i получилось более $10''$, то исправляют непараллельность осей следующим образом. Горизонтальную нить сетки элевационным винтом устанавливают на отсчет

$$a_2 + si/\rho''$$

по рейке, установленной в точке A , или на отсчет

$$a_1 + si/\rho''$$

по рейке, установленной в точке B . Затем, действуя юстировочными винтами уровня, совмещают изображение концов пузырька уровня.

При проверке нивелиров с компенсаторами для исправления негоризонтальности линии визирования у нивелира, установленного в точке B (или A), пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт. Затем, действуя исправительными винтами сетки нитей, устанавливают визирную ось на правильный отсчет a'_2 (или a'_1). После этого проверка повторяется.

Второй способ включает в себя нивелирование одного и того же превышения способами из середины и вперед. Для этого на равных расстояниях от точек устанавливают нивелир, в точках A и B ставят рейки и берут по ним отсчеты (рис. 60, в). Если визирная ось параллельна оси уровня, то $h_1 = a_1 - b_1$, если непараллельна, то $h_2 = a_2 - b_2$. 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 превышение h .

Затем эти же точки нивелируют методом вперед, для чего нивелир устанавливают над одной из точек, например, точкой A (рис. 60, г). В этом случае превышение вычисляется из выражения

$$h_3 = v - b_3,$$

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 превышение h , полученное методом из середины, и высоту нивелира v , вычисляют правильный отсчет по рейке, установленной в точке B , по формуле

$$b'_3 = v - h$$

и, действуя элевационным винтом для нивелиров с цилиндрическим уровнем, устанавливают визирную ось на отсчет b'_3 . Затем, действуя исправительными винтами цилиндрического уровня, совмещают изображение концов пузырька уровня.

У нивелиров с компенсатором при положении прибора в точке A (см. рис. 60, г) приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт, а исправительными винтами сетки нитей устанавливают визирную ось на правильный отсчет b'_3 . После исправления нивелира проверка повторяется.

§ 58. НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ

При техническом нивелировании применяются двусторонние шашечные рейки, изготавливаемые из дерева или пластмассы. Они бывают складные или цельные длиной 3—4 м. В поперечном сечении рейкам придают двутавровую форму, за счет чего повышается их прочность. Сверху рейки покрывают белой краской, концы окочивают металлическими пластинками.

На рейки наносят деления, цена делений реек для технического нивелирования 10 мм. Счет делений ведется от нижнего конца. Для упрощения отсчетов по рейкам начало каждого дециметра обозначают чертой. С этой же целью первые пять делений каждого дециметра отображают в виде буквы Е (рис. 61). Дециметры подписываются арабскими цифрами в перевернутом виде для удобства отсчитывания при применении приборов со зрительными трубами, дающими перевернутое изображение. Сантиметровые деления с одной стороны рейки окрашиваются черной, с другой — красной краской. На черных сторонах каждой пары реек нулевой 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 определения превышений на станции (превышения, полученные по черным и красным сторонам реек, должны последовательно отличаться на +100 или —100 мм).

Отсчеты по рейкам при техническом нивелировании берут по среднему штриху сетки нитей в миллиметрах, оценивая доли сантиметра — миллиметры на глаз.

Рейки устанавливают на головки башмаков (рис. 62, а), костылей (рис. 62, б) или верх кольев. При техническом нивелировании применяют рейки без уровней. В этом случае при визировании на рейку ее медленно покачивают

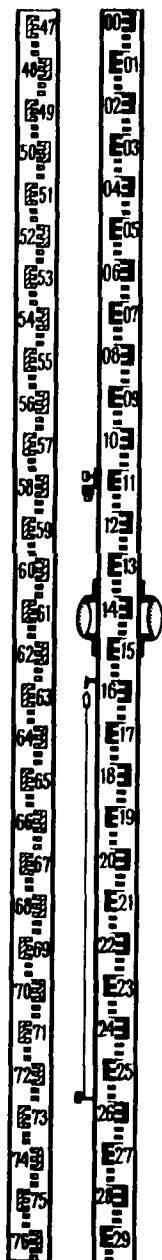


Рис. 61. Нивелирные рейки

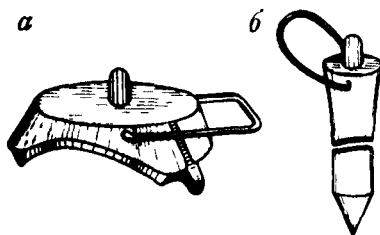


Рис 62. Переносные фиксаторы установки рейки
а — башмаки, б — костыли

вдоль линии визирования. Наименьший отсчет соответствует отвесному положению рейки. При отсчетах менее 1000 мм рейку не покачивают.

Исследования реек, применяемых при производстве технического нивелирования, заключаются в следующем: определяют случайные погрешности дециметровых делений, средней длины метра и разность 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.

§ 59 ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Техническое нивелирование выполняется при изысканиях сооружений, а также для определения высот пунктов съемочного обоснования топографических съемок.

При изысканиях линейных сооружений (дорог, трубопроводов, каналов и т. п.) нивелирование осуществляется по предварительно намеченной линии, представляющей собой ось сооружения. В результате составляется профиль местности по этой линии, используемой для проекта. Такой вид нивелирования называют продольным, или нивелированием трассы. Если для инженерных целей необходимо знать характер рельефа на участке, где в дальнейшем будет вестись строительство сооружений, размещенных на обширной площади, то выполняется нивелирование поверхности. Оно может быть осуществлено или при помощи теодолитных и нивелирных ходов с разбивкой поперечников, или при помощи нивелирования по квадратам. 11

Техническое нивелирование производится нивелирами типа Н-10 и двусторонними или односторонними рейками. 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 прибора, не должна превышать 5 мм. Невязка превышений в замкнутых полигонах и невязки в ходах между реперами высших классов не должны быть более

$$f_{\text{доп}} = 50 \sqrt{L}, \text{ мм},$$

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

$$f_{\text{доп}} = 10 \sqrt{n}, \text{ мм},$$

где n — число штативов (станций) в ходе

§ 60. ВЫБОР И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТРАССЫ НА МЕСТНОСТИ

Комплекс геодезических работ по выбору и закреплению трассы на местности носит название трассирование, в результате которого закрепляют на местности осевую линию линейного сооружения.

Вначале трассирование выполняется по топографической карте, на которую наносят проектное положение сооружения, при этом учитываются требования, предъявляемые техническими особенностями сооружений: при проектировании железных 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.

Полевое трассирование включает в себя вынос трассы в натуру, разбивку пикетов, разбивку кривых, вынос пикетов на кривую.

Измерения и расчеты, выполняемые с обозначением на местности названных точек, называют разбивкой 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 кольями, забиваемыми вровень с землей, и «сторожками» — кольями, на которых подписывается номер пикета. Пикеты номеруют 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 сторожкой, 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 оси трассы на расстоянии 10 м от плюсовой точки ПКЗ+40. Длина поперечного профиля чаще всего бывает по 20—25 м в обе стороны от оси трассы. При разбивке трассы ведется пикетажный журнал (рис. 63), в который заносят пикеты и 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. 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. 64). Точки касания кривой с прямолинейными участками трассы называются началом кривой (НК) и концом кривой (КК), середина кривой обозначается СК. Указанные три точки НК, КК, СК называются главными точками кривой.

Криволинейный участок трассы короче соответствующего ему участка, состоящего из двух прямых отрезков. Разность между ломаной и кривой обозначается буквой Д и называется домером.

Домер учитывается при разбивке пикетажа. После определения величины домера пикетаж на трассе изменяется, для чего положение одного из пикетов сдвигают по направлению трассы на величину домера Д.

Для разбивки на местности главных точек кривой (НК, КК, СК) должны быть известны шесть элементов кривой: угол поворота трассы φ , радиус кривой R , тангенс T , представляющий длину касательной $AB=BC$ (см. рис. 64), кривая K (длина кри-

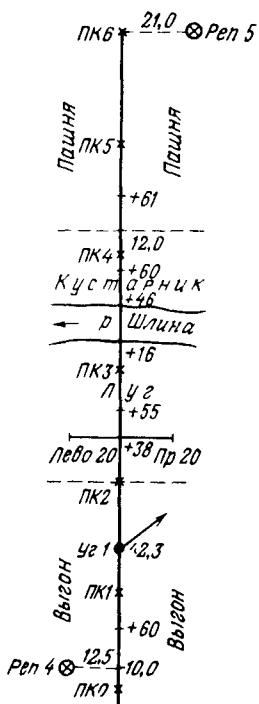
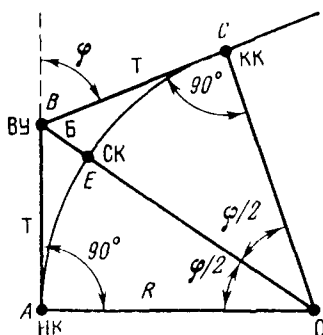


Рис. 63 Пикетажный журнал

Рис. 64 Основные элементы кривой



вой АЕС), домер Д и биссектриса Б, представляющая собой отрезок ВЕ по направлению биссектрисы угла ABC от точки В до Е.

Угол поворота трассы измеряется в поле, радиус кривой определяется по техническим нормативам, остальные элементы могут быть вычислены по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \varphi/2; \quad K = \varphi R/180^\circ;$$

$$Д = 2T - K; \quad Б = R (\sec \varphi/2 - 1)$$

или определены по специальным таблицам для разбивки кривых (например, В. Н. Ганшин, Л. С. Хренов «Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых»).

Для разбивки на местности главных точек от угла поворота, называемого вершиной угла (ВУ), откладывают по трассе величину тангенса Т. назад по трассе получают точку НК; вперед по трассе — точку КК. Середину кривой (СК) отмечают, откладывая по направлению биссектрисы угла $180^\circ - \varphi$ величину Б (см. рис. 64).

Вынесение пикетов на трассу производят способом прямоугольных координат, где за ось x принимают линию тангенсов, а за ось y — перпендикуляр к ней. Пикеты, расположенные на

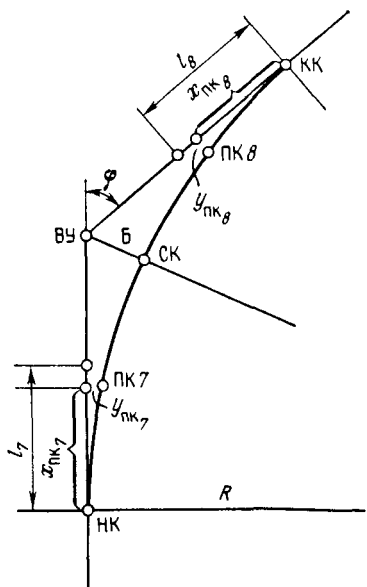


Рис. 65 Схема переноса пикетажа на кривую

линии тангенсов до вершины угла поворота, выносят от начала кривой, а после вершины угла поворота — от конца кривой.

Пусть на тангенсах кривой (рис 65) 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.

Причем тангенс АВ за ось x , а радиус R , перпендикулярный к нему, за ось y . Это позволяет получить координаты x и y пикета на кривой по формулам

$$x = R \sin \gamma; \quad y = R(1 - \cos \gamma),$$

$$\text{где} \quad \gamma = 180^\circ \frac{l}{\pi R}.$$

От начала кривой (НК) откладывают значение x , определенное для пикета 7, от полученной точки восставляют перпендикуляр, по которому откладывают значение координаты y пикета 7 ($y_{ПК7}$). Таким образом, получается положение пикета на кривой. Аналогичным образом поступают с ПК8.

§ 61. НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ

После разбивки пикетажа выполняется нивелирование по всем пикетам, плюсовым точкам и точкам поперечных профилей. При этом ход технического нивелирования привязывается к реперам, находящимся в начале и конце хода (например, реперам 4 и 5, см. рис. 63). При нивелировании трассы пикеты являются связующими точками, все остальные точки (плюсовые, поперечных профилей) — промежуточными. При нивелировании нивелир устанавливают примерно на середине между связующими точками и, как правило, вне их створа. Последовательность работ на станции показана в §§ 54 и 59. Результаты нивелирования заносят в журнал (табл. 18), в котором последовательность выполнения операций показана цифрами в круглых скобках.

Запись отсчетов по рейкам на связующих точках и исходных реперах помещают в колонках 3 и 4, причем, в начале от-

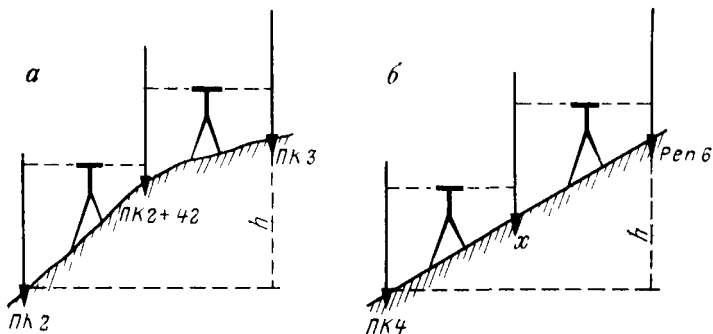


Рис 66 Связующие точки — иксовые

счета по черной стороне рек (1), (3), затем по красной стороне (2), (4). После этого в поле вычисляют контрольные разности отсчетов по красной и черной сторонам (5), (6).

Отсчеты на промежуточных точках выполняются только по черной стороне рейки и записываются в столбце 5, табл. 18.

При нивелировании крутых скатов, когда превышение между пикетами больше длины рейки, вместо одной делают две или больше станций с дополнительными связующими точками, называемыми иксовыми (рис. 66, б), причем, в качестве иксовых точек могут выступать промежуточные точки (рис. 66, а).

Обработка журнала включает проверку вычислений полевых измерений на каждой станции и выполняется в следующей последовательности:

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 рек: $-7265(15) = \Sigma(7) + \Sigma(8)$;

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 $(19) = (15) \cdot 2 = (17)$ 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: $-7265(15) - 100 = -7165(18)$. 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 $[\Sigma(15) + 98] : 2 = (19) = \Sigma(17)$.

Таблица 18

Номер станции	Номера пикетов и плюсовых точек	Отсчеты по рейке, мм			Превышения, мм
		задней	передней	промежуточной	
1	Реп. 4	1243	2328		—1085
		<u>6008</u>	<u>7195</u>		<u>—1187</u>
	0	4765	4876		+102
2	0	0728 (1)	1392 (3)		—664 (7)
		<u>5597 (2)</u>	<u>6158 (4)</u>		<u>—561 (8)</u>
	1	4869 (5)	4766 (6)		—103 (9)
	+57			0384 (10)	
3	1	0639	2395		—1756
		<u>5406</u>	<u>7260</u>		<u>—1854</u>
	2	4767	4865		+102 (12)
	Поперечник				
	1				
	+71			0932	
4		2439	0935		+1504
		<u>7306</u>	<u>5706</u>		<u>+1600</u>
	+42	4867	4771		—96
5	+42	0738	2319		—1581
		<u>5502</u>	<u>7183</u>		<u>—1681</u>
	3	4764	4864		+100
Постраничный контроль		35 606 (13)	42 871 (14)		7265 (15)
		<u>42 871 (14)</u>			<u>+100</u>
		—7 265 (16)			—7165 (18)
6					—3582 (19)
	3	1136	2575		—1439
		<u>6006</u>	<u>7341</u>		<u>—1335</u>
	X	4870	4766		—104

Средние превышения, мм	Горизонт нивелира, м	Высоты точек, м	Номера пикетов и плюсо- вых точек	Примечание
+3 <u>—1086</u> —0,083		193,715 192,632	Реп 4 0	
+2 <u>—662 (11)</u> —0,660	193,360	 191,972 192,976	 1 +57	
+2 <u>—1755</u> —1,753	192,511	 190,219 191,579 189,840 189,706 189,718	2 +71 +7П +20П +21П	Нивелир НЗ № 21194 Рейки двусторонние Разность высот нулей красной и черной сторон реек: № 1 = = 4768 мм, № 2 = 4868 мм
+2 <u>+1502</u> +1,504		190,219 191,723	2 +42	
+2 <u>—1,519</u> —1,579		191,723 190,144	+42 3	
—3582 (17)				
+2 <u>—1437</u> —1,435		199,197 197,762	3 X	

Номер станции	Номера пикетов и плюсовых точек	Отсчеты по рейке, мм			Превышения, мм
		задней	передней	промежуточной	
7	Х	2493	0676		+1817
		7262	5543		+1719
		4769	4867		+98
	Реп 5				
Подсчет по ходу от реп 4 до реп 6		143 475 (13)		131 948 (14)	+11 527 (15)
		131 948 (14)			+98
		+11 527 (16)			+11 625 (18)
					+5812 (19)

Разность высот исходных пунктов $H_K - H_N = 199,582 - 193,715 = +5,867$ м.

Допустимая невязка $f_{\text{доп}} = 50 \sqrt{1,8} = 65$ мм.

Допустимую невязку в мм определяют по формуле $f_{\text{доп}} = 50\sqrt{L}$, где L — длина трассы в км от репера 4 до репера 5.

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 нивелира (ГН) по формуле

$$H_i = \text{ГН} - c_i,$$

где H_i — отметка промежуточной точки; c_i — отсчет по рейке на промежуточной точке.

§ 62. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

Построение профиля трассы (рис. 67) производится на миллиметровой бумаге в двух различных масштабах. Вертикальный масштаб крупнее, обычно в десять раз, что позволяет детальнее

Средние превышения, мм	Горизонт нивелира, м	Высоты точек, м	Номера пикетов и плюсовых точек	Примечание
+2		197,762	Х	
<u>+1818</u>				
+1,820		199,582	Реп 5	
	+5813 (17)			

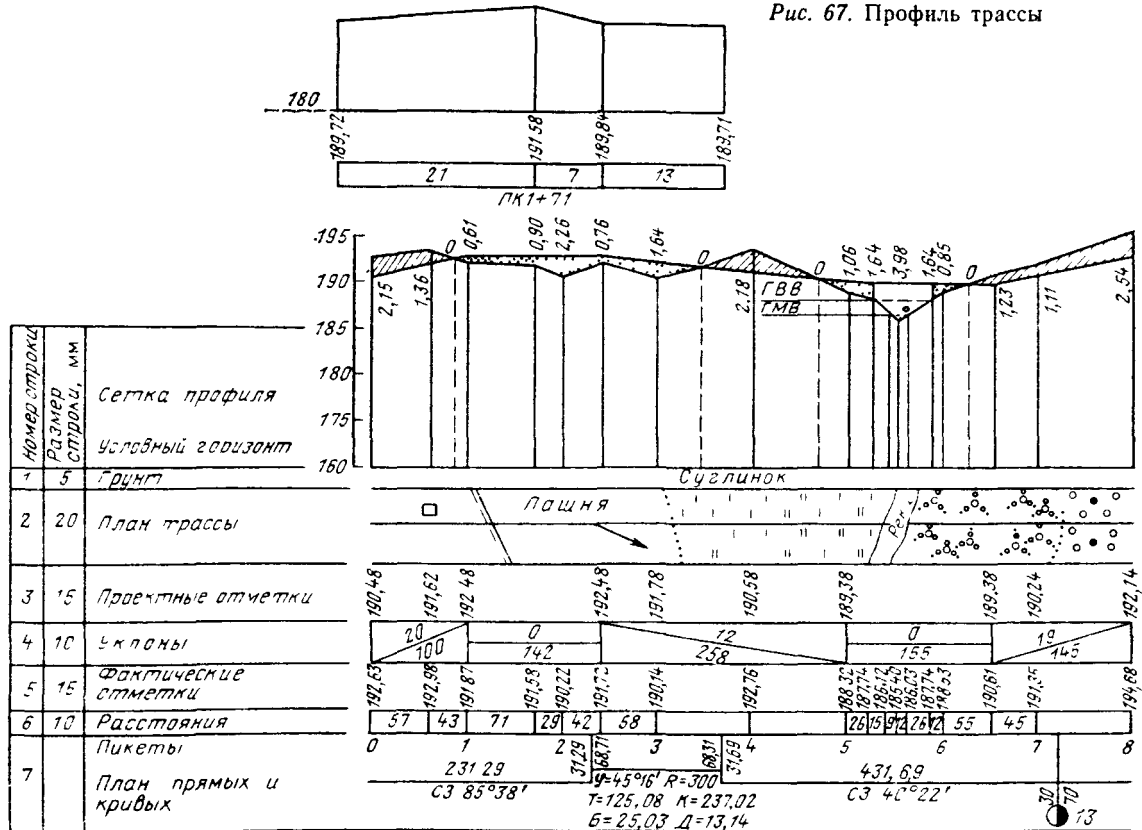
Полученная невязка хода $f = \sum h_{\text{ср}} - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}) = 5813 - 5867 = -54$ мм

Поправка в превышение $\delta = \frac{54}{25} \approx +2$ мм

показать профиль Поперечники, расположенные выше продольного профиля, строятся в одном масштабе.

Начинается построение профиля трассы с прочерчивания линии условного горизонта, от которого откладываются высоты точек. При этом условный горизонт должен быть выбран таким образом, чтобы самая низкая точка профиля находилась выше этого горизонта не менее чем на 3 см. Ниже линии условного горизонта прочерчивают ряд параллельных линий, ограничивающих строки профиля, характеризующие различные его показатели. В строке 1 отмечают характеристику грунта. Ниже (графа 2) показывается план трассы. В строке 6 (расстояния) в заданном горизонтальном масштабе откладываются вначале пикеты, а затем плюсовые точки; подписываются расстояния между пикетами и плюсовыми точками, под нижней линией строки 6 — номера пикетов. В строку 7 (фактические отметки) из журнала нивелирования выписываются вычисленные отметки пикетов и плюсовых точек, округленные до 0,01 м. В строке 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 до конца кривой проводятся перпендикуляры до нижней линии строки 6 и вдоль перпендикуляров по обеим сторонам подписываются расстояния до ближайших пикетов. Внутри дуги кривой выписыва-

Рис. 67. Профиль трассы



ются значения угла поворота ВУ, радиуса R, тангенса Т, биссектрисы Б, длины кривой К и домера Д. Над серединой каждой прямой вставки по данным координатной ведомости подписывают ее длину, а под ней — румб направления.

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.

От линии условного горизонта из точек трассы восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают в вертикальном масштабе ординаты, равные разности высоты данной точки и высоты условного горизонта. Соединив последовательно все нанесенные точки прямыми линиями, получают профиль трассы.

Профиль трассы в дальнейшем используют для нанесения проектной линии (оси трассы) будущего объекта (дороги, канала и т. п.). При построении проектной линии руководствуются заданными или допустимыми уклонами проектной линии, которые показывают отношение превышения h между точками к горизонтальному проложению s между ними. Таким образом,

$$i = h/s.$$

Для нанесения проектной линии на фактический профиль кроме уклонов должна быть задана отметка начальной точки.

Проектную линию намечают таким образом, 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.

Отметки проектной линии вычисляют по формуле

$$H_i = H_{i-1} + is,$$

где H_i — проектная отметка конечной точки отрезка; H_{i-1} — проектная отметка начальной точки этого отрезка; i — проектный уклон данного отрезка; s — горизонтальное проложение отрезка между точками i и $i-1$. По приведенной формуле 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 строку 3 (проектные отметки). На горизонтальных уча-

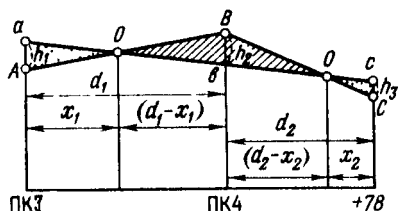


Рис. 68 Схема определения точек нулевых работ

ствах отрезка проектной линии отметки подписывают только в начале и конце отрезка. В строке 4 (см. рис. 67) проектную линию показывают в виде диагонали прямоугольника. При положительном уклоне диагональ проводится слева вверх направо, а при отрицательном уклоне — слева вниз. На горизонтальных уча-

стках проектную линию проводят посередине строки 4. На проектных линиях строки 4 в виде дроби подписывают уклоны в тысячных долях единицы и длину проектной линии (горизонтальное проложение) на данном участке.

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).

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, например, ПК3 (рис. 68) или расстояние x_2 до ближайшей плюсовой точки (например, +78, см. рис. 68) по формулам

$$x_1 = \frac{d_1}{h_1 + h_2} h_1; \quad x_2 = \frac{d_2}{h_2 + h_3} h_3,$$

где ABC — линия профиля местности; abc — проектная линия; aA — рабочая отметка (насыпь) на ПК3; bB — рабочая отметка (выемка) 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

$$H_0 = H_{\text{ПК3}} + ix_1.$$

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.

Профиль трассы вычерчивают черной тушью, красной тушью обозначают проектные линии продольного и попереч-

ного профиля; 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. 67). Эти линии проводят толщиной 0,5 мм.

§ 63. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Нивелирование поверхности выполняют для составления топографических планов участков местности в крупном масштабе 1:500—1:5000 с высотой сечения не более 0,25—0,5 м, используемых для проектирования инженерных сооружений. В зависимости от местности нивелирование может быть выполнено либо по вершинам квадратов, построенных на местности, либо по магистралям, либо по параллельным линиям.

Нивелирование поверхности по квадратам. Этот способ применяют на открытой местности со слабо выраженным рельефом. В нем съемка выполняется в точках, являющихся вершинами разбиваемых на местности квадратов. В зависимости от особенностей рельефа, масштаба и назначения съемки длина сторон квадратов может быть от 10 до 200 м. Вершины квадратов отмечают забитыми вровень с землей кольями и сторожками, на которых отмечают номера вершин квадратов.

Для построения сетки квадратов используют теодолит и ленту (или дальномер). Вначале строят сетку больших (основных) квадратов со стороной 100—400 м. Внутри основных разбивают заполняющие квадраты. Во время разбивки квадратов ведут журнал-схему, где показывают особенности ситуации, а в дальнейшем записывают отсчеты по рейкам и вычисленные высоты вершин.

Порядок нивелирования квадратов определяется их размерами. Если стороны квадратов 100 и более метров нивелируют отдельно каждый квадрат, при меньших размерах с одной станции нивелируют несколько квадратов.

При квадратах со стороной 100 и более метров нивелируют в первую очередь квадраты, расположенные по периферии участка (квадраты с 1 до 14, рис. 69). Для нивелирования вершин, расположенных внутри, достаточно использовать не все квадраты, а через один.

Нивелир в каждом квадрате устанавливают приблизительно в его центре и берут отсчеты по рейке, установленной на всех

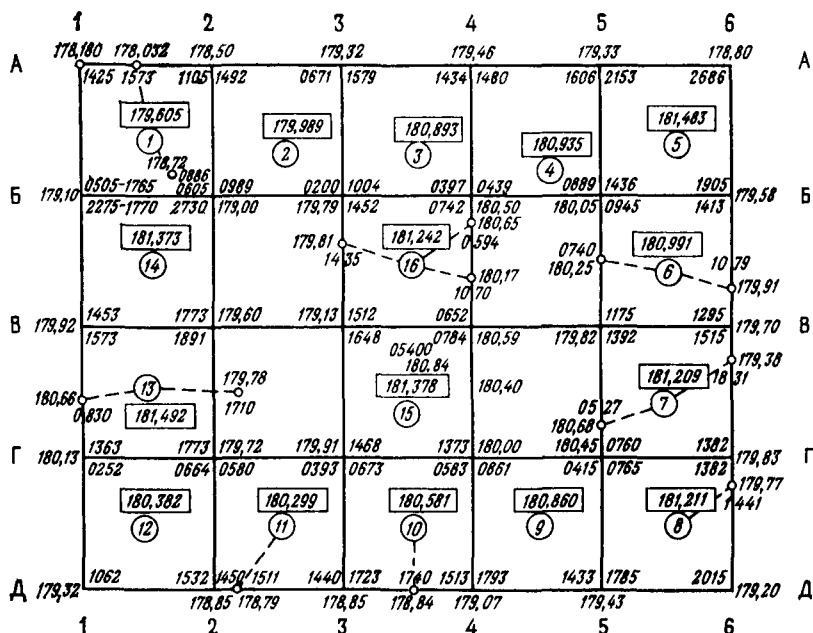


Рис. 69. Журнал-схема нивелирования по квадратам со сторонами более 100 м

четырёх вершинах, затем в характерных (плюсовых) точках. Отсчеты записывают около соответствующих вершин.

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. 69). Пусть на вершине Г—4 получены отсчет a со станции 10 и a' со станции 9 и на вершине Д—4 соответственно b и b' . Превышение между вершинами равно

$$h = b - a \text{ и } h = b' - a'.$$

Если эти выражения приравнять $b - a = b' - a'$, то их легко можно преобразовать к виду

$$b + a' = b' + a.$$

Таким образом, контролем полевых измерений служит равенство сумм накрест лежащих отсчетов. В рассмотренном выше случае $a = 0583$, $b = 0861$, $a' = 1513$, $b' = 1793$, суммы накрест лежащих отсчетов соответственно равны 2374 и 2376. Допустимым считают расхождение, не превышающее 4 мм.

В тех случаях, когда используются квадраты с небольшими сторонами, с одной станции прибора нивелируются несколько квадратов. Для этого в пределах участка, на котором разбита

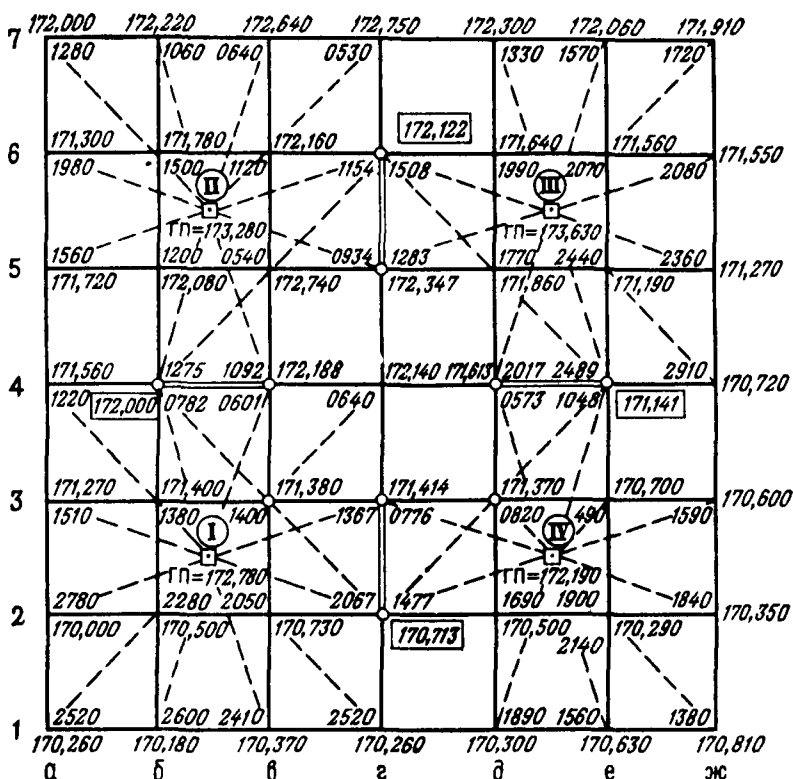


Рис. 70. Журнал нивелирования по квадратам с небольшими сторонами

сетка квадратов, прокладывают нивелирный полигон (рис. 70), в котором некоторые вершины принимаются за связующие точки (например, б—4, в—4, г—2, г—3, 2—5, 2—6, д—4, е—4 на рис. 70), остальные — промежуточные.

Нивелирование ведется со станций таким образом, чтобы были охвачены все вершины прямоугольников (направления визирования со станций показаны штрих-пунктирными линиями), при этом некоторые общие стороны квадратов нивелируются с разных станций, что позволяет выполнять полевой контроль измерений.

Контроль отсчетов на станциях осуществляется только на связующих точках по правилу равенства сумм накрест лежащих отсчетов.

После проведения полевых измерений выполняют обработку нивелирного хода. На схеме рис. 70 он показан пунктирной линией и включает вершины б—4, г—6, е—4 и г—2, причем за

Таблица 19

Номер вершины квадрата	Превышение, м		Высота, м
	вычисленное	увязанное	
Б-4	+1 +0,121	+0,122	172,000
Г-6	+2 -0,983	-0,981	172,122
Е-4	+1 -0,429	-0,428	171,141
Г-2	+2 +1,285	+1,287	170,713
Б-4			172,000
	+1,406 -1,412	+1,409 -1,409	
	$f = -0,006$	$f_{\text{доп}} = 50 \cdot 0,46 = 34 \text{ мм}$	

начальную точку принята вершина б—4 с отметкой 172,000 м. В табл. 19 выполнено уравнение нивелирного хода и вычисление высот связующих точек.

Отметки плюсовых точек определяют через горизонт нивелира.

Нивелирование поверхности с применением магистралей выполняют при выраженном рельефе местности с использованием теодолитных и нивелирных ходов, прокладываемых по характерным точкам рельефа на водоразделах и водотоках.

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 поперечные сечения, длина которых не должна быть больше 300 м для масштабов 1:500 и 1:1000 и 500 м для масштаба 1:200. Вдоль поперечных сечений 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.

Нивелирование по параллельным линиям выполняют на местности, покрытой лесом или высоким кустарником, в которых прорубают просеки. Для разбивки параллельных линий на местности прокладывают магистраль (I—II, рис. 71), закрепляемую плановыми и высотными пунктами. Перпендикулярно к магистрали разбивают поперечные сечения (NP, RQ, ST и т. д.), расстояние между которыми зависит от масштаба съемки и особенностей местности. Так, для масштаба 1 : 2000 это расстояние принимают 30—40 м. По каждому поперечному сечению разбивают пикетаж. При необходимости разбивают поперечные сечения второго порядка ($a—a'$, $b—b'$, рис. 71).

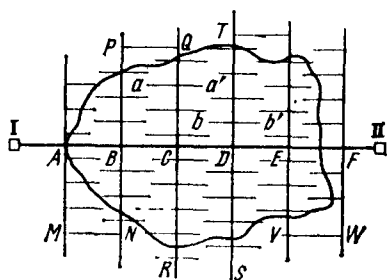


Рис 71. Схема нивелирования способом параллельных линий

Нивелирование магистралей выполняют в прямом и обратном направлениях, поперечные сечения — одиночными ходами. По поперечным сечениям нивелирный ход начинают от магистрали или его конца. В точке *B* привязывается к магистрали, например, точка *N*. Затем в точке *Q* переходят на соседнее поперечное сечение *QR* и в точке *C* вновь привязываются к магистрали.

По данным нивелирования в камеральных условиях составляют план участка местности.

§ 64. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА НИВЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ. ПРОВЕДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЕЙ

После обработки полевого журнала съемки производится построение топографического плана. Для этого на бумаге в требуемом масштабе вычерчивают сеть квадратов или ходы со всеми поперечными сечениями, 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 способом интерполирования, заключающемся в определении на плане точек, высоты которых кратны высоте сечения рельефа.

Пусть на плане даны точки *a*, *b*, *c*, расположенные на одном скате (рис. 72, *a*) и отметки которых указаны под названием точек. Рассмотрим сначала точки *a* и *b*, горизонтальное проложение между которыми равно $s=451$ м. Необходимо провести горизонтали с высотой сечения 2,5 м.

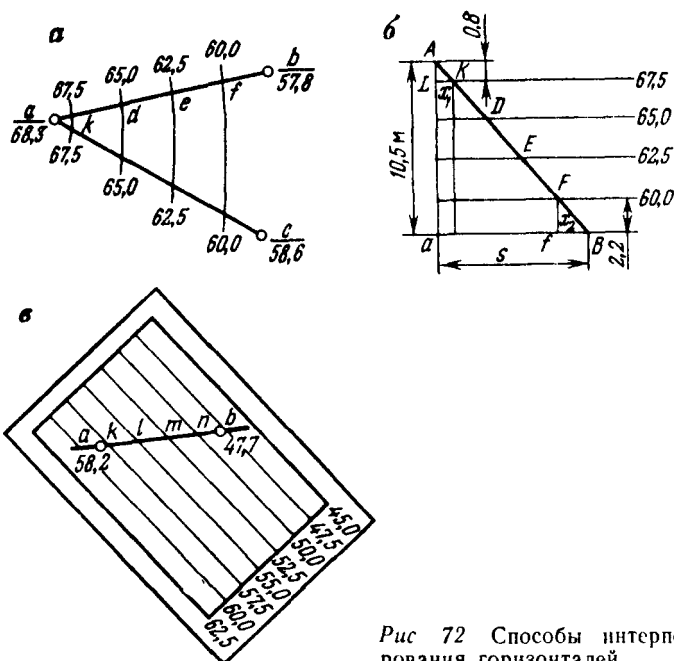


Рис 72 Способы интерполирования горизонталей

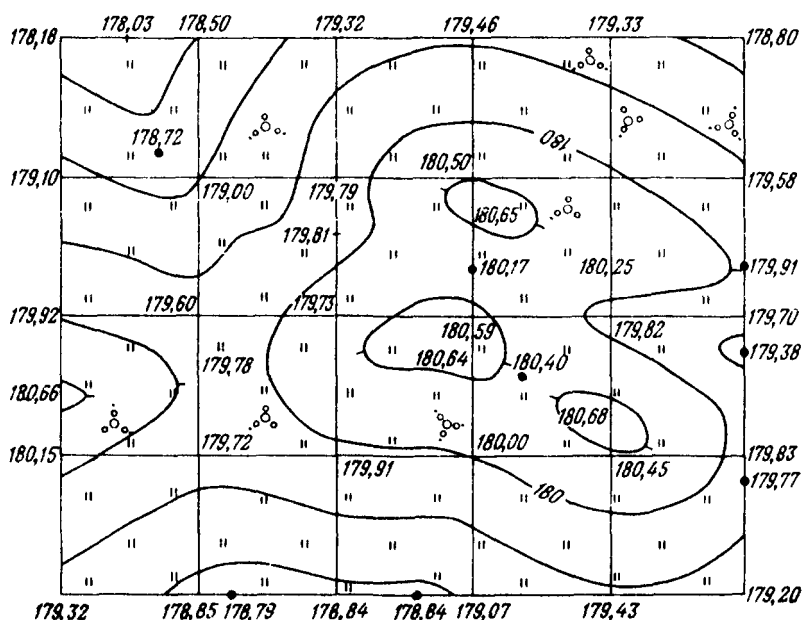


Рис 73. Схема построения топографического плана по данным нивелирования поверхности

Проведем через направление ab вертикальное сечение (рис. 72, б), где точки A и B соответствуют точкам A и B на плане. По отметкам этих точек и заданной высоте сечения $h=2,5$ м можно сделать вывод, что в данном случае должны быть проведены горизонтالي с отметками 60,0 м, 62,5 м, 65,0 м и 67,5 м.

Определим положение точки K , через которую должна проходить горизонталь с отметкой 67,5 м. Расстояние $KL=ak=x_1$ можно вычислить из рассмотрения треугольников AaB и ALK (рис. 72, б):

$$KL/aB = AL/Aa,$$

где Aa — разность отметок точек a и b , равная 10,5 м; AL — разность отметок точек A и L , равная $H_A - H_L = 68,3 - 67,5 = 0,8$ м; расстояние $aB = s = 451$ м.

Таким образом,

$$x_1 = \frac{AL \cdot aB}{Aa} = \frac{0,8 \cdot 451}{10,5} = 34,4 \text{ м.}$$

Отложив в масштабе плана от точки a расстояние x_1 , получим положение точки K , через которую должна проходить горизонталь с отметкой 67,5.

Аналогичным образом может быть получено расстояние $x_2 = fb$ (см. рис. 72, а) и соответственно положение горизонтали с отметкой 60,0 м. Если отрезок kf разделить на три равные части, то получим положение точек d и e , через которые должны проходить горизонтали с отметками 65 и 62,5.

Таким же образом определяются отметки, кратные высоте сечения на прямой ac . После чего точки с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми — горизонталями.

На практике интерполирование производится или с применением палеток, или на глаз.

Палетка представляет собой прозрачную бумагу с рядом параллельных линий, отстоящих друг от друга на равном расстоянии (рис. 72, в). Согласно принятой высоте сечения рельефа ($h=2,5$ м) и отметкам точек a и b производят оцифровку линий на палетке. Наложив палетку на линию ab , ее поворачивают до тех пор, пока точки a и b не расположатся между линиями палетки в местах, соответствующих их отметкам. Затем на плане намечают точки пересечения отрезка ab с линиями палетки (k, l, m, n). Такие же операции выполняют и по другим направлениям скатов.

Часто интерполирование производится на глаз. Этот способ при наличии достаточного навыка по точности не уступает описанным ранее, однако по производительности значительно их превосходит.

Составление плана по результатам нивелирования поверхности начинают с построения на бумаге принятой сети нивелирования. На рис. 73 показана сеть квадратов, приведенная в журнале-схеме, показанной на рис. 69. Около вершин квадратов и плюсовых точек выписываются высоты, округленные до сантиметров. Затем одним из указанных выше способов проводятся горизонтالي с заданной высотой сечения рельефа.

§ 65. ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Тригонометрическое нивелирование выполняется наклонным визирным лучом. Для определения превышения между точками A и B (рис. 74, а) измеряют угол наклона v линии AB и длину линии AB или ее горизонтальную проекцию AB' . Таким образом, превышение h равно

$$h = AB' \operatorname{tg} v \text{ или } h = AB \sin v.$$

Для определения углов наклона используют теодолиты, кипрегели, тахеометры и другие угломерные приборы.

На практике при тригонометрическом нивелировании, кроме угла наклона и длины между точками, необходимо учитывать высоту прибора и высоту визирования.

Определим превышение h между точками A и B (рис. 74, б). Для этого в точке A устанавливают теодолит, в точке B — рейку или вешку. Измеряют высоту прибора i , представляющую собой расстояние от горизонтальной оси теодолита до точки A . Визирный луч зрительной трубы наводят на некоторую точку m вехи R , расположенную на расстоянии v от точки B . Угол наклона v визирной линии определяют по вертикальному кругу теодолита, расстояние между точками A и B измеряют стальной лентой (рулеткой) или дальномером. Вычисляют горизонтальное проложение $AB' = s$.

На основании рис. 74, б можно написать, что

$$mn + i = h + v; \quad mn = s \operatorname{tg} v.$$

Таким образом, превышение

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v.$$

Если используется наклонная длина $AB = S$, то превышение определяется по формуле:

$$h = S \sin v + i - v.$$

С учетом суммарной поправки за кривизну Земли и рефракцию формулы имеют следующий вид:

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v + f;$$

$$h = S \sin v + i - v + f,$$

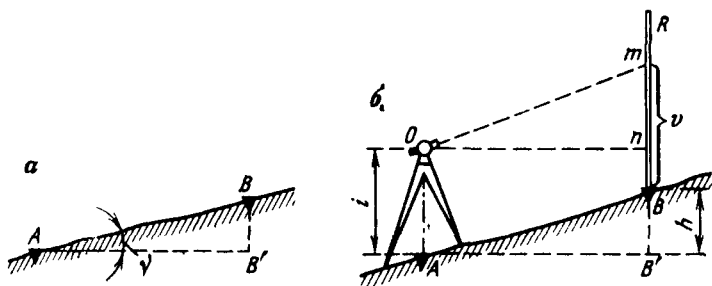


Рис 74 Схемы тригонометрического нивелирования

где f — поправка за кривизну Земли и рефракцию визирного луча.

Если при измерении угла наклона визирную ось трубы направить на метку на рейке, закрепленную на высоте прибора, т. е. $i=v$, то формулы для определения превышений приобретают вид

$$h = s \operatorname{tg} v + f, \quad h = S \sin v + f.$$

Определено, 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 предыдущие формулы могут быть упрощены до вида

$$h = s \operatorname{tg} v; \quad h = S \sin v.$$

§ 66. ВЫСОТНЫЕ ХОДЫ

Высоты точек теодолитных ходов в ряде случаев определяют тригонометрическим нивелированием, которое выполняют при помощи высотных ходов. Углы наклона в них измеряют 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 направлениях. 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 вели-

чин со знаком прямого превышения Невязку в сумме превышений высотного хода вычисляют по формуле

$$f_h = \Sigma h_n - \Sigma h_r,$$

где Σh_n и Σh_r — практическая и теоретическая суммы превышений

Так как в замкнутом ходе $\Sigma h_r = 0$, то $f_h = \Sigma h_n$, т. е. в замкнутом ходе невязка в превышениях равна сумме измеренных превышений

В ходе, проложенном между двумя точками с известными высотами,

$$\Sigma h_r = (H_k - H_n),$$

где H_k и H_n — соответственно высоты конечной и начальной точек хода

Таким образом, невязка в сумме превышений хода

$$f_h = \Sigma h_n - (H_k - H_n)$$

Допустимая невязка определяется по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,04s\sqrt{n}, \text{ см,}$$

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

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется нивелированием?
- 2 В чем заключается способ нивелирования из середины, вперед?
- 3 Что такое горизонт нивелира?
- 4 Как вычислить отметки точек при нивелировании из середины, вперед?
- 5 Как вычислить отметки точек через горизонт нивелира?
- 6 В чем заключается сущность сложного нивелирования?
- 7 Как учесть влияние кривизны Земли и рефракции при определении превышений?
- 8 Объясните основные проверки обычных нивелиров, нивелиров с самоустанавливающейся визирной осью
- 9 Какова точность технического нивелирования?
- 10 Как закрепляют пункты нивелирных ходов на местности?
- 11 Что называется плюсовой точкой?
- 12 Что называется минусовой точкой?
- 13 Что называется началом кривой (НК) и концом кривой (КК)?
- 14 В чем заключается постраничный контроль?
- 15 Как вычисляют отметки промежуточных точек?

16. Что называется проектной линией оси трассы?
17. Что называется рабочей отметкой?
18. Какие способы нивелирования поверхности Вы знаете?
19. Каким образом осуществляется полевой контроль при нивелировании вершин квадратов?
20. В чем заключается сущность тригонометрического нивелирования?
21. Определите горизонт нивелира, если отсчет по рейке, установленной в точке А, равен $a=1618$, а отметка этой точки $H_A=150,013$ м

Глава 12

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Тахеометрическая съемка представляет собой вид топографических работ. При тахеометрической съемке с одной установки прибора, называемой станцией (рис. 75), определяют на местности пространственные полярные координаты так называемых пикетных точек: горизонтальный угол β между исходным направлением (например, AB см. рис. 75) и направлением на пикетную точку, угол наклона визирного луча ν и наклонное расстояние до пикетной точки S . На пикетных точках устанавливается рейка для съемки подробностей. Пикет, предназначенный для съемки подробностей, называют контурным, для съемки рельефа — высотным. Если пикет совмещает в себе обе характеристики, то его принято называть высотно-контурным.

В результате тахеометрической съемки получают топографический план местности, рельеф на котором изображается в горизонталях.

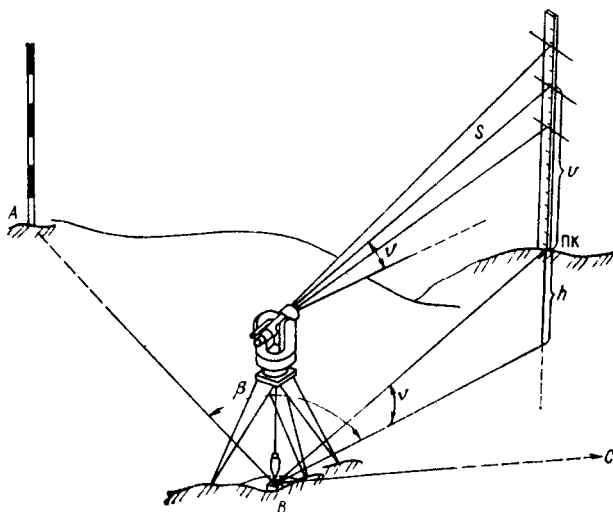


Рис. 75. Схема работы с тахеометром на съемочной точке

§ 67. СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Для выполнения тахеометрической съемки должна быть создана съемочная сеть. В качестве основы для выполнения съемочных работ могут служить пункты государственной геодезической сети 1, 2, 3, 4 классов, геодезические сети сгущения и съемочные геодезические сети; в высотном — реперы и марки государственной нивелирной сети 1, 2, 3, 4 классов, пункты сетей сгущения и съемочных сетей. Чаще всего в качестве непосредственной основы для выполнения съемочных работ в тахеометрии используют пункты основной съемочной сети, состоящей из теодолитных ходов или их заменяющих сетей микротриангуляции. Высотное съемочное обоснование состоит из сетей технического нивелирования (геометрического или тригонометрического).

Дополнительно к пунктам основной съемочной сети создают тахеометрические ходы, прокладываемые между пунктами основной съемочной сети. Эти ходы представляют собой систему ломаных линий. Горизонтальные углы измеряют одним полным приемом прибором, обеспечивающим погрешность измерения не более $30''$. Длины линий определяют 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 производят тригонометрическим нивелированием, вычисляют их в прямом и обратном направлениях. Расхождения прямых и обратных превышений не должно быть более 4 см на каждые 100 м длины тахеометрического хода.

Количество пунктов съемочной сети, приходящихся на 1 км^2 площади определяются в зависимости от масштаба съемки. На незастроенных территориях количество пунктов съемочного обоснования (совместно с пунктами сетей высших классов) должно быть на 1 км^2 площади не менее 4 при съемке в масштабе $1:5000$; 12 пунктов — $1:2000$; 16 пунктов — $1:1000$. Количество пунктов при съемке в масштабе $1:500$ определяется конкретными условиями снимаемой местности.

§ 68. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Для производства тахеометрической съемки используются тахеометры следующих типов.

Тахеометр электрооптический (ТЭ), при помощи которого проводят измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний. Широкое применение электроники в таких тахеометрах позволило автоматизировать процесс полевых работ, кроме того, использование микропроцессора позволяет на дис-

плее прибора получать также информацию о горизонтальных проложениях, превышениях, отметках точек и др.

Тахеометр с авторедукционным дальномером двойного изображения ТД (рис. 76), позволяющий определять расстояние 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 также используется тахеометр «Redta 002», производства предприятия «Карл Цейсс», Йена (ГДР).

Тахеометр номограммный ТН, позволяющий определять при тахеометрической съемке превышения и расстояния, редуцированные на горизонтальную плоскость. К тахеометрам этого типа относится тахеометр «Dahlta 010A» 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.

У тахеометра «Dahlta 010A» в поле зрения зрительной трубы видна дальномерная диаграмма (рис. 77), позволяющая по вертикальной рейке отсчитывать горизонтальные проложения и превышения. Кривые для определения расстояний и превышений нанесены 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 располагалась на 1,4 м выше пятки рейки, т. е. ориентировочно на высоте прибора.

Высотные кривые имеют знаки плюс и минус, соответствующие

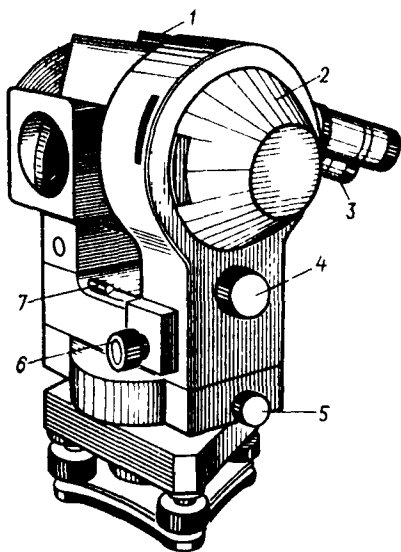


Рис 76 Тахеометр ТД:

1 — оптический визир, 2 — дальномерно-высотный узел; 3 — отсчетный микроскоп; 4 — рукоятка переключения режима работы дальномерно-высотного узла; 5 — наводящее и закрепительное устройства зрительной трубы; 6 — наводящее и закрепительное устройство алидады; 7 — цилиндрический уровень

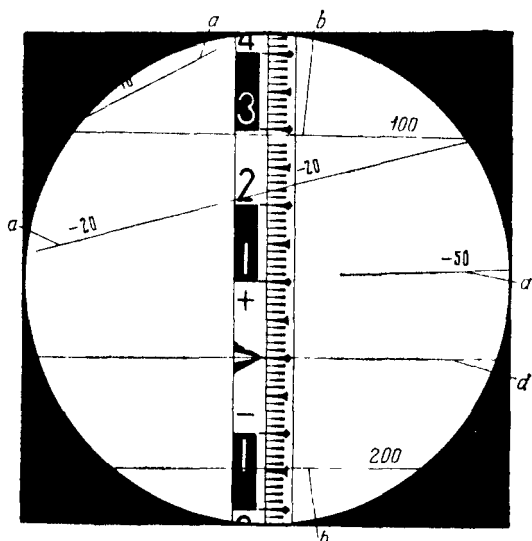


Рис. 77 Поле зрения зрительной трубы тахеометра Dählbå 010A

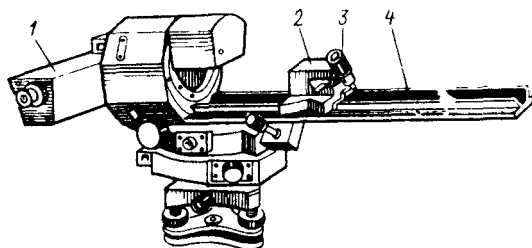


Рис. 78 Тахеометр внутрибазный

щие 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. 77 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 про-

тивном случае должна быть введена поправка, вычисленная по формуле $\Delta h = i - v$.

Тахеометр внутрибазный ТВ, используемый для съемок труднодоступных расстояний. Тахеометр позволяет получать горизонтальные проложения и превышения. Внутрибазный тахеометр (рис. 78) включает угломерную часть, состоящую из зрительной трубы 1 с внутренней фокусировкой, и вертикального и горизонтального кругов. Дальномерная часть тахеометра состоит из базисной линейки 4 с перемещающейся по ней кареткой 2 с пентапризмой и лупой 3, оптического компенсатора и наблюдательной системы.

Оптическая схема дальномера внутрибазного (рис. 79)

включает зрительную трубу 1, подвижную пентапризму 4 и неподвижную пентапризму 2. Оптический клин 3 перекрывает одну половину объектива, отклоняя луч на параллактический угол γ , а пентапризма 2 — вторую половину объектива. В одной половине (например, нижней) объектива при помощи клина 3 в поле зрения трубы строится изображение предмета. Во второй половине (например, верхней) при помощи призм 2, 4 строится второе изображение. Эти изображения совмещаются, если лучи, идущие от клина 3 и призмы 4, пересекутся в точке А. На практике совмещение этих изображений достигается перемещением призмы 4 вдоль базисной линейки 5. Расстояние до точки А в данном случае определяется по формуле

$$S - c + S' - c + b \operatorname{ctg} \gamma.$$

Если постоянная дальномера c равна или близка к нулю, то

$$S = b \operatorname{ctg} \gamma.$$

Редуцирование измеренных расстояний S в тахеометрах внутрибазных производится автоматически при помощи компенсаторов путем уменьшения параллактического угла на величину $\Delta\gamma = \gamma(1 - \cos \nu)$, где ν — угол наклона.

Для тахеометрических съемок широко используются обычные теодолиты, у которых для измерения расстояний в зрительной трубе имеются нитяные дальномеры. Общие положения теории нитяного дальномера, когда визирная ось зрительной

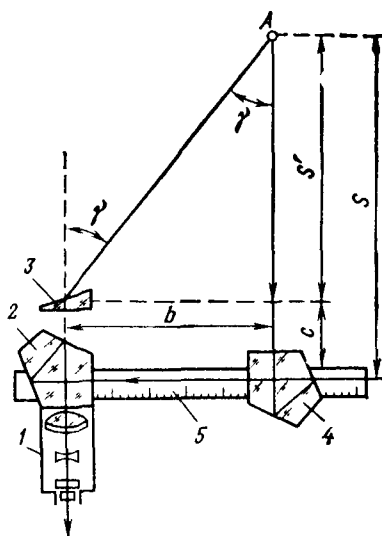


Рис. 79 Оптическая схема тахеометра внутрибазного

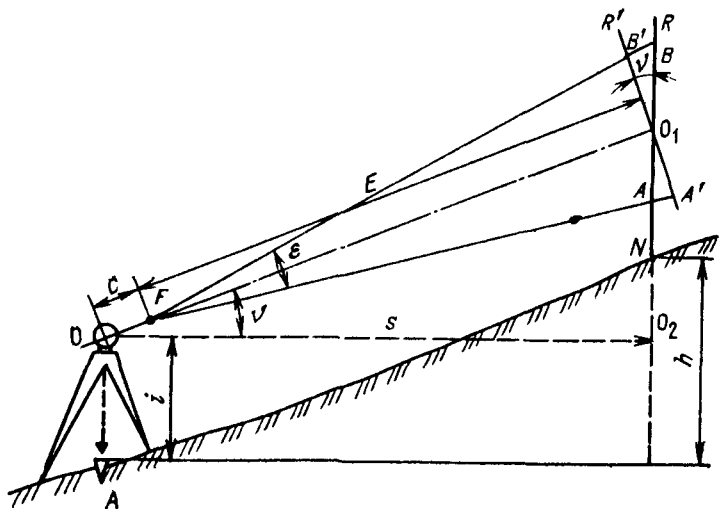


Рис. 80. Схема определения горизонтальных проекций наклонных расстояний, измеренных нитяным дальномером

трубы перпендикулярна к рейке, рассмотрены ранее (§ 44). Ниже рассмотрена теория применения нитяного дальномера при измерении наклонных расстояний. В точке A наклонной линии AB (рис. 80) 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 AO_1 в точке O_1 поместим рейку R' перпендикулярно к визирной оси трубы. Если отсчет по этой рейке $A'B'$ обозначить l' , то согласно § 44 $E=kl'$, откуда расстояние

$$OO_1 = S = E + c = kl' + c.$$

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.

Угол ϵ (см. рис. 80), 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 в точках B' и A' в треугольниках $O_1B'B$ и $O_1A'A$ прямыми.

Учитывая это, напомним

$$A'B' = AB \cos \nu \text{ или } l' = l \cos \nu,$$

откуда

$$S = kl' + c = kl \cos \nu + c.$$

Горизонтальное проложение линии OO_1 равно

$$s = OO_2 = OO_1 \cos \nu = s \cos \nu = (kl \cos \nu + c) \cos \nu.$$

Преобразуем эту формулу, для чего прибавим и вычтем произведение $c \cos^2 \nu$,

$$s = kl \cos^2 \nu + c \cos^2 \nu + c \cos \nu - c \cos^2 \nu = \cos^2 \nu (kl + c) + c \cos \nu (1 - \cos \nu).$$

Учитывая, что $1 - \cos \nu = 2 \sin^2 \nu / 2$, получим

$$s = (kl + c) \cos^2 \nu + 2c \cos \nu \sin^2 \nu / 2.$$

В предыдущей формуле второе слагаемое по сравнению с первым является малым числом. Действительно, если c принять равным 25 см, то при угле наклона визирования $\nu = 20^\circ$ рассматриваемое выражение $2c \cos \nu \sin^2 \nu / 2$ равно всего лишь 2 см. Это позволяет его исключить, в результате получим формулу для определения горизонтального проложения:

$$s = (kl + c) \cos^2 \nu. \quad (51)$$

На практике вместо горизонтальных проложений s определяются поправки за наклон визирной оси и неперпендикулярность к ней рейки в расстояние $kl + c$, измеренное по дальнотмеру.

Если $kl + c$ обозначить через s' , то разность $s' - s$ будет представлять поправку для приведения измеренного расстояния к горизонту

$$\Delta s = s' - s = kl + c - kl \cos^2 \nu - c \cos^2 \nu.$$

Полученное выражение можно преобразовать следующим образом:

$$\Delta s = kl (1 - \cos^2 \nu) + c (1 - \cos^2 \nu) = (1 - \cos^2 \nu) (kl + c),$$

но так как $1 - \cos^2 \nu = \sin^2 \nu$,

$$\Delta s = (kl + c) \sin^2 \nu.$$

По этой формуле составлены таблицы, в которых по дальномерному расстоянию $(kl + c)$ и по углу наклона ν определяют горизонтальное проложение по формуле

$$s = (kl + c) - \Delta s.$$

Вывод формулы для превышения, определяемого при использовании нитяного дальномера, может быть получен следующим образом.

Превышение в тригонометрическом нивелировании, если визирирование производится на высоту прибора, вычисляется по формуле

$$h = s \operatorname{tg} \nu,$$

где s — горизонтальное проложение линии.

Подставим значение s , полученное для определения расстояний при помощи нитяного дальномера:

$$h = (kl + c) \cos^2 \nu \operatorname{tg} \nu.$$

После упрощения получим

$$h = 0,5 (kl + c) \sin 2\nu. \quad (52)$$

§ 69. ПРОИЗВОДСТВО ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Работа на станции при тахеометрической съемке заключается в следующем.

1. Устанавливают тахеометр над точкой съемочного обоснования, центрируют его и приводят в рабочее положение.

2. Измеряют высоту прибора i с точностью до 1 см.

3. При работе с точек тахеометрического хода измеряют угол поворота и углы наклона на смежные точки при двух положениях вертикального круга. По дальномеру при КП и КЛ определяют расстояния до смежных точек тахеометрического хода. При работе с точек теодолитного хода при КП и КЛ измеряют углы наклона на соседние точки хода.

4. Вычисляют место нуля.

5. Совмещают нуль лимба и алидады горизонтального круга и ориентируют прибор по задней стороне хода.

6. При неподвижном лимбе прибора 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 визирующая 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.

В описанном случае получают горизонтальные углы, отсчитываемые от направления съемочной сети, принимаемое за исходное; такая методика чаще всего применяется при съемке

Т а б л и ц а 20

Масштаб съёмки	Высота сечения рельефа, м	Максималь- ное расстояние между пикетами, м	Максималь- ное расстояние от прибора до рейки при съёмке рельефа, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съёмке ситуации, м	
				при съёмке твёрдых контуров, м	при съёмке нетвёрдых 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

с точек теодолитного хода. Если в качестве съёмочного обоснования используются тахеометрические ходы, ориентирование лимба производится по дирекционному кругу. Для этого нуль алидады совмещают с отсчетом на лимбе, соответствующим дирекционному углу стороны тахеометрического хода, и визируют зрительную трубу по этому направлению. После этого при неподвижном лимбе производится визирование на пикетные точки. В данном случае при камеральной обработке на плане откладываются углы, отсчитываемые от северного направления координатной сетки.

Максимальные расстояния между пикетными точками и отстояние пикетных точек от станции приведены в табл. 20.

7. После окончания работ на станции берут по горизонтальному кругу контрольный отсчет на исходное направление. Расхождение в отсчетах не должно быть более $2'$.

8. Съёмка пикетных точек сопровождается ведением абриса, в котором зарисовывается ситуация и указываются линии рельефа (тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и т. п.). Также указываются точки стояния прибора и смежные (предыдущие и последующие) точки съёмочной сети, соединяемые сплошными линиями. Пикетные точки, между которыми имеется равномерный уклон, соединяются стрелками, показывающими направление ската.

§ 70. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Камеральную обработку начинают с проверки полевых журналов и составления схемы съемочной сети, на которой записывают результаты полевых измерений

При уравнивании тахеометрических ходов допустимая угловая невязка вычисляется по формуле

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n},$$

где n — количество углов, а относительная линейная невязка хода не должна превышать

$$f_{s \text{ доп}} = \frac{[s]}{400 \sqrt{n}},$$

где $[s]$ — длина хода, м; n — число линий. Предельная невязка суммы превышений хода не должна превышать

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04s \sqrt{n}, \text{ см,}$$

где s — средняя длина сторон в сотнях метров; n — число сторон.

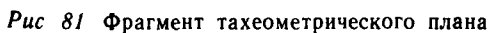
При вычислении горизонтальных расстояний до пикетных точек и их превышений над отметкой съемочной станции в случае применения теодолита и нитяного дальномера используют формулы, изложенные в § 68. Если используются номограммные тахеометры, превышения и горизонтальные проложения снимаются непосредственно с номограмм. 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.

После окончания вычислений составляют план тахеометрической съемки. План вычерчивают на планшете, сначала строятся 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 (рис. 81)

План тахеометрической съемки до его вычерчивания в туш тщательно проверяется в поле путем глазомерного сличения с местностью контуров и рельефа, нанесенных на план. Кроме того, проводится выборочная инструментальная проверка



Вопросы для самопроверки

- 1 В чем заключается сущность тахеометрической съемки?
- 2 Охарактеризуйте съёмочные сети тахеометрической съемки
- 3 Охарактеризуйте работу на станции при тахеометрической съемке

4. Назовите допустимую угловую невязку тахеометрического хода.
5 Назовите допустимую относительную линейную невязку тахеометрического хода.

Глава 13

МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

§ 71. СУЩНОСТЬ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Мензульная съемка производится при помощи столика, называемого мензулой (рис. 82), и кипрегеля (рис. 83). Для построения горизонтальной проекции abc некоторого угла ABC (рис. 84) точку b , отмеченную на мензуле при помощи центрировочной вилки 2, помещают в вершине B угла. Плоскость мензулы 5 приводится в горизонтальное положение с использованием цилиндрического уровня кипрегеля 4. Вертикальные плоскости визирования создаются при помощи визирного прибора. Направления сторон угла ba и bc прочерчиваются на мензуле при помощи линейки 3.

Мензульная съемка в настоящее время производится для съемки в крупных масштабах небольших участков местности в тех случаях, когда отсутствуют материалы аэрофотосъемки или последнюю по экономическим причинам применять невыгодно.

§ 72. МЕНЗУЛА И ЕЕ ПОВЕРКИ

Мензула (см. рис. 82) представляет собой столик, состоящий из мензульной доски 1, штатива 3, подставки 2, соединяющей доску с головкой штатива.

Мензульные доски изготавливают 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 высокосортной фанеры или алюминия, которые затем прикрепляются к доске. Мензульную доску с наклеенной на нее бумагой называют планшетом.

Подставка мензулы имеет три подъемных винта 5 и наводящее устройство 6. Подставка на головке штатива закрепляется при помощи станкового винта 4.

Принадлежностями мензулы также являются буссоль для ее ориентирования, центрировочная вилка и дальномерная рейка.

Перед работой в поле мензула должна быть проверена, при этом она должна удовлетворять следующим условиям:

Рис. 82. Мензула

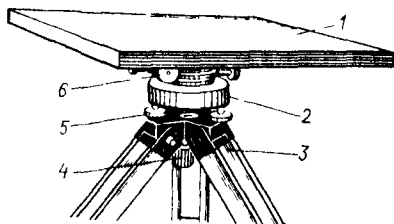


Рис. 83 Кипрегель номограммный КН

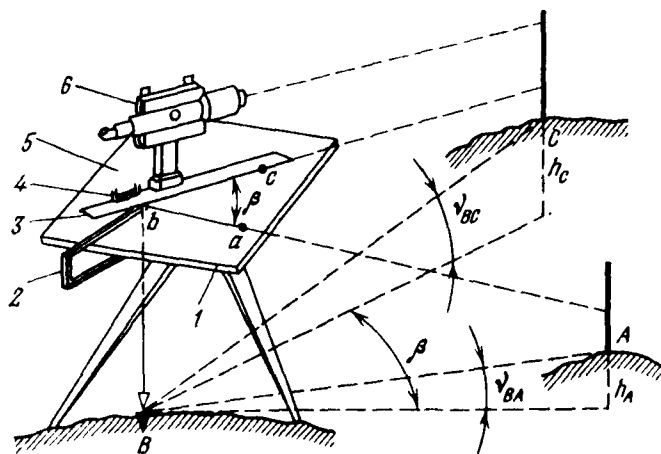
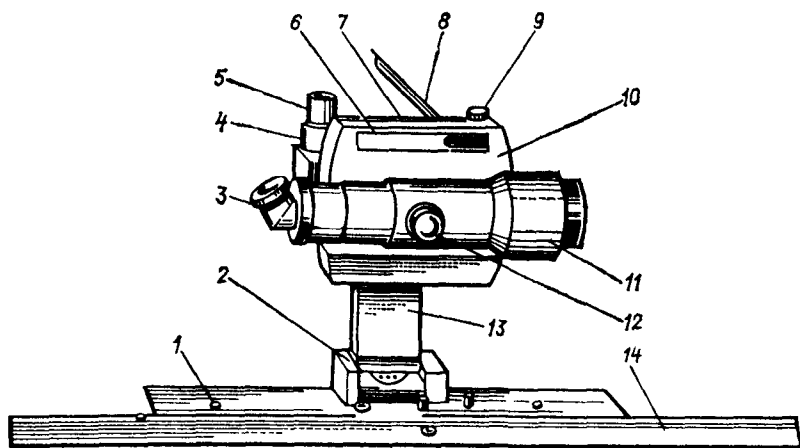


Рис. 84. Схема построения угла на мензультном планшете:

1 — мензультная доска, 2 — центрировочная вилка, 3 — линейка кипрегеля, 4 — цилиндрический уровень, 5 — поверхность планшета, 6 — кипрегель

1. В собранном виде мензула должна быть устойчивой и при надавливании на планшет пружинить. 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 мензальный 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. Верхняя поверхность мензальной 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 поверхность мензальной доски должна быть перпендикулярна к оси вращения подставки. По выверенному уровню линейки кипрегеля при помощи подъемных винтов плоскость доски приводят в горизонтальное положение. Затем мензальную 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. При горизонтальном положении планшета конец центрировочной вилки должен находиться на одной отвесной линии с острием груза отвеса. 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 мензальной 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 серединой расстояния между колышками.

§ 73. КИПРЕГЕЛЬ И ЕГО ПОВЕРКИ

Кипрегель предназначен для построения на планшете горизонтальных направлений, измерения расстояний и углов наклона линий на местности, а также для накладки пикетов на планшет.

В настоящее время применяют номограммные кипрегели, позволяющие при наведении на вертикальную рейку получать непосредственно горизонтальные проложения и превышения.

В нашей стране выпускается кипрегель КН (см. рис. 83). Его зрительная труба 11 прямого изображения снабжена ломаным окуляром 3, повышающим удобство наблюдений. Зажимное 4 и наводящее 5 устройства трубы совмещены на одной оси и расположены в верхней части колонки 13. В нижней части колонки прикреплен уровень 2.

Зрительная труба снабжена реверсивным цилиндрическим уровнем и уровнем при вертикальном круге 6, за которыми удобно наблюдать по зеркалам 7, 8. Уровень вертикального круга снабжен установочным устройством 9, при помощи которого пузырек уровня перед отсчетом по лимбу вертикального круга 10 приводится в нуль-пункт. Углоначертательное устройство представлено линейкой 1, являющейся основанием прибора, которая снабжена дополнительной линейкой 14. Фокусировка зрительной трубы осуществляется кремальерой 12.

Номограмма кипрегеля КН (рис. 85) 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 вертикального круга с ценой деления $5'$. У кипрегеля КН кривые номограммы видны только при положении зрительной трубы КЛ и при ее наклоне не более 40° . На рис. 85 показано положение кривых номограммы при угле наклона $\nu = +2^\circ 04'$.

Место нуля вертикального круга кипрегеля КН должно быть равно нулю и вычисляется из выражения

$$MO = (KP - KЛ)/2,$$

угол наклона — по формулам

$$\nu = (KP + KЛ)/2;$$

$$\nu = KP - MO;$$

$$\nu = KЛ + MO.$$

При работе на станции зрительную трубу наводят на рейку так, чтобы вертикальный штрих сетки совпал с серединой

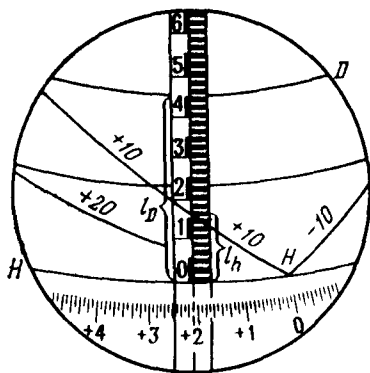


Рис. 85. Поле зрения зрительной трубы кипрегеля

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. 85 отсчеты $l_D = 45,0$ см и $l_h = 16,0$ см, следовательно, $s = 100 \times 45,0 = 45,0$ м, $h = +10 \times 16,0 = +1,60$ м. Перед отсчетом пузырек уровня вертикального круга приводится на середину. Кипрегели до проведения полевых работ должны быть поверены, т. е. необходимо установить у них выполнение ряда условий, в том числе правильное взаимное отношение осей прибора.

Поверки выполняются в следующей последовательности.

1. *Скошенный край линейки кипрегеля должен представлять собой прямую линию, а ее нижняя часть должна быть плоскостью.* Для выполнения поверки кипрегель устанавливают на планшет и карандашом по скошенному краю проводят линию. Затем перекалывают кипрегель на 180° , приставляют его к прочерченной линии и вторично проводят линию. Если обе линии совпадут, то условие выполнено. Исправление в случае необходимости производят в мастерской.

Для поверки нижней плоскости линейки кипрегель ставят 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 мензурную доску по направлению двух подъемных винтов и приводят ими в середину пузырек уровня линейки. Прочерчивают на планшете у концов линейки две черточки 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 не более, чем 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 карандашом 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 не-

перпендикулярности 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. *Горизонтальная ось кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.* При проверке этого условия на доску мензулы, приведенную в горизонтальное положение, устанавливают кипрегель, визируют на неудаленную 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 кипрегель КН для исправления отправляется 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 ему параллельной.* 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 коллимационной плоскости скошенному краю линейки входит систематической погрешностью во все наблюдения, включая исходное направление.

§ 74 УСТАНОВКА МЕНЗУЛЫ НА СТАНЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Установка мензулы на станции в рабочее положение заключается в ее центрировании, ориентировании и горизонтировании.

При установке мензулы вначале ее центрируют. Для этого планшет приближенно приводят в горизонтальное положение, а затем ориентируют на глаз. После этого перемещением мензулы с помощью центрировочной вилки устанавливают точку b , нанесенную на планшет, над точкой B местности (см. рис. 84). Приводят плоскость планшета в горизонтальное положение и ориентируют его с необходимой точностью.

Приведение планшета в горизонтальное положение осуществляют при помощи кипрегеля, который ставят 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.

Для того, чтобы планшет ориентировать на местности, его надо установить 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. 84) нанесены по координатам точки b , c и a , соответствующие точкам B , C , и A на местности. Для ориентирования планшета в точке B мензулу центрируют и приводят планшет в горизонтальное положение. Затем, выбрав наиболее удаленную точку, например C , прикладывают скошенное ребро линейки кипрегеля к точкам c и b , вращают планшет, пока изображение точки C не совместится с вертикальным штрихом поля зрения трубы, после чего планшет закрепляют. В результате планшет будет ориентирован по направлению BC . Ориентирование планшета проверяют по другой, менее удаленной точке A . 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.

Мензультную съемку выполняют на планшетах из высококачественной чертежной бумаги, которую наклеивают на мензультную доску. Перед проведением полевых работ на планшете разбивают координатную сетку и по координатам наносят пункты съемочной сети. Возле подписывают высоты этих пунктов и их название или номера.

Получил распространение следующий порядок работы на станции.

1. Устанавливают вешки на двух точках съёмочного 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 съёмки 1 : 500 и 1 : 1000 — 5 см, при масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 — 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 ориентирования 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, расположенным 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. С каждой станции изображают только ту часть рельефа, которая с нее видна. Зарисовка рельефа без сравнения его с натурой при мензульной съёмке не разрешается.

§ 75. СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

В качестве съёмочной сети при мензульной съёмке используют пункты триангуляции, трилатерации, полигонометрии и точки теодолитных ходов. Кроме названных, используют также съёмочные сети, являющиеся специфичными для мензульной съёмки: геометрические сети, засечки, мензульные ходы, переходные точки. 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.

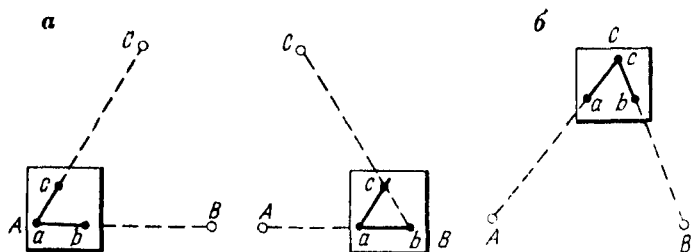


Рис. 86. Прямая (а) и боковая (б) засечки

При использовании для построения опорной сети засечек по двум известным точкам на планшете графически строят третью. Получили распространение прямая и боковая засечки.

В прямой засечке (рис. 86, а) на планшет наносят известные точки a и b , соответствующие точкам A и B на местности. Необходимо определить на планшете положение точки C . 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 мензурой 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.

В боковой засечке (рис. 86, б) работу на первой исходной точке, например, на точке A , выполняют в том же порядке, что и в случае прямой засечки. Затем переносят мензулу в определенную точку C , приближенно центрируют планшет, приводят в горизонтальное положение и ориентируют его по ранее прочерченной линии ac . 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.

Геометрическая сеть наиболее часто применяется при съемке открытой местности в масштабе 1:1000, иногда 1:5000. Построение геометрической сети выполняют графическим способом на планшете мензурного столика путем последовательного создания засечек. При полевых работах вехи устанавливают 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° .

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 визированием на другие точки съемочной сети. Визирирование осуществляется на все видимые точки геометрической сети. 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.

В закрытой и полузакрытой местности съемочное обоснование создают проложением мензульных ходов, между пунктами геодезических сетей. Пусть имеются исходные пункты A, C, B, D и от пункта A требуется проложить ход к пункту B (рис. 87). Для этого устанавливают мензулу в пункте A и ориентируют планшет по линии AC . После этого, проложив 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 $a1$ (положение I, рис. 87). При этом для более

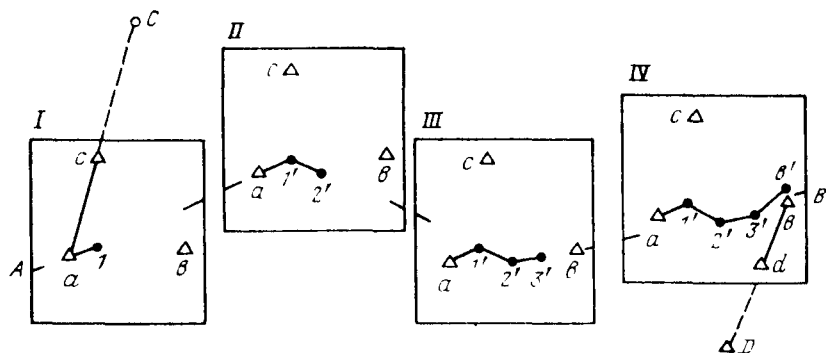


Рис 87 Мензульный ход

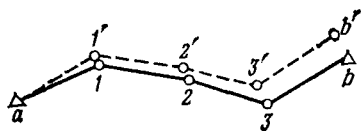


Рис. 88. Линейная невязка мензульного хода

точного обратного ориентирования планшета с точки 1 на пункт А направление $a1$ отмечают на краях планшета.

Для вычисления превышения между пунктом А и точкой 1 измеряют угол наклона при двух положениях вертикального круга, а также высоту прибора и

высоту визирования. Затем переносят мензулу в точку 1, а рейку поочередно устанавливают на пункт А и точку 2.

После того как определено расстояние $a1$ на планшете, последний переносят в точку 1 и там его приводят в рабочее положение. Измеряют горизонтальное проложение $a1$ в обратном направлении. Разница результатов двух измерений не должна быть больше 1 : 200.

Среднее значение горизонтального проложения откладывают от точки a и получают точку 1' (положение II, рис. 87).

Прикладывают ребро линейки кипрегеля в точке 1', наводят трубу на точку 2' хода, прочерчивают направление и определяют горизонтальное проложение 1'—2'. Определив высоту прибора, измеряют углы наклона при двух положениях вертикального круга на точки А (назад) и 2' (вперед). Расхождение двух его значений не должно превышать 1,5'. Вычисляя прямое и обратное превышения по формуле $h = s \operatorname{tg} v$. 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 мензулой на предпоследнюю точку 3' хода (положение III, рис. 87).

После ориентирования планшета и нанесения на нем точки 3' прикладывают ребро линейки кипрегеля к ней, визируют на конечный пункт (точку) В, измеряют горизонтальное проложение стороны 3'—В хода, откладывают его на планшете и получают точку b' (положение IV, рис. 87), 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. 88) так, чтобы точки 1', 2' и 3' были смещены параллельно направлению невязки. Величины этих смещений (поправки) рассчитывают пропорционально расстоянию от начальной точки А до точки, в положение которой вводится поправка.

Нсвязку в сумме превышений хода вычисляют по формуле

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_k - H_n),$$

где $\Sigma h_{\text{ср}}$ — сумма средних превышений; H_k и H_n — соответственно высоты конечного и начального пунктов (точек хода).

Допустимую невязку определяют по формуле

$$f_{h\text{доп}} = 0,04s/\sqrt{n},$$

где s — число сотен метров в мензультном 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 мензультного 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.

При построении геометрических сетей не всегда с их 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 в пункте геометрической сети проводят на планшете направление на переходную точку, дальномером измеряют до нее расстояние и определяют угол наклона. Вычисленное горизонтальное проложение откладывают от пункта до определяемой точки. Затем мензулу устанавливают в определяемой точке и проводят аналогичные измерения на исходный пункт. Определяют обратное горизонтальное проложение и превышение, вычисляют среднее арифметическое значение длины линии, отмечают окончательное положение переходной точки, вычисляют ее высоту и производят с ней съемку ситуации и рельефа.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается сущность мензультной съемки?
2. Что называется мензулой?
3. Назовите основные поверки мензулы
4. Что называется кипрегелем?
5. Назовите основные поверки кипрегеля
6. Охарактеризуйте работу на станции при мензультной съемке
7. Охарактеризуйте съемочные сети при мензультной съемке

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

§ 76 НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Геологоразведочные работы представляют собой цикл исследований, выполняемых в определенной последовательности, которую можно характеризовать следующими стадиями.

1. Стадия регионального геологического изучения территории страны, выполняемого с целью определения важнейших особенностей ее геологического строения, выявления основных закономерностей в пределах регионов различных видов полезных ископаемых и прогнозной оценки их перспектив, позволяющей наметить площади для постановки более детальных работ. Эту стадию целесообразно подразделить на две подстадии: региональные геолого-геофизические исследования масштаба $1 : 1\,000\,000$ — $1 : 500\,000$ и региональные геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба $1 : 200\,000$ — $1 : 100\,000$.

В результате геолого-геофизических исследований (первая подстадия) осуществляется создание новой или обновление существующей геолого-геофизической основы, по которой возможно установить главнейшие черты геологического строения крупных регионов и закономерности размещения полезных ископаемых в их пределах.

По данным геолого-геофизических исследований составляются геологические, прогнозные и другие полистные и сводные карты масштаба $1 : 1\,000\,000$ — $1 : 500\,000$, опорные глубинные геолого-геофизические разрезы и схемы геологического строения глубинных горизонтов.

Основным назначением работ второй подстадии является изучение геологического строения региона с учетом геофизических и геохимических данных и использование выявленных закономерностей размещения полезных ископаемых с целью выделения наиболее перспективных геологических структур, оценки их прогнозных ресурсов и определения дальнейших геофизических, геологосъемочных и поисковых работ.

В результате геологической съемки масштаба $1 : 200\,000$ должна быть построена геологическая карта данного масштаба, карта полезных ископаемых и карта закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых.

2. Стадия геологосъемочных работ масштаба $1 : 50\,000$ ($1 : 25\,000$) с большими поисками представляет собой основной вид планомерного крупномасштабного изучения геологического строения страны и выделения локальных площадей и структур,

перспективных для выявления месторождений полезных ископаемых. Геологосъемочные работы второй стадии в первую очередь должны проводиться в пределах горнорудных районов.

При очень сложном геологическом строении изучаемого района, а также при очень сложном характере проявления полезного ископаемого в порядке исключения работы этой стадии могут выполняться в масштабе 1 : 25 000.

Конечным результатом геологосъемочных работ с общими поисками является геологическая (государственная) карта масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000), регистрационная карта полезных ископаемых и карта прогноза их размещения.

3. Стадия поисковых работ выполняется с целью выявления месторождений полезных ископаемых в пределах известных и потенциальных рудных полей и бассейнов осадочных полезных ископаемых, где в результате предшествующих работ установлена возможность обнажения месторождений, подтвержденная наличием перспективных проявлений полезных ископаемых или их прямых поисковых признаков.

Поисковые работы проводятся скважинами и поверхностными горными выработками с использованием рационального комплекса геофизических, геохимических, шлиховых, обломочно-валунных и других поисковых методов.

В зависимости от вида полезного ископаемого составляются геологические карты в масштабе от 1 : 25 000 до 1 : 5 000. При помощи разрезов показывают закономерности локализации тел полезных ископаемых.

4. Стадия поисково-оценочных работ является переходным этапом от поисков к разведке месторождений полезных ископаемых. Основная цель этой стадии работ заключается в оценке возможного промышленного значения выявленных месторождений, отбраковке проявлений, не представляющих интереса для промышленности, и выборе объектов для проведения предварительной разведки.

В результате поисково-оценочных работ составляется предварительная геологическая карта и геологические разрезы вновь выявленного месторождения. Крупные месторождения (угольные, железорудные, известняковые толщи и др.) отображаются на картах масштаба 1 : 25 000—1 : 10 000; меньшие по размерам месторождения могут быть отображены на картах масштаба 1 : 5 000—1 : 2 000; для небольших месторождений (редких и драгоценных металлов и минералов) наиболее целесообразен масштаб 1 : 1 000.

5. Стадия предварительной разведки проводится с целью получения достоверных данных для достаточно надежной геологической, технологической и экономически обоснованной оценки промышленного значения месторождения. При предва-

рительной разведке на инструментальной основе составляются геологические карты, масштаб которых в зависимости от вида полезного ископаемого, размеров и сложности геологического строения месторождения может изменяться от 1 : 10 000 до 1 : 500.

Основными разведочными выработками для большинства месторождений полезных ископаемых являются скважины. На объектах со сложным геологическим строением и вещественным составом полезного ископаемого проводят подземные горно-разведочные выработки.

По результатам предварительной разведки разрабатываются и утверждаются в установленном порядке временные кондиции и составляется технико-экономический доклад о целесообразности проведения детальной разведки месторождения.

6. Стадия детальной разведки производится на месторождении, получившем по результатам предварительной разведки положительную оценку и намеченном к промышленному освоению.

По результатам детальной разведки разрабатываются технико-экономические обоснования постоянных кондиций. По утвержденным кондициям производится подсчет разведанных запасов полезных ископаемых.

7. Стадия доразведки месторождения может выполняться как на ранее детально разведанных, но не освоенных промышленностью, так и на разрабатываемых месторождениях.

Доразведка ранее детально разведанного месторождения производится при необходимости дополнительного его изучения до включения в разработку в связи с пересмотром намечавшихся масштабов и технологии добычи и т. п. Задачами доразведки разрабатываемого месторождения является необходимость последовательного уточнения увязки геологического строения с планами развития горных работ, горногеологических условий месторождения и качества полезного ископаемого на недостаточно детально изученных участках месторождения в связи с переводом запасов категории C_2 и C_1 в более высокие категории, а также дополнительного изучения вещественного состава и свойств полезного ископаемого.

8. Стадия эксплуатационной разведки осуществляется в течение всего периода разработки месторождения с целью планомерного систематического получения достоверных исходных данных, обеспечивающих текущее (годовое) и оперативное (квартальное, месячное, суточное) планирование добычи полезного ископаемого, а также контроль за полнотой и качеством отработки запасов.

Основные задачи эксплуатационной разведки заключаются в уточнении контуров тел полезного ископаемого и внутрен-

него строения и условий залегания, количества и качества запасов, геометризации технологических типов и сортов полезного ископаемого и т. п.

Результаты эксплуатационной разведки используются для оперативного подсчета запасов полезного ископаемого и их перевода в более высокие категории, уточнения схем и проектов подготовки и отработки тел полезного ископаемого, определения величины плановых потерь, разубоживания полезного ископаемого и т. д.

Все стадии геологоразведочных исследований обеспечиваются топографо-геодезическими работами, которые выполняются с целью:

1. Создания геодезической основы геологоразведочных работ, на базе которой 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. Создание топографической основы геологоразведочных работ, под которой понимают топографическую карту или план земной поверхности, на которые нанесены точки 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.

§ 77. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Топографо-геодезическое обеспечение геологических работ включает перенесение в натуру проектного положения объектов геологических наблюдений (скважин, горных выработок и т. п.); определение плановых координат и высот (привязку) устьев скважин, горных выработок и других объектов геологических наблюдений; топографическую съемку и составление топографических основ геологических и других специальных карт.

При выполнении геологоразведочных работ в качестве геодезической основы могут служить:

- государственные геодезические сети;

- геодезические сети сгущения;

- съемочное обоснование, выполняемое в виде плановых, высотных и плано-высотных съемочных сетей и отдельных пунктов, а также в виде опорных геодезических сеток;

четкие контурные точки месторождения, координаты которых могут быть определены по топографическим картам (планам) или фотопланам с требуемой точностью;

объекты геологоразведочных наблюдений, координаты которых определены с требуемой точностью.

Геодезическое обеспечение перенесения в натуру проектного положения объектов геологических наблюдений включает в себя:

подготовку исходных данных, составление схем и плана работ;

измерения для определения положения объектов наблюдений на местности;

закрепление положения вынесенных в натуру объектов геологических наблюдений.

При выборе точности определения планового и высотного положения объектов геологических наблюдений на месторождениях твердых полезных ископаемых следует пользоваться данными табл. 21, при определении же точности планового и высотного положения устьев скважин при поиске и разведке нефтяных и газовых месторождений — данными табл. 22.

Точность геодезических работ при определении планового положения объектов гидрогеологических наблюдений должна

Т а б л и ц а 21

Стадии геологоразведочных работ	Средние квадратические погрешности положения объектов геологических наблюдений относительно исходных, м	
	в плане	по высоте
1 Региональное геологическое изучение, геологосъемочные работы и общие поиски с составлением отчетных карт масштаба		
1 · 100 000 и мельче	80 (100)	10 (20)
1 · 50 000	40 (50)	5 (10)
1 · 25 000	20 (25)	2 (3)
2 Поисковые работы, поисково-оценочные работы и предварительная разведка с составлением отчетных карт масштаба 1 10 000	5	1 (2)
3 Поисково-оценочные работы, предварительная и детальная разведка с составлением отчетных карт масштаба 1 5 000 и крупнее	2	0,5

П р и м е ч а н и е В скобках указаны средние квадратические погрешности определения положения объектов геологических наблюдений для пустынных, залесенных и горных районов

Таблица 22

Вид (категория) скважины	Предельные погрешности, м			
	перенесения проекта в натуру	предварительного определения высот устьев скважин	определения планового положения устья скважины	определения высотного положения устья скважины
1 Одиночные опорные и параметрические скважины	150	15	100	5,0
2 Структурные и поисковые скважины, закладываемые на площадях и по профилям	50	10	30	1,0
3 Разведочные скважины	25	5	12	0,5
4 Скважины на эксплуатационных площадях	10	5	4	0,3
5 Скважины, расположенные на акваториях	20	—	10	0,5

Примечания 1 Погрешности заданы относительно пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения 2 Исходными пунктами для привязки могут служить любые пункты и точки, в том числе по которым строились структурные карты, если они обеспечивают определение положения скважин с точностью, приведенной в таблице

соответствовать данным, приведенным в табл. 21, для объектов геологических наблюдений на соответствующих стадиях работ.

Погрешность определения высот объектов гидрогеологических наблюдений не должна превышать:

а) при гидрогеологических съемках — 0,5 принятого сечения гидроизогипс отчетной гидрогеологической карты, но не более удвоенной величины погрешности, приведенной в табл. 21, для соответствующих масштабов отчетных геологических карт;

б) при детальных гидрогеологических изысканиях с целью определения уклонов подземных потоков, обводнения участков, горных выработок (шахт, штолен и т. п.) — допусков, установленных для технического нивелирования, а именно $50\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода геометрического нивелирования, км.

Отметки устьев стационарных гидрорежимных скважин должны определяться от ближайших марок и реперов государственной нивелирной сети со средней квадратической погрешностью не более ± 10 см.

Как правило, при геологических работах, глубинном геологическом картировании и общих поисках с составлением отчетных карт масштабов 1 : 25 000 и мельче перенесение в натуру и привязка объектов геологических наблюдений осуществляются по топографическим картам и материалам аэрофотосъемки. Полевые инструментальные измерения на этих стадиях

геологических работ возможны в виде исключения в тех случаях, когда топографические карты отсутствуют или они не обеспечивают установленной точности работ.

Пункты государственной геодезической сети, геодезических сетей сгущения и съемочных сетей, закрепленных на местности постоянными центрами, 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.

Пункты государственной геодезической сети, геодезических сетей сгущения и съемочных сетей, закрепленных на местности постоянными центрами, 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 и разрезы 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 составления специальных карт, разрезов, разведочных профилей и другой графической документации.

§ 78. ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В качестве топографической основы геологоразведочных работ могут использоваться:

топографические карты (планы). 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;

Таблица 23

№ п п	Стадии геологоразведочных работ	Масштаб топографических работ
1	Предварительная разведка	1 : 10 000 — 1 : 5 000
2	Детальная разведка месторождений	
	а) металлических полезных ископаемых,	1 : 10 000 — 1 : 1 000
	б) карбонатных пород, фосфоритов, песка и гравия,	1 : 25 000 — 10 000
	в) солей,	1 : 25 000 — 10 000
	г) углей и горючих сланцев;	1 : 1 000 — 1 : 2 000
	д) подземных вод,	1 : 1 000 — 1 : 5 000
	е) прочих неметаллических полезных ископаемых	1 : 10 000 — 1 : 5 000

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 целесообразно выбирать согласно табл. 23

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.

Погрешность 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 : 5 000 и в 2 раза для более крупных масштабов.

Погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек высотного обоснования на топоосновах не должны превышать 0,5 м при высоте сечения 1,0 м и 1/3 высоты сечения рельефа в остальных случаях.

Для повышения читаемости геологической карты топографическая нагрузка основ масштаба 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 при-

меняется то же, что и для государственных топографических карт. Для более крупных масштабов должно быть выбрано следующее сечение рельефа: масштаб 1 : 5 000, сечение 2,0 м; масштаб 1 : 2 000, сечение 2,0—1,0 м; масштаб 1 : 10 000, сечение 1,0 м. В горном и предгорном участках сечение рельефа соответственно принимается 5,0; 5,0—2,0; 1,0 м. 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 связано содержание геологического отчета, рельеф изображается в редких случаях.

§ 79. ПЕРЕНЕСЕНИЕ В НАТУРУ ПРОЕКТА ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК. ПРИБЯЗКА ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Перенесение в натуру геологоразведочных выработок осуществляется в соответствии с проектом на топографо-геодезические работы. В зависимости от местных условий и особенностей проведения разведки проекты могут включать различные виды и объемы топографо-геодезических работ. Например, на рис. 89 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 I, II, III, IV); прокладка магистралей (теодолитных ходов) для разбивки профильных линий, привязка магистралей (замкнутыми теодолитными ходами) к пунктам триангуляции III и IV; мензульная съемка на 10 планшетах территории месторождения; 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 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.

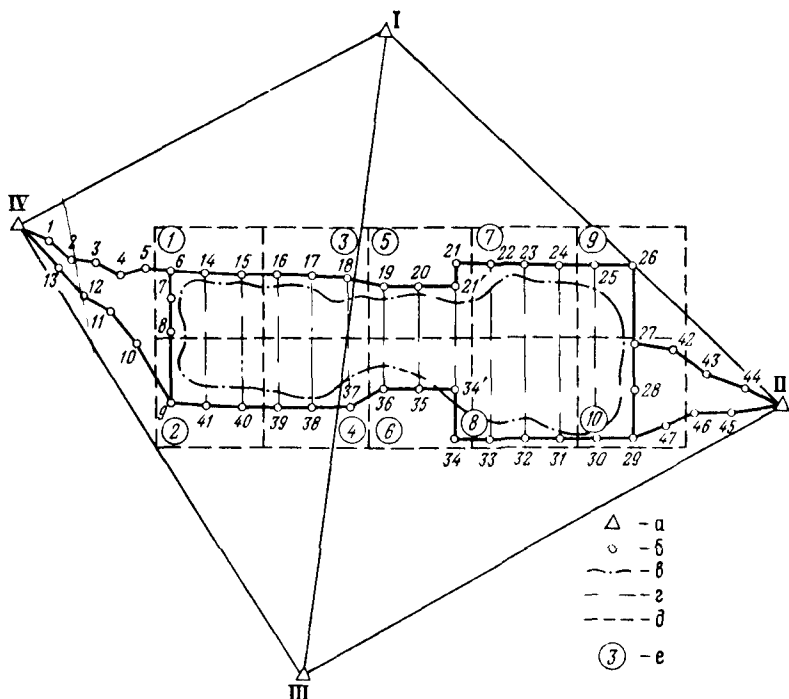


Рис 89 Схема развития топографо-геодезических работ при разведке месторождения

a — пункты триангуляции *б* — пункты магистрального хода, *в* — предполагаемая граница залежи, *г* — профильные разведочные линии; *д* — границы планшетов топографической съемки, *е* — номера планшетов

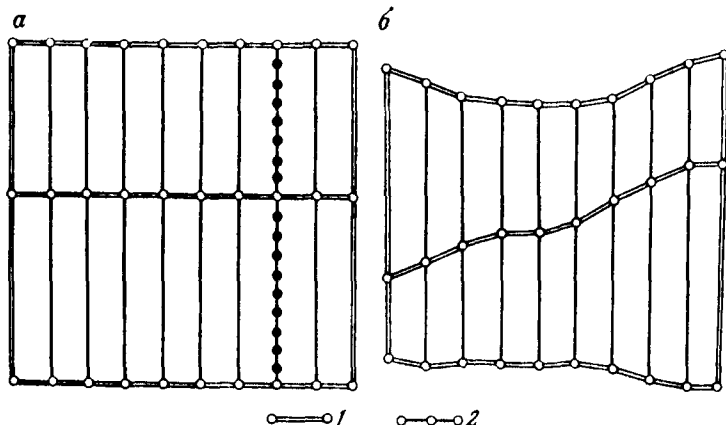


Рис 90. Схемы простираения магистральных ходов и разведочных профилей: 1 — магистральный ход; 2 — профиль с точками наблюдений

Сети при детальных геологоразведочных работах имеют в большинстве случаев относительно правильную геометрическую форму, которая состоит из системы параллельных магистралей, пересекаемых системой параллельных профилей (рис. 90, а). Иногда часть магистралей целесообразно совместить с имеющимися на местности вытянутыми объемами (дорога, берег реки, открытый водораздел и т. п.). В этом случае магистрали имеют криволинейную форму (рис. 90, б).

Как правило, проект разведочной сети выносится в натуру инструментальным способом.

При создании разведочных сетей относительно правильной геометрической формы геодезические работы выполняются в определенной последовательности, обеспечивающей наиболее рациональное их развитие с точки зрения точности их наблюдения.

Последовательное развитие геодезических работ позволяет уменьшить объемы работ повышенной точности, а работы, связанные с проложением профилей и разбивкой на них пикетажа, вести упрощенными методами.

Таким образом, на практике при разбивке геологоразведочных сетей целесообразен следующий принцип геодезических работ:

вынос в натуру исходных пунктов и направлений, проложение магистралей, оконтуривающих площадь съемки, что позволяет создать «каркас» для дальнейших разбивочных работ;

геодезическая привязка магистралей, оконтуривающих участок съемки, к пунктам геодезической сети, т. е. привязка «каркаса» к существующей системе координат;

проложение профиля с разбивкой пикетажа.

Вынос в натуру исходного пункта и задание направления начального участка магистрали может быть осуществлено одним из перечисленных ниже приемов:

а) одна из магистралей проходит через пункт опорной геодезической сети, существующей в районе разведочных работ. В этом случае на топографической карте измеряют угол между направлением магистрали и направлением на какой-либо другой пункт опорной сети (например, углы β_1 , β_2 на рис. 91, а). Затем на местности угломерным прибором, установленным на исходном пункте, откладывают проектный угол;

б) магистрали проходят вдали от пунктов геодезической опорной сети. Вблизи от магистралей выбирается точка опорной сети, с которой имеется видимость на 2 или 3 смежных опорных пункта, и между выбранной опорной точкой и магистралью прокладывается теодолитный ход (рис. 91, б), при помощи которого осуществляется привязка магистральных ходов к существующей в районе съемки системе координат;

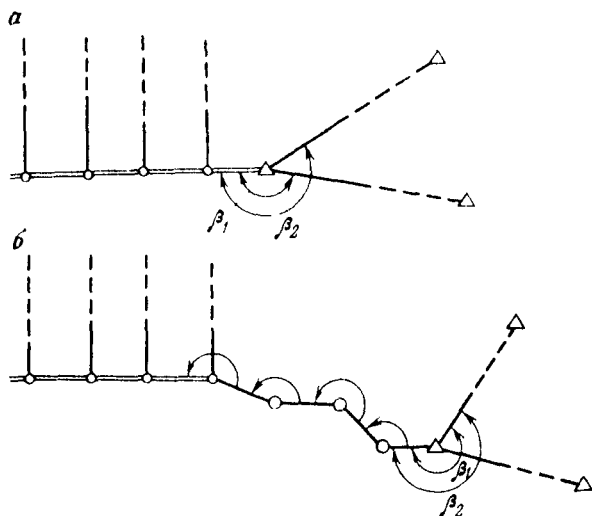


Рис 91. Схемы привязки магистральных ходов

в) участок геологоразведочных работ расположен в залесенном районе, откуда нет видимости на пункты опорной геодезической сети. В этом случае направление магистралей может быть выбрано с помощью магнитного азимута. В том случае, если участок работ расположен в лесистом (закрытом) районе, где имеются магнитные аномалии, привязка магистралей может быть осуществлена по географическому азимуту.

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 точек конечных пикетов профилей определяются прокладкой теодолитных ходов, соединяющих концы профилей.

Точки наблюдений или геологоразведочные выработки, не совпадающие с точками опорной сети, привязываются прокладкой тахеометрических или мензульных ходов, промерами, засечками.

§ 80. 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 опо-

знания по топографической карте. При этом используются тиражные оттиски топографических карт, масштаб которых не должен быть мельче масштаба отчетной карты. Вместо топографических карт можно использовать фотопланы или фотокарты.

В районах, где имеется небольшое количество контуров или отсутствуют обновленные карты, перенесение в натуру и определение плановых координат и высот объектов геологоразведочных наблюдений осуществляется по материалам фотосъемки последних лет. В последнем случае сначала на аэрофотоснимке опознается объект, который затем переносится на карту.

Перенос объектов с аэрофотоснимков на топографическую карту может осуществляться одним из следующих способов: визуальным, графическим или инструментальным.

В визуальном способе перенос выполняется при помощи глазомерной линейной засечки из двух или трех опорных точек карты. При этом соотношения соответствующих отрезков на аэрофотоснимке и карте оцениваются глазомерно. Визуальный способ переноса обычно применяется при наличии четких контуров местности и незначительной расчлененности рельефа.

В графическом способе переноса наиболее часто применяется прямая засечка из центральных точек аэрофотоснимка и обратная засечка.

При прямой засечке на карту предварительно методом фототриангуляции наносят центральные точки аэроснимков. Точки, которые переносятся на топографическую основу, опознают и накалывают на двух смежных аэрофотоснимках. С каждого аэроснимка на восковку перекалывают центральные точки (431 и 432 на рис. 92) и точки, подлежащие переносу (например, точки 1, 2, 1', 2'). Далее прочерчивают направления на центральные точки аэроснимков и точки, намеченные для переноса. После этого восковки укладывают на топографическую основу и ориентируют так, чтобы центральная точка каждой восковки совпадала с соответствующей ей точкой на топокарте, а направления, соединяющие центральные точки на восковках, совместились с соответствующей прямой на топокарте. Пере-

сечение направлений на одноименные объекты определяет положение на топокарте переносимой точки.

Предельные погрешности (в мм) положения определяемых на картах точек для плановых аэроснимков приведены в табл. 24.

Способ обратной засечки заключается в том, что на

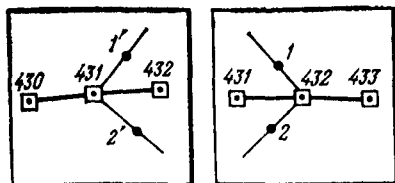


Рис. 92. Схемы, иллюстрирующие прямую засечку переноса точек с аэрофотоснимков на топографическую карту

аэрофотоснимке и топографической карте выбирают не менее четырех опорных точек. На аэроснимок накладывают восковку и на ней из переносимой точки прочерчивают направления на выбранные опорные точки. Затем восковку накладывают на карту так, чтобы прочерченные направления прошли через соответствующие точки карты. После этого переносимую точку с восковки перекалывают на карту.

Инструментальный способ переноса точек является наиболее точным и обладает высокой производительностью. Для инструментального способа переноса пунктов аэроснимков на топографическую карту используется ряд приборов, например, универсальный топографический проектор УТП-2, радиал-пантограф РП-3, универсальные фотограмметрические приборы СПР-3, СД-3.

Привязка объектов геологических наблюдений или вынос их в натуру по топографической карте (аэрофотоснимку) 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.

При определении плановых координат и высот объектов геологоразведочных наблюдений по топографическим картам (аэрофотоснимкам) выполняются следующие работы:

опознавание на местности контуров или ориентиров, изображенных на топографической карте, при необходимости проведение измерений на местности между определяемыми объек-

Т а б л и ц а 24

Масштаб карты	При средней величине превышений между точками, м				
	50	75	150	200	500
1 : 5 000	1,4	2,0	2,7	5,4	—
1 : 10 000	0,6	1,0	1,4	2,7	6,7
1 : 25 000	0,3	0,4	0,5	1,8	2,7
1 : 50 000	0,3	0,3	0,3	0,5	1,4
1 : 100 000	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7
1 : 200 000	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Таблица 25

Характер местности и рельефа	Средняя квадратическая погрешность (в м) определения высот интерполированием между точками, имеющими отметки (числитель дроби), и между горизонталями (знаменатель дроби)					
	Масштаб карты (плана)					
	1 : 2000	1 : 5000	1 : 10 000	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000
Плоскоравнинная (углы наклона до 2°)	0,15 ÷ 0,3	0,2 ÷ 0,3	0,8	1,1	3,0	5,7
	0,15 ÷ 0,3	0,15 ÷ 0,3	1,0	1,0	3,3	6,5
Плоскоравнинная зале- сенная (углы наклона до 2—4°)	0,3 ÷ 0,7	0,3 ÷ 0,8	1,0	2,0	3,5	7,0
	0,3 ÷ 0,7	0,3 ÷ 0,8	1,0	2,5	4,0	8,0
Плоскоравнинная сплошь залесенная (углы накло- на до 2°)	0,3 ÷ 0,7	0,3 ÷ 0,7	1,0	2,0	3,0	6,5
	0,5 ÷ 1,0	0,3 ÷ 1,0	2,0	4,0	6,5	13,0
Всхолмленная пересе- ченная (открытая) с пре- обладающими углами на- клона до 6°	0,4 ÷ 0,8	0,8 ÷ 1,6	1,2	2,5	5,0	11,0
	0,5 ÷ 0,8	0,8 — 1,6	1,5	3,0	6,0	12,0
Всхолмленная пересе- ченная (закрытая) с пре- обладающими углами па- дения до 6°	0,4 ÷ 0,8	0,9 ÷ 1,6	1,5	3,5	7,0	14,0
	0,6 — 1,0	1,2 — 2,0	2,5	5,0	10,0	20,0
Предгорная и горная с преобладающими угла- ми наклона до 15°	1,0	1,8 — 2,2	4,0	8,5	17,0	33,0
Высокогорная	Погрешность не более 1,5 сечения рельефа					
	—	—	—	10,0	20,0	40,0
	Погрешность не более 2,0—2,5 сечения рельефа					

тами и ориентирами, нанесение определяемых объектов на карты;

перенос объектов наблюдений с аэрофотоснимков на карту;
снятие плановых координат и высот объектов наблюдений с карты.

Измерения на карте и местности выполняются способами, обеспечивающими получение планового положения определяемых объектов относительно опознанного контура со средней квадратической погрешностью, не превышающей 0,2 мм используемой карты.

Снятие плановых координат и высот с карты выполняются дважды. Погрешность определения высот объектов наблюде-

ний по топографической карте должна соответствовать данным, приведенным в табл. 25.

Определение плановых координат и высот объектов геологоразведочных работ по топографическим картам должно выполняться с контролем, причем контролируется не менее 20 % опознаваемых точек.

§ 81. 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 дальности. Определять положение точек, близко расположенных от профильных линий, можно способом перпендикуляров с измерением расстояний рулеткой (мерной лентой) или дальномером.

Положения устьев закрепленных буровых скважин и горных выработок определяются аналитическими методами от пунктов государственной геодезической сети, сетей сгущения, съемочных сетей, магистральных ходов.

В содержание работ по привязке объектов геологических наблюдений входят:

- составление схемы привязки;

- измерения для определения плановых координат и высот объектов геологических наблюдений;

- составление каталога координат и высот объектов геологических наблюдений.

При направленном бурении скважин, кроме того, выполняется:

- разбивка и закрепление на местности ориентирного направления от центра ротора для фиксации отклонений;

- разбивка и закрепление на местности проектного направления ствола скважин и определение положения забоя в плане.

Работы по перенесению проекта сооружения или геологоразведочных работ в натуру, называемые разбивочными работами, заключаются в воспроизведении на местности точной геометрической формы запроектированных объектов. Для этого на местности отмечают характерные точки проектируемых сооружений.

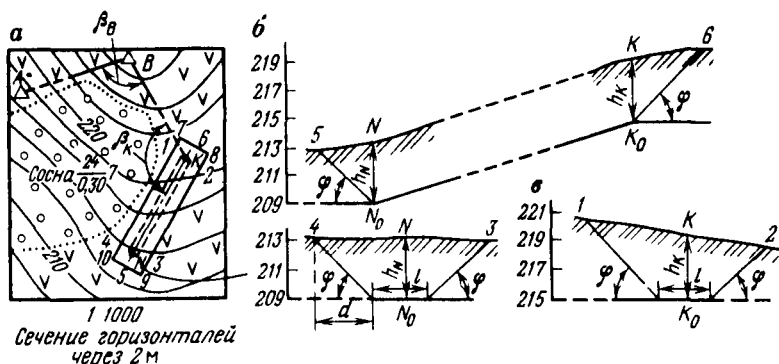


Рис 93. Схема разбивки разведочной траншеи

Разбивочные работы производятся как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях и состоят из ряда специфических геодезических работ: перенесение в натуру точки, проектного расстояния, проектного горизонтального угла, высотной отметки, осей сооружения и т. п., которые подробно рассмотрены в главе «Маркшейдерское обслуживание шахтного строительства». Ниже показаны особенности маркшейдерских работ при разбивке разведочной траншеи.

Разбивка открытых геологоразведочных выработок (траншей, канавы 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. 93) точки K и N — концы запроектированной 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

$$\operatorname{tg} \alpha_{BK} = \frac{y_K - y_B}{x_K - x_B}; \quad s_{BK} = \frac{y_K - y_B}{\sin \alpha_{BK}} = \frac{x_K - x_B}{\cos \alpha_{BK}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{KN} = \frac{y_N - y_K}{x_N - x_K}; \quad s_{KN} = \frac{y_N - y_K}{\sin \alpha_{KN}} = \frac{x_N - x_K}{\cos \alpha_{KN}};$$

$$\beta_B = \alpha_{BA} - \alpha_{BK}; \quad \beta_K = \alpha_{KB} - \alpha_{KN},$$

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 , а затем по полученному направлению откладывают длину линии s_{BK} и закрепляют точку K .

Затем в точке K строят угол β_K по направлению KN , откладывают проектную длину дна траншеи s_{NK} и закрепляют точку N .

Для разбивки верхних бровок траншей используют ряд профилей, которые строят на миллиметровой бумаге в крупном масштабе, например, $1:200$. При этом ширину l дна траншей (на рис. 93, а дно траншеи показано пунктиром), ее глубину h и угол наклона φ бортов траншей берут из проекта, а высоты точек, необходимые для получения земной поверхности, — с плана. В данном случае построено три профиля: один продольный по оси KN и два поперечных по перпендикулярам к оси в точках K и N (рис. 93, б, в).

В результате построения профилей находят точки 1, 2, 3, 4, 5 и 6 пересечения бровок траншеи с земной поверхностью. Определив 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 траншей — точки 7, 8, 9, 10 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 $N-4 = N-3 = l/2 + d$, где d — заложение борта траншеи, вычисленное по формуле $d = h/\operatorname{tg} \varphi$.

§ 82. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАЗВЕДКИ

Геофизические методы разведки (разведочная геофизика) представляют собой методы исследования земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых, инженерно-гидрогеологических изысканий, основанные на изучении различных физических полей Земли, созданных искусственно или являющихся естественными. Каждое из этих физических полей характеризуется своими параметрами. Так, гравитационное поле представляется

ускорением силы тяжести или вторыми производными потенциала силы тяжести магнитное поле — полным вектором напряженности и различными его составляющими (вертикальной, горизонтальной и др.), электромагнитное — векторами электрической и магнитной составляющих поля, упругое — временем распространения различных упругих волн и т. п.

Возможность геофизических методов разведки, использующих изучение различных физических полей, основывается на том, что распределение параметров полей на земной поверхности и под ней, а также в воздухе, космосе и океанах определяется как общим строением Земли и околоземного пространства, так и изменениями физических свойств горных пород, а также размерами и глубиной залегания геологических объектов

В геофизике решаются две задачи: прямая и обратная. В связи с тем, что значения физических полей однозначно зависят от свойств и размеров разведываемых геологических объектов, определение параметров поля по известным свойствам и размерам геологических тел может производиться однозначно. Такая задача в геофизике называется прямой. Обратная же задача геофизики, заключающаяся в определении размеров, глубины залегания геологических объектов и их свойств по измеренным параметрам поля, как правило, неоднозначна.

Однозначность решения обратной задачи достигается комплексным изучением нескольких полей. Эффективность разведочной геофизики, помимо комплексности исследований, также определяется рациональной и высококачественной методикой проведения работ и достоверностью как геофизической интерпретации, так и геологического истолкования результатов.

Геофизические методы разведки по месту их проведения подразделяются на космические, наземные, морские и подземные. По решаемым задачам и объектам исследований геофизическую разведку можно подразделить на региональную, структурную, рудную, нефтегазовую и инженерную геофизику.

В настоящее время наибольшее распространение получили гравиметрический, магнитометрический, электрический, сейсмический, ядерный и геотермический методы разведки.

Гравиметрическая разведка использует данные измерений ускорения силы тяжести и измерения ее ускорения (градиенты) по разным направлениям. Значение параметров поля силы тяжести зависит, с одной стороны, от причин, обусловленных формой и вращением Земли (нормальное поле), а с другой — от изменения плотности пород, слагающих литосферу (аномальное поле).

Под гравитационным (нормальным) полем Земли понимают поле силы тяжести, которая является результатом составляющих двух сил: силы притяжения (тяготения) Земли и центробежной силы, вызванной вращением Земли вокруг ее

оси. Она измеряется ускорением g , сообщаемым свободно падающему телу В гравиметрии в качестве единицы ускорения применяется величина 1 м/с^{-2} , называемая галлом

В гравитационной разведке изучаются аномалии силы тяжести, т. е. отклонения измеряемых значений от нормальных Значение нормального поля силы тяжести позволяет выделить из действительного гравитационного поля Земли его основную часть Для определения нормального поля силы тяжести может использоваться формула

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin B - \beta_1 \sin^2 2B),$$

где

$$\beta = \frac{\gamma_p - \gamma_e}{\gamma}, \quad \beta_1 = \frac{1}{8} \alpha^2 + \frac{1}{4} \alpha \beta,$$

α — сжатие эллипсоида, B — геодезическая широта, γ_p — нормальное поле тяжести на полюсе, γ_e — нормальное поле тяжести на экваторе

Таким образом, аномалия силы тяжести представляет собой разность между наблюдаемым значением силы и теоретическим значением, которое вычисляется по одной из формул для нормального значения силы тяжести, с введением редукции (поправок) Наилучшим образом отображает плотностную неоднородность земной коры и соответственно чаще используется в гравитаразведке аномалия Буге

$$\Delta g_B = g_n - \gamma_0 + \Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3,$$

где g_n — измеренное (наблюдаемое) значение силы тяжести, Δg_1 — поправка за высоту, применяемая для приведения измеряемого значения к уровню океана (поправка Фая) и которая может быть вычислена по формуле $\Delta g_1 = 0,308H$, где H — высота над уровнем океана в метрах, Δg_2 — поправка за притяжение промежуточного слоя, равная притяжению масс, расположенных между уровнем океана и реальной земной поверхностью, вычисляемая по формуле $\Delta g_2 = 0,0419 \sigma H$, где σ — средняя плотность пород в этом слое, H — высота точки наблюдения, Δg_3 — топографическая поправка или поправка за рельеф Поправка за рельеф учитывает отклонения физической поверхности Земли от горизонтальной плоскости, проходящей через данную точку Для учета поправки за рельеф участок вокруг пункта наблюдения разбивается определенным образом на площади Это делается для того, чтобы аппроксимировать рельеф простыми геометрическими телами, гравитационный эффект которых можно вычислить аналитически

Поправка за окружающий рельеф вычисляется для определенных кольцевых зон, расположенных концентрически вокруг гравиметрического пункта.

Влияние рельефа местности на величину топографической поправки уменьшается пропорционально удалению от этой точки наблюдения силы тяжести; поэтому принято всю область, где производится учет поправки, для каждого пункта делить на три зоны: ближнюю (до 200 м), среднюю (от 200 до 5000 м) и дальнюю (от 5000 до 30 000 м).

Наибольшее влияние оказывают неровности рельефа, находящегося в ближайшей зоне. Иногда из ближайшей зоны выделяют центральную зону с радиусом до 10—50 м. При высокоточных гравиметрических съемках поправки за рельеф в центральной и ближней зонах определяются инструментальными методами.

Для определения средних превышений в секторах обычно используются топографические карты различных масштабов. Для зон в радиусе до 300 м нужны карты масштаба 1 : 1000—1 : 2000, для зон до 30 км — 1 : 10 000 — 1 : 50 000, для зон больше 30 км — 1 : 100 000 и даже 1 : 500 000.

Электрический метод разведки основан на изучении как естественных, так и искусственных электромагнитных полей, возникающих в земной коре. По характеру изменения во времени естественные и искусственные поля могут быть постоянными и переменными, первые принято называть электрическими, вторые — электромагнитными.

В электроразведке изучаются нормальные и аномальные поля. Нормальными принято считать поля над однородным по электромагнитным свойствам полупространством. Аномальное поле определяется неоднородностями строения геоэлектрического разреза разведываемого участка, под последним подразумевается совокупность геологических тел и пластов, каждый из которых обладает определенными размерами и электромагнитными показателями.

В электроразведке измеряемыми параметрами поля являются амплитудные значения напряженностей электрического и магнитного полей, а также их фазовые сдвиги. Электрическими свойствами (параметрами) горных пород являются удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая и магнитная проницаемости, электрохимическая активность и поляризуемость.

Отличительной особенностью электроразведки является наличие большого количества модификаций методов и способов исследований, диктуемых разной природой и характером полей, широким диапазоном частот, разнообразием способов измерения и возбуждения поля, наличием у пород большого количества параметров. Все методы электроразведки, в зависимости от решаемых геологических задач, подразделяются на три группы: 1) профилирование, предназначенное для изучения неоднородных геоэлектрических разрезов, представленных кру-

тослоистыми толщами пород или включениями неоднородных по электромагнитным параметрам объектов; 2) зондирование, используемое для расчленения разрезов, сложенных горизонтально или полого залегающими структурами; 3) подземная электроразведка, применяемая для выделения геоэлектрических неоднородностей между скважинами, горными выработками и поверхностью Земли.

При электроразведке изучаются следующие поля.

1. Локальные естественные электрические поля, к которым относятся поля электрохимической и электрокинетической природы. Электрохимические поля обусловлены окислительно-восстановительными реакциями, протекающими на границе электронного (рудный минерал) и ионного (окружающие рудное тело подземные воды) проводника. Электрокинетические поля существуют вследствие фильтрации подземных вод в пористых породах и происходящих при этом процессов диффузии и адсорбции ионов на твердых частицах.

2. Региональные естественные электромагнитные поля, называемые магнитотеллурическими, обусловлены космическими причинами и проявляются в земной коре в пределах значительных по площади регионов. Их происхождение связано с воздействием на ионосферу Земли потока заряженных частиц, посылаемых Солнцем, и, таким образом, они зависят от солнечной активности.

3. Постоянные искусственные электрические поля, создаваемые с помощью заземлений, подключаемых к источнику постоянного напряжения.

4. Переменные гармонические искусственные электромагнитные поля, источником которых являются разного рода генераторы, вырабатывающие гармонически изменяющиеся во времени напряжения.

При использовании переменного тока поле может возбуждаться индуктивным (бесконтактным) способом. Для этого к генератору подключается уложенная на поверхности земли петля из нескольких витков провода, обычно квадратной формы со стороной квадрата от 10 до 1000 м.

5. Нестационарные электрические и электромагнитные поля, возбуждаемые путем быстрого включения в питательную линию прямоугольного импульса постоянного тока.

В комплект аппаратуры для работ при любом методе электроразведки входят генераторные устройства или источники питания, измерительные или регистрирующие приборы, электроды-заземлители или незаземленные контуры для гальванического или индуктивного поля возбуждений, электроды-заземлители и штыревые антенны для измерения электрических составляющих или рамки и петли для измерения магнитных составляющих поля, вспомогательное оборудование.

Сейсморазведка представляет собой геофизический метод разведки полезных ископаемых, основанный на изучении распространения упругих волн, возбужденных взрывом или невзрывным источником.

В связи с тем, что горные породы обладают различной плотностью и различными скоростями прохождения в них упругих волн, на границах слоев появляются отраженные и преломленные волны. При регистрации этих волн получают информацию о строении исследуемого района.

Методика и техника сейсморазведки предусматривают возбуждение упругих волн, улавливание колебаний почвы, трансформацию этих колебаний в электрические импульсы, их усиление и фиксацию на так называемых сейсмограммах или магнитограммах. В результате обработки сейсмограмм или магнитограмм выделяются различные типы сейсмических волн и определяется время их прихода в точки, координаты которых известны. При количественной интерпретации данных сейсмической разведки рассчитываются скорости прохождения волн, а также изменения их распространения по глубине и по площади, определяются также глубины залегания сейсмогеологических границ, их падение, простирание. Используя дополнительную геологическую характеристику, часто можно установить геологическую природу выявленных границ геологических тел, т. е. построить сейсмогеологический разрез.

В сейсморазведке различают следующие основные методы: метод отраженных волн (МОВ), метод преломленных волн (МПВ), называемый иногда корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), метод проходящих волн (МПВ), метод общей глубинной точки (МОГТ), метод вертикального сейсмического профилирования (МВСП) и др.

На практике наиболее часто применяется метод отраженных волн. Его применяют для расчленения осадочных толщ и поэтому он является ведущим геофизическим методом при структурных исследованиях, поисках и разведке нефти, газа и других полезных ископаемых.

Метод преломленных волн (МПВ) позволяет получить сведения о глубине залегания и скорости упругих волн толщ, сложенных породами с высокими модулями упругости и расположенных на различных глубинах. Он используется при глубинных, рудных, инженерно-геологических исследованиях. Методы проходящих волн применяются для получения информации о скоростном разрезе среды и выявления в ней тех или иных неоднородностей.

В зависимости от этапов геологоразведочных работ и детальности исследований различают региональную, поисковую и детальную сейсморазведку, отличающиеся друг от друга методами и масштабами съемки, густотой сети наблюдения.

Региональные сейсморазведочные работы являются мелко-масштабными, рекогносцировочными. Осуществляются они, как правило, по отдельным профилям и маршрутам, выполняемым вкрест предполагаемых тектонических структур и аномалий, выделенных другими геофизическими методами.

Работы проводятся методами отраженных или преломленных волн.

При помощи метода отраженных волн ведется расчленение осадочной толщи, а методом преломленных волн — в основном картирование фундамента.

По результатам региональной сейсморазведки вдоль разведанных направлений строятся сейсмологические разрезы.

Поисковые сейсморазведочные работы чаще выполняются маршрутами, реже — по площади. Эти работы используются для поиска отдельных структур, тектонических зон, изучении месторождений полезных ископаемых.

Детальная сейсморазведка является главным образом площадной и применяется для подробного изучения и разведки небольших участков в целях подготовки площадей под промышленное бурение. Система профилей при детальной площадной разведке зависит от формы структур. Профили задаются как вкрест их простираения, так и вдоль них. На вытянутых структурах расстояние между профилями должно быть в 3—5 раз меньше, чем предполагаемая их длина.

Магнитная разведка — геофизический метод решения геологических задач, основанный на изучении распределения в пространстве изменений геомагнитного поля, возникающих вследствие неодинаковой намагниченности горных пород.

Основными методами магнитной разведки являются аэромагниторазведка, гидромагнитная и наземная съемки, подземные и скважинные наблюдения, а также измерения магнитных свойств образцов.

В любой точке земной поверхности существует магнитное поле, выражаемое полным вектором напряженности T , которое определяется вертикальной Z и горизонтальной H составляющими.

В первом приближении магнитное поле Земли может быть уподоблено полю однородно намагниченного шара или диполя T_0 . Однако, магнитное поле Земли, кроме поля намагниченного шара, содержит составляющие аномальных геомагнитных полей, связанных с материковыми T_1 , региональными T_2 и локальными T_3 аномалиями. В практике магнитной разведки нормальным магнитным полем принято считать поле однородного намагниченного шара T_0 и его материковую аномалию T_1 . Нормальное геомагнитное поле может быть охарактеризовано нормальным градиентом, т. е. изменением напряженности поля на 1 км. Отклонения наблюдаемых значений магнитных векторов

от нормального поля в зависимости от площади проявления представляют собой региональные и локальные аномалии.

При магнитной разведке измерения магнитного поля могут быть абсолютными и относительными, в наземной же магнитной разведке чаще всего измеряют относительные величины вертикальной составляющей геомагнитного поля ΔZ , реже полного вектора ΔT , т. е. приращения этих элементов по отношению к исходной (опорной) точке.

Наземная магнитная съемка может выполняться в масштабах от 1:50 000 до 1:2 000 и крупнее. При масштабах съемки 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000 выполняются геологические съемки с целью картирования изучаемой территории, а также с целью непосредственного поиска железосодержащих руд.

В результате магнитных съемок масштабов 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000 осуществляется детализация аномалий поисковых съемок, выявление рудных тел, тектонических нарушений, оценка размеров, формы, положения рудных тел.

Целью разведочных магнитных съемок, выполняемых в масштабе крупнее 1:2 000, являются разведка рудных месторождений и выяснение размеров, формы и положения включений пород с различными магнитными свойствами.

Наземная магнитная съемка выполняется, как правило, по площади на участках, выявленных как перспективные к разведке, в результате аэромагнитной съемки. Профили наблюдений задают вкрест простираения аномалий на аэромагнитных картах. Расстояние между профилями зависит от масштаба съемки и может изменяться от 500 (1:50 000) до 50 м (1:5 000). Расстояния между точками наблюдений на профилях должно быть меньше в 2,0—2,5 раза расстояний между профилями.

Привязка точек наблюдений может быть инструментальной (при разведочных работах) и полунструментальной с определением расстояний между точками шагами. Однако, в случае применения полунструментальной съемки начала и концы профилей привязываются инструментально, также инструментально должны быть определены центры аномалий.

Геодезические работы при геофизических методах разведки. Основной задачей геодезических работ при геофизической разведке является разбивка точек стояния приборов и определение их координат и высот. Выбор метода геодезического обоснования при геодезических съемках определяется, главным образом, масштабом геофизических съемок, обеспеченностью геодезическим обоснованием и физико-географическими условиями района разведки.

Высоты и координаты точек геофизических исследований можно просто и экономически выгодно получить, пользуясь топографическими картами. В случае отсутствия достоверных карт при региональных геофизических съемках плановое поло-

жение пунктов геофизических наблюдений можно получить по аэроснимкам. Высоты таких пунктов определяют, как правило, при помощи барометрического нивелирования.

При полевых геофизических съемках масштабов 1 : 50 000—1 : 10 000 для получения координат чаще всего выполняются геодезические работы, при этом прокладываются магистральные ходы, а между ними разбиваются профили. По магистральным ходам, иногда и по профильным линиям, прокладывают теодолитные и нивелирные ходы.

Топографо-геодезическое обеспечение геофизических методов разведки включает в себя следующие виды работ:

- перенесение в натуру проектного положения разведочных профилей или отдельных пунктов наблюдений и закрепление их на местности. Перенесению в натуру при гравиметрических и магнитометрических работах подлежат все пункты наблюдений, при сейсмических и электроразведочных все центры возбуждения и приема сигналов. Перенесение в натуру проектного положения профилей или отдельных пунктов наблюдений осуществляется с точностью плановой привязки;

- привязка пунктов наблюдений (определение плановых координат и высот), расположенных как на профилях, так и вне их. Определению плановых координат и высот подлежат все пункты геодезических наблюдений.

- создание топографических основ для отчетных геофизических карт;

- определение превышений вокруг гравиметрических пунктов для учета влияния рельефа местности на измеренное значение силы тяжести.

При аэрогеофизических методах разведки обычно используют аэрофотосъемку для плановой привязки аэрогеофизических маршрутов.

Геодезические работы при гравиметрической разведке. К геодезическим работам при гравиметрической съемке предъявляются требования точности определения координат, высот пунктов наблюдений и аномалий силы тяжести. Геодезические работы при гравиметрических съемках включают:

- перенесение в натуру проекта расположения опорных и рядовых гравиметрических пунктов (разбивка магистралей, профилей и т. п.);

- закрепление пунктов соответствующими знаками;

- определение координат и высот пунктов наблюдений;

- проведение работ по определению относительных превышений местности вокруг пунктов наблюдений с целью учета влияния рельефа;

- составление геодезической основы для гравиметрической карты;

- технический контроль и оценка точности выполненных работ.

Таблица 26

Масштаб отчетной гравиметрической карты	Сечение, мгл		Средние квадратические погрешности положения пунктов наблюдений относительно исходных, м			
	равнина	горные районы	в плане		по высоте	
			равнина	горные районы	равнина	горные равнины
1 : 1 000 000	5	5	±200	—	±5,0	—
1 : 200 000	2	2	±100	±100	±2,5	±3,0
1 : 100 000	1	1	±80	±100	±1,2	±1,8
1 : 50 000	0,5	1,0	±40	±50	±0,70	±1,6
	0,25	0,50	±40	±50	±0,35	±0,9
1 : 25 000	0,25	0,50	±20	±25	±0,35	±0,9
	0,20	0,25	±20	±25	±0,25	±0,45
1 : 10 000	0,20	0,50	±4	±5	±0,20	±0,25
	0,10	0,20	±4	±5	—0,10	
1 : 5 000	0,05	0,10	±2	±2	±0,05	±0,12

При проведении плановой привязки пунктов гравиметрической разведки могут использоваться топографические карты масштабов, соответствующих масштабам гравиметрических съемок или более крупных; аэрофотосъемочные материалы, инструментально-геодезические методы; аэмометрические топопривязки и пр.

Для определения высот пунктов гравиметрической разведки могут применяться топографические карты, обеспечивающие определения высот соответствующей точностью; геометрическое и тригонометрическое нивелирование, барометрическое нивелирование; результаты стереофотограмметрической съемки; гидростатическое нивелирование.

При гравиметрической съемке допустимы следующие погрешности определения положения пунктов гравиметрических наблюдений, приведенные в табл. 26.

Определенной спецификой обладает геодезическое обеспечение при учете поправки за рельеф, которая вводится в наблюдаемые значения силы тяжести в случае существенного отклонения поверхности наблюдения от плоскости. Наличие и отрицательной и положительной формы рельефа уменьшает силу тяжести, поэтому поправка за окружающий рельеф всегда вводится с положительным знаком.

Поправки за окружающий рельеф вычисляют для отдельных кольцевых зон, расположенных концентрически вокруг гравиметрического пункта. Кольцевые зоны принято разбивать на отдельные криволинейные призмы (рис. 94), называемые эле-

ментарными отделениями. Причем, действительная поверхность каждого элементарного отделения заменяется горизонтальной плоскостью, высота которой равна средней высоте элементарного отделения относительно точки наблюдения силы тяжести. Таким образом, при расчете поправок за окружающий рельеф действительная поверхность заменяется поверхностью с выражением, описываемым аналитически.

Поправка за окружающий рельеф может определяться непосредственно по топографической карте или с использованием инструментальных наблюдений.

Поправку по топографическим картам определяют с помощью специальных палеток, представляющих собой ряд концентрических окружностей (зон), разбитых радиальными лучами на элементарные отделения. Как правило, строится несколько палеток, например, для определения поправок за рельеф в радиусе 30 км строят три палетки: первая соответствует удалениям от точки наблюдения силы тяжести от 0 до 200 м, вторая — от 200 до 5000 м, третья — от 5 до 30 км.

Палетки вычерчиваются на прозрачном материале (целлулоид, стекло, калька). Центр палетки совмещают с гравиметрическим пунктом, а один из ее диаметров ориентируют чаще всего с линиями координатной сетки карты.

Для каждого элементарного отделения снимают высоту. Если расположение горизонталей равномерное, т. е. рельеф в пределах площади отделения изменяется монотонно, то значение рельефа снимается (определяется) в центре отделения, если рельеф резко изменяется (сильно изрезан), то каждое отделение разбивается на несколько равных частей, для каждой из которых определяется среднее значение высоты, из них затем вычисляется общая средняя высота отделения.

Для определения поправки за рельеф необходимо иметь соответствующий по точности картографический материал, однако это не всегда можно обеспечить, особенно для так называемой ближней зоны, т. е. части земной поверхности, непосредственно прилегающей к гравиметрическому пункту. В этих случаях вокруг гравиметрического пункта выполняется нивели-

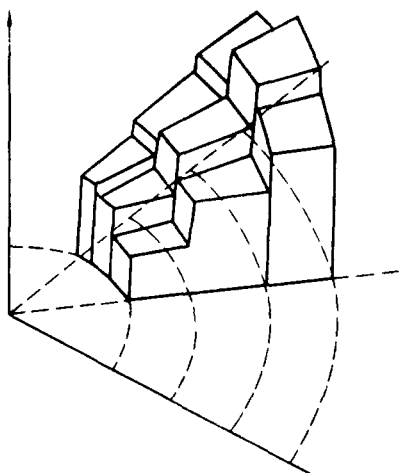


Рис. 94 Схема рельефа местности в виде совокупности элементарных отделений

Таблица 27

Метод электроразведочных работ	Масштаб отчетной карты	Средние квадратические погрешности положения пунктов электроразведочных наблюдений относительно исходных, м		
		в плане		по высоте
		равнина	горные районы	
Естественного поля, вызванной поляризации, переходных процессов, электропрофилирования, изолиний и другие им подобные	1 5000	4	5	5
	1 10 000	8	10	5
	1 25 000	40	50	10
	1 50 000	40	50	10
Теллурических токов, магнитотеллурического профилирования и магнитотеллурического зондирования	1 50 000	40	50	1 50 от глубины опорного горизонта, но не более 15 м
	1 100 000	80	100	
и мельче	1 200 000			Определяется проектом
	и мельче	40	50	
Вертикальное электроразведывание, дипольное электроразведывание, частное электромагнитное зондирование	1 50 000	80	100	
	1 100 000			
и мельче	1 200 000			1 50 от глубины опорного горизонта
	и мельче	40	50	
Становление электромагнитного поля	1 50 000	80	100	
	1 100 000			
	1 200 000			
	и мельче			

рование местности, осуществляемое вдоль радиальных лучей (восьми или шестнадцати). Обычно расстояние по радиусу от гравиметрического пункта до места установки рейки принимается равным 1,2; 2; 6; 15; 35; 75; 150 м.

Геодезические работы при электроразведке Геодезические работы при всех видах электроразведки проводят главным образом для подготовки на местности и привязки точек наблюдений и выявленных аномалий, а также разбивки и съемки магистральных ходов и профилей.

Основные требования к точности геодезических работ, проводимых при электроразведке, показаны в табл. 27.

Геодезические работы обладают некоторыми особенностями при различных видах электроразведки. Так, в методе изолиний на расстоянии от 500 до 15 000 м друг от друга укладываются линейные электроды, которые изолированным проводом соединяются с полюсами источников токов. На местности между электродами при помощи так называемой искательной цепи определяются точки с одинаковым потенциалом. Задача геодезистов в данном случае заключается в определении положения данных точек. При региональных разведочных работах коор-

динаты этих точек определяют главным образом по материалам аэрофотосъемки, при детальныx работах их положение определяется инструментальным способом

При методах индукции, естественного постоянного тока и других подобных им методах положение точек стояния прибора при региональных исследованиях определяют по материалам аэрофотосъемки и топографическим картам, при детальныx — промерами по заранее разбитой квадратной или прямоугольной сетке

При методах электроразведки, в которых решаются общие геологические проблемы, связанные с глубинной или структурной геологией, не требуется детальной разбивки разведочных точек. В таких случаях исследования, как правило, ведутся только по некоторым профилям, для определения координат и высот точек наблюдения используются топографические карты или материалы аэрофотосъемки

При проведении электроразведки методом зондирования целью геодезических работ является определение координат и высоты точки записи Q , используемой для построения геоэлектрического разреза, а также длины питающего диполя AB , площади приемной петли q , действующего расстояния OO_1 и угла θ (рис 95)

Длина питающего диполя может быть вычислена по координатам центра O питающего диполя AB и центра приемного контура O_1 . Привязка точек A , B , O и O_1 обычно выполняется при помощи топографических карт или материалов аэрофотосъемки. Для этого или концы питающей линии A и B или центр петли O_1 или вершину одного из углов приемной петли совмещают с контуром местности, имеющимся на топографической карте, фотоплане или аэроснимке

Геодезические работы при сейсморазведке При сейсмической разведке методом отраженных волн (МОВ) на местности производится разбивка сейсмических профилей, привязка которых в плане и по высоте осуществляется инструментальным способом. При корреляционном методе преломленных волн (КМПВ) производится инструментальная привязка сейсмических профилей, а также плановая привязка пунктов взрыва, располагаемых вне профилей. При сейсмическом каротаже

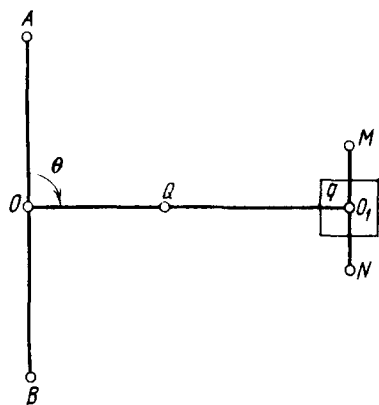


Рис 95 Схема электроразведочных работ при помощи зондирования

Таблица 28

Методы сейсмических работ	Средние квадратические погрешности пунктов привязки относительно исходных, м	
МОВ, ОГТ, ВСП, сейсмокаротаж	0,8 мм в масштабе отчетной карты То же	± 5
КМПВ, сейсмозондирование, МПЗ		± 2

определяются расстояния между устьями каротируемой и взрывной скважин, превышение между ними и азимут с каротируемой скважины на пункт взрыва. При массовом пространственном зондировании (МПЗ) определяют плановое и высотное положение зондов и пунктов взрыва, а также производят разбивку фигуры, по которой располагаются сейсмографы.

Точности, с которыми производятся геодезические работы при сейсмических методах разведки, приведены в табл. 28.

При выполнении сейморазведки на море при небольшом удалении от берега привязка наблюдений может быть осуществлена секстаном при помощи обратных засечек на исходные пункты, находящиеся на берегу. В таких случаях профили провешивают вехами или буями, выставляемыми не реже чем через каждые 2—3 км при детальной съемке и 5—6 км при региональной съемке. В тех случаях, когда сейсмические работы далеко удалены от береговой полосы, привязка пунктов наблюдения выполняется, главным образом, радиогеодезическими методами.

Геодезические работы при магнитной разведке. При наземных магнитометрических съемках геодезические работы выполняются с целью выноса контуров участков съемки, разбивки, привязки и закрепления точек наблюдения, привязки и закрепления выявленных перспективных аномальных зон, структур и т. п.

В наземных магнитных съемках по способам подготовки пунктов наблюдений можно выделить следующие три основных типа:

профильные по предварительно разбитой сети наблюдений;

профильные с одновременной полуинструментальной разбивкой сети наблюдений;

маршрутные с опознаванием пунктов наблюдений по топографической карте, или материалам аэрофотосъемки.

При магнитных съемках по предварительно разбитой (инструментально) сети наблюдений требования к точности геодезических работ приведены в табл. 29.

Профильные с одновременной полуинструментальной разбивкой сети наблюдения обычно выполняются при поисковых

Т а б л и ц а 29

Масштаб магнитной съёмки	Средняя квадратическая погрешность привязки начального пункта профиля или магистрали по отношению к исходным пунктам, м	Относительная погрешность определения расстояния между точками профиля
1 : 50 000	15	1 : 100 от интервала между точ- ками на профиле
1 : 25 000	15	
1 : 10 000	8	
1 : 5 000	8	
1 : 2 000	8	
1 : 1 000	8	

работах в масштабе 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000 в лесистой местности, при этом провешивание съёмочных профилей может осуществляться по магнитному азимуту, а расстояние вдоль профиля измеряться шагами.

Геодезические съёмки, как правило, проводятся по дорогам, просекам, тропам, рекам и т. п. с визуальной привязкой съёмочной сети к ориентирам, имеющимся на местности и на карте. Погрешность планового положения точек маршрутной магнитной съёмки в этом случае должна составлять не более $\frac{1}{4}$ расстояния между точками, но в любом случае не должна быть более 250 м.

§ 83. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ БАРОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Барометрическое нивелирование в настоящее время имеет довольно широкое применение при геологоразведочных работах для определения высотного обоснования геологических съёмок. Барометрическое нивелирование используется, главным образом, в тех случаях, когда другие методы по точности не удовлетворяют предъявляемым требованиям или экономически менее выгодны. Особенно широко этот метод используется в гравиразведке.

Точность определения высот барометрическим нивелированием зависит от применяемых приборов, сложности рельефа и методики работ.

Барометрическое нивелирование основано на зависимости между высотой местности и атмосферным давлением. Опыт работ показал, что при правильной постановке и организации съёмок методом барометрического нивелирования можно получить высоты с погрешностью менее 0,5 м. В зависимости от точности определения высоты пунктов геологических наблюде-

Таблица 30

Средняя квадратическая погрешность определения высот, м	Средняя квадратическая погрешность измерения атмосферного давления, мбар	
	на определяемых пунктах	на барометрических станциях
±0,35	±0,015	±0,010
±0,5	±0,020	±0,015
±1,0	±0,05	±0,03
±2,5	±0,15	±0,05
±5,0	±0,30	±0,10

ний, могут быть рекомендованы следующие погрешности измерения атмосферного давления (табл. 30).

Связь между измеренным давлением и превышением может быть определена по формуле, называемой полной барометрической:

$$h = H_2 - H_1 = \frac{M' p_0}{\rho_0 g_{0,45}} (1 + \alpha t_m) \left(1 + 0,378 \frac{e_m}{p_m} \right) \times \\ \times (1 + \beta \cos 2\varphi_m) \left(1 + \frac{2H_m}{R} \right) \lg \frac{p_1}{p_2},$$

где h — разность высот двух точек, выраженная в метрах; H_1 , H_2 — абсолютные высоты точек; $M' p_0 / \rho_0 g_{0,45} = k_0$ — постоянный барический коэффициент, в котором M' — величина, обратная модулю десятичных логарифмов; p_0 — среднее давление на уровне моря; ρ_0 — плотность воздуха при температуре $T_0 = 273$ К и давлении $p_0 = 1013,25$ ГПа; $g_{0,45}$ — ускорение силы тяжести на уровне моря и на широте $\varphi = 45^\circ$. Если принять $M' = 2,30259$, $p_0 = 1013,25$ ГПа = $101\,325$ кг/см², $\rho = 1,293$ кг/м³, $g_{0,45} = 9,8062$ м/с², то барический коэффициент следует принять равным $k_0 = 18\,400$; α — температурный коэффициент объемного расширения воздуха, равный $0,003665$ 1/градус; t_m , e_m , p_m — соответственно средняя температура воздуха, среднее давление водяных паров и среднее атмосферное давление, определенные в первой и во второй точках; $\beta_0 = 0,0265$ — постоянный коэффициент; φ_m — средняя широта; H_m — средняя высота точек над уровнем моря; R — радиус Земли; p_1 и p_2 — атмосферное давление, определенное в точках 1 и 2.

При барометрическом нивелировании в равнинных районах используются упрощенные формулы, среди которых часто используется формула Бабинне:

$$h = k (1 + \alpha t_m) \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2},$$

где $k = 15\,985$.

Для удобства использования формула Бабинне может быть преобразована к более простому виду. Для этого запишем ее в виде

$$h = \frac{2MN}{2} \frac{\left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2}\right)}{\frac{p_1 + p_2}{2}} (p_1 - p_2).$$

Если обозначить

$$MN \frac{\left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2}\right)}{\frac{p_1 + p_2}{2}} = \varepsilon,$$

то получим простую формулу

$$h = (p_1 - p_2) \varepsilon,$$

где ε носит название барическая ступень высоты и выражает расстояние по вертикали (в метрах), на котором атмосферное давление меняется на единицу (МПа или 1 мм рт. ст.), падая вверх и возрастая вниз.

Для определения барических ступеней высот обычно используют таблицы барических ступеней, составленных по аргументам t_m — средней температуры воздуха и p_m — среднему атмосферному давлению.

Особенности барометрического нивелирования. В практике барометрического нивелирования при геофизических съемках применяются различные способы. Выбор способа нивелирования зависит от объемов работ, наличия приборов, количества наблюдений и требуемой точности, однако во всех способах выполняется одновременное измерение атмосферного давления и температуры воздуха на определяемых пунктах и исходных барометрических станциях. Последние следует располагать на открытых местах с плавными формами рельефа. Не рекомендуется размещать барометрические станции на остроконечных вершинах, в глубоких и узких долинах, на бровках обрывов и в летнее время на берегах больших водоемов.

Приборы для измерения атмосферного давления на барометрических станциях должны устанавливаться в постоянном месте на весь период работы станции. Измерение температуры на барометрических станциях и определяемых пунктах выполняются аспирационными термометрами и термометрами-пращами с точностью 0,5 °С на высоте около 2 м над поверхностью Земли.

Наблюдения на барометрических станциях и определяемых пунктах рекомендуется выполнять в следующей последователь-

Таблица 31

Средняя квадратическая погрешность определения высот, м	Интервалы времени между измерениями атмосферного давления и температуры воздуха на барометрических станциях, мин	
	в равнинных районах	в горных районах
0,35	10	10
0,5	10	10
1,0	15	10
2,5	20	15
5,0	30	20

ности: включение аспирации термометров, отсчеты по барометрам, отсчеты по аспирационным термометрам.

Интервалы между измерениями на барометрических станциях в зависимости от погрешности высот на определяемых пунктах должны быть определены в соответствии с данными табл. 31.

Барометрическое нивелирование выполняется одним из следующих способов.

Барометрическое нивелирование способом ходов может выполняться с опорой на один исходный пункт (замкнутые) и с опорой на два исходных пункта (разомкнутые). Временная барометрическая станция (ВБС) располагается: в замкнутых ходах — на исходном пункте; в разомкнутых — на исходном пункте и в любой точке хода.

В случае замкнутых ходов возможна работа с одним и двумя барометрами.

При работе с одним барометром наблюдатель, измерив давление, температуру воздуха и барометра и время наблюдения на исходном пункте, последовательно обходит определяемые пункты хода, в которых также проводит наблюдения давления, температуры барометра и воздуха и отмечает время наблюдения. После возвращения на исходный пункт повторяются все отсчеты и сравниваются с первоначальным. Полученное расхождение является результатом влияния погрешностей отсчитывания на исходной точке, а также неравновесия атмосферы. Невязка распределяется с обратным знаком на все определяемые пункты пропорционально времени наблюдения.

Барометрическое нивелирование двумя барометрами выполняют с использованием временной барометрической станции. На станции берутся отсчеты по обоим барометрам, измеряется температура барометров и воздуха, определяется время, после этого один из наблюдателей проводит наблюдения на исходном пункте, второй, следуя по маршруту, выполняет наблюдения на определяемых пунктах. После выполнения наблюдений на

Т а б л и ц а 32

Средние квадратичные погрешности превышений, м	Среднее удаление определяемых пунктов от ВБС, км	Среднее превышение определяемых пунктов относительно ВБС, м	
		без учета поправки за систематическую погрешность определения температуры воздуха	с учетом поправки за систематическую погрешность определения температуры воздуха
0,45	2—6	50—10	140—45
0,70	2—9	80—20	245—55
0,90	2—13	110—10	320—45
2,0	10—25	210—30	680—180

всех определяемых пунктах второй наблюдатель возвращается на исходную точку, где производит контрольные наблюдения.

При выполнении барометрического нивелирования способом замкнутых ходов должны удовлетворяться требования, приведенные в табл. 32.

Барометрическое нивелирование способом разомкнутых ходов выполняется двумя комплектами барометров в следующей последовательности. На исходной точке, являющейся временной барометрической станцией, наблюдатели снимают показания с барометров, замеряют температуру барометров и воздуха и отмечают время. После этого один из наблюдателей остается в исходной точке, регистрируя показания через определенный промежуток времени, а второй производит аналогичные измерения на наблюдаемых точках через какой-то промежуток времени, достигнув намеченной точки, второй наблюдатель прекращает движения и выполняет стационарные наблюдения, образовав новую ВБС. Первый наблюдатель, закончив наблюдения на начальной точке, движется по маршруту, производя наблюдения в тех же точках маршрута, что и первый наблюдатель. Встретившись на второй ВБС, наблюдатели сравнивают показания барометров, после чего, при необходимости, один из наблюдателей направляется дальше, а второй остается на второй ВБС и продолжает вести наблюдения на ней до тех пор, пока первый наблюдатель не достигает следующей (третьей) ВБС. Дальше наблюдения проводятся аналогичным образом.

При выполнении барометрического нивелирования способом разомкнутых ходов отклонения пунктов от створа исходных не должны превышать 0,2 расстояния между ними. Требования к полевым работам в этом способе приведены в табл. 33.

При барометрическом нивелировании способом нескольких опорных барометрических станций (ОБС) последние располагаются так, чтобы определяемые пункты находились внутри фигуры, образованной ОБС. В качестве такой фигуры чаще всего

Т а б л и ц а 33

Средняя квадратическая погрешность определения превышений, м	Время проложения хода, ч	Средняя длина хода, км	Среднее превышение определяемых пунктов относительно ВБС, м	
			без учета поправки за систематическую погрешность определения воздуха	с учетом поправки за систематическую погрешность температуры воздуха
0,25	1,0	2,7	20—5	70—25
	2,0	2,6	20—5	70—10
	4,0	2—4	20—5	60—5
0,45	1,0	5—15	50—10	140—25
	2,0	5—14	40—10	130—20
	4,0	5—9	40—5	120—10
0,70	1,0	5—40	85—35	240—70
	2,0	5—25	85—35	240—90
	4,0	5—15	75—10	235—65
0,90	1,0	5—50	110—50	320—130
	2,0	5—40	110—10	320—40
	4,0	5—20	110—25	310—40
	6,0	5—13	100—10	290—50
2,0	8,0	5—12	95—5	280—5
	2,0	10—50	240—200	700—550
	4,0	10—30	240—200	700—540
	6,0	10—15	230—210	700—590
	8,0	10—15	220—200	700—570

бывает треугольник. В частном случае ОБС могут находиться в створе. Допустимые расстояния между ОБС рекомендуются данными табл. 34.

В способе нескольких опорных барометрических станций могут использоваться метеорологические станции, а также специально организованные временные опорные станции. Все станционные барометры, используемые в работе, приводятся к единой системе путем определения инструментальных попра-

Т а б л и ц а 34

Средняя квадратическая погрешность определения высот, м	Среднее расстояние между ОБС, м	Среднее превышение пунктов относительно ОБС, м, при вычислении	
		без учета поправки за систематическую погрешность определения температуры воздуха	с учетом поправки за систематическую погрешность определения температуры воздуха
1,2	50	—	90
2,0	50—130	180—50	500—135
3,5	150	250	700

Рис 96 Схема вычисления отметки определяемого пункта в способе нескольких опорных барометрических станций

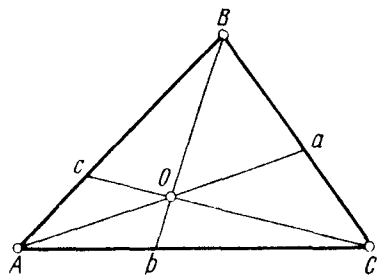
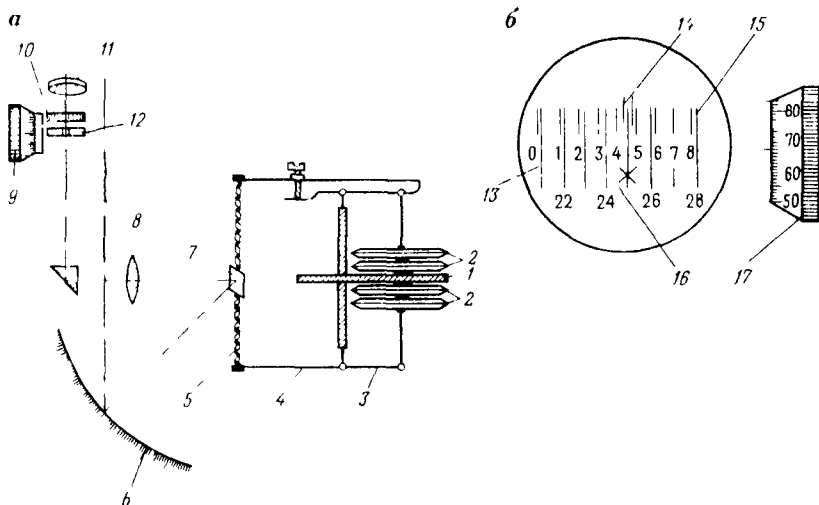


Рис 97 Микробаропивелир МБНП



вок относительно одного, принятого за эталон. Сверка барометров на опорных станциях должна производиться с точностью, приведенной ниже.

Средняя квадратическая погрешность определения высот точек, м	До 1	До 2,5	Более 2,5
Допустимая средняя квадратическая погрешность сверки ртутных барометров на опорных станциях, мм	0,03	0,07	0,10

Определение высот определяемых пунктов с учетом барометрических станций производится по результатам измерения в этих точках температуры и давления воздуха в заранее обусловленные моменты времени, совпадающие со временем измерения температуры и давления на станциях. Высоты точек определяются как среднее весовое, при этом можно использовать следующие соображения.

Т а б л и ц а 35

№ точек	Дата и время наблюдений	Название барометри- ческих станций	H , м	$\frac{l_{\text{мм}}}{L_{\text{мм}}}$	K
1	1 07 86	А	140,7	51,3	0,600
				85,5	
		В	193,8	20,6	0,200
				103,0	
		С	141,9	17,3	0,200
	13—00			86,5	

Пусть определяемый пункт O лежит внутри опорного треугольника ABC (рис. 96). Высоту пункта O можно вычислить по формуле

$$H = H'_A K_1 + H'_B K_2 + H'_C K_3,$$

где H'_A , H'_B , H'_C — предварительные значения высот определяемого пункта; K_1 , K_2 , K_3 — весовые коэффициенты, зависящие от положения определяемого пункта и определяемые из выражений:

$$K_1 = \frac{l_1}{L_1}; \quad K_2 = \frac{l_2}{L_2}; \quad K_3 = \frac{l_3}{L_3},$$

в которых $l_1 = Oa$; $l_2 = Ob$; $l_3 = Oc$; $L_1 = Aa$, $L_2 = Bb$; $L_3 = Cc$.

Вычисление высоты определяемого пункта ведется по схеме, показанной в табл. 35. Здесь в графе 4 записывают высоты опорных станций, в графе 5 в числителе — расстояние от определяемой точки до стороны, соединяющей две другие барометрические станции, L — расстояние от барометрической станции через определяемый пункт до той же стороны. В графах 7, 8, 9, 10 записываются данные из полевых журналов. В графе 11 вычисляют разность атмосферного давления на барометрической станции и определяемом пункте, в графе 12 записываются значения барометрических ступеней. В графе 13 перемножением граф 11 и 12 получают превышение между барометрическими станциями и определяемым пунктом. В графе 14 записывают предварительные значения высот, получаемые алгебраическим суммированием высот барометрических станций с превышениями. В графе 15 дано значение высоты определяемого пункта, полученное в результате суммирования произведений предварительной высоты на соответствующие коэффициенты.

Температура		Давление		Δp	Γ	h	H'	H
на стан- ции	на пункт- е	на стан- ции	на пункт- е					
+1,2		748,2		+1,0	10,76	+10,8	151,5	
0,0	+0,8	744,0	747,2	—3,2	10,77	—34,5	159,3	163
+0,8		753,1		+5,9	10,72	+63,2	205,1	

Приборы, применяемые при барометрическом нивелировании.
Для измерения атмосферного давления на барометрических станциях и определяемых пунктах могут применяться микробарометры и микробаронивелиры. Наиболее точными приборами в настоящее время являются микробаронивелиры.

Микробаронивелир пружинный (рис. 97, а) состоит из двух anerоидных блоков 2, расположенных друг против друга и жестко закрепленных на общем основании 1 и через рычаги связанных с двойной цилиндрической пружиной 5, в середине которой расположено зеркало 7. Посредством упругих пластических опор с переменным центром вращения рычаги 4 соединены с мембранами anerоидных блоков и промежуточными штоками 3. При изменении давления происходит изменение высоты anerоидных блоков, передающееся на двойную цилиндрическую пружину 5, вызывая ее растяжение или сжатие. В результате зеркало разворачивается вокруг вертикальной оси. С помощью шкалы 6 и окулярного микрометра 9 измеряют величину поворота зеркала. Изображение шкалы 6 проецируется в поле зрения окуляра 11 посредством объектива 8. В поле зрения окуляра наблюдается также изображение шкалы 10 и биссектора 12.

На рис. 97, б показано поле зрения окуляра микробаронивелира пружинного, где видна освещенная естественным светом часть отраженной шкалы прибора 13, имеющая 150 делений, шкала окуляр-микрометра 15, имеющая 8 делений, биссектор 14 и крест нитей 16. На рисунке также показана шкала микрометра 17.

Отсчет производится следующим образом: записывают номер штриха подвижной шкалы прибора (25), затем номер шкалы микрометра, который на рис. 97 равен 4, после этого

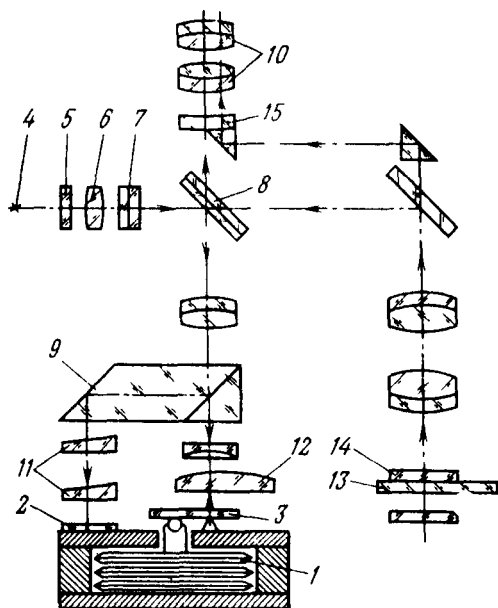


Рис 98 Микробарометр оптический ОМБ-1

и стеклянную пластину 7, имеющую два параллельных штриха, попадает на плоскость полупрозрачного зеркала 8. Часть света при этом проходит в отсчетное устройство, а другая, отразившись, приходит в призмный блок 9, откуда часть света попадает на неподвижное зеркало 2, другая часть — на качающееся 3. Отразившись от зеркал 2, 3, лучи идут в направлении зеркала 8, затем проходят через диафрагму 15 и окуляр 10. При помощи клиньев 11 и качающегося зеркала добиваются такого положения, чтобы внутри диафрагмы наблюдалось отражение биссектора от неподвижного зеркала и штриха от подвижного зеркала. Для измерения смещения штриха из-за угла наклона зеркала 3 применена компенсационная линза 12, перемещающаяся механическим приспособлением. Компенсационная линза 1 связана со шкалой 13, имеющей 400 делений, и верньером 14. Точность отсчитывания по шкале микробарометра ОМБ-1 0,03 мм.

§ 84. ГЛАЗОМЕРНАЯ СЪЕМКА

Глазомерная съемка является упрощенной топографической съемкой, при помощи которой быстро получают приближенный по точности план участка местности. Эта съемка в некоторых случаях может быть использована при геологическом картировании участков местности, не имеющих картографического обес-

берут отсчет по головке микрометра (67). Таким образом, полный отсчет равен 25,467

Оптические микробарометры (рис 98) состоят из анероидного блока 1, неподвижного 2 и качающегося 3 зеркал. Изменение атмосферного давления вызывает поворот качающегося зеркала вокруг горизонтальной оси, при этом угол поворота измеряется оптическим устройством, состоящим из двойной автоколлимационной системы, включающей в себя оптический микрометр и отсчетный микроскоп. Свет от источника 4 через свето-

течения. Глазомерная съемка осуществляется или «по скелету», составленному по старой или мелкомасштабной карте, или на чистой основе. В зависимости от назначения различают общие глазомерные съемки, когда осуществляется сплошная съемка территории, и специальные, выполняемые для съемки площади незначительной территории.

При глазомерной съемке используют специальный планшет, к которому крепится компас, и трехгранную визирную линейку. Для упрощения съемки на листе чертежной бумаги, прикрепленной к планшету, разбивают сетку квадратов со сторонами 1 или 2 см.

При подготовке к съемке к планшету крепится компас. При съемке план, прикрепленный к планшету, при помощи компаса ориентируют по магнитному или географическому меридианам. Причем, если используется магнитный меридиан, то диаметр компаса $0-180^\circ$ укрепляют параллельно одной из сторон сетки квадратов. Если используется географический меридиан, то компас укрепляют на планшете так, чтобы его диаметр $0-180^\circ$ совпал с северным направлением линии, проведенной к одной из сторон сетки квадратов под углом, равным склонению магнитной стрелки.

Расстояния в глазомерной съемке измеряются шагами или на глаз. При измерении шагами строят масштаб шагов, представляющий собой диаграмму, с одной стороны которой нанесены деления, обозначающие расстояние в метрах, с другой — соответствующее им количество пар шагов.

Перед съемкой выполняют рекогносцировку снимаемого участка, в результате которой намечают линии обоснования съемки и точки поворота. Целесообразно линии обоснования съемки совмещать с дорогами, просеками, линиями связи и т. п., а точки поворота — с выделяющимися ориентирами, например, перекрестками дорог, отдельными деревьями и т. д. Линии, по которым ведутся съемки, называют ходовыми, точки поворота — съемочными точками.

Съемку начинают с ориентирования планшета. Для этого на плане намечают положение начальной точки, таким образом, чтобы снимаемый участок разместился в пределах планшета. После ориентирования планшета прочерчивают первую ходовую линию, длину которой измеряют от станции к станции парами, шагов. Одновременно фиксируют расположенные на ходовой линии и находящиеся вблизи от нее элементы ситуации.

Съемка на станции выполняется чаще всего полярным способом. Для этого планшет ориентируют по ходовой линии или при помощи компаса по магнитному азимуту. Затем визирную линейку скошенным краем прикладывают к изображению станции и наводят на предмет. Расстояние до предмета определяют или на глаз, или парами шагов. Особое внимание при

съемке должно быть уделено определению положения выделяющихся элементов ситуации. Как правило, их снимают с двух станций.

После съемки на первой станции переходят на следующую станцию, где планшет ориентируют по магнитному меридиану или по уже прочерченному направлению ходовой линии и выполняют съемку ситуации. Съемку всего участка, чаще всего, заканчивают в исходной точке. В этом случае вследствие погрешностей ориентирования и измерения расстояний получают невязку хода. Если ее величина не больше $1:50$ длины хода, ее пренебрегают. В противном случае, в положение станций вводят поправки способом, описанном в § 75.

Элементы рельефа при глазомерной съемке наносят способом заметок (условное изображение). Например, вершину изображают одной горизонталью, тальвег и водоразделы линиями, показывающими их направление, седловину — пунктирной линией и т. д. Отметки точек рельефа, превышения и крутизну скатов оценивают на глаз сравнением с предметами известной высоты (постройки, столбы и т. п.).

Вопросы для самопроверки

1 Назовите виды геодезической основы, используемой при геологоразведочных работах

2 Охарактеризуйте необходимую точность геодезических работ при определении планового положения объектов геологических наблюдений

3 Что называется топографической основой геологоразведочных работ?

4 Назовите способы привязки объектов геологических наблюдений с использованием топографической карты

5 Что называется опорной геодезической сеткой?

6 В чем заключается специфика геодезических работ при геофизических исследованиях?

Глава 15

ОСНОВЫ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

§ 85 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Большое распространение в настоящее время имеет фототопографическая съемка, основанная на использовании фотографических снимков местности. В связи с тем, что фотоснимки не представляют собой точных планов местности, они подвергаются соответствующей обработке для осуществления соответствия изображения на снимках к требованиям построения планов. Наука, изучающая методы обработки снимков для получения точных планов местности и определения пространственного положения объектов, носит название фотограмметрии (измерительной фотографии).

По способам съемки фотограмметрия может быть собственно фотограмметрией и стереофотограмметрией. Основой фотограмметрии является возможность восстановления модели объекта по стереопаре — так называют два снимка объекта, полученные из различных точек пространства.

Большие преимущества фототопографических съемок заключаются в том, что этот метод съемки, при незначительной трудоемкости съемочных работ позволяет большую часть операций по созданию планов и карт перенести в камеральные условия, где возможен высокий уровень их механизации и автоматизации.

Фотографирование местности для выполнения топографических съемок может выполняться как с точек, расположенных на земной поверхности и координаты которых определены заранее геодезическими методами, так называемая наземная фотограмметрическая съемка, так и с воздуха при помощи специального фотоаппарата. Этот вид съемки называют аэрофотосъемкой.

Аэрофотосъемка обычно выполняется с самолета, с которого при помощи установленного на нем фотоаппарата производится аэрофотографирование. После него осуществляются фотолабораторные и фотограмметрические работы.

Аэрофотосъемка может быть плановой, когда оптическая ось аэрофотоаппарата отклоняется от отвесного положения не более, чем на 3° , и перспективной, если ось аэрофотоаппарата отклоняется от отвесного положения более, чем на 3° . Первый вид съемки выполняют для составления топографических карт, второй, называемый перспективным, применяют в геологии для получения иллюстративных материалов.

При использовании плановой аэрофотосъемки нашла применение гироскопическая стабилизация аэрофотоаппарата, позволяющая получать указанный угол отклонения не более $30-40'$.

Аэрофотосъемка чаще всего выполняется в виде многомаршрутной (аэрофотосъемка площади), при которой местность фотографируется путем проложения ряда прямолинейных и взаимно параллельных аэрофотосъемочных маршрутов. В этом случае смежные маршруты и снимки в пределах маршрута перекрываются на величины, называемые поперечными и продольными перекрытиями.

§ 86. АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫЙ САМОЛЕТ И АЭРОФОТОАППАРАТ

В зависимости от задания на аэрофотосъемку и условий съемки могут применяться различные самолеты. Так, при крупномасштабных съемках используют менее скоростные, при мелкомасштабных — более скоростные и имеющие высокий потолок

полетов самолеты. Наиболее рациональная скорость движения самолетов при аэрофотосъемке от 180 до 450 км/ч. В нашей стране для съемки используются следующие типы самолетов: АН-2 с эксплуатационной скоростью 180 км/ч и рабочим потолком полетов 4,5 км, ИЛ-14 — соответственно 300 км/ч и 6,5 км, а также АН-30 — самолет специально изготовленный для аэрофотосъемочных работ, имеющий эксплуатационную скорость 450 км/ч и рабочий потолок 8,0 км.

При съемках специального назначения ограниченных площадей на поверхности Земли применяют вертолеты типа К-26.

Аэрофотосъемочные самолеты оборудуются навигационными приборами, обеспечивающими прокладку аэрофотосъемочных маршрутов, и аэрофотосъемочными приборами.

К навигационному оборудованию относятся автопилот и автомат программного разворота, стабилизирующие заданный курс, высоту и положение самолета в полете и обеспечивающие выход на заданный маршрут и выполнение разворота при заходе с маршрута на маршрут. Компас и курсовая система, позволяющие прокладывать аэросъемочные маршруты в заданном направлении. Высотомер служащий для выполнения полета на заданной высоте и оптические бортовые визиры, предназначенные для определения угла сноса, путевой скорости и для контроля правильности проложения аэрофотосъемочных маршрутов.

Аэрофотосъемочное оборудование включает аэрофотоаппарат, аэрофотоустановку — устройство, обеспечивающее монтаж аэрофотоаппарата над люком самолета, статоскоп — прибор, фиксирующий изменение атмосферного давления, происходящего в связи с изменением высоты полета самолета, а также автоматическое горизонтирование и ориентирование камеры в пространстве во время полета, радиовысотомер, позволяющий определять высоту фотографирования каждого аэрофотоснимка.

Аэрофотоаппарат (АФА) представляет собой оптико-механический аппарат, предназначенный для фотографирования местности с воздуха. Аэрофотоаппараты, предназначенные для производства аэрофотосъемки с целью получения топографических карт носят назва-

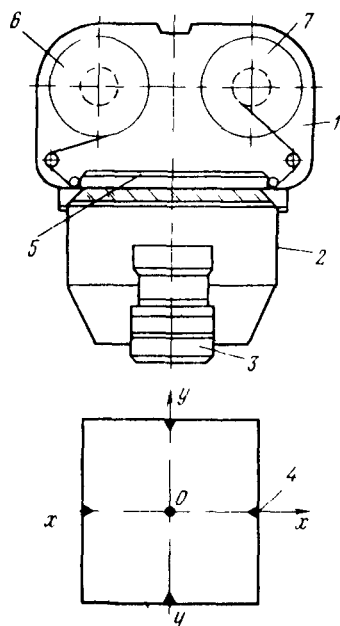


Рис 99 Схема аэрофотоаппарата

ние топографических АФА. Они отличаются высокой точностью построения изображения и имеют устройства для регистрации информации, необходимой при фотограмметрической обработке аэрофотоснимков.

Современный аэрофотоаппарат (рис. 99) состоит из кассеты 1 и камеры, в которую входит корпус 2 с объективом 3. В фокальной плоскости объектива, на верхней части корпуса, расположена прикладная рамка с координатными метками 4, изображение которых получается на каждом аэронегативе. Пересечение прямых $x-x$ и $y-y$, являющихся координатными осями аэрофотоснимка, соединяющих на аэронегативе противоположные метки, определяет положение его главной точки O .

Кассета аппарата 1 заряжается аэрофотопленкой, намотанной на катушку 7. Пленка при помощи специального механизма перематывается с катушки 7 на катушку 6. Применяемые в СССР аэрофотоаппараты имеют размер преимущественно 18×18 см и реже 30×30 см. Выравнивание аэропленки в плоскости осуществляется нагнетанием воздуха в камеру или выкачиванием его из кассеты, что создает разность давлений по обе стороны аэропленки и условия ее плотного прилегания к нижней плоскости прижимного стола 5. Перед экспозицией прижимный стол плотно прижимает пленку к прикладной рамке аэрофотоаппарата.

В современных аэрофотоаппаратах применяют объективы с высокой разрезающей способностью, достигающей 35 лин/мм. Важной характеристикой АФА является его фокусное расстояние f . По величине фокусного расстояния объективы условно подразделяются на короткофокусные с f от 50 до 140 мм, среднефокусные с f от 140 до 350 мм и длиннофокусные с f свыше 350 мм.

Для аэрофотосъемки применяется аэропленка, обладающая высокой чувствительностью и контрастностью.

§ 87 ЛЕТНО-СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ

Аэрофотосъемка, как правило, выполняется в более мелком масштабе по сравнению с масштабом изготовления плана. Если масштаб аэронегатива (аэрофотоснимка) обозначить через $1/m$, а масштаб изготовленного плана (фотоплана) $1/M$, то коэффициент увеличения равен

$$k = m/M. \quad (53)$$

Таким образом, чем больше коэффициент увеличения при заданном масштабе плана, тем мельче должен быть масштаб аэрофотоснимков, и тем большая площадь на них изобразится.

Масштаб аэросъемки определяют по формуле

$$1/m = f/H, \quad (54)$$

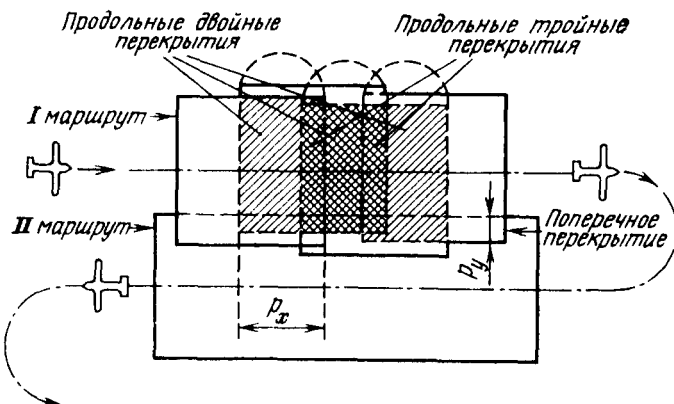


Рис 100 Схема многомаршрутной аэрофотосъемки

т. е. он связан с величиной фокусного расстояния f АФА и высотой фотографирования H . Откуда следует вывод о том, что при известном фокусном расстоянии и заданном масштабе аэроснимков, высота фотографирования определяется по формуле.

$$H = fm. \quad (55)$$

Выше было отмечено, что аэрофотосъемку площади выполняют с взаимным перекрытием смежных аэронегативов одного маршрута (продольное перекрытие) и с взаимным перекрытием аэронегативов смежных маршрутов (поперечное перекрытие). Продольное перекрытие двух смежных снимков одного маршрута p_x и поперечное перекрытие снимков смежных маршрутов p_y (рис 100) задают в соответствии с табл. 36, где h — максимальное превышение местности над средней плоскостью участка местности, H — высота фотографирования на этой средней плоскости.

Продольное перекрытие снимков определяет собой величину базиса фотографирования, под которым понимают линию, соединяющую центры проектирования фотоснимков местности, составляющих стереопару, т. е. два фотоизображения одного участка местности, принадлежащие фотоснимкам, полученным при разных положениях центра проектирования. Базис фотографирования может быть определен по формуле

$$b = l \frac{(100 - p_x)}{100}, \quad (56)$$

где l — размер снимка. Базис фотографирования, выраженный

Т а б л и ц а 36

Продольное перекрытие p_x , %		Масштаб аэросъемки	Поперечное перекрытие, p_y , %	
заданное	минимальное		расчетное	минимальное
60	56	мельче 1 : 25 000	$30 + 70h/H$	20
80	78	1 : 25 000 — 1 : 10 000	$35 + 65h/H$	20
90	89	крупнее 1 : 10 000	$40 + 60h/H$	20

в расстояниях на местности, может быть определен следующим образом:

$$B = bm = lm \frac{(100 - p_x)}{100}, \quad (57)$$

где m — знаменатель численного масштаба аэронегатива.

Расстояние между маршрутами на местности определяют по формуле:

$$D = lm \frac{100 - p_y}{100}.$$

В связи с перекрытием аэрофотонегатива для работы используют не весь снимок, а его центральную часть, называемую рабочей или полезной площадью аэроснимка. На снимке полезная площадь ограничивается линиями, проходящими через середины перекрывающихся частей. Полезная (рабочая) площадь аэроснимка на местности может быть определена по формуле

$$S_{\text{пол}} = BD.$$

Число снимков n_1 в маршруте определяют из выражения

$$n_1 = \frac{D}{B} + 2,$$

где D — длина маршрута.

Число же маршрутов — по формуле

$$n_2 = \frac{L}{D} + 1,$$

где L — ширина фотографируемого участка.

Общее количество аэроснимков равно

$$N = n_1 n_2.$$

В процессе аэрофотосъемки местности одновременно с ее фотографированием фиксируют показания радиовысотомера и

статоскопа. С помощью радиовысотомера для каждого аэроснимка фиксируют высоту фотографирования H , которая определяется для равнинных районов с погрешностью около 2 м, для горных — около 5 м. При помощи статоскопа определяют превышение центров фотографирования Δh с погрешностью ± 1 м. Эти величины позволяют непосредственно в полете получать отметки центров аэроснимков.

§ 88. ПОЛЕВЫЕ ФОТОЛАБОРАТОРНЫЕ И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

После выполнения фотографической съемки с самолета производят лабораторную обработку фотопленок для получения из них негативных изображений заснятых объектов. С аэронегативов затем получают отпечатки на фотобумаге. Перечисленные работы производятся в полевой лаборатории.

Для фотографирования местности используют черно-белую, спектрзональную, цветную и инфракрасную пленки. Последняя из них обладает чувствительностью к тепловым (инфракрасным) излучениям. В качестве цветной используется трехслойная цветная аэропленка.

В последние годы для решения ряда народнохозяйственных задач, в том числе и для дешифрирования геологических объектов, применяют спектрзональную двухслойную аэропленку, у которой один слой — обычная черно-белая эмульсия, а второй — инфрахроматическая эмульсия. Каждый из этих светочувствительных слоев покрашен специальным красителем в свой условный цвет, что позволяет на снимках по цвету отличить детали местности, излучающие видимые лучи спектра, от деталей, излучающих инфракрасные лучи.

Процесс получения негативов включает в себя проявление, фиксирование, промывку и сушку аэронегативов. Проявление заключается в превращении невидимого скрытого фотоизображения в видимое. Сущность этого превращения состоит в том, что находящиеся в светочувствительном слое аэропленки кристаллы галоидного серебра, на которые подействовал свет, претерпевают некоторое изменение, невидимое до воздействия на эмульсию специального проявляющего вещества. Под воздействием проявляющего вещества те кристаллы галоидного серебра, на которые подействовал свет, переходят в металлическое серебро. Последнее имеет черный цвет и уже является видимым изображением деталей местности. Оставшееся в эмульсии галоидное серебро, на которое не подействовал свет, удаляют при фиксировании.

После промывки и сушки аэрофильма выполняют нумерацию аэронегативов и их отождествление с показаниями радиовысотомера и статоскопа. Затем контактным способом печата-

тают аэроснимки, называемые контактными отпечатками и используемыми в полевых фотограмметрических работах.

Полевые фотограмметрические работы заключаются в составлении накидного монтажа аэроснимков и оценке их качества. Под накидным монтажом понимают укладку и наклеивку смежных между собой аэрофотоснимков на общую подложку в таком порядке, чтобы в результате получился как бы один общий аэрофотоснимок на всю съемочную трапецию или на заданный участок местности.

Монтаж начинают с правого конца северного маршрута. Снимки в маршруте укладывают справа налево, последующий на предыдущий. После окончания накидного монтажа при помощи полосок белой бумаги толщиной 5 мм отмечают границы съемочного участка, наносят различные пояснительные надписи и фотографируют его, получая в уменьшенном масштабе репродукцию накидного монтажа, которая используется затем при проектировании различных работ, выполняемых по аэроснимкам.

Для учета и систематизации материалов аэрофотосъемки, используя накидной монтаж, составляют цифровую схему аэрофотосъемки, на которой линиями показаны маршруты, отмечены положения главных точек и их номера.

По накидному монтажу производят оценку качества летно-съемочных работ. При оценке учитывают допустимые отклонения продольного и поперечного перекрытий, сохранение направления и прямолинейность маршрутов, степень разномасштабности снимков, их углы наклона, параллельность сторон аэроснимков направлению маршрутов, качество выравнивания аэропленки в плоскость, а также качество аэронегативов.

Основные критерии качества летно-съемочных работ следующие:

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 заданных 60 % и 78 % при заданных 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.

§ 89. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОФОТОСНИМКОВ

Аэрофотоснимок представляет центральную проекцию местности, получаемую при помощи аэрофотоаппарата. На рис. 101 показана схема фотоизображения плоской земной поверхности AB , которое получено в результате пересечения пучка проектирующих лучей с плоскостями p и p' . Изображение в плоскости p (точки a, b, o) принято называть негативом, а в плоскости p' (точки a', b', o') — позитивом. Точка S носит название центр проектирования, отрезки $So = So' = f$ — фокусное (главное) расстояние аэроснимка (аэронегатива), а расстояние SO — высота фотографирования, обозначаемая буквой H .

На рис. 102 показаны основные элементы центральной проекции, используемой в аэрофотосъемке. Здесь предметная плоскость E рассматривается как плоская местность, а картинная плоскость аэрофотонегатива p занимает в пространстве некоторое наклонное положение (рис. 102, а). Линия пересечения

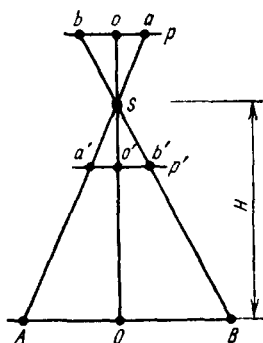


Рис. 101. Схема фотоизображения плоской местности

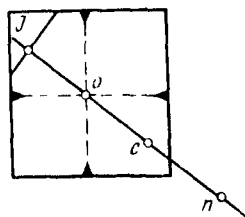
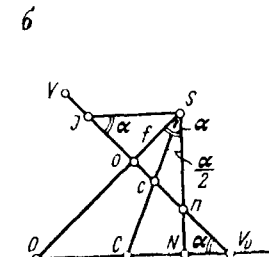
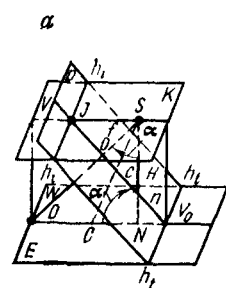


Рис. 102. Основные плоскости, линии и точки центральной проекции

предметной плоскости с картинной называется основанием картины; S — центр проектирования (объектив); K — плоскость, проходящая через центр проектирования параллельно предметной плоскости, плоскость горизонта; h, h_1 — линия пересечения картинной плоскости с плоскостью горизонта, 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; c — точка нулевых искажений; n — точка надира.

Точки o , c , n , лежащие на главной вертикали VV_0 (рис. 102, б) называют основными точками аэрофотоснимка, а любую линию картинной плоскости, перпендикулярную к главной вертикали, — горизонтально. Точка I называется главной точкой схода и представляет собой точку пересечения линии истинного горизонта h, h_1 (см. рис. 102, а) с главной вертикалью VV_0 .

Главная точка аэроснимка o определяется по четырем координатным меткам прикладной рамки (рис. 102, в), точка нулевых искажений c лежит на пересечении главной вертикали и биссектрисы угла α . Последний образован оптической осью аэрофотоаппарата So и отвесной линией SN . Расстояние от точки c до главной точки аэроснимка равно

$$oc = f \operatorname{tg} \alpha / 2.$$

Масштаб в точке нулевых искажений соответствует масштабу горизонтального снимка, а углы, имеющие в ней вершину, на снимке и равнинной местности равны независимо от наклона аэрофотоснимка.

Точка надира и является точкой схода вертикальных линий. Направления, проведенные из нее, не искажены за рельеф местности.

Лежит эта точка на пересечении главной вертикали и отвесной линии, проходящей через точку S . Положение точки надира относительно главной точки аэрофотоснимка определяется отрезком

$$on = f \operatorname{tg} \alpha.$$

При использовании плановых аэроснимков равнинной местности с некоторым допущением можно считать, что главная точка o обладает свойствами точки нулевых искажений c и точки надира n .

В этих случаях главную точку можно принимать как исходную вместо точек нулевых искажений и надира.

Аэрофотоснимок подобен плану только в том случае, если фотографируемая земная поверхность представляет собой плоскость, а снимок горизонтален, т. е. оптическая ось АФА занимает вертикальное положение. На практике такие случаи фактически исключены, поэтому плановый аэрофотоснимок отличается от плана. Для трансформации (преобразования) аэрофотоснимка в план или карту используют некоторые величины, определяющие положение аэрофотоснимка в пространстве в момент фотографирования относительно заданной системы координат, иначе говоря, надо знать элементы ориентирования аэрофотоснимка. Их подразделяют на внутренние и внешние.

Элементы внутреннего ориентирования позволяют определить положение центра проекции S относительно аэроснимка (рис 103, а) при помощи фокусного расстояния f аэрофотоаппарата и координат x_0, y_0 главной точки o аэрофотоснимка в прямоугольной системе координат, образованный прямыми, соединяющими противоположные координатные метки. Таким образом, элементы внутреннего ориентирования позволяют воспроизвести связку проектирующих лучей, существовавших в момент фотографирования местности.

Элементы внешнего ориентирования определяют пространственное положение связки проектирующих лучей в момент фотографирования. К ним относят (рис 103, б):

координаты центра проекции $X_S, Y_S, Z_S=H$, при помощи которых определяют положение точки S относительно выбранной на местности пространственной системы координат XYZ . Плоскость $XO'Y$ расположена горизонтально, а ось X — параллельно направлению аэрофотосъемочного маршрута;

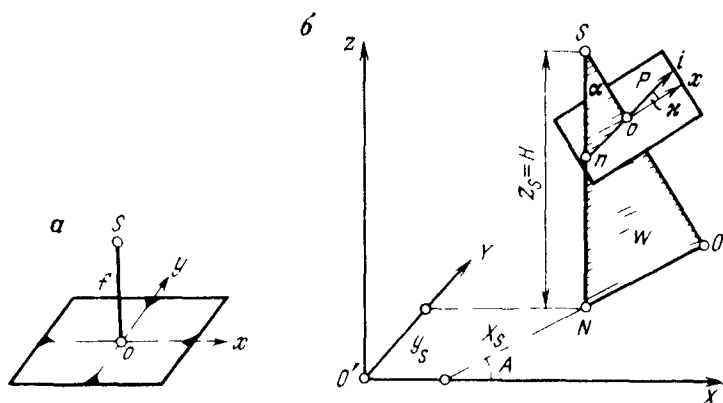


Рис 103 Элементы ориентирования аэрофотоснимка

а — элементы внутреннего ориентирования б — элементы внешнего ориентирования

угол наклона аэрофотоснимка α , при помощи которого определяют угол отклонения главного луча So от отвесной прямой Sn ;

дирекционный угол направления съемки A , представляющий собой угол между осью X и проекцией главной вертикали NO . Дирекционный угол A определяет положение плоскости главного вертикала W , в котором находится главный луч So ;

угол поворота χ , составленный главной вертикалью no и определяющий поворот аэрофотоснимка в своей плоскости

§ 90 СВЯЗЬ КООРДИНАТ СООТВЕТСТВЕННЫХ ТОЧЕК АЭРОФОТОСНИМКА И МЕСТНОСТИ

Для случая горизонтального аэрофотоснимка формулы зависимости между координатами точки на аэрофотоснимке P и на местности E используют схему, показанную на рис 104, *а*. Здесь за начало координат на местности принята проекция главной точки аэрофотоснимка, а за оси координат — прямые, параллельные осям координат на снимке. Из рассмотрения двух пар подобных треугольников SOA_1 , Soa и SA_1A , SA_1a следует

$$x = X \frac{f}{H}; \quad y = Y \frac{f}{H}, \quad (58)$$

где f — фокусное расстояние аэрофотоснимка, H — высота фотографирования

Для случая наклонного аэрофотоснимка (рис 104, *б*) за начало координат на снимке принимают точку нулевых искажений s , на местности — ее проекцию C , а за ось x на аэрофотоснимке принимают главную вертикаль, ось y — линия, перпендикулярная

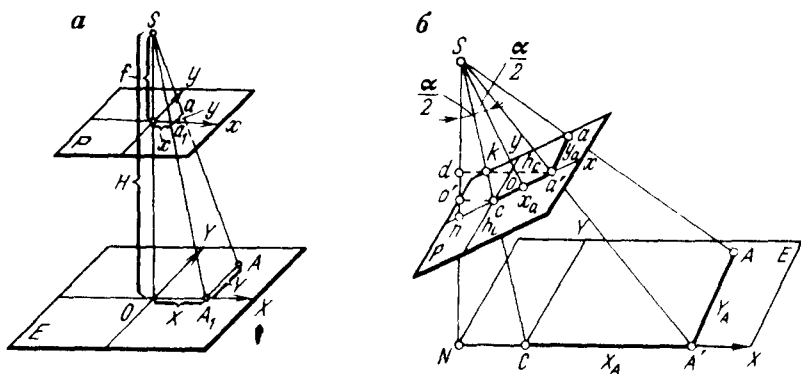


Рис 104 Схема вывода зависимости между координатами точки на местности и на аэрофотоснимке

а — при горизонтальном аэрофотоснимке *б* — при наклонном аэрофотоснимке

к оси x . За направление осей x, y на местности выбирают линию направления аэрофотоснимка, ось y — перпендикулярная к ней.

Выберем на аэрофотоснимке и местности соответствующие точки a и A , значения их координат показаны на схеме (см. рис. 104, б). Из точек a' и c проведем прямые $a'd$ и co' параллельные оси X . При пересечении прямой $a'd$ с лучом Sc получена точка k . Из подобия трех пар треугольников SAA' и Saa' , $SA'C$ и Sak , $SA'N$ и Sad можно написать

$$\frac{Y_A}{y_a} = \frac{X_A}{x_a} = \frac{H}{Sd}. \quad (59)$$

Учитывая, что треугольник kca равнобедренный, можно записать, что $ka' = ca' = x_a$, так как треугольники $So'c$ и Soc равны (у них сторона Sc — общая, а $\angle o'Sc = \angle oSc = \alpha/2$), напомним, что $So' = So = f$. Поскольку $o'd = ca' \sin \alpha = x_a \sin \alpha$, следует, что $Sd = So' - o'd = f - x_a \sin \alpha$. Подставляя последнее равенство в уравнение (59), получим

$$\frac{Y_A}{y_a} = \frac{X_A}{x_a} = \frac{H}{f - x_a \sin \alpha},$$

откуда, учитывая, что начала координат находятся в точках c и C , получим формулы связи

$$X = H \frac{x}{f - x \sin \alpha}; \quad Y = H \frac{y}{f - x \sin \alpha}, \quad (60)$$

где α — угол наклона аэроснимка.

Если предметную плоскость совместить не с местностью, а с горизонтальным аэрофотоснимком, полученным при тех же условиях фотографирования, то высоту фотографирования следует принять равной f . Откуда формулы (59) примут вид:

$$x_0 = f \frac{x}{f - x \sin \alpha}; \quad y_0 = f \frac{y}{f - x \sin \alpha}, \quad (61)$$

где x_0, y_0 — координаты точки горизонтального аэрофотоснимка, начало координат для которого расположено в точке c .

§ 91. МАСШТАБ АЭРОСНИМКА

Из формулы (54) следует, что горизонтальный аэрофотоснимок плоской горизонтальной местности имеет постоянный масштаб, равный главному масштабу аэрофотоснимка, т. е. $1/m = f/H$. На наклонных же аэроснимках масштаб не постоянен в пределах одного снимка. Рассмотрим влияние угла наклона α на масштаб аэрофотоснимка горизонтальной плоской местности.

Масштаб по горизонтали. Так как горизонталь на аэрофотоснимке и ее проекция на местности параллельны, то масштаб

по горизонтали $1/m_h$ можно выразить отношением соответствующих отрезков (см. рис. 104, б):

$$1/m_h = \frac{aa'}{AA'} = \frac{y_a}{Y_A}.$$

Если вместо Y_A подставить его значение, выраженной формулой (60), то получим

$$1/m_h = \frac{f}{H} \left(1 - \frac{x}{f} \sin \alpha \right). \quad (62)$$

Анализ формулы (62) показывает, что масштаб по горизонтали является постоянным, поскольку каждая горизонталь имеет $x = \text{const}$. Изменение масштаба от одной горизонтали к другой тем больше, чем больше угол наклона аэрофотоснимка и чем меньше его фокусное расстояние

Масштаб по горизонтали, проходящей через точку нулевых искажений, равен главному масштабу f/H . Поэтому эта горизонталь (h, h_c , см. рис. 104, б) называется линией неискаженных масштабов.

Чем дальше от точки s по направлению к главной точке схода картины, тем больше значение x и, следовательно, мельче становится масштаб

Масштаб по главной вертикали. Из теории перспективы известно, что масштаб по главной вертикали $1/m_v$ непрерывно изменяется. Это позволяет получить путем дифференцирования по x выражения (60) формулу для выражения масштаба в некоторой точке главной вертикали

$$dX = \frac{H(f - x \sin \alpha) dx + Hx \sin \alpha dx}{(f - x \sin \alpha)^2} = \frac{Hdx}{f \left(1 - \frac{x}{f} \sin \alpha \right)^2},$$

откуда, если обозначить $dx/dx = 1/m_v$, получим

$$1/m_v = \frac{f}{H} \left(1 - \frac{x}{f} \sin \alpha \right)^2. \quad (63)$$

Анализ формулы (63) показывает, что изменение масштаба по главной вертикали тем больше, чем больше угол наклона аэрофотоснимка и чем меньше его фокусное расстояние; масштаб в точке нулевых искажений s равен главному масштабу аэрофотоснимка. Чем больше значение x , тем мельче масштаб и, наоборот, чем меньше значение x , тем масштаб становится крупнее.

Средний масштаб аэрофотоснимка. При создании топографической карты используются плановые аэрофотоснимки с углом наклона не более 3° . Так как угол наклона по величине небольшой, его влияние, согласно формулам (62) и (63), на

значение масштаба незначительное, поэтому при работе с плановыми аэрофотоснимками можно использовать значение масштаба, вычисленное по формуле (50), а именно

$$1/m = f/H.$$

На практике часто масштаб планового аэрофотоснимка определяют из отношения отрезков, измеренных соответственно на аэрофотоснимке и на местности. Для надежности обычно измеряют два отрезка, которые, по возможности, должны быть длиннее, проходили бы как можно ближе к главной точке снимка и их концы были бы примерно на одинаковых расстояниях от главной точки аэрофотоснимка.

Значения масштабов аэрофотоснимков, полученные по двум отрезкам, сравниваются. Если расхождение в знаменателях масштабов не превышает 1:200 от меньшего значения, то считается, что масштаб обладает достаточной достоверностью.

§ 92. ИСКАЖЕНИЯ НА СНИМКЕ ИЗ-ЗА ВЛИЯНИЯ ЕГО УГЛА НАКЛОНА И РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

При наличии угла наклона аэрофотоснимка возникают линейные и угловые искажения изображения.

Под линейным искажением понимают смещение точки на аэрофотоснимке относительно положения, которое занимала бы она, если бы снимок был горизонтальный. На рис. 105 показано изображение двух аэроснимков, наклонного P и горизонтального P_0 , сделанных из одного центра проектирования S . На горизонтальном аэрофотоснимке взята точка a_0 , ее проекция на наклонном — обозначена a .

За начало координат на обоих снимках принята точка нулевых искажений c . Расстояние от точки c до точек a_0 и a обозначены соответственно r_0 и r . Так как вершины углов $a'sa$ и a_1ca_0 находятся в точке нулевых искажений, их величины равны. Поэтому при совмещении наклонного снимка с горизонтальным вращением его вокруг линии h_ch_c точка a попадет на линию ca_0 и займет положение a_p .

Согласно полученным построениям смещение точки на наклонном аэроснимке по сравнению с ее положением на горизонтальном по направлению от точки a_0 к точке нулевых искажений c можно обозначить величиной

$$\Delta r_\alpha = r_0 - r.$$

Из схемы рис. 105 напомним $r_0/r = y_0/y$. В полученное уравнение подставим значение y_0 , выраженное формулой (61):

$$r_0/r = f/(f - x \sin \alpha).$$

чительно меньше f , поэтому можно пользоваться упрощенной формулой

$$\delta_\alpha = r^2 \sin \alpha \sin \varphi / f. \quad (65)$$

На масштаб аэрофотоснимка влияет рельеф местности, так как масштаб аэрофотоснимка зависит от высоты фотографирования, а рельеф местности делает ее величиной переменной. Так все контуры, расположенные на возвышенных местах, изображаются на аэрофотоснимке в более крупном масштабе, чем контуры, лежащие в низинах.

Под влиянием рельефа на аэрофотоснимках возникают линейные искажения. Пусть на рис. 106 показаны горизонтальный аэрофотоснимок P , на котором отображен некоторый участок местности. Высота фотографирования над начальной плоскостью E равна H . Рассмотрим две точки, одна из них A расположена выше плоскости E на величину превышения h_A и изобразилась на аэрофотоснимке в точке a на расстоянии $oa=r$ от главной точки аэрофотоснимка o .

Точка A_0 представляет собой ортогональную проекцию точки A на начальную плоскость. Таким образом, можно утверждать, если бы точка A располагалась в плоскости E , то на аэрофотоснимке она изобразилась бы в точке a_0 . Откуда отрезок aa_0 представляет собой смещение точки a , вызванное влиянием рельефа, которое обозначают δ_h .

Из подобия двух пар треугольников $A'A_0A$ и $A'SO$, а также $A'SO$ и aSo получим отношения

$$\frac{aa_0}{A'A_0} = \frac{So}{SO} \quad \text{и} \quad \frac{A'A_0}{AA_0} = \frac{ao}{So},$$

откуда

$$aa_0 = \frac{So A'A_0}{SO}, \quad A'A_0 = \frac{ao AA_0}{So}.$$

Подставляя в aa_0 выражения для $A'A_0$, а также имея в виду, что $oa=r$, $AA_0=h$, $aa_0=\delta_h$, $SO=H$, получим

$$\delta_h = rh/H = rh/mf. \quad (66)$$

Приведенная формула при α , не превышающем 3° , обеспечивает погрешность определения δ_h не более 0,1—0,2 мм.

Анализ формулы (66) показывает, что $\delta_h=0$, когда местность располагается в начальной плоскости E или ее изображение совпадает с точкой надира, т. е. $r=0$. Величина смещения за рельеф уменьшается с увеличением высоты фотографирования. При положительных превышениях точек местности (точка A , см. рис. 106) точки аэрофотоснимка смещаются от надира, что приводит к увеличению масштаба, а при отрица-

тельных превышениях (точка D , см. рис. 106) точки аэрофотоснимка, наоборот, смещаются к точке надира, что приводит к уменьшению масштаба изображения

§ 93. ФОТОСХЕМЫ

Под фотосхемой принято понимать фотографическое изображение местности, полученное в результате монтажа по общим точкам или по начальным направлениям полезных площадей не трансформированных плановых аэроснимков. Для изготовления фотосхем не требуется трансформирования аэрофотоснимков, поэтому их можно получить в короткий срок. Используют фотосхемы при различного рода изысканиях, когда не требуется точных измерений по аэрофотоснимкам.

Фотосхемы могут быть одномаршрутные и многомаршрутные. При изготовлении одномаршрутных схем используют индивидуальную или совместную обрезку аэрофотоснимков. Для индивидуальной обрезки аэрофотоснимки раскладываются в ряд по перекрытиям, затем на каждой паре перекрывающихся аэрофотоснимков по середине продольного перекрытия намечают линию, на которой (или вблизи от нее), имеются четкие контурные точки, например, точки a , b и c , d , показанные на рис. 107. (Здесь индексами обозначены соответствующие точки на последующих снимках). Используя эти точки, с помощью металлической линейки аэрофотоснимки обрезают, оставшиеся части аэрофотоснимков наклеивают (обычно резиновым клеем) на картон или плотную бумагу.

Совместная обрезка аэрофотоснимков выполняется по их общим контурам. Для этого из каждой пары снимков правый закрепляют на столе грузиками и на него слева укладывают смежный. Совмещение общих контуров аэроснимков добива-

Рис 107 Схема обрезки аэрофотоснимков

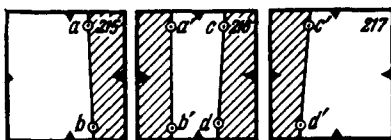


Рис 108 Схемы. монтажа аэрофотоснимков способом мельканий (а); выполнения совместной обрезки аэрофотоснимков (б)

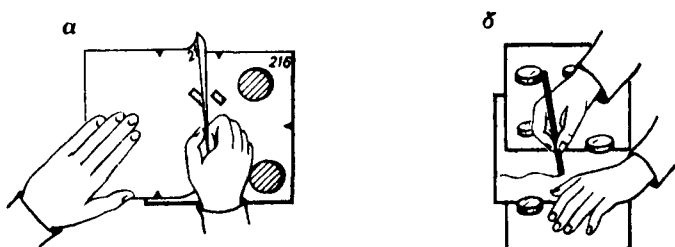


Таблица 37

Тип фотосхем	Количество аэрофотоснимков				
	2	4	6	8	10
Одномаршрутная	1/50	1/90	1/120	1/160	1/160
Многомаршрутная	1/45	1/75	1/120	1/135	1/135

ются способом мельканий, заключающемся в быстром и многократном отгибании верхнего аэрофотоснимка (рис. 108, а) и перемещением его до совмещения общих контуров в соседней части аэрофотоснимка. После совмещения контуров производят обрезку сразу обоих аэрофотоснимков (рис. 108, б) по линии, проходящей вблизи от середины продольного перекрытия.

После обрезки аэрофотоснимков их наклеивают на основу таким образом, чтобы линии обрезов строго совпадали друг с другом.

Изготовление многомаршрутной фотосхемы начинают со среднего маршрута. К нему подмантируют аэрофотоснимки смежных маршрутов, используя при этом способ мельканий для совмещения общих контуров.

Обрезку аэрофотоснимков в случае многомаршрутной аэрофотосъемки осуществляют после полного монтажа аэрофотоснимков. Вначале производят обрезку в каждом маршруте, затем в середине поперечного перекрытия. Полученные после обрезки аэрофотоснимки наклеивают на основу, начиная с центрального аэрофотоснимка среднего маршрута.

Для оценки качества фотосхем можно пользоваться данными табл. 37, в которой приведены погрешности измерения расстояний на фотосхемах в зависимости от способа их составления и количества снимков.

§ 94. ПОНЯТИЕ О ТРАНСФОРМИРОВАНИИ АЭРОФОТОСНИМКОВ

Изображение, получаемое на наклонных аэрофотоснимках является искаженным, вследствие этого их необходимо из наклонных преобразовать (трансформировать) в горизонтальные. Кроме того, из-за изменения высоты фотографирования отдельные аэрофотоснимки являются разномасштабными. Это обстоятельство приводит к необходимости приведения аэрофотоснимков к одному заданному масштабу. Процесс преобразования наклонного аэрофотоснимка в изображение, соответствующее горизонтальному, с одновременным приведением их к заданному масштабу носит название трансформирование аэрофотоснимков.

Рассмотрим некоторые понятия, положенные в основу трансформирования. На рис. 109 показано положение центра проек-

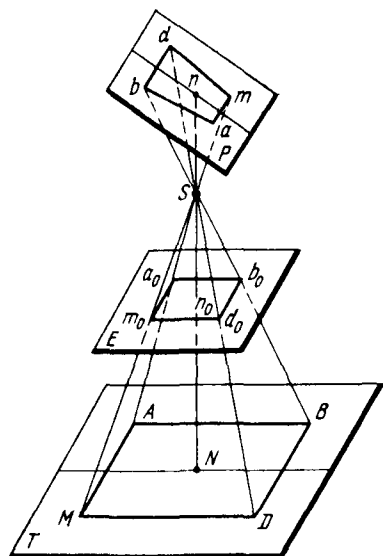
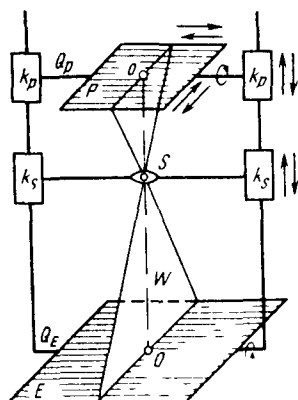


Рис. 109. Схема трансформирования аэрофотоснимков

Рис. 110. Фототрансформатор ФТБ



ции S и наклонного негатива P относительно сфотографированной равнинной местности T . На расстоянии $Sn_0 = H/M$ от центра проектирования S поместим горизонтальную плоскость E . Здесь $SN = H$ — высота фотографирования, $1/M$ — масштаб создаваемого плана. Полученное в плоскости E изображение соответствует горизонтальному аэрофотоснимку, выполненному в заданном масштабе $1/M = a_0 b_0 / AB = b_0 d_0 / BD = m_0 d_0 / MD = a_0 m / AM$.

Переход от главного масштаба аэронегатива к масштабу плана осуществляется с коэффициентом трансформирования

$$K_t = \frac{H}{fM}, \quad (67)$$

где H — высота фотографирования; f — фокусное расстояние аэрофотоаппарата; M — знаменатель масштаба плана.

Таким образом, принцип трансформирования заключается в том, что по аэрофотоснимку строят пучок проектирующих лучей, соответствующий пучку в АФА при съемке. А затем при помощи этого пучка лучей получают в заданном масштабе изображение снимка на горизонтальной плоскости.

В зависимости от применяемых приборов и методов производят следующие способы трансформирования аэрофотоснимков: графический, фотомеханический и аналитический.

Наибольшее распространение получил фотомеханический способ, в котором трансформирование аэрофотоснимков выполняют приборы, называемые фототрансформаторами.

Фототрансформатор — фотограмметрический прибор, преобразующий плановые и перспективные аэрофотоснимки в горизонтальные. На рис 110 показан фототрансформатор ФТБ, представляющий собой оптический проектор, в котором плоскость экрана E , плоскость кассеты (негатива) P могут принимать наклонное положение. Объектив S , главная плоскость которого всегда горизонтальная, может только перемещаться вдоль оптической оси Oo .

Кассета P также может перемещаться по высоте, вращаться в своей плоскости на угол χ , а также сдвигаться перпендикулярно и параллельно оси Q_p . Плоскость главного вертикала W в этом приборе всегда занимает положение перпендикулярное к осям поворота кассеты Q_p и экрана Q_e . Перемещение кареток K_p осуществляется вдоль вертикальных направляющих. Осветительное устройство выполнено в виде эллиптической формы рефлектора, скрепленного с каретками объектива. В верхнем фокусе рефлектора расположена лампа, в нижнем — объектив.

Трансформирование аэрофотоснимков на фототрансформаторе может выполняться по установочным величинам, вычисленным по элементам ориентирования аэрофотоснимков, и по трансформационным точкам. В первом случае установочные величины фиксируют на шкалах фототрансформатора. Во втором — на экран фототрансформатора помещают основу с нанесенными плановыми точками. В кассету закладывают негатив, на котором отмечены те же точки. Затем добиваются того, чтобы точки, проектируемые с негатива, совпали с идентичными точками на экране.

Оптико-графический способ трансформирования производят на трансформаторе, однако спроектированное на экран изображение негатива в отличие от фотомеханического способа, не фиксируют на фотобумаге, а вычерчивают в условных знаках на планшете. Для оптико-графического трансформирования пространство получили универсальные топографические проекторы УТП-2.

При сплошном рельефе в оптико-графическом способе трансформирования снимков и рисовка контуров и рельефа ведутся по зонам, для определения параметров которых выполняются следующие расчеты.

Определяют количество зон

$$n = (z_{\max} - z_{\min}) / \Delta h,$$

где $z_{\max}$, $z_{\min}$ — соответственно максимальная и минимальная высоты точек либо горизонталей в пределах аэроснимка; Δh — высота зоны, определяемая по формуле

$$\Delta h = 0,002 f M \Delta r_{h_i} / r, \quad (68)$$

где f — фокусное расстояние объектива АФА; M — знаменатель масштаба составляемой карты; Δr_{h_i} — допустимое смещение точек за рельеф, принимаемое равным 0,5 мм; r — максимальное отстояние точек от главной точки аэроснимка.

Вычисляют поправки за рельеф

$$\Delta r_{h_i} = r_i h_i / H_i, \quad (69)$$

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. В тех случаях, когда опорная точка лежит выше средней плоскости проектирования, то величину Δr_{h_i} откладывают от данной точки по направлению к центру, если ниже — наоборот. Определяют изменения поправок Δr_{h_i} при переходе из зоны в зону по формуле

$$\delta_{r_i} = r_i \Delta h / f M, \quad (70)$$

Контроль трансформирования на аэроснимке осуществляют по специальному отрезку, который должен проходить через главную точку аэроснимка и в ней делиться пополам. Длина этого 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

$$\Delta l = l \Delta h / M f, \quad (71)$$

где l — длина контрольного отрезка на опорном планшете, мм.

Аналитический способ трансформирования используют при построении сетей фототриангуляции. В этом способе трансформируются только точки, принадлежащие фототриангуляционной сети. Для трансформирования на наклонном аэрофотоснимке измеряют координаты точек сети, затем, по формулам, связывающим координаты наклонного и горизонтального аэрофотоснимков, вычисляют координаты для случая, если бы аэрофотоснимок был горизонтальным.

При графическом способе трансформирования изображение получают с использованием чертежных приборов. План в этом способе может быть построен на эюре по элементам ориентирования аэрофотоснимков или при помощи взаимно перспективных сеток. Последние прочерчивают по трансформационным точкам, имеющимся на снимке и плане. По полученным клеткам сеток переносят контуры с аэрофотоснимка на план.

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. 111, а), так называемые точки плановой привязки ОП-1. Необходимые для сохранения масштаба развиваемой фототриангуляции связывающие 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' и 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 опре-

* §§ 95, 98, 99, 100 написаны Г. Г. Прудниковым

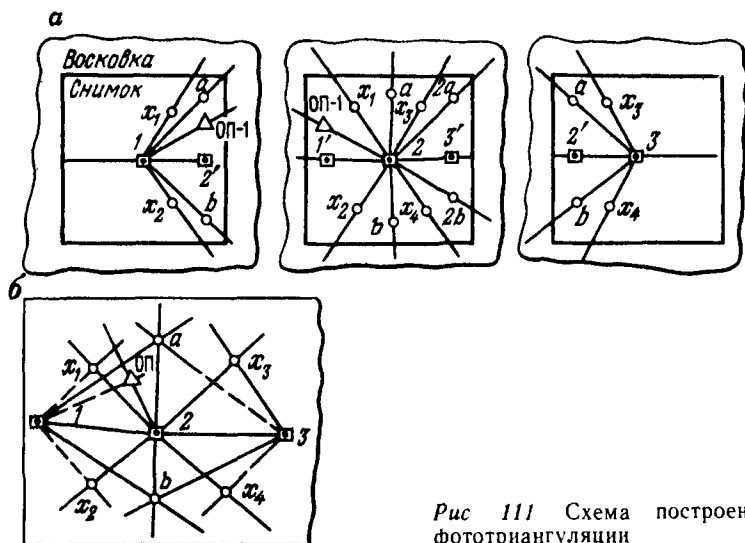


Рис 111 Схема построения фототриангуляции

деляют прямой засечкой. Аналогичные построения ведут до тех пор, пока не будет построена вся сеть (рис. 111, 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.

§ 96. МОНТАЖ И КОРРЕКТУРА ФОТОПЛАНА

Фотопланом называют фотографическое изображение местности, полученное в результате монтажа по опорным точкам полезных площадей трансформированных аэрофотоснимков. На фотопланах погрешность положения контуров местности относительно

геодезических пунктов соответствует погрешностям топографического плана (карты).

С фотопланов изготавливаются репродукции, которые используют при различного рода изысканиях, геологоразведочных работах, а также для рисовки на них рельефа при топографических съемках.

Для изготовления фотоплана раскладывают трансформированные аэрофотоснимки по маршрутам и по порядку номеров. Укладывают на основу первые два аэрофотоснимка первого маршрута, так, чтобы отверстия сделанные на снимках, совпали с соответствующими точками на основе. Затем выполняют порез вблизи прямой, соединяющей две трансформационные точки. После этого первый аэрофотоснимок намазывают целлулоидным или резиновым клеем и кладут на планшет. Затем на основу наклеивают второй снимок, а на него по точкам основы укладывают третий. Выбирают линию пореза второго и третьего снимка, делают порез и к основе приклеивают третий снимок. После монтажа первого маршрута начинают накладку аэрофотоснимков второго маршрута, где начиная со второго аэрофотоснимка на каждом из них делают два пореза: один посередине продольного, второй — поперечного перекрытий.

После приклеивания всех аэрофотоснимков обрезают края снимков за рамками трапеций и фотоплан кладут под пресс.

После монтажа фотоплана производят его корректировку, заключающуюся в совмещении точек снимков с точками основы, совпадении контуров местности на соседних от пореза участках аэрофотоснимков, правильности размеров рамки трапеции.

Расхождение центров отверстий, пробитых на отпечатках, с точками основы не должны быть более 0,5 мм — для равнинных и 0,7 мм всхолмленных районов. Для корректуры по порезам используют обрезки снимков. Их прикладывают по линии порезов и перекладывают на аэрофотоснимок некоторые места четких контуров. Расхождения не должны быть более 0,7 мм для равнинных и 1,0 мм для горных районов.

Допустимое расхождение сторон и диагоналей рамки трапеции с табличными значениями не должны быть больше 0,2 мм.

§ 97. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ

Дешифрирование аэрофотоснимков производится с целью опознания изображенных на них объектов и определения их качественных и количественных характеристик. Полнота и достоверность дешифрирования зависит от демаскирующих свойств объектов, масштаба аэрофотоснимка и их фотографического качества, разрешающей способности светочувствительного слоя аэрофотоснимков, качества эталонов для дешифрирования,

опытности исполнителя и условий, в которых выполнялось дешифрирование.

Дешифрирование подразделяют на топографическое и специальное. В результате топографического дешифрирования производят опознание элементов местности, определение границ контуров и их содержание. Специальное дешифрирование аэрофотоснимков выполняют для решения различных задач, носящих как научный, так и народнохозяйственный интерес.

Топографическое дешифрирование подразделяют 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 отдешифрировать 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.

Важным понятием при дешифрировании являются дешифровочные признаки. Отметим некоторые из этих признаков.

Форма предметов в значительной степени позволяет говорить о характере и размерах объекта, так как предметы местности на аэрофотоснимке принимают форму в соответствии с законами центральной проекции. При этом следует иметь в виду, что геометрически правильные контуры и линии имеют предметы, созданные человеком, а криволинейные контуры образовались в результате действия сил природы. Так населенные пункты отличаются правильной геометрической формой, так как строения строятся в виде правильных геометрических фигур. Однако по одной форме в большинстве случаев определить сущность объекта бывает трудно. Так, например, извилистой по форме линий может изобразиться как речка, так и проселочная дорога. Поэтому форму объекта следует считать только одним из признаков дешифрирования, служащих для последующего распознавания на аэроснимках интересующих нас объектов и контуров.

Сведения, полученные в результате изучения формы предмета могут быть существенно уточнены данными о его разме-

рах. Размер объекта, изображенного на аэроснимке, зависит от масштаба аэроснимка, рельефа местности и т. д. Для определения размеров объектов по аэроснимку используют средний масштаб аэроснимка.

Важным дешифровочным признаком является фототон, т. е. степень потемнения фотоизображения. Любой объект воспроизводится на аэроснимке соответствующим тоном. Следует иметь в виду, что фототон не является постоянным для одной и той же группы объектов и даже для одного объекта, а может меняться в зависимости от многих причин: освещенности, условий фотографической обработки, рельефа местности и т. д. Однако в любом случае проселочные дороги и тропы представляют собой вытянутые тонкие извилистые полосы светлого тона. Шосейные дороги имеют по бокам проезжей части темные полосы (изображение кюветов). Мосты на дорогах могут быть опознаны по светлому полотну проезжей части и наличию теней. Скаты, находящиеся на южной стороне, светлее горизонтальных участков и скатов, наклоненных в сторону от Солнца.

Дешифрирующим фактором также являются тени, которые могут быть двух видов: собственная и падающая. Собственная тень получается в результате освещенности выпуклых и вогнутых объектов местности, падающая получается на земной поверхности от объектов местности. Предметы, возвышающиеся над земной поверхностью, на снимке дают изображение отбрасываемой ими тени. По форме и размеру тени можно определить название объекта и его высоту. Часто малые объекты, например изгороди, на снимке сами не изображаются, но зато хорошо заметны их тени. К числу объектов, хорошо дешифрируемых по тени, относятся отдельно стоящие деревья, тригонометрические знаки и т. д. Высота объекта на равнинной местности может быть определена по длине тени, для этого используется следующая формула

$$h = d \operatorname{tg} \beta,$$

где d — длина тени; β — угол наклона лучей Солнца к горизонту.

Структура фотоизображения, под которой понимают рисунок фотоизображения, является устойчивым признаком дешифрирования, так как мало зависит от масштаба аэроснимка, освещенности, фотографической обработки и т. д. Она позволяет в ряде случаев надежно дешифрировать различные объекты. Например, точечная структура фотоизображения характерна для кустарников, струйчатая — для болот и т. д.

По признакам взаимной связи можно судить о содержании объектов местности. Так, например, дорога, обрывающаяся

у берега реки и продолжающаяся на другом берегу, свидетельствует о наличии брода, расположение посадок в шахматном порядке указывает на то, что это фруктовые деревья.

При дешифрировании используется взаимная связь между растительным покровом, типом почвы и рельефом местности. Например, сенокосные угодья часто расположены по берегам рек, балкам или среди лесных массивов. На местности существует связь не только между объектами, но и между отдельными элементами. Например, по диаметру кроны дерева можно судить о его высоте.

Одним из видов специального дешифрирования является геологическое дешифрирование, основывающееся на взаимосвязи свойств горных пород, условий их залегания и других геологических характеристик с их проявлениями на земной поверхности.

При геологическом дешифрировании решаются следующие задачи:

- выявление и прослеживание на аэрофотоснимках границ распространения отдельных горных пород;

- установление геологической последовательности в залегании горных пород, определение элементов залегания, мощности, различных типов несогласного залегания и т. п.;

- определение и анализ физико-географических процессов, протекающих на поверхности различных горных пород, имеющих свое отображение на аэрофотоснимках;

- изучение по аэрофотоснимкам поисковых признаков, способствующих выявлению полезных ископаемых.

Для решения этих задач используют геоморфологические, геоботанические, антропогенные, зоогенные и другие геологические дешифровочные признаки.

Геоморфологические дешифровочные признаки основаны на связи между геологическим строением и формами рельефа. Геоботанические дешифровочные признаки основаны на связи между почвообразующими породами, почвенным покровом и растительностью. Например, в степных районах различные растения приурочены к различному химическому составу подземных вод и даже к глубине их залегания. Антропогенные и зоогенные дешифровочные признаки основаны на связи деятельности человека и животных с геологией района.

Геологическое дешифрирование выполняют в два этапа:

- камеральное предполевое дешифрирование;

- полевое дешифрирование.

Первое выполняют в камеральных условиях, при этом используют аэрофотоснимки, существующие геологические карты, геологические отчеты и т. п. В результате предполагаемого дешифрирования составляют геологическую карту, по которой возможно разработать программу полевых работ.

Полевое геологическое дешифрирование производится в полевых условиях сравнением обнаруженных геологических объектов с их отображением на аэроснимках. Эти обследования в комплексе с дешифрированием аэроснимков сопровождаются работами, связанными с проходкой скважин, рытьем шурфов и разведочных канав, опробованием и т. п. При наличии аэроснимков все точки геологических исследований опознаются на аэроснимках, а затем переносятся на топографическую основу геологической карты. При полевом геологическом дешифрировании оконтуривают границы распространения горных пород различного геологического возраста, площади выхода магматических горных пород, обнажения и т. д.

По аэрофотоснимкам возможно получение характеристик элементов залегания горных пород: азимута падения пласта, наклон линии падения пласта к горизонту, мощности пласта.

С развитием съемок из космоса перед геологией раскрылись перспективы изучения 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, космоинералогических 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 мелкомасштабный вид региональных геологических исследований, основной задачей которого является расшифровка геологического строения крупных участков земной коры. Космогеологические карты отражают объекты и явления различной глубинности, что имеет важное значение при оценке перспектив рудоносности и нефтегазоносности крупных регионов.

§ 98. 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 характери-

стики, наносятся государственные и административные границы и все те предметы местности, которые не изобразились на аэроснимке. Стремление перенести 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 отдешифрованными контурами. Перенос горизонталей с аэроснимка на контурный план для равнинных районов местности осуществляется визуально, либо с помощью стереоскопа, 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.

§ 99. 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 $a_{\text{л}}$ и $a_{\text{п}}$ на левом и правом снимках (рис. 112). Измерив абсциссы точек на аэроснимках $x_{a_{\text{л}}}$ и $x_{a_{\text{п}}}$, определим продольный параллакс p_a , т. е. разность абсцисс соответственных точек фотоснимков местности, составляющих стереопару,

$$p_a = x_{a_{\text{л}}} - x_{a_{\text{п}}}. \quad (72)$$

Величина продольного параллакса зависит от отстояния точки местности относительно базиса фотографирования, его наклона, а также угла наклона аэроснимка.

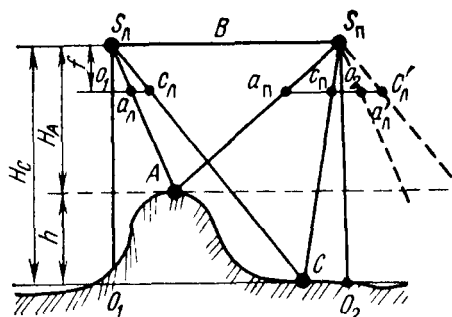


Рис. 112 Схема определения связи между превышениями и разностями продольных параллаксов

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. 112) изобразились на левом аэроснимке точками *aл*, *cл* и на правом соответственно *aп*, *cп*. Измерив

абсциссы этих точек на левом $x_{aл}$, $x_{cл}$ и правом $x_{aп}$ и $x_{cп}$ снимках, определим продольные параллаксы для точек *a* и *c*

$$p_a = x_{aл} - x_{aп}, \quad p_c = x_{cп} - x_{cл} \quad (73)$$

и разность продольных параллаксов

$$p = p_a - p_c. \quad (74)$$

Проведем из точки *Sп* прямую *Sпcл'* параллельно линии *Sлcл*.

Из подобия треугольников *cпSпcл'* и *SлSпc* напишем:

$$p_c/B = f/H_c, \quad (75)$$

где *f* — фокусное расстояние АФА; *Hc* — высота фотографирования относительно точки *C*; *B* — базис фотографирования, м;

$$H_c = fB/p_c. \quad (76)$$

Из аналогичных построений найдем

$$\frac{p_a}{B} = \frac{f}{H_A} \quad \text{и} \quad H_A = \frac{f}{p_a} B, \quad (77)$$

но

$$H_c - H_A = h. \quad (78)$$

Подставив уравнения (76) и (77) в (78), получим

$$h = \frac{Bf(p_a - p_c)}{p_cp_a}, \quad (79)$$

но $Bf/p_a = H_A$, а $p_a - p_c = \Delta p$, тогда зависимость превышения между точками от разности их продольных параллаксов выражим как

$$h = \frac{H_A \Delta p}{p_a + \Delta p}. \quad (80)$$

Из рис. 112 видно, что при определении превышения между точками A и C продольной параллакс p_a соответствует базису фотографирования, выраженному в масштабе аэроснимка, поэтому отбрасывая индексы и заменяя продольный параллакс базисом фотографирования b , выраженном в масштабе фотографирования точки a , можем написать формулу для определения превышений по разности продольных параллаксов в общем виде:

$$h = \frac{H \Delta p}{b + \Delta p}. \quad (81)$$

Поскольку для равнинной местности Δp во много раз меньше b , примем $b + \Delta p \approx b$, тогда формула для определения превышений будет иметь вид

$$h = \frac{H \Delta p}{b},$$

но так как H/b для стереопары есть величина постоянная, то выразив ее через k (параллактический коэффициент), получим формулу в окончательном виде:

$$h \approx k \Delta p. \quad (82)$$

Определим превышение между точками A и C при $H = 3000$ м; $x_{a_l} = +45,0$ мм; $x_a = -12,5$ 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:

$$p_a = x_{a_l} - x_{a_n} = 45,0 - (-12,5) = +57,5 \text{ мм};$$

$$p_c = x_{c_l} - x_{c_n} = 54,0 - (-3,0) = +57,0 \text{ мм}.$$

и разность продольных параллаксов

$$\Delta p = p_a - p_c = 57,5 - 57,0 = +0,5 \text{ мм}.$$

По формуле (82) вычисляют превышение точки A относительно точки C

$$h = \frac{3000}{57,0} (+0,5) = +26,3 \text{ м}.$$

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° , кроме того базис фотографирования не горизонтален. В результате превышения, определенные по формуле (81) либо (82), искажены. Для устранения этих искажений при определении пре-

вышений используют различные методы, такие как метод интерполирования высот или метод неискаженной модели.

Метод интерполирования высот базируется на том, что искажения превышений вследствие угла наклона аэрофотоснимка 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 нестрого 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 к начальным направлениям аэрофотоснимков (допустимо отклонение до 30°). На линии, соединяющей опорные точки, намечают определяемую точку a . Измерив расстояния l_{12} , l'_{1a} на левом и l'_{12} , l'_{1a} на правом аэрофотоснимках стереопары, вычисляют их средние значения

$$l_{12}^{\text{ср}} = \frac{l_{12} + l'_{12}}{2}; \quad l_{1a}^{\text{ср}} = \frac{l_{1a} + l'_{1a}}{2}.$$

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; 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 (73) и (74) 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 параллакс 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

$$h_{\Phi_2} = \frac{H_1 \Delta p_2}{p_1 + \Delta p_2}; \quad h_{\Phi_a} = \frac{H_1 \Delta p_a}{p_1 + \Delta p_a}.$$

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

$$\delta_a = \delta_2 \frac{l_a^{cp}}{l_{12}^{cp}}.$$

Геодезическое превышение точки a относительно опорной точки 1 вычисляют по формуле

$$h_{r_a} = h_{\phi_a} + \delta_a.$$

Отметку z_a определяемой точки получим из равенства

$$z_a = z_1 + h_{r_a},$$

где z_1 — отметка опорной точки 1.

Рассмотренная методика вычисления точки a может быть применена для вычисления неограниченного количества точек стереопары. При этом для всех других точек используются те же опорные точки 1, 2, что и при вычислении отметки точки a .

Метод неискаженной модели позволяет определить отметки точек стереопары путем линейного интерполирования погрешностей превышений, полученных для опорных точек (не менее трех) имеющих геодезические координаты и определяемых как разность δ_{h_i} между их геодезическими и фотограмметрическими отметками. Поправки к измеренным разностям продольных параллаксов вычисляют по измеренным поперечным параллаксам (разность ординат соответствующих точек аэрофотоснимков местности, составляющих стереопару) по формуле

$$\delta_{p_i} = -\varphi_i x_i, \quad (83)$$

где $\varphi_i = q_i/y_i$; x_i , y_i — текущие координаты точки. Задача существенно упрощается тем, что φ_i (отношение поперечного параллакса в ординате точки) имеет линейную зависимость с текущими координатами точек стереопары, что позволяет вычислить 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 δp_a к измеренной разности продольных параллаксов определяют по значению φ_a и координате x_a точки a , измеренной на правом аэрофотоснимке, по формуле (8.3). Исправленные значения $\Delta p_i'$ определяют по формуле

$$\Delta p_i' = \Delta p_i + \delta p_i,$$

Приняв опорную точку I за исходную, вычисляют фотограмметрические превышения $h_{\varphi i'}$, опорных точек 2, 3, 4 и определяемой относительно исходной I

$$h_{\varphi i} = (H_1 \Delta p_i') / (p_1 + \Delta p_i'),$$

где H_1 — высота фотографирования относительно исходной точки I ; $\Delta p_i'$ — разность продольных параллаксов определяемой точки относительно исходной I с учетом поправки δp_i ; p_1 — продольный параллакс исходной точки I .

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 I , 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 I , принятой за исходную, $\delta h_1 = 0$), строят график высотных поправок. На графике находят поправку для точки и определяют ее отметку z_a :

$$z_a = z_1 + h_{\varphi a} + \delta h_a.$$

Подобным образом могут быть определены отметки всех точек стереопары в геодезической системе координат.

§ 100. 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 про-

ектирования, называется стереопарой. Чтобы повысить точность измерений по аэроснимкам, их обработка ведется на специальных фотограмметрических приборах, позволяющих наблюдать 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. 113). 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 стереозффект (рис. 113, а), т. е. стереоскопическую модель местности такой, какая существует в натуре.

Если снимки поменять местами (рис. 113, б), то получим обратный стереозффект. При этом горы, холмы, хребты и т. д. воспринимаются впадинами, лощинами и т. д.

Рассматривая стереопару под стереоскопом, необходимо учитывать, что вследствие разномасштабности снимков, различия расстояния наилучшего зрения (250 мм) и фокусного расстояния АФА и других 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.

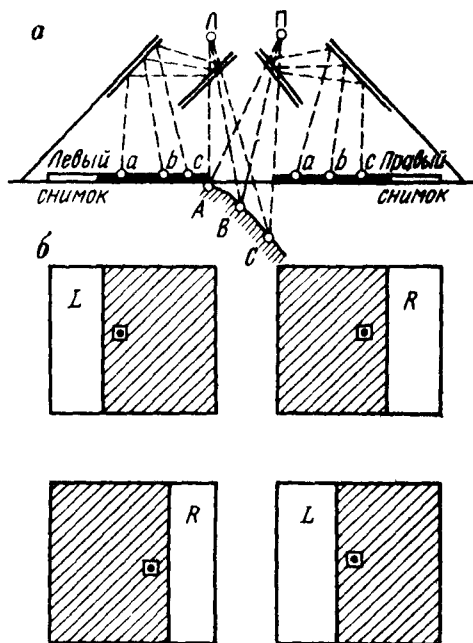


Рис. 113 Схема простого стереоскопа

Вопросы для самопроверки

1. Что называется аэрофотоаппаратом?
2. Что называется масштабом аэронегатива?
3. Что называется масштабом аэрофототопографической съемки?
4. По какой формуле определяют необходимую высоту фотографирования?
5. Что называется базисом фотографирования?
6. В чем заключаются полевые фотограмметрические работы при аэрофотосъемке?
7. Что относится к элементам внутреннего ориентирования аэроснимка?
8. Что относится к элементам внешнего ориентирования аэроснимка?
9. Что называется фотосхемой?
10. В чем заключается принцип трансформирования аэрофотоснимка?
11. Что называется фототриангуляцией?
12. Что называется фотопланом?
13. В чем заключается топографическое дешифрирование аэрофотоснимков?
14. В чем заключается специальное дешифрирование аэрофотоснимков?
15. Что представляют собой дешифровочные признаки?
16. Что называется продольным параллаксом?

Раздел II. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Глава 16.

ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИИ НЕДР

§ 101. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Высокие темпы роста горнодобывающей промышленности требуют ускоренного развития минерально-сырьевой базы. Для опережающего роста разведанных запасов полезных ископаемых необходимо не только ускорение темпов разведочных работ, но также повышение достоверности данных, получаемых геологами. Существенную в этом смысле роль играет геометрия недр, позволяющая оперативно, с большой наглядностью и достоверностью представлять исходную геолого-маркшейдерскую информацию.

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

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

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

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

Региональная, выполняемая с целью составления структурно-геометрических карт отдельных регионов в масштабах $1:500\,000$ — $1:10\,000$. В результате этого вида работ выясняются общие вопросы геологического строения региона, позволяющие решать вопросы, связанные с изучением крупных массивов горных пород, глобальных закономерностей в строении Земли.

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

Детально-разведочная геометризация выполняется при проведении разведочных работ на геометрических графиках масштабов $1:10\,000$ — $1:1000$. В результате строятся структурно-геометрические карты планов и разрезов месторождения полезного ископаемого, используемые для проектирования геологоразведочных выработок и скважин.

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

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

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

§ 102. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОЕКЦИИ С ЧИСЛОВЫМИ ОТМЕТКАМИ

При создании геометрической модели залежи применяются различные способы изображения, особенно широко используются проекции с числовыми отметками, в которых характерные точки изучаемых (изображаемых) пространственных объектов ортогонально проецируют на основную плоскость проекций. В качестве последней в маркшейдерской практике чаще всего выбирают горизонтальную плоскость, совпадающую по высоте со средним уровнем океана (моря). Таким образом, положение некоторых точек A и B в плоскости проекций определится положением точек пересечения перпендикуляров, опущенных из точек A и B

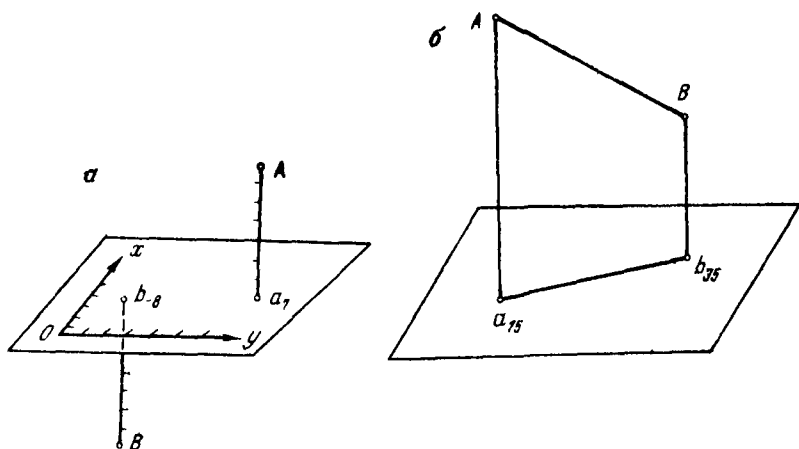


Рис. 114 Схемы определения положения в проекции с числовыми отметками точки (а) и прямой (б)

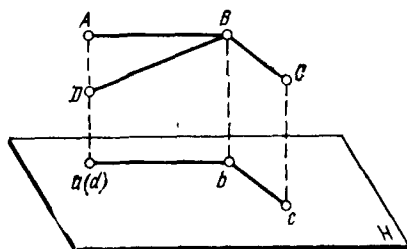


Рис. 115 Перпендикулярные прямые

(рис. 114), 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 (рис. 114, б), или своей проекцией с числовой отметкой какой-нибудь точки и углом ее наклона к горизонту; однако, чаще всего на плане прямая изображается в целочисленных (градуированных) отметках, для этого на проекции прямой отмечают точки, кратные выбранному сечению. Разность двух соседних целочисленных отметок градуированной прямой принято называть высотой сечения прямой. Расстояние между проекциями двух точек, разность отметок которых равна высоте сечения, называется заложением прямой.

В геологоразведочной и горной практике возникают задачи, когда необходимо знание взаимного положения двух прямых, которые могут быть параллельными, пересекающимися и скрещивающимися. Две прямые считаются параллельными, если параллельны их проекции, заложения равны и падение направ-

лено в одну сторону. Равенство заложений предопределяет равенство углов наклона прямых к плоскости проекций. Пересекающиеся прямые имеют общую точку, следовательно, их проекции на плане пересекаются, и также имеют общую точку. Частным случаем пересекающихся прямых являются взаимоперпендикулярные прямые. Если обе перпендикулярные прямые AB и BC параллельны плоскости проекции (рис. 115) или одна из них BC параллельна, а вторая BD непараллельна плоскости проекций, то прямой угол, образованный этими прямыми, проецируется без искажений.

Для скрещивания прямых возможны два случая:

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

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

Плоскость в общем случае может быть задана тремя точками, не лежащими на одной прямой; прямой и точкой, не лежащей на этой прямой; двумя параллельными или двумя пересекающимися линиями, принадлежащими данной плоскости. В проекции с числовыми отметками плоскость чаще всего изображается с помощью горизонталей, представляющих собой линии плоскости, расположенные параллельно плоскости проекций. Горизонталями плоскости $0-0$; $1-1$; $2-2$; $3-3$ (рис. 116) проводят обычно через один и тот же интервал по высоте, называемый высотой сечения плоскости. Проекции горизонталей на плоскости проекций $0-0$; $1'-1'$; $2'-2'$; $3'-3'$ параллельны и отстоят друг от друга на одинаковом расстоянии $0-1'$; $1'-2'$; $2'-3'$, называемом заложением горизонталей. В общем случае плоскость может быть наклонной, вертикальной и горизонтальной. Горизонтальная плоскость параллельна плоскости проекций, поэтому все фигуры, лежащие в ней, проецируются в натуральную величину. Вертикальная плоскость является перпендикулярной к плоскости проекций, ее проекция на план изображается прямой линией.

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

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

Плоскость и прямая могут иметь следующее взаимное положение:

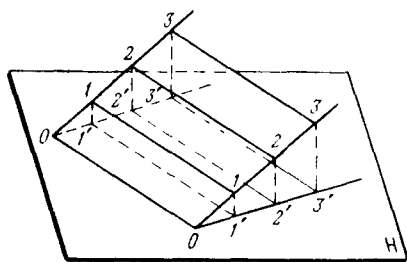


Рис. 116. Плоскость в проекции с числовыми отметками

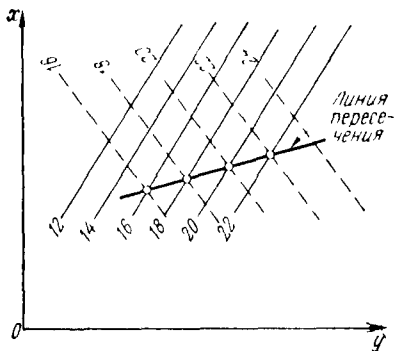


Рис. 117. Плоскости с пересекающимися горизонталями

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

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

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

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

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

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

Плоскости пересекаются, если:

а) горизонтالي плоскостей пересекаются; линией пересечения плоскостей в данном случае является линия, соединяющая точки пересечения одноименных горизонталей (рис. 117);

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

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

§ 103. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОЕКЦИЙ

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

§ 104. МЕТОД СОВМЕЩЕНИЯ

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

Рассмотрим существо метода на конкретной задаче.

Пусть в проекции с числовыми отметками даны две пересекающиеся прямые, обозначенные точками a_{70} , b_{60} , d_{30} (рис. 118, а). Необходимо определить истинное значение угла, образованное этими прямыми.

Две пересекающиеся прямые определяют собой плоскость. На рисунке она показана пунктирными горизонталями. Для того чтобы совместить эту плоскость с плоскостью проекций, развернем ее вокруг одной из горизонталей, например $+60$, до горизонтального положения. При вращении точки c и b_{60} останутся на месте, точки a_{70} и d_{30} переместятся по перпендикуля-

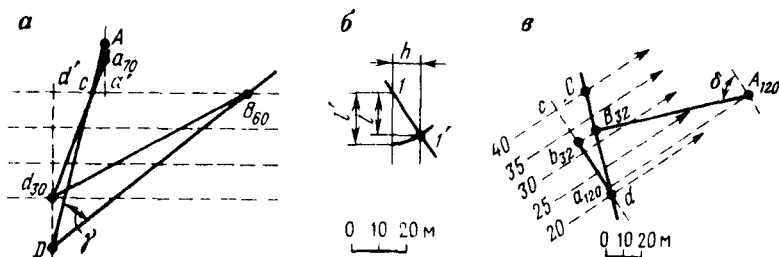


Рис. 118. Методы перемены плоскостей для отыскания угла двух пересекающихся прямых и кратчайшего расстояния между точкой и плоскостью

рам к горизонталям. Для того чтобы определить, на какие расстояния они переместятся, рассмотрим вспомогательный чертеж, представляющий собой две параллельные линии (рис. 118, б), проведенные друг от друга на расстоянии, равном высоте сечения h , и след исходной плоскости $l-l'$. Если совместить след плоскости $l-l'$ с нижней линией, то получим отрезок l' . Обозначим разность между отрезками l' и l (заложение плоскости) через Δl . Полученный отрезок Δl представляет собой увеличение расстояния между двумя соседними горизонталями при совмещении данной плоскости с основной плоскостью проекций. Таким образом, отложив отрезок Δl по направлению $a'a_{70}$, получим совмещенное положение точки A . Аналогичным образом получено положение точки D , для этого по направлению $d'd_{30}$ был отложен отрезок $d_{30}D$, равный $3\Delta l$.

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

§ 105. МЕТОД ПЕРЕМЕНЫ ПЛОСКОСТИ ПРОЕКЦИЙ

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

Рассмотрим применение метода перемены плоскости проекций на решении конкретных задач.

Пусть из точки a_{120} (рис. 118, в), расположенной на земной поверхности, надо запроектировать скважину по кратчайшему расстоянию до угольного пласта, условно представленного плоскостью и изображенного при помощи горизонталей.

Кратчайшим расстоянием между плоскостью и точкой является опущенный из точки на плоскость перпендикуляр. В связи с тем, что проекция линии перпендикулярной плоскости перпендикулярна к горизонталям этой плоскости, проведем через точку a_{120} линию ac , перпендикулярную к горизонталям плоскости, и построим вертикальную плоскость, проходящую через эту линию. В ней должна находиться ось проектируемой скважины, а также линия пересечения плоскостей. Повернем вспомогательную плоскость вокруг горизонтали с отметкой 20 до совмещения с горизонтальным положением. Так как вращение

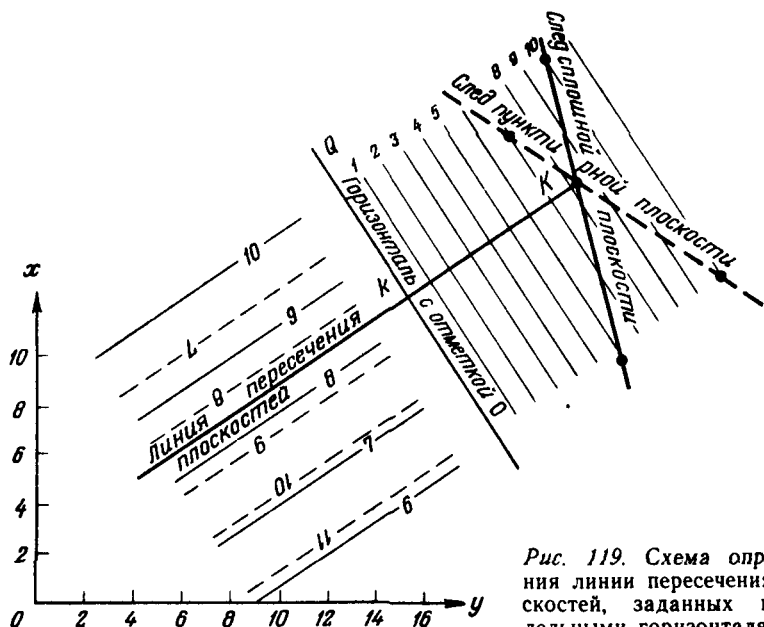


Рис. 119. Схема определения линии пересечения плоскостей, заданных параллельными горизонталями

было вокруг горизонтали с отметкой $+20$, точка d останется на месте, а точки c и a переместятся соответственно на 20 и 100 м и займут положения C и A . Соединив точки d и C , получим совмещенное положение линии пересечения исходной плоскости с вертикальной плоскостью. Из точки A опускаем перпендикуляр на совмещенное положение линии пересечения, получаем точку b_{32} , являющуюся точкой пересечения скважины с плоскостью. Если из нее опустить перпендикуляр на прямую ac , то получим на плане положение точки b . Интерполированием между горизонталями $+35$ и $+30$ определим высоту точки b , которая равна $+32$. Угол наклона скважины к земной поверхности измеряется транспортиром. Проектная длина скважин от поверхности до угольного пласта определяется отрезком AB и равна $92,5$ м.

Определим линию пересечения двух плоскостей (рис. 119) заданных параллельными горизонталями — одна сплошными, вторая пунктирными. Для этого построим вспомогательную вертикальную (профильную) плоскость, проходящую перпендикулярно к горизонталям исходных плоскостей. Повернем эту плоскость вокруг горизонта с высотной отметкой 0 до ее совмещения с основной плоскостью проекций. На совмещенном положении профильной плоскости отмечают следы наклонных плоскостей, точка пересечения K которых позволяет найти положение линии пересечения плоскостей: для этого из точки K

опускают перпендикуляр до оси вращения профильной плоскости. Через полученную таким образом точку k проводят линию, параллельную горизонталям исходных плоскостей и представляющую собой линию пересечения плоскостей. По полученному профилю можно также определить истинное значение угла, образованного двумя пересекающимися плоскостями.

§ 106. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЕКЦИИ С ЧИСЛОВЫМИ ОТМЕТКАМИ

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

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

На рис. 120, *а* представлен план, где при помощи горизонтальной сечением через 25 м изображена складка.

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

Для того, чтобы определить угол складки, являющийся двугранным углом, вначале следует провести плоскость, перпендикулярную к шарниру складки. Горизонталы этой плоскости должны быть перпендикулярны к оси шарнира, а заложение может быть определено или по формуле $l_{пл} = h^2/l_{пр}$, или при помощи геометрических построений, показанных на рис. 120, *б*. Во втором случае проводятся две параллельные линии на расстоянии, равном высоте сечения h . От произвольной точки a , расположенной на нижней линии, откладывают расстояние ab , равное заложению оси шарнира $l_{пр}$. Точку b проецируют на верхнюю прямую — получают точку d . Прямая ad представляет собой

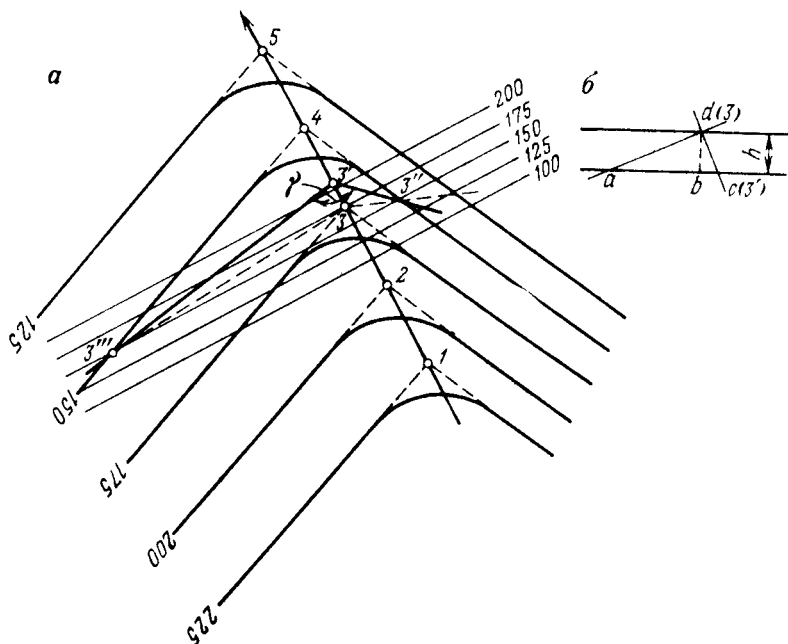


Рис. 120. Схема определения угла складки

след оси шарнира. Проводят через точку d линию dc перпендикулярно к прямой ad , таким образом, получают след плоскости, перпендикулярной к оси шарнира. Отрезок bc является заложением перпендикулярной плоскости $l_{пл}$. Выбирают одну из точек пересечения горизонталей крыльев складки, например, точку 3 с отметкой 175 м и через нее проводят линию, перпендикулярную к оси шарнира, которая является горизонталью искомой плоскости. Вдоль шарнира отмечают ряд точек на расстоянии друг от друга, равно заложению плоскости. Через эти точки проводят линии, перпендикулярные к оси шарнира. Эти линии также являются горизонталями плоскости перпендикулярной к оси шарнира.

Определяют линии пересечения полученной плоскости с плоскостями крыльев складки (пунктирные линии), которые представляют собой проекцию на плоскость угла складки. Для того чтобы определить его истинную величину, достаточно плоскость, определяемую углом $3''33''$ вращением вокруг горизонтали с отметкой 150, совместить до положения параллельного с плоскостью проекций, т. е. точку 3 переместить в точку $3'$ на расстояние $3-3'$, равно разности $ac-bc$ (см. рис. 120, б). Соединив точку $3'$ с точками $3''$ и $3'''$, получим угол $3''3'3'''$, равный γ и представляющий собой истинное значение угла складки.

§ 107. ПОВЕРХНОСТИ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПОРЯДКА

Топографическими поверхностями принято называть поверхности неправильного вида, не имеющие определенного геометрического закона образования. К ним относятся как физически существующие поверхности (например, поверхности 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.

§ 108. ВЫЧИТАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПОРЯДКА

При вычитании топографических поверхностей возможны следующие случаи:

1. Изолинии исходных топографических поверхностей пересекаются (рис. 121, а). В точках пересечения из отметок изолиний уменьшаемой поверхности (сплошные линии) вычитают значения отметок вычитаемой (пунктирные линии) топографической поверхности. Таким образом, в пределах плана получают цифровой массив, отображающий в числах новую топографическую поверхность. По числовым значениям проводят изолинии искомого показателя. Высота сечения исходных топографических поверхностей должна быть одинаковой. Это упрощает построение изолиний результирующей поверхности.

Рассмотрим некоторую четырехугольную фигуру, полученную при пересечении исходных изолиний, например, $abcd$ (см. рис. 121, а); по одной из диагоналей получены две одинаковые

что в местах пересечения изолиний определяется не разность отметок, а сумма.

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

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

§ 110. УМНОЖЕНИЕ И ДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПОРЯДКА

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

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

Деление поверхностей топографического порядка в принципе не отличается от умножения, но применяется редко. При делении также возможны два случая, в которых мы предлагаем разобраться читателям самостоятельно.

§ 111. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОГИПС 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 разрезов. Полученные таким образом на разрезах точки, переносятся на план, после чего точки с одинаковыми значениями высот соединяются плавными линиями.

§ 112. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОМОЩНОСТЕЙ И ИЗОГЛУБИН ЗАЛЕЖЕЙ

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.

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.

§ 113. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ 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.

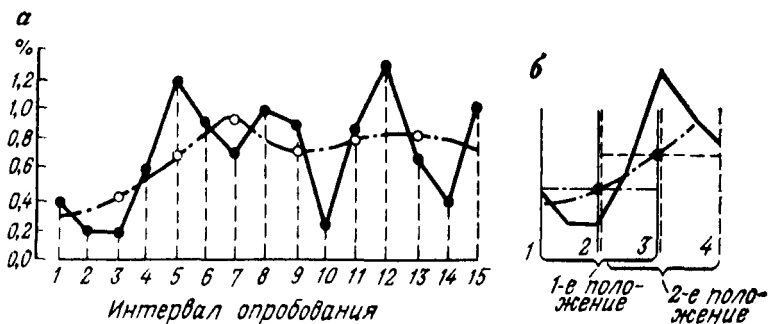


Рис. 122 Пример сглаживания данных опробования по разведочной выработке

Для получения представительной картины изучаемого поля месторождения проводят сглаживание первичных данных.

Рассмотрим рис. 122, а, на котором показаны результаты опробования полезного компонента по выработке. Соединив прямыми отрезками точки, соответствующие содержанию в интервале 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 сглаживание 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 опробования.

Палетку накладывают на кривую содержания компонента (рис. 122, б), после чего определяют среднее значение компонента в пределах «окна» и относят его к середине «окна» сглаживания. Затем «окно» передвигают на половину или одну треть его длины и повторяют определение среднего значения компонента для нового положения «окна» (показанного пунктиром). Операции повторяют по всей длине выработки. Аналогичным образом сглаживание производится и по площади, где статистическое окно принимается в виде квадрата или прямоугольника.

§ 114. СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Предложено около двух десятков способов подсчета запасов полезных ископаемых. Однако не все способы находят широкое применение. Практика подсчета запасов показывает, что при-

меняются обычно наиболее простые способы, не требующие громоздких вычислений и больших графических работ. Установлено, что точность подсчета запасов определяется не выбранным способом, а достоверностью исходной информации и детальностью разведки.

Среди множества способов наибольшее распространение получили способ геологических блоков, геологических разрезов, эксплуатационных блоков, способы ближайших районов и тругольников.

Способ геологических блоков

При использовании этого способа площадь залежи, изображенную на плане или вертикальном разрезе, делят на блоки, которые должны быть геологически однородными, т. е. они должны иметь одинаковую степень разведанности и изученности, а также находиться в одинаковых горнотехнических условиях. Не объединяют в один блок участки резко различающиеся по мощности и характеру оруденения, так как в противном случае не выделяются участки, для которых возможно применение различных систем разработки и схем переработки. Нельзя также объединять в один блок участки с резко различными углами падения, а также участки, разобщенные тектоническими нарушениями.

Средние значения мощности и содержания внутри геологических блоков вычисляют как среднее арифметическое с использованием данных, полученных по всем скважинам и горноразведочным выработкам:

$$m = \frac{\sum m_i}{n}; \quad c = \frac{\sum c_i}{n},$$

где m_i — отдельные значения мощности; c_i — отдельные значения содержания полезного ископаемого.

Объем полезного ископаемого получают по формуле

$$V = Sm,$$

где S — площадь залежи, ограниченная контуром геологического блока; m — среднее арифметическое значение мощности полезного ископаемого в блоке.

Запасы полезного ископаемого определяют по формуле

$$Q = V\gamma,$$

где γ — плотность полезного ископаемого.

Запасы компонента вычисляют по формуле

$$P = kQc,$$

где $k=0,01$, если содержание c в процентах, и $k=0,001$, если содержание в граммах на 1 т.

Т а б л и ц а 38

Выработка	Мощность, м	Содержание металла, г/т
Скв. 1	0,92	55
Скв. 2	0,76	27
Скв. 20	0,56	24
Сумма	12,60	960
Среднее	0,63	44,0

Т а б л и ц а 39

№ блока	Площадь, м ²	Средняя мощность, м	Объем, м ³	Плотность руды, т/м ³	Запасы руды, т	Среднее содержание металла, г/т	Запасы металла, кг
1	2450	0,63	1544	2,8	4323	44,0	190,2

Вычисления при подсчете запасов, как правило, ведут в двух формулярах: в одном, составляемом для каждого блока, определяют средние значения мощности и содержания (табл. 38), во втором, являющимся сводным, производят подсчет запасов полезного ископаемого и полезного компонента (табл. 39).

Способ параллельных разрезов

Способ параллельных разрезов применяют в случаях, когда месторождение разведывается системами разведочных выработок, находящихся в параллельных вертикальных или горизонтальных плоскостях. Если разведка ведется при помощи разведочных линий 1, 2, 3, вдоль которых бурятся главным образом вертикальные скважины, то применяется способ параллельных вертикальных разрезов (рис. 123). В тех же случаях, когда разведка осуществляется системой горных разведочных выработок, расположенных на нескольких горизонтах, применяется способ параллельных горизонтальных разрезов (рис. 123, справа).

Способ разрезов, использующий вертикальные или горизонтальные геологические разрезы, не требует специальных графических построений и отличается простотой.

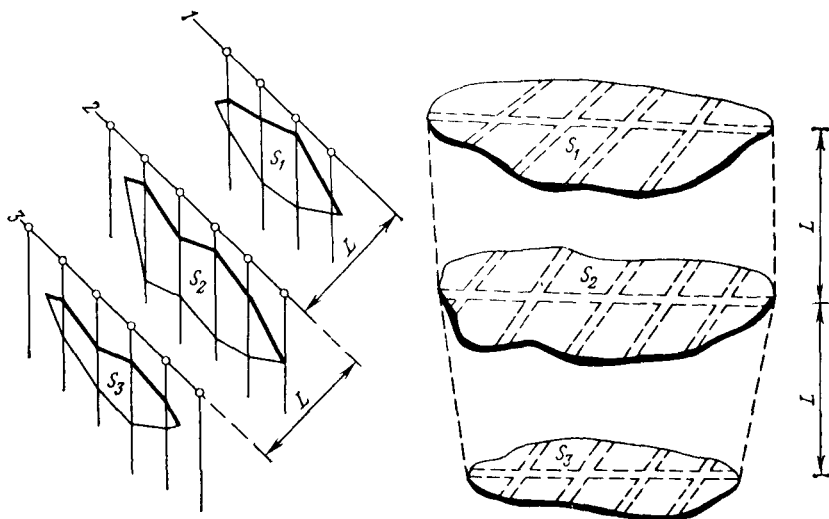


Рис 123 Параллельные вертикальные и горизонтальные разрезы

Объем блока, ограниченного двумя параллельными разрезами, определяют по формуле

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} L,$$

где S_1, S_2 — площади разведочных сечений, в пределах которых отмечены запасы полезных ископаемых, подлежащие определению; L — расстояние между разведочными сечениями. Площади сечений, ограничивающих блок, определяют, главным образом, при помощи планиметра.

Способ непараллельных вертикальных разрезов

Способ используют для месторождений с изменяющимся простиранием рудных тел, из-за чего разведочные линии, задаваемые вкрест простирания, оказываются непараллельными (рис. 124).

Для подсчета объемов блоков, ограниченных двумя непараллельными линиями, можно использовать формулу А. С. Золотарева

$$V = \frac{\beta}{6} [R_1 (2S_1 + S_2) + R_2 (2S_2 + S_1)],$$

где β — угол между линиями разрезов, выраженный в радианах; S_1, S_2 — площади разведочных сечений, в пределах которых от-

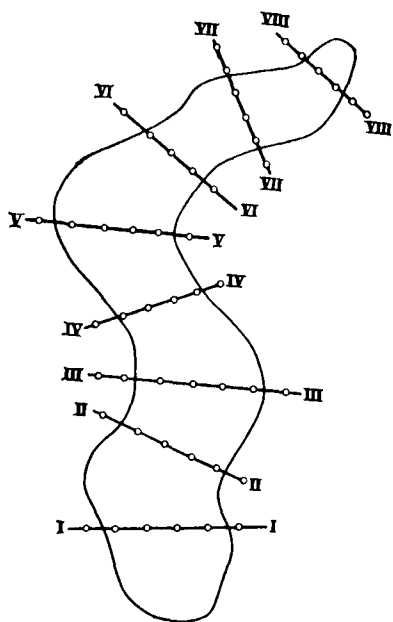
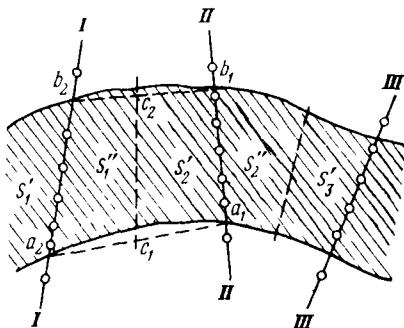


Рис. 124. Способ непараллельных вертикальных разрезов

Рис. 125. Схема подсчета запасов в блоке между двумя непараллельными разрезами без использования центров тяжести разведочных разрезов



мечены запасы полезных ископаемых, подлежащие определению; R_1 , R_2 — расстояния от центров тяжести разрезов до точки пересечения разведочных линий.

В этом способе трудности составляет определение положения центров тяжести разведочных разрезов. В связи с этим А. П. Прокофьевым предложен метод вычислений, исключающий использование центров тяжести разрезов.

Рассмотрим блок, расположенный между разведочными линиями $I-I$ и $II-II$ (рис. 125). Соединим точки a_1 и a_2 , а также b_1 и b_2 прямыми, на которых найдем их середины (точки c_1 и c_2). Если соединить прямой точки c_1 , c_2 , то получим на плане две части рассматриваемого блока S_1'' и S_2' . Эти площади тяготеют к разведочным линиям $I-I$ и $II-II$. Если площади сечений по разведочным линиям $I-I$ и $II-II$ обозначить соответственно S_1 и S_2 , то формула для определения общего объема блока может быть записана следующим образом

$$V = \frac{S_1 S_1'}{l_1} + \frac{S_2 S_2'}{l_2},$$

где l_1 , l_2 — соответственно длины разведочных линий по полезному ископаемому, т. е. $l_1 = a_2 b_2$, $l_2 = a_1 b_1$.

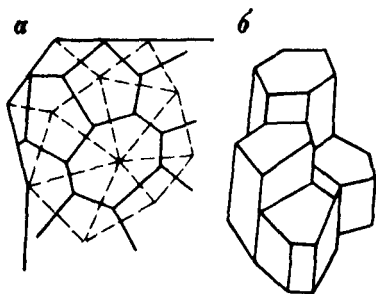


Рис. 126. Способ многоугольников при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых

Способ эксплуатационных блоков

Способ находит широкое применение в тех случаях, когда разведочные горные выработки одновременно являются подготовительными. Залежь выработками разбивается на ряд эксплуатационных блоков, каждый из которых разрабатывается самостоятельно и для каждого из которых отдельно подсчитываются запасы. Подсчет запасов производят по данным опробования и замеров мощности в горных вы-

работках, ооконтуривающих блок с четырех, трех, двух и одной стороны.

Запасы полезного ископаемого и полезного компонента в блоке подсчитывают по формулам

$$Q = Sm\gamma; \quad P = Qc,$$

где S — истинная площадь блока; m , γ , c — средние значения мощности, плотности полезного ископаемого и содержания полезного компонента.

Истинную площадь блока вычисляют по формулам:

а) если используется горизонтальная проекция

$$S = S' / \cos \delta,$$

б) если используется вертикальная проекция $S = S'' / \sin \delta$, где S' , S'' — площади блока, измеренные соответственно на плане или вертикальной проекции; δ — средний угол падения залежи в пределах блока.

Способ многоугольников

Способ многоугольников применяется при подсчете запасов месторождений полезных ископаемых, разведанных по неправильной разведочной сети. Его сущность заключается в том, что вокруг разведочной скважины строят многоугольник (рис. 126, а), тяготеющий к данной скважине. На этот многоугольник распространяют значения мощности, содержания и плотности, определенные по скважине. В окончательном виде залежь представлена группой прямых многогранных призм (рис. 126, б), высоты которых равны вертикальной мощности, определенной по скважине.

Для подсчета запасов полезного ископаемого и полезного компонента используют формулы

$$Q = \sum S_i m_i \gamma_i; \quad P = \sum S_i m_i \gamma_i c_i,$$

где S_i — площадь многоугольника; m_i , γ_i , c_i — вертикальная мощность, плотность и содержание полезного компонента по скважине.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что изучает геометрия недр?
- 2 Какие две линии являются параллельными?
- 3 Какие две линии являются скрещивающимися?
- 4 Как узнать лежит ли прямая в плоскости? Пересекает ли плоскость?
- Параллельна ли плоскости? Перпендикулярна ли плоскости?
- 5 Какие две плоскости являются пересекающимися?
- 6 В чем смысл метода совмещения, метода перемены плоскости проекции?
- 7 Что называется поверхностью топографического порядка?
- 8 Что называется изогипсой?
- 9 Что называется изомощностью?

Глава 17

МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

§ 115. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждое горное предприятие должно иметь необходимый комплект маркшейдерских материалов, включающий первичную, вычислительную и горную графическую документацию. Последнюю подразделяют на исходную и производную.

К исходным маркшейдерским чертежам относятся планы земной поверхности и горных выработок. Составляются исходные маркшейдерские чертежи по материалам съемки

К производным маркшейдерским чертежам относятся копии и репродукции с исходных чертежей, при необходимости дополненные специальной информацией. Используются производные маркшейдерские чертежи для решения текущих задач предприятия.

Маркшейдерская графическая документация используется на любой стадии функционирования горного предприятия, начиная с поисков и разведки полезных ископаемых и кончая стадией его ликвидации. На практике без маркшейдерских чертежей невозможно проектирование геологоразведочных и горных работ, наземных и подземных сооружений, составление планов вентиляции, энергоснабжения, водоотлива, транспорта; невозможно решение вопросов рациональной и безопасной эксплуатации горных предприятий, а также еще большого круга вопросов.

Таблица 40

Погрешность	Предельная величина, мм	Погрешность	Предельная величина, мм
Взаимного положения прямоугольной сети координат	$\pm 0,2$	Положения точек четких контуров по отношению к ближайшим пунктам опорной и съемочной сети	$\pm 0,6$
Положения пунктов маркшейдерской опорной и съемочной сети по отношению к сетке координат	$\pm 0,6$		
Взаимного положения ближайших друг к другу пунктов опорной и съемочной сети	$\pm 0,6$	Взаимного положения ближайших контуров точек	$\pm 0,8$

В связи с этим к маркшейдерской графической документации предъявляются следующие требования:

исходная графическая документация должна составляться на чертежной бумаге, обеспечивающей требуемую неизменность размеров изображенных объектов, а производные чертежи можно выполнять на прозрачных синтетических материалах, бумажной натуральной кальке, светочувствительной позитивной, диазотипной бумаге и бумажной светочувствительной диазотипной кальке;

исходные планы горных выработок должны составляться на планшетах в квадратной разграфке. Исходные планы при размерах шахтного поля менее 1 км² могут быть составлены на листах удобного размера с произвольным ориентированием сетки координат относительно рамки плана;

маркшейдерская графическая документация должна выполняться с применением «Условных знаков для горной графической документации» и «Условных знаков для топографических планов масштаба 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500»;

точность маркшейдерской графической документации должна соответствовать данным, приведенным в табл. 40;

исходные чертежи горных выработок должны пополняться не реже одного раза в месяц.

§ 116. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ГОРНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В практике маркшейдерского дела в качестве графических документов используются планы, вертикальные проекции, разрезы, профили и эскизы, выполняемые в зависимости от их назначения и содержания в масштабах 1 : 5; 1 : 10; 1 : 20; 1 : 50;

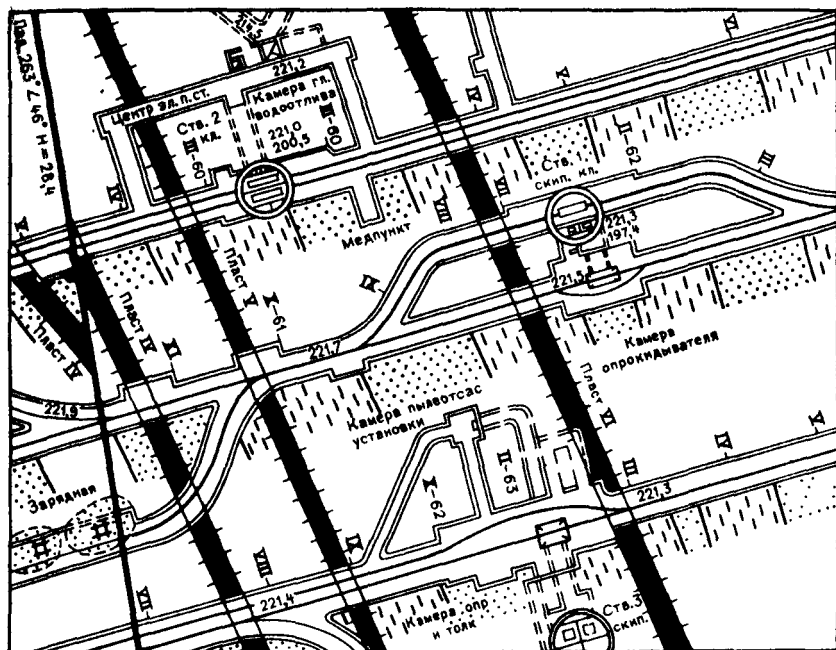


Рис. 127. План околоствольных выработок

1 : 100; 1 : 200; 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000; 1 : 5000; 1 : 10 000;
1 : 25 000.

Под планом понимают чертеж, составленный в ортогональной проекции на горизонтальную плоскость (рис. 127). Используются планы, главным образом, для изображения земной поверхности и горных выработок. Строятся маркшейдерские планы в проекции с числовыми отметками.

При изображении объектов, лежащих в крутопадающих выработках, проецирование осуществляется на вертикальную плоскость. Маркшейдерский чертеж, составленный в проекции на вертикальную плоскость, называется вертикальной проекцией. Плоскость проецирования 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, проецирование осуществляется на несколько ориентированных по-разному вертикальных плоскостей.

В ряде случаев изображение горных выработок, проводимых в наклонных залежах, удобнее осуществлять в проекции на наклонную плоскость, располагаемую параллельно плоскости пласта или рудного тела. Маркшейдерские чертежи, при построении

которых проецирование горных выработок производится на наклонную плоскость проекций, называются проекцией в плоскости пласта (залежи).

Для получения полного представления о геологических особенностях месторождения и расположения горных выработок в земных недрах строят разрезы в плоскости, секущей месторождение горизонтально, наклонно или вертикально. 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, применяются 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 проектное положение и отклонения реального профиля от проектной линии.

В маркшейдерской практике часто используются эскизы, представляющие собой приблизительное изображение объектов, составленное от руки без применения чертежных принадлежностей.

Для горных предприятий установлен перечень обязательной горной графической маркшейдерской документации, состоящий из перечня чертежей земной поверхности и чертежей горных выработок горного предприятия.

Маркшейдерские чертежи земной поверхности состоят из трех групп: чертежи, отражающие рельеф и ситуацию земной поверхности, чертежи, отражающие обеспеченность горного предприятия пунктами маркшейдерских и геодезических опорных и съемочных сетей, и чертежей отводов горного предприятия.

Маркшейдерские чертежи горных выработок отражают вскрытие, подготовку и разработку месторождений полезных ископаемых и разделены на две группы: чертежи для открытого способа разработки и подземного способа разработки.

На чертежах земной поверхности должны быть показаны объекты, предусмотренные к отображению «Условными знаками для топографических планов в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500», а также специфические для горных предприятий объекты: выходы горных пород и тел полезного ископаемого на земную поверхность, границы горных отводов и отводов земельных участков горного предприятия, устья горных выработок, выходящих на земную поверхность, и сооружения при них.

На чертежах горных выработок горного предприятия 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.

Исходные планы горных выработок шахт и рудников являются техническими и юридическими документами. Поэтому при составлении, пополнении и хранении сколабливания и подтирание на исходных чертежах не допускаются. Ошибки на чертежах аннулируются четким перечеркиванием неправильно нанесенных деталей.

§ 117. ИЗГОТОВЛЕНИЕ, ХРАНЕНИЕ И РАЗМНОЖЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ

Для изготовления исходных планов маркшейдерской документации используется высококачественная бумага, наклеенная на соответствующую основу, или синтетические чертежные материалы на лавсановой основе. Последние обеспечивают большую долговечность, прочность, многократную корректуру, стабильность размеров во времени и при изменении атмосферных условий, а также прозрачность. На лавсановой пленке возможны графические работы графитовым карандашом и специальными тушами «Колибри» и «Пингвин», в состав которых в качестве связующего входит синтетический латекс.

В последние годы при оформлении маркшейдерских чертежей стали широко применяться технические средства, резко снижающие трудоемкость чертежных работ. К ним относятся деколи и темплеты.

Деколи представляют собой пленки, на которые наносят изображаемый предмет, покрытый сверху специальной краской. Для переноса изображения предмета на чертежах, необходимый знак накладывают на чертеж и притирают сверху твердым наконечником. Слой краски отслаивается и переносится на чертеж.

Деколи могут многократно восстанавливаться за счет повторной накатки на них краски.

Темплеты представляют собой аппликации условных знаков, надписей и т. п. Наибольшее распространение получили клеевые темплеты, у которых клеящий слой защищен прокладкой, снимаемой при употреблении темплетов.

Способами размножения маркшейдерской графики являются диазосветокопирование, электрофотография и офсетная печать.

Самый распространенный способ — диазосветокопирование, когда с прозрачного оригинала получают изображение чертежа на диазобумагу, диазокальку или диазопленку. В этом процессе используются светокопировальные ротационные аппараты или копировальные рамы.

В основе электрофотографии лежит способность полупроводниковых материалов изменять свою проводимость при освещении. При этом способе на слое фотополупроводникового материала образуется скрытое электростатическое изображение, которое проявляется измельченным порошком проявителя, притягивающимся к участкам селенового слоя, несущим электрические заряды.

Нашей промышленностью выпускаются репродукционные плоскостные аппараты с селеновыми пластинами (ЭРА-М, ЭРА-2) и ротационные аппараты с селеновыми барабанами (РЭМ-600К, ЭР-620Р, РЭМ-420/600 и др.).

Наиболее экономичной и простой при размножении маркшейдерской графики является офсетная печать, при помощи которой можно получить как одноцветный, так и многоцветный отпечаток.

Непосредственно печать офсетным способом выполняется в картографическом объединении. На горном предприятии должно быть осуществлено расчленение издательских оригиналов, каждый из которых должен содержать ситуацию только одного цвета краски. Такие оригиналы называются оригиналами определенной краски (ООК), с них создаются печатные формы соответствующих красок.

В связи с тем, что изготовление оригиналов различных красок выполнялось на просвет, и это представляло трудоемкий и продолжительный процесс, в последние годы широкое распространение получило использование диазопленки.

Применение на горных предприятиях для изготовления маркшейдерских чертежей синтетических чертежных материалов в значительной мере упростило и ускорило создание как исходной, так и производственной графической документации.

§ 118. ПЕРВИЧНАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

К первичной маркшейдерской документации горного предприятия относятся журналы измерений, являющиеся типовыми и разработанными для определенного вида полевых работ.

Каждому журналу присваивается номер, на последней странице за подписью главного маркшейдера горного предприятия указывается общее количество страниц.

Записи в журналах измерений и все необходимые вычисления средних значений измеряемых величин 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 пришлось записать повторные измерения по каким-то причинам 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 нанскось (по диагонали) пишется «испорчено».

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых горное предприятие должно иметь 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 полигонометрических ходах, линейных измерений в полигонометрических ходах, геометрического нивелирования, угловых и линейных измерений в теодолитных ходах, тахеометрического нивелирования, съемки (тахеометрической, стереофотограмметрической, мензульной, ординатной), разбивочных работ.

При подземной разработке месторождений полезных ископаемых, кроме названных выше, входят: журналы измерений при ориентировке маркшейдерских опорных сетей, измерений при передаче высот 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.

Вычислительная маркшейдерская документация (журналы вычислений) для контроля должна выполняться «в две руки». В журналах вычислений необходимы ссылки на документы, откуда взяты исходные данные и результаты измерений. Запись ведется чернилами или тушью. Ошибочные вычисления перечеркивают чернилами или тушью красного цвета с указанием места, где сделаны правильные вычисления.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется исходными маркшейдерскими чертежами?
2. Что называется производными маркшейдерскими чертежами?
3. Для каких целей используют деколи и темплеты? Какое между ними различие?
4. Назовите способы размножения маркшейдерских чертежей.
5. Что называется первичной маркшейдерской документацией?

Глава 18

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

§ 119. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Соединительные съемки используются при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом для обеспечения связи системы координат маркшейдерских съемок в подземных горных выработках с системой координат, принятой на земной поверхности. Соединительные съемки относятся к числу наиболее ответственных маркшейдерских работ и выполняются с высокой точностью и надежностью.

Принято различать горизонтальную и вертикальную соединительные съемки. В результате выполнения горизонтальной соединительной съемки решают две задачи: ориентирование и центрирование подземных маркшейдерских опорных сетей.

Ориентирование заключается в определении дирекционного угла одной из сторон подземной опорной сети, центрирование — в определении координат x , y исходного пункта подземной опорной сети.

Вертикальная соединительная съемка обеспечивает передачу с поверхности в шахту координаты z .

В зависимости от способа вскрытия месторождения соединительные съемки могут быть выполнены через горизонтальные (наклонные) или вертикальные, через одну или несколько горных выработок. Ориентирование может выполняться физическими (гирскопический, магнитный) или геометрическими методами.

В основу магнитного метода ориентирования положено свойство магнитной стрелки устанавливаться по направлению магнитного меридиана, проходящего через данную точку. Этот метод при его простоте имеет существенный недостаток, заключающийся в относительно невысокой точности. Поэтому его применяют редко и для ориентирования второстепенных шахт или предварительного ориентирования горных выработок с дальнейшим выполнением ориентировки более точными методами.

В гирскопическом методе ориентирования используют свойство главной оси гироскопа совершать гармонические колеба-

ния около положения равновесия, совпадающего с плоскостью астрономического меридиана точки, в которой установлен прибор (астрономический меридиан образован плоскостью, проходящей через отвесную линию в данной точке параллельно оси вращения Земли).

Особенностью геометрического ориентирования является то, что его выполняют через вертикальные стволы шахт с использованием отвесов, при помощи которых создается вертикальная плоскость. При этом решаются две задачи: задача проектирования и задача примыкания.

Первая задача заключается в том, что с поверхности при помощи отвесов проектируют на ориентируемый горизонт отрезок прямой между отвесами. Проектирование выполняют так, чтобы отрезок прямой на поверхности и в шахте лежал в одной вертикальной плоскости. Вторая задача — примыкания состоит из двух частей: примыкание на поверхности и примыкание в шахте. При примыкании на поверхности определяют дирекционный угол проектируемого направления; примыкание в шахте заключается в передаче дирекционного угла на закрепленную сторону подземного теодолитного хода.

При проектировании через один ствол предложено несколько способов примыкания, отличающихся как формой соединительной фигуры, так и используемыми приборами. На практике получил распространение соединительный треугольник.

Передачу координат x , y с поверхности в шахту (или выполнение центрирования подземных маркшейдерских опорных сетей) осуществляют примыканием к отвесам, опущенным в вертикальные шахты. Расхождение в положении пункта, определенного по двум независимым проектированиям через одну вертикальную выработку, не должно превышать 5 см при глубине ствола менее 500 м и величины $0,01 H$ (см) при $H > 500$ м, где H — глубина ствола в метрах.

Ориентирование подземной маркшейдерской опорной сети должно производиться независимо дважды. Расхождение в результатах ориентирования одной и той же стороны не должно превышать $3'$.

Гироскопический способ ориентирования рекомендован во всех случаях вскрытия месторождений. Однако при вскрытии месторождения наклонным стволом с углом наклона более 70° применение этого способа обязательно. При ориентировании через один вертикальный ствол геометрический способ ориентирования может применяться для глубины ствола не более 500 м.

Ориентирование подземных выработок сопровождается появлением погрешностей в определении как координат исходной точки подземной опорной маркшейдерской сети, так и дирекционного угла.

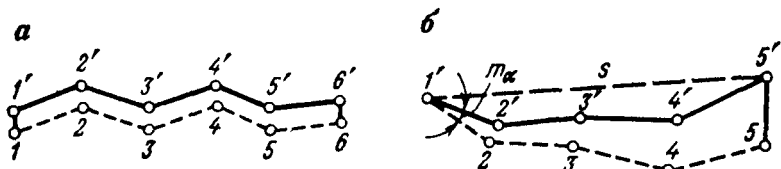


Рис 128 Схема определения влияния погрешности центрирования (а) и ориентирования (б) на положении пунктов подземной маркшейдерской опорной сети

Если при определении координат x , y первого пункта подземной съемки допущена линейная погрешность $1-1'$ (рис. 128, а), то она постоянной величиной войдет в положение всех последующих точек. Если при определении дирекционного угла первой стороны $1-2$ была допущена погрешность m_α (рис. 128, б), то влияние ее возрастает пропорционально удалению пунктов от исходной стороны. Погрешность в положении последней точки в этом случае может быть определена из выражения:

$$M_k = sm_\alpha / \rho', \quad (84)$$

где s — кратчайшее расстояние от начальной до конечной точки; ρ' — число угловых минут в радиане.

Формула (84) показывает, что влияние погрешности ориентирования на плановое положение пунктов возрастает пропорционально удалению от исходного пункта. Поэтому ориентирование является наиболее ответственной частью соединительной съемки и должно выполняться особенно тщательно. Так если предположить, что $s = 3000$ м, $m_\alpha = 3'$, то погрешность положения конечного пункта достигнет

$$M_k = \frac{3000 \text{ м} \cdot 3'}{3438'} = 2,62 \text{ м.}$$

Однако, если s принять равным 1000 м при $m_\alpha = 3'$, то погрешность положения конечного пункта будет меньше:

$$M_k = \frac{1000 \cdot 3'}{3438'} = 0,87 \text{ м.}$$

§ 120. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА ЧЕРЕЗ ШТОЛЬНЮ ИЛИ НАКЛОННУЮ ВЫРАБОТКУ

Для выполнения соединительной съемки при вскрытии месторождения штольной или наклонной выработкой прокладываются с поверхности в шахту полигонометрический ход.

При наличии одной штольни или наклонной выработки (рис. 129, а) прокладывают ход от подходного пункта, напри-

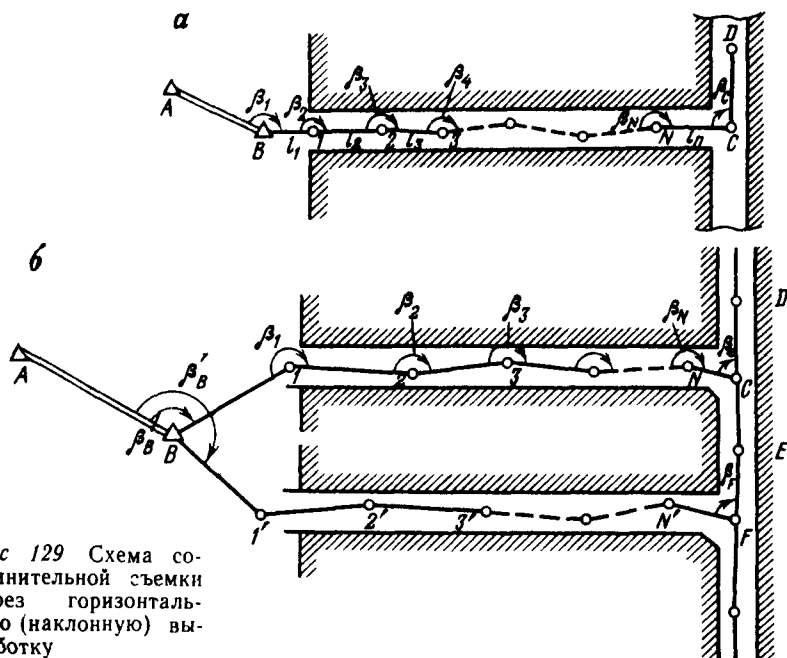


Рис 129 Схема соединительной съемки через горизонтальную (наклонную) выработку

мер, 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 стороны CD и координаты x , y точки C :

$$\alpha_{CD} = \alpha_{AB} + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_N \mp 180^\circ n;$$

$$x_C = x_B + l_1 \cos \alpha_{B1} + l_2 \cos \alpha_{23} + \dots + l_n \cos \alpha_{NC};$$

$$y_C = y_B + l_1 \sin \alpha_{B1} + l_2 \sin \alpha_{23} + \dots + l_n \sin \alpha_{NC},$$

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 (рис. 129, б), то полигонометрический ход прокладывается по ним таким образом, чтобы он был замкнутым.

При вскрытии месторождений горизонтальными и наклонными выработками высотные отметки в шахту передаются при угле наклона менее 8° при помощи геометрического нивелирования, а при угле наклона более 8° — тригонометрическим нивелированием.

§ 121. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ

При ориентировании через один вертикальный ствол используют два отвеса, опущенные в ствол с поверхности на ориентируемый горизонт. Работы в стволе требуют тщательной подготовки, длительной остановки движения подъемных сосудов по стволу, выполнения специальных мероприятий по технике безопасности, четкой увязки последовательности работ и согласованных действий всех специалистов, занятых на этой работе. Поэтому должна быть заранее тщательно разработана организация и методика выполнения ориентировки, составлен специальный проект с определением необходимого времени на остановку ствола и мероприятий по технике безопасности, который утверждает главный инженер предприятия.

Работы по производству соединительной съемки через один вертикальный ствол разделяются на два этапа:

подготовительный, когда часть работ должна быть выполнена до остановки подъема в стволе;

основной, когда выполняются работы по центрированию и ориентированию при остановленном подъеме. Как правило, в этот период при производстве наблюдений за качанием отве-

сов останавливается вентилятор главного проветривания шахты или рудника.

При ориентировании через один вертикальный ствол с поверхности на ориентируемый горизонт опускают два отвеса O_1 , O_2 (рис. 130). При их помощи создается в пространстве вертикальная плоскость, при этом имеется в виду, что линия, соединяющая отвесы на поверхности, параллельна аналогичной линии в шахте на ориентируемом горизонте. С учетом максимально возможного расстояния между отвесами и обеспечения наиболее выгодной формы соединительной фигуры определяют их расположение в стволе.

На подготовительном этапе на поверхности закладываются подходные пункты на расстоянии не более 300 м от устья ствола. Если имеются пункты государ-

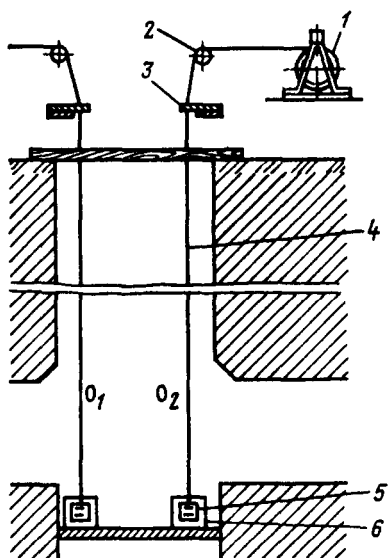


Рис. 130. Схема размещения отвесов при геометрическом ориентировании через один ствол

ственной геодезической сети, то они могут быть использованы в качестве подходных. Закладка подходных пунктов осуществляется с таким расчетом, чтобы проложенный непосредственно к устью ствола висячий полигонометрический ход между пунктом, с которого производится непосредственное примыкание к отвесам, и подходным пунктом содержал не более трех сторон.

На ориентируемом горизонте в выработках околоствольного двора закладывается несколько постоянных маркшейдерских пунктов для закрепления передаваемых с поверхности дирекционного угла и координат x , y .

Для спуска и подъема отвесов (см. рис. 130) применяются ручные лебедки 1, блоки 2, грузы 5, центрировочные пластины 3 используемые для фиксации точки подвеса отвесов 4, успокоитель 6 (демпфер) и другие устройства. Грузы могут быть литые или состоять 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 включительно 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 целесообразно использовать проволоку диаметром 1—2 мм.

В связи с тем, что положение отвеса на ориентируемом горизонте не совпадает в плане с положением отвеса на поверхности, проектирование при помощи отвесов сопровождается погрешностью. Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла проектируемого направления в этом случае может быть определена по формуле

$$m_{\theta} = e\rho'/s, \quad (85)$$

где e — линейная погрешность проектирования; s — расстояние между отвесами; ρ' — число градусных минут в радиане.

При расстоянии между отвесами $s=2$ м и погрешности несовпадения проекции с начальной точкой отвеса $e=1$ мм угловая погрешность проектирования $m_{\theta}=3'26''$. Если расстояние между отвесами увеличить до 4 м, то значение m_{θ} уменьшится и будет равно $1'43''$. Таким образом, для повышения точности ориентирования должно быть увеличено расстояние между отвесами, т. е. отвесы необходимо располагать как можно ближе к стенкам ствола. Однако они не должны касаться стенок или арматуры ствола. Проверки касания опущенных отвесов чаще всего выполняются двумя способами:

спуском по отвесу «почты» — небольшого легкого кольца, сделанного из проволоки или плотного картона;

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 отвесов. Время полупериода колебания отвеса определяется по формуле:

$$t = \pi \sqrt{l/g},$$

где $\pi = 3,14$; l — длина отвеса; g — ускорение свободного падения.

Так как $\pi \approx \sqrt{g}$, то можно утверждать, что точка касания отвеса определяется из выражения

$$l = t^2.$$

Для обеспечения высокой точности проектирования на ориентируемом горизонте выполняют наблюдения за колебаниями отвесов. Принципиальная задача при этом заключается в том, чтобы обеспечить наблюдения за колеблющимися отвесами в двух вертикальных плоскостях и определение средних положений отвесов в каждой из этих плоскостей с дальнейшим закреплением точки среднего положения. На рис. 131 показана схема наблюдения отвеса с применением двух теодолитов. Крайние точки положения отвесов (точки реверсии) фиксируются отсчетами на шкале по внешнему или внутреннему краю проволоки. Число отсчетов, фиксирующих крайнее положение проволоки, должно быть 11—13. Отсчет по шкале N , соответствующий среднему положению отвеса, определяется по формуле:

$$N_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum l_N}{n} + \frac{\sum r_N}{n} \right),$$

где l_N — крайние левые отсчеты по шкале N отвеса; r_N — крайние правые отсчеты по шкале N ; n — число наблюдений крайних положений отвеса по шкале N .

Аналогичные наблюдения при помощи второго теодолита выполняются и по второй шкале M . С использованием второй пары теодолитов одновременно выполняются наблюдения среднего положения второго отвеса.

По средним данным

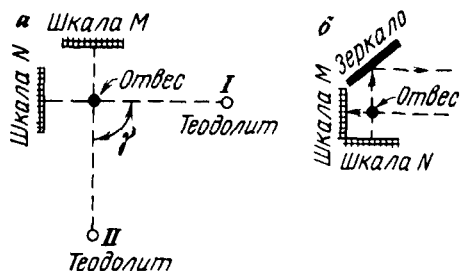


Рис. 131 Схема определения положения при помощи шкал и двух теодолитов (а) и при помощи одного теодолита, двух шкал и зеркала (б)

положение отвеса закрепляется, производится тщательный замер расстояния между отвесами и сравнение с расстоянием, измеренным на поверхности.

В горных выработках исполнители должны стремиться расположить теодолиты и соответственно шкалы таким образом, чтобы угол γ (см. рис. 131, а) был близким 90° . Точность определения среднего положения отвеса существенно не снизится, если угол γ будет от 45 до 135° . Если это условие не соблюдается, рекомендуется производить наблюдения за качением отвеса одним теодолитом с помощью зеркала (рис. 131, б).

Погрешность передачи дирекционного угла от исходной стороны на поверхности к створу отвесов и под землей от створа отвесов к стороне подземной маркшейдерской опорной сети в каждом случае не должна превышать $30''$. Учитывая это, а также исходя из возможности расположения отвесов в шахтном стволе выбирается способ примыкания. Чаще всего он выполняется способом соединительного треугольника.

Для примыкания по способу соединительных треугольников (рис. 132) используются ранее заложенные точки (вспомогательные) на поверхности C и в шахте D и отвесы O_1 и O_2 , при которых образуются два треугольника CO_1O_2 и O_1O_2D в шахте.

На поверхности измеряют углы BCO_1 , BCO_2 , $O_1CO_2 = \gamma$ и расстояния CO_1 , $O_1O_2 = c$, CO_2 . В шахте на ориентируемом горизонте измеряют углы EDO_2 , EDO_1 , $O_2DO_1 = \gamma_1$ и расстояния DO_1 , DO_2 , $O_1O_2 = c_1$. Контроль правильности измерений углов проводится по разности примычных углов $\delta - \epsilon = \gamma$ и $\epsilon_1 - \delta_1 = \gamma_1$, которые не должны быть более $20''$. Измерение длин выполняется на весу компарированной рулеткой с постоянным натяжением. Каждую сторону измеряют от трех 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. 132.

Средние квадратические погрешности измеряемых углов при точках A и C не должны превышать $m_\beta = 7''$.



Рис. 132 Схема примыкания способом соединительного треугольника

Соединительные треугольники имеют выгодную форму и обеспечивают требуемую точность примыкания, если углы α , γ поверхностного треугольника, β_1 , γ_1 — подземного не превышают каждый $2-3^\circ$, а a/c и b_1/c_1 имеют наименьшие значения. Примыкание начинают выполнять после окончания работ по проектированию, как правило, с одновременным производством наблюдений на поверхности и в шахте.

Решение соединительных треугольников, вычисление дирекционного угла и координат точек начальной стороны CD в шахте выполняется следующим образом.

Если острые углы α и β_1 не превышают 20° , применяют формулы синусов:

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{a}{c} \sin \gamma; \quad \sin \beta = \frac{b}{c} \sin \gamma; \\ \sin \alpha_1 &= \frac{a_1}{c_1} \sin \gamma_1; \quad \sin \beta_1 = \frac{b_1}{c_1} \sin \gamma_1. \end{aligned} \right\} \quad (86)$$

Если α или $\beta_1 < 2^\circ$, а β или $\alpha_1 > 178^\circ$, углы разрешается вычислять по приближенным формулам:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{a}{c} \gamma; \quad \beta = \frac{b}{c} \gamma; \\ \alpha_1 &= \frac{a_1}{c_1} \gamma_1; \quad \beta_1 = \frac{b_1}{c_1} \gamma_1. \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

Если α или $\beta_1 > 20^\circ$, а β или $\alpha_1 < 160^\circ$, то для нахождения углов применяют формулы сторон:

для поверхностного треугольника

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \operatorname{tg} \beta/2 = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}}, \quad (88)$$

для подземного треугольника

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1/2 &= \sqrt{\frac{(p_1-b_1)(p_1-c_1)}{p_1(p_1-a_1)}}; \quad \operatorname{tg} \beta_1/2 = \\ &= \sqrt{\frac{(p_1-a_1)(p_1-c_1)}{p_1(p_1-b_1)}}, \end{aligned}$$

где

$$p = \frac{a+b+c}{2}; \quad p_1 = \frac{a_1+b_1+c_1}{2}.$$

После вычисления углов выполняется контроль суммы углов в каждом треугольнике. Сумма углов не должна отли-

чатся от 180° более чем на $10''$. Допустимая невязка распределяется поровну на вычисленные углы.

Вычисление дирекционного угла подземной стороны (см. рис. 132) производится по двум полигонам (один через отвес O_1 , второй — через отвес O_2) по формулам:

$$\alpha_{DE} = \alpha_{BC} + \varepsilon + (\alpha + \alpha_1) + \varepsilon_1 - 3 \cdot 180^\circ;$$

$$\alpha_{DE} = \alpha_{BC} + \delta - (\beta + \beta_1) + \delta - 3 \cdot 180^\circ.$$

Координаты начального пункта D в шахте также вычисляются по двум полигонам:

$$x'_D = x_C + b \cos \alpha_{CO_2} + b_1 \cos \alpha_{O_2D};$$

$$y'_D = y_C + b \sin \alpha_{CO_2} + b_1 \sin \alpha_{O_2D};$$

$$x''_D = x_C + a \cos \alpha_{CO_1} + a_1 \cos \alpha_{O_1D};$$

$$y''_D = y_C + a \sin \alpha_{CO_1} + a_1 \sin \alpha_{O_1D}.$$

Дирекционные углы исходной подземной стороны DE , переданные по двум полигонам, должны совпадать, координаты точки D могут иметь расхождение в пределах точности измерения сторон, т. е. 2—3 мм. Если нет возможности выполнить для контроля другой вид соединительной съемки, то съемку через один вертикальный ствол повторяют, предварительно сместив отвесы. За окончательное принимается среднее арифметическое из двух соединительных съемок.

Способ примыкания соединительным треугольником является простым в выполнении, дает высокую точность при создании треугольников вытянутой формы.

§ 122. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛА

Общая погрешность соединительной горизонтальной съемки через вертикальные стволы состоит из погрешности проектирования и погрешности примыкания. Анализ этих погрешностей показал, что при производстве съемки через один вертикальный ствол погрешность проектирования, зависящая, главным образом, от расстояния между отвесами и являющаяся основной погрешностью, не всегда на практике может быть уменьшена до допустимых величин.

При ориентировании через два вертикальных ствола угловая погрешность проектирования имеет второстепенное значение, поскольку значительно увеличивается расстояние между отвесами, и поэтому соединительная съемка через два ствола (или несколько стволов) является наиболее точной из всех видов геометрического ориентирования. Например, при расстоянии между

стволами 50 м и линейной погрешности проектирования 2 мм угловая погрешность составит:

$$m_{\theta} = \frac{e\rho''}{s} = \frac{2 \cdot 206265''}{50000} = 8'',$$

что значительно ниже погрешностей, которые вызывают другие факторы.

В связи с этим при расстоянии между отвесами 50 и более метров при ориентировании через два ствола целесообразно осуществлять примыкание на ориентируемом горизонте к свободно висющим отвесам.

При ориентировании через два вертикальных ствола (рис. 133) геометрическая связь поверхности с подземными съемками осуществляется при помощи отвесов O_1 и O_2 , опущенных в двух вертикальных стволах.

Соединительная съемка через два вертикальных ствола состоит из следующих основных этапов:

установка отвесов, т. е. проектирование точек с поверхности на ориентируемый горизонт. Основные приспособления и оборудование, порядок спуска отвесов по стволам и т. п. аналогичны применяемым при ориентировании через один вертикальный ствол;

примыкание к отвесам на поверхности и в шахте. Примыкание на поверхности может быть осуществлено по двум схемам:

если расстояние между стволами небольшое, то от одного подходящего пункта к каждому из отвесов прокладываются теодолитные ходы, но с числом сторон не более трех;

если расстояние между стволами большое, то возле каждого из стволов выставляется подходящий пункт с таким расчетом, чтобы от них до отвесов были проложены теодолитные ходы с числом сторон не больше трех.

Примыкание к отвесам в шахте осуществляется проложением между ними теодолитного хода. Подземный ход между отвесами должен быть, по возможности, вытянутым и иметь минимальное количество точек и минимальную длину.

При производстве измерений на поверхности следует иметь в виду, что средняя квадратическая погрешность дирекционного угла линии, соединяющей отвесы, по отношению к ближайшей стороне опорной сети на поверхности не должна быть выше $20''$. Поэтому до начала производства соединительной съемки выполняется пред-

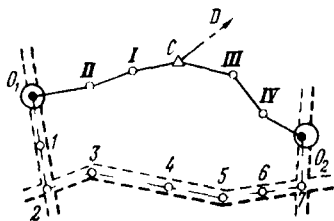


Рис. 133. Схема ориентирования через два вертикальных ствола

варительная оценка точности дирекционного угла линии, соединяющей отвесы на поверхности и дирекционного угла стороны подземной маркшейдерской опорной сети при условии получения допустимой средней квадратической погрешности подземного направления не выше 1'.

По данным полигонометрии, проложенной на поверхности между подходными пунктами 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 положение 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 отвеса O_1 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 положение

$$L' = \frac{y'_{O_2} - y'_{O_1}}{\sin \alpha'_{O_1 O_2}} = \frac{x'_{O_2} - x'_{O_1}}{\cos \alpha'_{O_1 O_2}}.$$

Вычисляют разность $\Delta L = L - L'$ и поправку в дирекционные углы подземного полигона, соединяющего отвесы, равную

$$\Delta \alpha = \alpha_{O_1 O_2} - \alpha'_{O_1 O_2}. \quad (89)$$

Дирекционные углы сторон подземного полигона в системе координат, принятой на поверхности, вычисляют по формуле

$$\alpha_i = \alpha'_i + \Delta \alpha, \quad (90)$$

где α'_i — дирекционный угол подземного полигона в условной системе координат.

Все угловые и линейные измерения на поверхности и в шахте производятся заранее до спуска отвесов в шахту. После

спуска отвесов осуществляется их привязка путем измерения углов на первой и последней точках соединительного полигона и расстояний от этих точек к отвесам.

Вычисление координат x и y отвесов O_1, O_2 на поверхности выполняется по результатам измерений подходных полигонов. Во все измеренные длины на поверхности и в шахте вводятся поправки за компарирование, температуру, угол наклона, провес рулетки.

Правильность выполнения ориентирования через два ствола определяют сравнением расстояний L и L' , вычисленных по данным поверхностных и подземных измерений. Вычисляют координаты всех точек подземного соединительного полигона по длинам сторон и исправленным дирекционным углом. За исходные принимаются координаты отвеса O_1 на поверхности. Контролем служат координаты отвеса O_2 , полученные при перевычислении подземного соединительного полигона и примыкания на поверхности.

Ориентировка через два вертикальных ствола должна выполняться дважды, если контрольная ориентировка не выполняется другим способом. За окончательный результат принимают среднее арифметическое. Соединительную съемку через два вертикальных ствола рекомендуется выполнять в сочетании с гироскопическим ориентированием сторон, примыкающих к отвесам.

Если шахтное поле вскрыто тремя и более вертикальными стволами, сбитыми между собой горными выработками, соединительную съемку рекомендуется выполнять через эти стволы.

§ 123. ПОНЯТИЕ О МАГНИТНОМ СПОСОБЕ ОРИЕНТИРОВАНИЯ

При магнитном ориентировании на поверхности в районе геологоразведочных подземных работ и горного предприятия выбирают направление, дирекционный угол которого известен из предыдущих съемок и магнитный азимут которого определяют прибором с магнитной стрелкой. Таким образом, для этого направления известны дирекционный угол и магнитный азимут, что позволяет определить поправку δ , которая затем вводится в результаты измерений в шахте.

Для измерения магнитного азимута в точке C (рис. 134) устанавливают теодолит с магнитной буссолью. Совмещают у теодолита нулевые штрихи лимба и алидады, вращают лимб таким образом, чтобы его зрительная труба была направлена на север, после этого открепляют магнитную стрелку буссоли и, работая наводящим винтом лимба, добиваются точного совмещения конца магнитной стрелки с нулевым делением шкалы буссоли. После этого, открепив алидаду теодолита, наводят

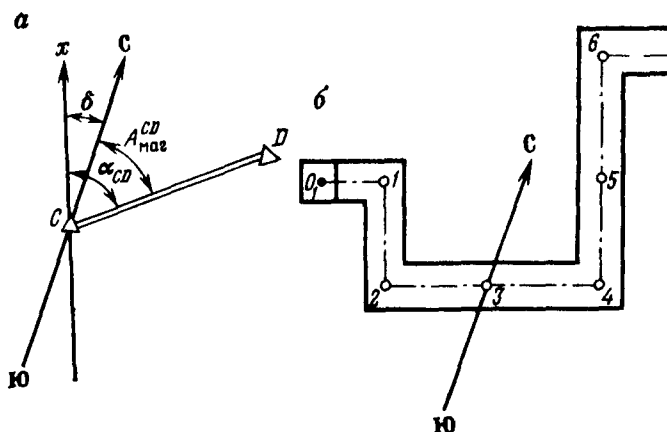


Рис 134 Схема магнитного ориентирования шахты

зрительную трубу на точку D измеряемого направления. Отсчет по лимбу горизонтального круга соответствует магнитному азимуту измеряемого направления. Разность между известным дирекционным углом направления CD и магнитным азимутом этого направления даст искомую поправку δ (рис. 134, а).

Для определения дирекционного угла какой-либо стороны подземной съемки, например 2—3 (рис. 134, б) в шахте измеряют магнитный азимут этой стороны ($A_{\text{маг}}$), к которому затем прибавляют (с соответствующим знаком) поправку δ , определенную на поверхности:

$$\alpha_{23} = A_{\text{маг}} \pm \delta.$$

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.

§ 124. ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОРИЕНТИРОВАНИЯ

При ориентировании глубоких шахт (более 500 м) при помощи геометрических способов ориентирования невозможно получить необходимые точности. Происходит это потому, что на проволоку отвесов в стволе действует целый ряд факторов, под влиянием которых отвесы отклоняются от вертикали. Учет влияющих на отклонение факторов представляет собой сложную задачу, решение которой не всегда дает желаемый результат. В связи с этим в последние годы широкое распространение получил способ гироскопического ориентирования, при использо-

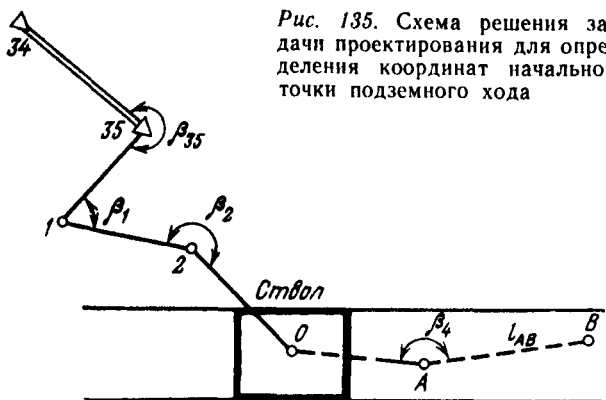


Рис. 135. Схема решения задачи проектирования для определения координат начальной точки подземного хода

вании которого возможно определение дирекционных углов любой стороны подземных теодолитных ходов с высокой точностью. Большим преимуществом гироскопического ориентирования является то, что на любом удалении от ствола шахты можно с достаточной точностью определить дирекционный угол стороны подземной опорной маркшейдерской сети.

При гироскопическом методе ориентирования задачи центрирования и ориентирования решаются раздельно. В начале с помощью одного отвеса, опускаемого в вертикальный ствол, решается задача проектирования. Методы и оборудование остаются такими же как и при ориентировании через один ствол.

При выполнении центрирования подземной съемки на поверхности от исходной стороны (рис. 135) прокладывается полигонометрический ход 35—1—2—O к отвесу O. В шахте измеряют угол β_A в точке A и расстояние от точки до отвеса. Дирекционный угол стороны AB подземной опорной сети определяется при помощи гироскопа. Этих данных достаточно для передачи координат x, y на пункт A, расположенный на ориентируемом горизонте. При этом дирекционный угол стороны O—A вычисляют по формуле:

$$\alpha_{OA} = \alpha_{AB} - \beta_A + 180^\circ,$$

координаты первого пункта (A) подземной стороны — по формуле:

$$x_A = x_O + l_{OA} \cos \alpha_{OA};$$

$$y_A = y_O + l_{OA} \sin \alpha_{OA}.$$

Особенно широко гироскопический способ используется на горных предприятиях, имеющих большие шахтные поля и вертикальные стволы, расположенные на расстоянии 5—6 км от главных стволов. Выполненная таким образом соедини-

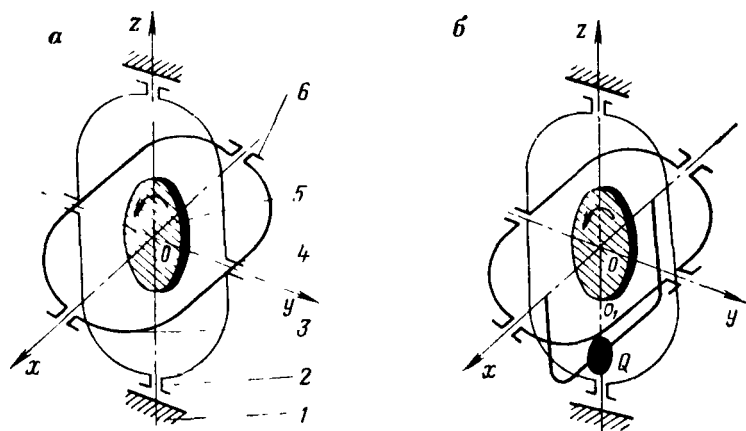


Рис 136. Схема устройства свободного (а) и маятникового (б) гироскопов

тельная съемка позволяет значительно повысить точность и надежность всей маркшейдерской опорной сети на всем крыле шахты.

Для определения дирекционного угла стороны подземной опорной сети используются гироскопы различных конструкций, но принцип их действия основан на суточном вращении Земли и свойствах свободного гироскопа, способного свободно вращаться в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 136). Если центр тяжести и точка подвеса O (точка пересечения трех осей) совпадают, такие гироскопы называются уравновешенными. Уравновешенные гироскопы, не имеющие силы трения в опорах подвеса, называются свободными. Свободные гироскопы могут существовать только теоретически, на практике центр тяжести имеет некоторое смещение относительно оси подвеса, а в опорах подвеса всегда существует незначительное трение.

Свободный гироскоп (рис. 136, а) состоит из массивного ротора 2, подвешенного в двух кардановых кольцах. Во внутреннем кардановом кольце 4 и внешнем 5 ротор закреплен с помощью подшипников 1, 3. Такая система обеспечивает вращение ротора вокруг главной оси x , оси чувствительности y и оси процессии z . При создании одновременного вращения вокруг всех трех осей точка подвеса O остается неподвижной, а ось x приобретает устойчивость и не реагирует на вращение основания 6, сохраняя неизменное направление в пространстве.

Под действием на ось x момента внешней силы быстровращающегося гироскопа ось поворачивается (процессирует) в плоскости, перпендикулярной приложенной силе.

При ограничении одной степени свободы, например, при помощи груза Q , ось x принимает положение, параллельное плоскости горизонта (рис. 136, б). При создании быстрого вращения гироскопической системы ось x устанавливается в плоскости меридиана

Если ротору придать вращательные движения, то ось гироскопа будет совершать незатухающие гармонические колебания, положение равновесия которых совпадает с плоскостью меридиана. Ось симметрии гармонических колебаний относительно плоскости меридиана называется положением равновесия оси гироскопа, а положения, в которых скорость движения оси равна нулю и движение изменяется в противоположном направлении, называются точками оси гироскопа.

Период времени, в течение которого ось гироскопа совершает колебания по эллипсу и возвращается в исходное положение, называется периодом незатухающих колебаний гироскопа.

В результате влияния сил трения колебания оси гироскопа постепенно затухают, уменьшая амплитуду колебаний, что приводит к отклонению положения оси гироскопа от плоскости меридиана на некоторый угол, который в виде поправки вводится при вычислении гироскопического азимута.

В нашей стране для использования в шахтных условиях разработано и выпускается несколько типов приборов для гироскопического ориентирования. Находятся в эксплуатации гироскопы МВТ2 и МВТ4, а также гиробуссоль МВБ4М.

Гироскопы МВТ2 и МВТ4 позволяют определять дирекционный угол ориентируемой станины с погрешностью 20—30" при времени, затрачиваемом на один пуск до 30 мин.

Гиробуссоль МВБ4М, в отличие от гироскопов МВТ2 и МВТ4, предназначена не только для капитальных маркшейдерских работ, но и для выполнения текущих маркшейдерских работ, связанных с измерениями горизонтальных углов и построением опорных маркшейдерских сетей. Практика показала, что по точности гиробуссоль МВБ4М не отличается от гироскопов, однако по массе и габаритам она в два раза меньше гироскопов.

В последние годы ВНИМИ выпустил две конструкции гироскопов, отвечающих международным стандартам. Это переносный гироскоп «Меридиан 1» и цифровой гироскоп МВЦ4. У первого средняя квадратическая погрешность определения дирекционного угла ориентируемой стороны 20", время, затрачиваемое на один пуск, 20 мин, масса комплекта 25 кг. Гироскоп МВЦ4 обеспечивает точность измерения дирекционного угла 45", а время на один пуск 12 мин и автоматизированные вычисления гироазимута с индикацией на цифровом табло.

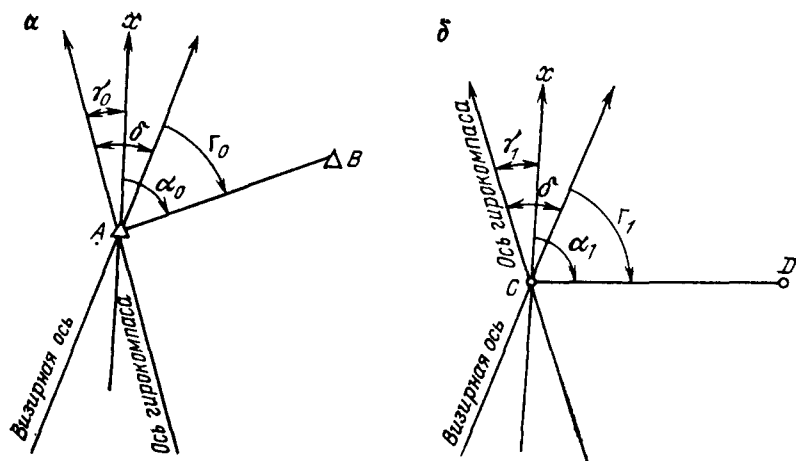


Рис. 137. Схема гироскопического ориентирования

При производстве ориентирования гироскопас устанавливается в точке A (рис. 137, а) стороны AB опорной геодезической сети на поверхности, дирекционный угол которой известен. Определяют гироскопический азимут Γ_0 этой стороны. В результате определяется поправка гироскопаса

$$\delta = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0, \quad (91)$$

где α_0 — дирекционный угол исходной стороны; γ_0 — сближение меридианов.

Затем гироскопас устанавливают в шахте в точке C (рис. 137, б) стороны CD опорной маркшейдерской сети. Используя определенный в данной точке гироскопический азимут Γ_1 и зная для нее сближение меридианов γ_1 и поправку δ , вычисляют дирекционный угол этой стороны опорной подземной сети.

§ 125. ПЕРЕДАЧА В ШАХТУ КООРДИНАТЫ z

При вскрытии месторождений полезных ископаемых, помимо координат x , y в шахту должна быть передана координата z , приводящая подземные нивелирные сети в систему высот, принятую на поверхности. По результатам вертикальных соединительных съемок решаются следующие задачи:

1) составляется геологическая и маркшейдерская документация с изображением формы полезного ископаемого и вмещающих пород в пределах границ месторождения или предприятия для решения вопросов вскрытия, подготовки и разработки полезного ископаемого;

2) определяются высоты маркшейдерских точек (реперов) на поверхности и в горных выработках для задания направлений в вертикальной плоскости, вычисления величин деформаций земной поверхности при подработке очистными работами; составления профилей проектируемых и пройденных горных выработок, необходимых для нормальной работы транспорта, осушения месторождения, учета качества добываемого полезного ископаемого;

3) реализуется комплекс мероприятий по вопросам техники безопасности для взаимной увязки по высоте соседних шахт, смежных горизонтов, установления зон безопасности при подходе горных выработок к старым затопленным или загазованным выработкам, действующим подземным пожарам, участкам, опасным по внезапным выбросам, горным ударам и т. д. Высотные отметки в горные выработки могут передаваться от пунктов государственной сети по точности не ниже IV класса.

Передача высотных отметок в горные выработки может производиться геометрическим нивелированием при вскрытии месторождений штольной или слабонаклонными стволами. Нивелирные ходы прокладываются в одном направлении в виде замкнутых полигонов или висячих ходов в прямом и обратном направлениях. Невязка ходов не должна превышать $\pm 50 \sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км.

Если вскрывающие горные выработки имеют углы наклона более 8° , то передача высотных отметок осуществляется тригонометрическим нивелированием. Превышения определяют в прямом и обратном направлениях. Передачу высот осуществляют независимо дважды. Разность превышений для одной и той же линии не должна быть более $0,4 l$ мм, где l — длина линии, м. Для всего хода расхождения в превышениях не должно быть более $100 \sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км.

В случае вскрытия месторождений вертикальными шахтными стволами передача высотных отметок осуществляется с помощью длинной стальной ленты или глубиномера ДА-2.

Расхождение между двумя независимыми передачами высот по вертикальным стволам не должно превышать

$$\Delta h = (10 + 0,2H), \text{ мм} \quad (92)$$

где H — глубина шахтного ствола, м.

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 ручной лебедки 4 (рис. 138, а), который надежно закрепляется вблизи устья шахтного ствола, перекрытого прочным полком 3. Над стволом укрепляется блок, через который пропускается лента 7. К концу ленты подвешивают

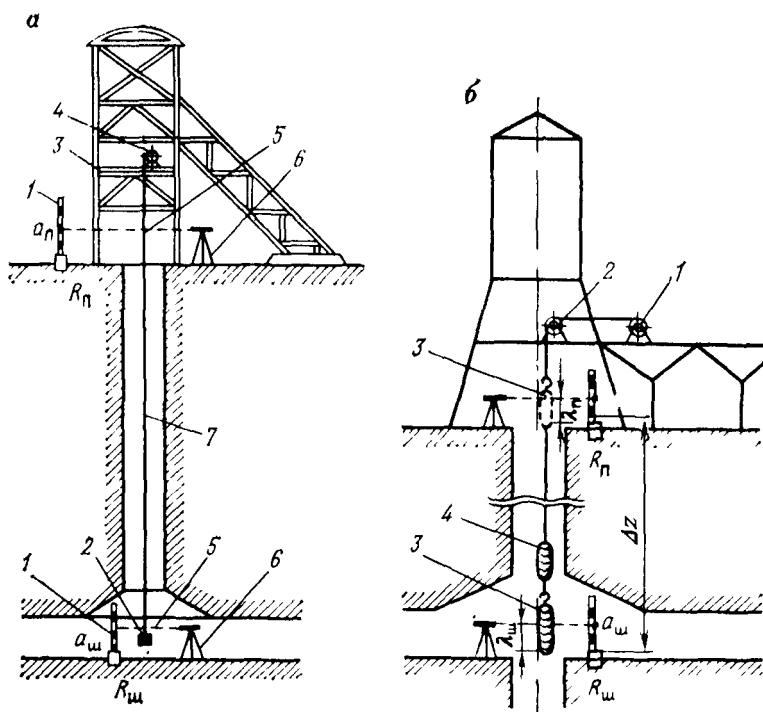


Рис. 138. Схема передачи высотной отметки в шахту при помощи шахтной ленты (а); при помощи дальномера ДА-2 (б)

груз 2, масса которого обычно равна массе груза при компарировании. После того как спуск ленты закончен, одновременно в шахте и на поверхности при помощи двух нивелиров *б* берут отсчеты *5* по ленте (n_1, n_2) и по рейкам *1* (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

$$z_ш = z_n - (n_1 - n_2) + a - b + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta t + \Delta k, \quad (93)$$

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 она по формуле

$$\Delta L_1 = L(Q - Q_0)/ES,$$

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 $P_{\text{ср}}$. Так как

$$P_{\text{ср}} = HS\gamma/2,$$

то можно написать

$$\Delta L_2 = HL\gamma/2E.$$

Здесь γ — удельный вес стали ($\gamma = 7,8$ кг/см³); S — поперечное сечение ленты, см².

Δt — поправка за температуру, вычисляется по формуле

$$\Delta t = kL(t^\circ - t_0^\circ),$$

где k — коэффициент линейного расширения металла; L — длина участка ленты между точками h_1 и h_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 дальномера ДА-2. При измерении глубины шахты стальной проволокой используется отсчетный механизм дальномера ДА-2. В комплект дальномера входят лебедка с барабаном, на который намотана стальная проволока, счетчик оборотов, груз-рейка и контрольная рейка.

Работы по передаче высотной отметки в шахту при помощи дальномера состоят из двух полуприемов и производятся следующим образом.

В стволе шахты на верхней приемной площадке крепят дальномер 1. В шахте и на земной поверхности устанавливают нивелиры (рис. 138, б), а на шахтном и поверхностном реперах — рейки.

Груз-рейку 3 дальномера через блок 2 опускают до тех пор, пока он не попадет в поле зрения трубы нивелира, установленного на поверхности. Берут отсчеты по счетчику в шкале мерного диска N_n , по шкале груз-рейки x_n , нивелиром по рейке — a_n , установленной на исходном репере R_n , а также измеряют температуру мерного диска.

Затем на уровне визирного луча нивелира опускается контрольная рейка 4 и вновь берутся отсчеты.

После этого на горизонт околоствольного двора опускают груз-рейку и производят отсчеты: $N_{\text{ш}}$ — по счетчику и шкале мерного диска; $t_{\text{ш}}$ — по термометру в околоствольном дворе; $\lambda_{\text{ш}}$ — нивелиром в точке стояния в шахте по шкале груз-рейки;

$a_{\text{ш}}$ — нивелиром в точке стояния в шахте по рейке, установленной на определяемом репере $R_{\text{ш}}$. Так же как и на поверхности, затем берут отсчеты по контрольной рейке.

На этом заканчивается первая половина наблюдений, после которой, изменив положение нивелиров и груз-рейки, производят наблюдения в обратном порядке, начиная с горизонта околоствольного двора. Разность высот между реперами $R_{\text{п}}$ и $R_{\text{ш}}$ вычисляют для каждой серии наблюдений по формуле

$$h_{\text{изм}} = N_{\text{п}} - N_{\text{ш}} + a_{\text{п}} - a_{\text{ш}} - \lambda_{\text{п}} + \lambda_{\text{ш}}.$$

При допустимом расхождении вычисляют среднее арифметическое значение $h_{\text{изм}}$ и определяют следующие поправки:

за диаметр проволоки $\Delta l_1 = 0,001 \pi d l$, м, где d — диаметр проволоки, мм, $l = (N_{\text{п}} - N_{\text{ш}})$, $\pi = 3,1416$;

за компарирование диска $\Delta l_2 = (k - 1) l$, м, где k — фактическая длина окружности мерного диска по паспорту;

за тепловое расширение проволоки, вызванное разностью температур в стволе, $\Delta l_3 = 0,5 \alpha_1 l (t_{\text{ш}} - t_{\text{п}})$, где α_1 — температурный коэффициент линейного расширения проволоки; $t_{\text{п}}$, $t_{\text{ш}}$ — температуры на поверхности и в шахте;

за тепловое расширение окружности диска, вызванное разностью температур при компарировании и в период измерений; $\Delta l_4 = \alpha_2 l (t_{\text{п}} - t_0)$, м, где α_2 — температурный коэффициент линейного расширения диска, t_0 — температура при компарировании диска.

Отметка репера в шахте ($R_{\text{ш}}$) вычисляется по формуле

$$z_{\text{ш}} = z_{\text{п}} + h_{\text{изм}} + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4. \quad (94)$$

§ 126. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЭТАЖНЫХ ВЫРАБОТОК

Ориентирование подэтажных выработок должно выполняться независимо дважды. Точность работ при этом ниже, чем при ориентировании шахт. Расхождение между двумя ориентировками подэтажных выработок допускается до $20'$.

Высоты пунктов съемочной сети в подэтажных выработках определяют путем передачи высоты с пунктов (реперов) основного горизонта через вертикальные восстающие выработки при помощи рулетки. Передачу высот выполняют дважды, разность в превышениях не должна быть более 5 см.

Ориентирование подэтажных выработок может осуществляться через две вертикальные выработки, соединенные на ориентируемом горизонте, через одну вертикальную выработку, через одну наклонную выработку; гироскопическим способом.

Ориентирование подэтажных горизонтов через две вертикальные выработки (восстающие) выполняется по схеме ориен-

тирования через два вертикальных ствола: в каждую выработку опускают по одному отвесу, координаты отвесов на исходном горизонте определяют привязкой отвесов к пунктам полигонометрии или теодолитного хода, на ориентируемом горизонте между отвесами прокладывается теодолитный ход, горизонтальные углы в котором измеряются со средней квадратической погрешностью $40''$, длины сторон с относительной погрешностью $1:1000$. Расхождения в расстоянии между отвесами, вычисленном на ориентируемом и исходном горизонте, не должно превышать $1:2000$.

Ориентированием подэтажных горизонтов через одну вертикальную выработку решаются те же задачи, что и при ориентировании через один вертикальный ствол: задача проектирования и задача примыкания.

Для решения задачи проектирования, в связи с небольшой протяженностью вертикальной выработки (восстающего), допускается использовать латунную проволоку или жилку из полиамидной смолы диаметром $0,5—0,6$ м. Грузы применяют небольшой массы—до $4—5$ кг. Расстояние между отвесами не должно быть меньше $0,5$ м. Расхождение в измерениях расстояний между отвесами на ориентируемом и исходном горизонтах не должно быть более 3 мм. Определения среднего положения отвесов осуществляется наблюдением качания отвеса по окулярной шкале зрительной трубы теодолита. В этом случае, для осуществления задачи примыкания необходимо установить биссектор сетки нитей симметрично по отношению к крайним положениям отвеса.

Задача примыкания при ориентировании подэтажных выработок обычно осуществляется соединительными треугольниками или методом створа отвесов.

При использовании соединительных треугольников углы измеряются одним приемом теодолитом типа Т15. Длины сторон измеряются стальной рулеткой дважды, расхождение между двумя измерениями не должно быть более 3 мм.

Вычисление углов треугольников в зависимости от их формулы производится по тем же формулам, что и при ориентировке через вертикальный ствол.

Примыкание способом створов отвесов обычно применяют при небольшой высоте этажа и при достаточно большом расстоянии между отвесами на верхнем горизонте—в любых условиях.

Примыкание к отвесам на ориентируемом горизонте может быть выполнено без применения угломерных инструментов. Для этого отвесы подвешиваются к проволоке, закрепленной между точками P , Q (рис. 139, а). В этом случае дирекционный угол створа отвесов равен дирекционному углу линии PQ . Для передачи координат на ориентируемом горизонте доста-

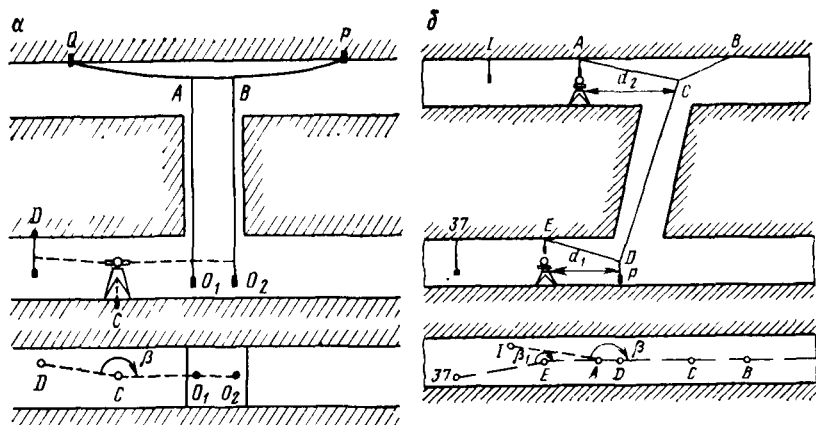


Рис 139. Схемы ориентирования подэтажных горизонтов способом створа отвесов (а) и несвободного отвеса (б)

точно измерить расстояние QA и BP . Для примыкания к отвесам на основном горизонте в точке C (примерно в створе отвесов) устанавливается теодолит. После его установки зрительная труба визируется на задний отвес, при закрепленных лимбе и алидаде выполняется фокусирование на ближний отвес. Если биссектор сетки нитей не совпадает с ближним отвесом, то теодолит перемещают по головке штатива до тех пор, пока не будет этого совпадения. Постепенным приближением добиваются установки вертикальной оси вращения прибора в створе отвесов. После этого закрепляется точка C . Одним полным приемом измеряют теодолитом типа Т15 угол β между створом отвеса и первой стороной хода CD . Измеряется также расстояние от точки C до отвеса.

По результатам измерений на основном горизонте вычисляется дирекционный угол направления отвесов и координаты x , y одного из отвесов. По значению дирекционного угла отвесов, следовательно, и дирекционному углу линии PQ и расстоянию QA вычисляются координаты точки A на ориентируемом горизонте.

Ориентирование подэтажных горизонтов через наклонную выработку может выполняться способом несвободного отвеса, который выполняют в случаях, когда выработки основного и ориентируемого горизонтов имеют такое же направление, как и наклонная выработка. Сущность способа (рис. 139, б) заключается в том, что в выработке на верхнем горизонте в точке B закрепляют жилку из полиамидной смолы или мягкую проволоку, на нижний конец которых на основном горизонте подвешивают груз P . Отвес двумя оттяжками AC на верхнем гори-

зонте и DE на нижнем горизонте «ломают» в точках C и D . Причем обе растяжки должны быть расположены в одной вертикальной плоскости.

По точкам 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 совпадает с вертикальной нитью сетки нитей зрительной трубы угломерного прибора. После образования отвесом и растяжками вертикальной плоскости для передачи дирекционного 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 висячим 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

$$x_A = x_E + (d_1 + CD \cos \alpha - d_2) \cos \alpha_{ED},$$

$$y_A = y_E + (d_1 + CD \cos \alpha - d_2) \sin \alpha_{ED}.$$

Вопросы для самопроверки

- 1 В чем заключаются задачи соединительной съемки?
- 2 В чем заключается задача ориентирования? В чем задача центрирования?
- 3 Какова допустимая величина расхождения результатов двух ориентировок одной и той же стороны?
- 4 По какой формуле определяют погрешность в положении точки в зависимости от погрешности ориентирования?
- 5 От каких исходных параметров зависит погрешность дирекционного угла проектируемого направления?
- 6 Какими способами можно проверить правильность размещения в стволе отвесов?
- 7 Какая форма соединительного треугольника считается наиболее выгодной?
- 8 По какой формуле выполняют правильность линейных измерений сторон соединительных треугольников?
- 9 В чем заключается основной смысл ориентировки через два вертикальных ствола?
- 10 Как вычислить поправку гирокомпаса?
- 11 Как определить допустимую величину расхождения между двумя независимыми передачами высот через вертикальный ствол?

§ 127. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основная задача подземных маркшейдерских съемок заключается в своевременном и точном определении в пространстве положения горных выработок и других объектов, представляющих интерес для безопасной и эффективной работы горного предприятия.

Маркшейдерская служба горных предприятий осуществляет съемку:

всех горных выработок как подготовительных, так и очистных, разведочных, гидрогеологических, технических скважин, камер различного назначения, транспортных путей;

целиков полезного ископаемого, оставленных у подготовительных выработок и под охраняемыми объектами, бутовых полос, границ закладки;

капитальных изолирующих перемычек, установленных в действующих горных выработках, имеющих связь с земной поверхностью, соединяющих две шахты или отдельные блоки с независимым проветриванием, перемычек, изолирующих места пожаров и участки, опасные по прорыву воды, плывунов, пульпы в действующие выработки;

водоотливных и вентиляционных устройств;

мест горных ударов, внезапных выбросов горных пород и газа, взрывов газа или пыли; мест пожаров, суфлярных выделений газа, прорывов воды, плывунов, заиловки; мест усиленного водопроявления; куполов вывалов (высотой более 1 м) в горных выработках и т. п.

Маркшейдерская служба также обеспечивает вынесение в натуру проектов сооружений и контроль их строительства, учет движения запасов и полноты извлечения полезного ископаемого, определение фактически выполненных объемов горных работ и наличие полезного ископаемого на складах и т. д.

Для решения этого многообразия задач маркшейдерская служба в подземных условиях создает сеть опорных и съемочных сетей, которые позволяют с оптимальными трудовыми затратами и необходимой точностью решать приведенные выше задачи.

Таким образом правила выполнения маркшейдерских съемок сводятся к следующему:

съемку следует выполнять от более общих и точных построений к частным и менее точным, т. е. сначала должно быть выполнено построение опорных, а затем съемочных сетей, на базе которых осуществляется съемка горных объектов;

измерения при любых видах съемки должны быть выполнены с оптимально достаточной точностью;

маркшейдерская съемка обязательно должна сопровождаться соответствующим и своевременным контролем как в полевых условиях, так и при камеральной обработке материалов съемки.

§ 128. ПОДЗЕМНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ

Подземные маркшейдерские опорные сети являются главной геометрической основой для выполнения съемок горных выработок и решения горно-геометрических задач, обеспечивающих правильную и безопасную разработку месторождений полезных ископаемых.

Состоят опорные сети из полигонометрических ходов, прокладываемых, главным образом, по главным подготовительным выработкам. Строят опорные сети в виде секций с гироскопически ориентированными сторонами, которые размещают, как правило, через 20—30 углов.

Закрепляют пункты опорных, подземных маркшейдерских сетей в зависимости от способа их закладки и продолжительности существования постоянными или временными знаками (рис. 140).

Центры постоянных пунктов, закладываемых в подошве выработки (рис. 140, а), изготавливаются из металлического штыря диаметром 25—30 мм и длиной от 200 до 700 мм. Он бетонируется в породах почвы. В головке штыря отмечается центр пункта высверливанием отверстия, кернением или нанесением крестообразной насечки.

В постоянных пунктах, закладываемых в кровле выработки (рис. 140, б, в), центры фиксируют прорезью или отверстием. Металлический стержень бетонируют в почве кровли или забивают в деревянную пробку (см. рис. 140, в).

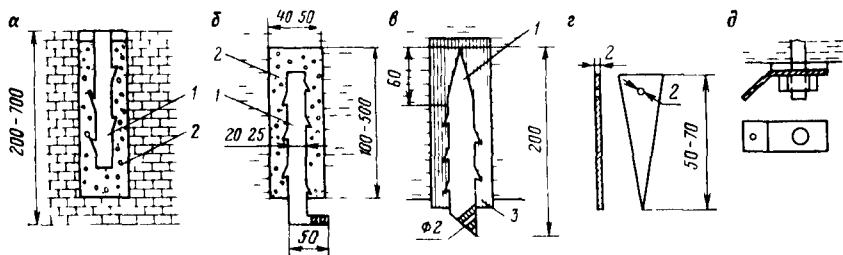


Рис 140 Центры постоянных (а, б, в) и временных (г, д) пунктов опорных подземных маркшейдерских сетей

1 — металлический штырь, 2 — бетон, 3 — деревянная пробка

Временные пункты закрепляют в кровле выработки, а также в верхних элементах крепи. Показанный на рис. 140, *г* центр крепится в деревянном верхняке крепи или в деревянной пробке, забитой в шпур. При металлической или анкерной крепи используется центр, показанный на рис. 140, *д*.

Маркшейдерские пункты постоянные или временные маркируются, для этого на стойках крепи или на стенках выработки помещается металлическая пластинка (марка), на которой выбит номер пункта. При маркировке реперов и постоянных пунктов, имеющих высотную отметку, кроме их номера должны быть указаны буквы P_n или P_k , обозначающие расположение пункта соответственно в почве или кровле выработки.

Исходными для развития опорных сетей при вскрытии вертикальными стволами являются пункты центрирования и ориентирования сетей, полученные в результате ориентирования и закрепленные в околоствольных выработках на каждом горизонте ведения горных работ. При вскрытии штольными и наклонными стволами в качестве исходных принимаются подходящие пункты, заложенные на поверхности у устья вскрываемой выработки.

Для сохранения длительной сохранности, а также контроля их неподвижности постоянные пункты закладывают группами. Каждая группа должна состоять из трех или четырех пунктов, закладываемых на расстоянии 50—100 м друг от друга.

Подземные маркшейдерские опорные сети по мере продвижения горных выработок пополняют, причем, пункты полигонометрических ходов не должны отставать от забоя выработки более, чем на 500 м, если исходные планы горных выработок составляются в масштабе 1:2000, и на 300 м, если составляются в масштабе 1:1000.

Измерения в полигонометрических ходах должны производиться со следующей точностью:

средние квадратические погрешности измерения горизонтальных углов 20", вертикальных — 30";

средняя квадратическая погрешность гироскопического ориентирования 1';

расхождение между двумя измерениями линии при измерении светодальномером не более 3 см, при использовании стальных рулеток — 1:3000 длины стороны.

Для того, чтобы обеспечить приведенные точности прокладки подземных полигонометрических ходов, при измерениях должны соблюдаться следующие требования

Измерения углов должны производиться теодолитами типа Т15; при этом центрирование для углов с горизонтальным продолжением меньшей стороны от 5 до 10 м выполняется оптическим или способом нитяных отвесов с двойным центрирова-

Таблица 41

Угол наклона выработки	Допустимые расхождения углов между полуприемами	
	на сопряжении горизонтальной и наклонной выработок	в наклонной выработке
31—45°	1'20"	2'00"
46—60°	1'50"	2'30"
61—70°	2'30"	4'00"

нием. При длине более 20 м возможно использование способа однократного центрирования нитяным отвесом.

В горных выработках с углом наклона менее 30° в полигонометрии углы измеряют одним повторением или приемом. В первом случае разность между одинарным и окончательным (средним) значением угла не должна превышать 45". При измерении способом приемов — не более 1' между полуприемами.

Измерение углов в выработках с углом наклона более 30° должно выполняться способом приемов (не менее двух), при этом необходимо соблюдать следующее:

устанавливать вертикальную ось вращения теодолита в отвесное положение и повторно центрировать прибор перед каждым приемом;

перед повторным измерением угла начальный отсчет изменять приблизительно на 180°.

При измерении углов в выработках с углом наклона более 30° расхождения в значениях, полученных в отдельных полуприемах, не должны превосходить величины, приведенной в табл. 41.

Длины сторон в полигонометрических ходах могут измеряться светодальномерами, обладающими соответствующей точностью, и рулетками, прокомпарированными с относительной погрешностью не более 1 : 15 000.

При использовании рулеток измерения выполняют с натяжением, равным натяжению при компарировании, и контролируемым динамометром. Температура учитывается, если она отличается от температуры компарирования более, чем на 5 °С. Отклонения промежуточных отвесов от створа при длине интервалов 10 м не должны превышать 10 см.

Стороны полигонометрических ходов должны измеряться дважды: в прямом и обратном направлениях.

Обработка результатов измерений полигонометрических сетей включает: контроль вычислений в журналах измерений, введение поправок в измеренные длины, вычисление невязок, уравнивание сетей.

В измеренные рулетками длины вводят поправки за их провес, компарирование и температуру.

Угловая невязка в полигонометрических ходах не должна превышать величин, определяемых по следующим формулам: в замкнутых полигонах

$$f_{\beta} = 2m_{\beta} \sqrt{n} \quad (95)$$

и в висячих полигонах, пройденных дважды,

$$f_{\beta} = 2m_{\beta} \sqrt{n_1 + n_2}, \quad (96)$$

где m_{β} — средняя квадратическая погрешность измерения углов; n — число сторон полигонометрического хода; $n_1 + n_2$ — число углов первого и второго ходов.

Линейная относительная невязка в замкнутых полигонах не должна превышать 1 : 3000 длины хода, в разомкнутых 1 : 2000.

Уравнивание полигонов заключается в распределении угловой и линейной невязок. При уравнивании замкнутых и разомкнутых полигонов угловую невязку распределяют с обратным знаком поровну на все углы. Линейные невязки, взятые с обратным знаком, распределяют в приращения координат пропорционально длине каждой линии.

Определение высот пунктов опорных сетей в горных выработках с углом наклона менее 5° выполняют техническим геометрическим нивелированием, замкнутыми или висячими ходами, в последнем случае в прямом и обратном направлениях. Расстояние между нивелиром и рейками не должно превышать

Т а б л и ц а 42

Место работы 3-й штрек

Дата 8.10 1989 г

Прибор НЗК № 01676

Исполнитель *Иванов П. В.*

Станция	Пункты, пикеты	Отсчет, мм			Превышение, мм	Среднее превышение, мм	Примечание
		задний	передний	промежуточный			
1	Рп4—22	1169	1018	1250	+151	+152	
2	22—23	5859	5706		+153		
		1212	1316		—104	—103	
		5899	6001		—102		
3	У г р 23—24	1350	—1152		+2502	+2504	
4	24—Рп6	6039	—5841		+2506		
		—1250	1114		—2364	—2362	
		—5938	5796		—2360		
Постраничный контроль		ΣЗ 14 340	ΣП 13 958		Σh +382	Σh _{ср} +191	

Таблица 43

Ход 3 й штрек

Дата 8 10. 89 г
Исполнитель Иванов П В

Пункты, пикеты	Среднее превышение, мм	Высоты, м	Примечания
Рп 4	+2	352 849	
	152		
22	+2	-352,695	
	-103		
23	+2	-352,796	
	2504		
24	+2	-350,290	
	-2362		
Рп		-352,650	
$\Sigma h = +0,191$		Рп6—Рп4 +0,199	
		$f_h -0,008$	
		$l_{h_{доп}} 50\sqrt{L} \quad 50\sqrt{0,4} - 32 \text{ мм}$	

100 м. Расхождения в превышениях, полученных по черной и красной сторонам реек, не должны превышать 10 мм. Невязки ходов геометрического нивелирования не должны превышать $50\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км.

В табл. 42 показан полевой журнал технического нивелирования, а в табл. 43 — журнал вычисления высот по результатам технического нивелирования.

При геометрическом нивелировании в горных выработках, где реперы закладываются как в кровле, так и в почве выработки, возможны следующие схемы выполнения работ.

1. Нивелирование выполняется по реперам, расположенным в почве выработки (рис. 141, а). Превышение пункта B над пунктом A определяется разностью отсчетов по рейкам, установленным на задней и передней точках: $h = a - b$ (здесь h — превышение, a — отсчет по задней рейке, b — отсчет по передней рейке).

2. Нивелирование выполняется по реперам, закрепленным в кровле выработки (рис. 141, б). Превышение h равно разности отсчетов, сделанных по рейкам, подвешенным на передней и задней точках $h = b - a$.

3. Нивелируются реперы, из которых задний закреплен в кровле, а передний — в почве выработки (рис. 141, в). При такой схеме нивелирования превышение равно сумме отсчетов по рейкам со знаком минус $h = -(a + b)$.

4. Нивелирование ведется по реперам, задний из которых расположен в почве, передний — в кровле выработки (рис.

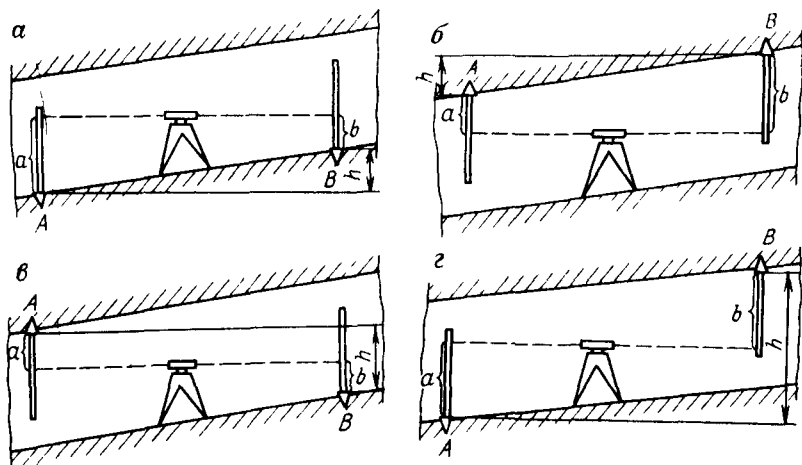


Рис 141 Схемы геометрического нивелирования в подземных горных выработках

141, 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.

Тригонометрическое нивелирование выполняют по наклонным выработкам. Для измерения вертикальных углов используются теодолиты типа Т15. Стороны измеряют в соответствии с требованиями для измерения длин в подземных полигонометрических ходах. Обычно тригонометрическое нивелирование совмещают с проложением полигонометрических ходов.

Тригонометрическое нивелирование в подземных выработках, так же как и геометрическое, имеет некоторые особенности, рассмотренные ниже.

1. Пусть имеются два расположенных в почве пункта *A* и *B* (рис. 142, а). Требуется определить превышение пункта *B* над пунктом *A*. Для этого теодолит для измерения угла наклона стороны *AB* можно расположить как в точке *A*, так и в точке *B*, поместив вначале теодолит в нижней точке. Над пунктом *B* подвешивается отвес, на котором отмечается какая-нибудь точка (например, точка входа шнура, острие отвеса). Визирование зрительной трубы теодолита производят на эту точку.

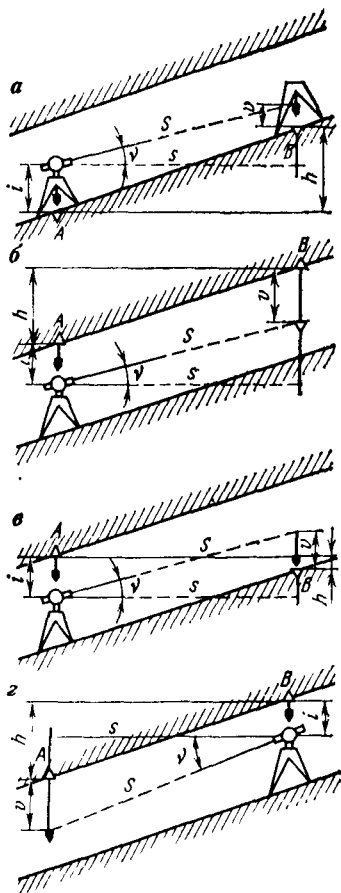


Рис. 142 Схемы тригонометрического нивелирования, выполняемого в подземных горных выработках

жен в верхней точке (точка B), превышение определится по формуле

$$h = S \sin v - v + i.$$

Разность превышений, полученных для одной из той же линии, не должна превышать $0,4l$, где l — длина линии, м. Для всего хода невязка в превышениях не должна быть более $100\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км. Высоты приборов и сигналов измеряют стальной рулеткой дважды. Отсчеты берут до миллиметров.

Вычисление превышения для случая, показанного на рис. 142, а, может производиться по двум формулам, в одной из которых используются горизонтальное проложение s и тангенс угла наклона v , в другой — синус угла наклона v и наклонная длина S .

Если высоту визирования обозначить через v , а высоту прибора i , то для первого случая $h + v = s \operatorname{tg} v + i$, отсюда

$$h = s \operatorname{tg} v + i - v.$$

Для второго случая $h + v = S \sin v + i$, отсюда

$$h = S \sin v + i - v.$$

2. Если точки A и B расположены в кровле выработки, а теодолит поместить под точкой A, являющейся нижней, то согласно рис. 142, б получим

$$h = S \sin v + v - i.$$

3. При расположении точки A в кровле, а точки B — в почве выработки (рис. 142, в) превышение определится по формуле

$$h = -S \sin v + v + i.$$

4. В случае, когда точки тригонометрического нивелирования A и B расположены в кровле выработки (рис. 142, г), а теодолит расположен

§ 129. ПОДЗЕМНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

Подземные маркшейдерские съемочные сети используются как основа для съемки горных выработок. Состоят они из теодолитных ходов, которые прокладываются для съемки подготовительных выработок, и угломерных ходов, используемых для съемки очистных забоев и нарезных выработок в очистных блоках. Теодолитные ходы развиваются от пунктов полигонометрической сети, угломерные — как от пунктов теодолитного, так и полигонометрического хода. Теодолитные ходы могут быть замкнутыми, разомкнутыми и проложенными дважды.

Основные характеристики съемочных сетей приведены в табл. 44.

Измерение горизонтальных углов в теодолитных ходах производится теодолитами типа ТЗ0. В выработках с углом наклона до 30° углы измеряют одним повторением или одним приемом. В первом случае между одинарным и окончательным значениями угла допускается расхождение $1,5'$, во втором случае расхождение углов между полуприемами не должно превышать $2'$.

В выработках с углом наклона более 30° измерение горизонтальных углов должно выполняться не менее чем двумя приемами. Расхождение между значениями углов, полученными в отдельных приемах, не должно быть более $1,5'$.

Измерение углов в угломерных ходах может выполняться как угломерами, так и теодолитами различных типов.

Длины линий в теодолитных ходах измеряют стальными рулетками, в угломерных разрешается использование тесьменных рулеток. Линии измеряются дважды, при этом отсчеты в теодолитных ходах берутся с точностью до миллиметров, в угломерных — до сантиметров.

Угловые невязки ходов съемочных сетей не должны превышать значений, определяемых по формулам (95) и (96), в которых средние квадратические погрешности измерений углов

Т а б л и ц а 44

Тип хода	Средняя квадратическая погрешность измерения углов		Предельная длина хода, км	Допустимое расхождение между двумя измерениями сторон
	горизонтальных	вертикальных		
Теодолитный	$40''$	$60''$	1,0	1 : 1000
Угломерный	$10'$	$10'$	0,3	1 : 200

соответствуют принятым для теодолитных и угломерных ходов (см. табл. 44).

Относительные линейные невязки не должны превышать для теодолитных ходов: в замкнутых 1:1500 и в разомкнутых и пройденных дважды — 1:1000; для угломерных ходов — 1:200.

При уравнивании ходов съёмочной сети в замкнутых и разомкнутых ходах угловую невязку распределяют с обратным знаком поровну на все углы. Линейные невязки, взятые с обратным знаком, распределяют в приращения координат пропорционально длине каждой стороны хода. Значения координат разрешено округлять до сантиметров, дирекционных углов в теодолитных ходах до 10", в угломерных — до минут.

Определение высот пунктов съёмочной сети, как правило, производится одновременно с проложением теодолитных и угломерных ходов при помощи тригонометрического нивелирования.

При выполнении тригонометрического нивелирования в теодолитных ходах должны соблюдаться следующие требования: вертикальные углы измеряют при двух положениях круга в прямом и обратном направлениях;

расхождения между двумя определениями высоты теодолита и сигналов должны быть более 10 мм;

расхождения в значениях места нуля в начале и конце хода не должны быть более 3';

разность в превышениях одной и той же стороны не должна быть более 1:1000 ее длины;

допустимая невязка высотного хода должна быть не более $120\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км.

Ходы тригонометрического нивелирования уравнивают распределением невязок пропорционально длинам сторон хода. Отметки пунктов при их вычислениях округляют до сантиметров.

Если высоты пунктов съёмочных сетей определяют при помощи геометрического нивелирования, то невязка хода технического нивелирования не должна быть более $50\sqrt{L}$, где L — длина хода, км.

§ 130. СЪЕМКА КАПИТАЛЬНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Съемка подробностей выработок сводится к измерению линий и точек, характеризующих положение изучаемых объектов относительно съёмочных ходов. Съемка выработок может выполняться способом перпендикуляров, полярным или другими, но,

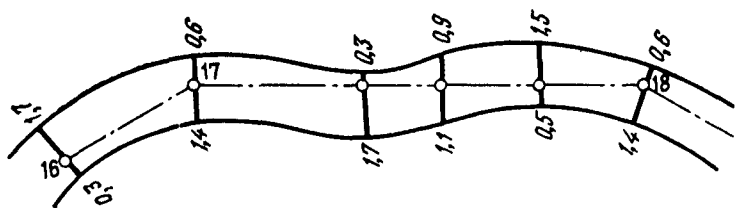


Рис 143 Абрис съемки подземной выработки способом ординат

как правило, одновременно с проложением теодолитных и угломерных ходов.

Измерения контуров выработок должны выполнять в свету и в проходке. Линейные размеры при съемке боков выработок в проходке измеряются с точностью до дециметров, при съемке в свету — до сантиметров. Одновременно с контурами выработок фиксируют изменения элементов залегания полезного ископаемого, углы падения залежей, их мощность, наличие тектонических нарушений и т. п.

Все детали съемок изображают на абрисе (рис. 143).

§ 131. СЪЕМКА ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК НА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Съемку очистных выработок маркшейдерская служба выполняет по состоянию на первое число каждого месяца или на момент остановки очистного забоя.

Положение линии очистного забоя определяют или в результате инструментальной съемки, или рулеточным замером. Однако во всех случаях погрешность определения длины линии забоя, его подвигание и высота выработки не должны быть ниже 1 : 100.

В зависимости от условий залегания угольного пласта, а также применяемой системы разработки возможны различные способы съемки.

Съемка лавы, оборудованной механизированным комплексом. В лавах, оборудованных механизированными комплексами, большое значение имеет контроль прямолинейности лавы и положения комплекса. Для контроля этих условий в конвейерном и вентиляционном штреках через 10 или 20 м разбивают пикеты таким образом, чтобы линии, соединяющие определенные пикеты на этих штреках, были перпендикулярны к их осям. Положение комплекса проверяют измерением расстояний от его концов до соответствующих пикетов на штреках.

Прямолинейность лав, оборудованных механизированными комплексами, проверяется не реже одного раза в месяц. Пря-

молинейность лавы небольшой длины (60—100 м) может быть проверена визуально и рулеточным промером от пикетных точек или пунктов теодолитного хода. Лавы большой протяженности (свыше 100 м) снимаются при помощи теодолитов технической точности или угломерами.

Съемка лав на пологих пластах. Для съемки пологих лав вдоль линии очистного забоя прокладывают угломерный ход с временными или потерянными точками, от вершин или сторон которого тесьмой рулеткой измеряют расстояния до забоя, оставленных целиков, участков, залеженных породой или закладкой, и т. п. При съемке также измеряют мощность и угол падения пласта, зарисовываются особенности его строения. Точки угломерного хода располагаются, по возможности, ближе к забою.

Съемка лав на крутопадающих пластах. При разработке крутопадающих пластов (залежей) с выемкой полезного ископаемого по восстанию положение забоя возможно определять с помощью шнура с полукругом или специального «жезла». Например, от точки съемочной сети, закрепленной на вентиляционном штреке, по восстающему опускают отвес, на конце которого закрепляют неподвижную точку. От него вдоль очистного забоя натягивают шнуры, измеряют длину и висячим полукругом угол наклона. Шнур следует натягивать в плоскости, параллельной боку залежи. Для контроля ход замыкают на теодолитный ход через второй восстающий. Съемку деталей производят ортогональным способом.

С помощью «жезла» съемка выполняется в залегающих практически вертикально пластах, имеющих небольшую мощность. «Жезл» изготавливают из двухметрового деревянного бруска, имеющего дециметровые деления. В центре укрепляют отвес и полукруг, позволяющий устанавливать «жезл» горизонтально. Съемку выполняют от прямой линии, прокладываемой «жезлом» по боковой поверхности залежи. Концы прямой линии привязывают к точкам съемочного обоснования, закладываемым в восстающих.

На крутых пластах с выемкой полезного ископаемого по простиранию съемка забоя лавы производится при помощи измерения расстояний от забоя до точек съемочных ходов, расположенных в просеках или штреках верхнего и нижнего горизонтов.

При потолкоуступной системе разработки положение очистного забоя определяется рулеточным замером с измерением элементов уступов. На откаточном штреке в створе пунктов теодолитного хода выставляют некоторую точку, от которой по восстанию пласта натягивают рулетку до основания ближайшего уступа. Получают начальную точку, от которой вдоль горизонтальной части уступа натягивают рулетку и на его

конце получают вторую точку. Далее рулетку натягивают вдоль следующего уступа и, таким образом, работу продолжают до выхода на вентиляционный штрек. Затем осуществляют замыкание рулеточного хода к пунктам теодолитного хода на вентиляционном горизонте. Съёмку подробностей проводят методом ординат, при этом составляют абрис с указанием всех размеров и подробностей, необходимых для составления плана горных работ и подсчета извлеченных запасов.

§ 132. СЪЕМКА КАМЕР И ПУСТОТ

При разработке ряда месторождений, представленных мощными телами полезного ископаемого, в недрах часто формируются пустоты значительных размеров. С точки зрения их съемки такие пустоты принято подразделять на доступные и недоступные. К последним относятся пустоты, к стенкам которых или невозможен, или запрещен доступ наблюдателей. Остальные пустоты считаются доступными. Ниже рассматриваются основные положения съемки пустот.

Тахеометрический метод съемки подземных пустот может применяться как для съемки доступных, так и недоступных пустот. В первом случае методика работ не отличается существенной спецификой по сравнению с обычной тахеометрической съемкой, используемой в топографии. При съемке недоступных пустот (камер) получил распространение тахеометрический метод с использованием двух теодолитов. Приборы устанавливают в двух исходных выработках в точках, координаты которых известны и с которых существует взаимная видимость контуров камеры. С одной из точек с помощью светового прибора освещают характерные точки поверхности камеры. На создаваемое при этом световое пятно визируют обоими теодолитами. Измеряют вертикальные и горизонтальные углы. Затем производят аналитическое решение прямых засечек.

Этот метод целесообразно применять в тех случаях, когда нет приборов, специально созданных для съемки недоступных пространств. Он позволяет при длине визирования до 50 м определять контуры камер с относительной погрешностью 1 : 200.

В последние годы для съемки камер стали широко внедряться светопроекционные тахеометры, дальнометры которых работают на принципе двух известных в пространстве направлений: одного, создаваемого зрительной трубой, и второго — световым проектором. В зависимости от взаимосвязи этих двух систем дальнометры называются проекционными, визуальными или проекционно-визуальными.

К таким дальнометрам принадлежит тахеометр ТТ-4 (горный тахеометр базисный), в котором для измерения расстояний используют проекционно-визуальный дальномер с перемен-

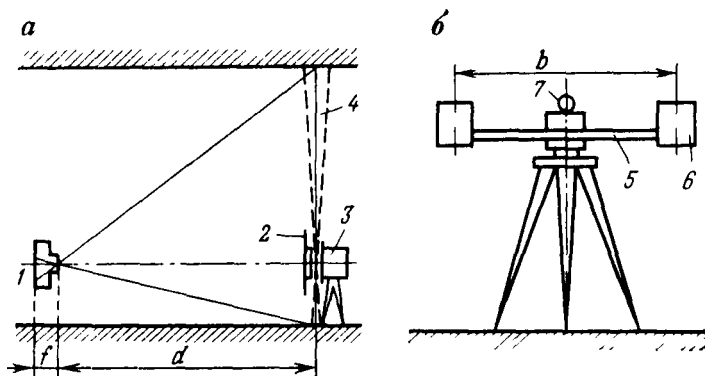


Рис 144 Схемы светопрофильной (а) и фотограмметрической (б) съемок

ной базой и постоянным параллактическим углом при приборе. В тахеометре ТТ-4 проектиром на стенках камер создается световая марка (пятно), ширину которой определяют измерительным устройством.

Синхронная фокусировка визирной трубы и проектира упрощает выполнение наблюдений и повышает производительность труда. При длине измеряемых расстояний 4—100 м получаемые относительные погрешности 1 : 100—1 : 200.

Применение фотографирования для съемки подземных пустот. Получил распространение способ съемки камер и выработок большого сечения путем фотографирования светопрофилей, располагаемых перпендикулярно к оси выработки (рис. 144, а).

Светопрофиль 4 создается при помощи импульсного осветителя 3, освещающего узкую полосу по контуру выработки. Эта полоса фиксируется фотоаппаратом 1. Расстояние от импульсного осветителя до фотокамеры d выбирают таким образом, чтобы получить изображение сечений на фотопленке в заданном масштабе

$$d = fm,$$

где f — фокусное расстояние объектива фотокамеры; m — знаменатель масштаба снимка.

Для масштабирования фотоизображений прибор снабжен двумя взаимно перпендикулярными базисами в виде телескопических штанг 2.

Средняя квадратическая погрешность определения основных размеров, получаемых в результате светопрофильной съемки, составляет 0,1—0,2 м.

В фотограмметрическом методе в безопасном месте камеры или в подходной выработке на штативе устанавливают базис-

ную штангу 5 (рис. 144, б), на концах которой две широкоугольные короткофокусные фотокамеры 6, оси которых между собой параллельны. Базисную штангу с помощью визирного диоптра 7 устанавливают перпендикулярно к направлению стороны съемочного обоснования. В результате фотографирования получают два изображения горной выработки. При этом одна точка выработки занимает различное положение на снимках. Таким образом, рассматривая одновременно пару снимков через стереоскоп, можно наблюдать стереомодель снимаемого объекта, уменьшенную против натуры в отношении b'/b , где

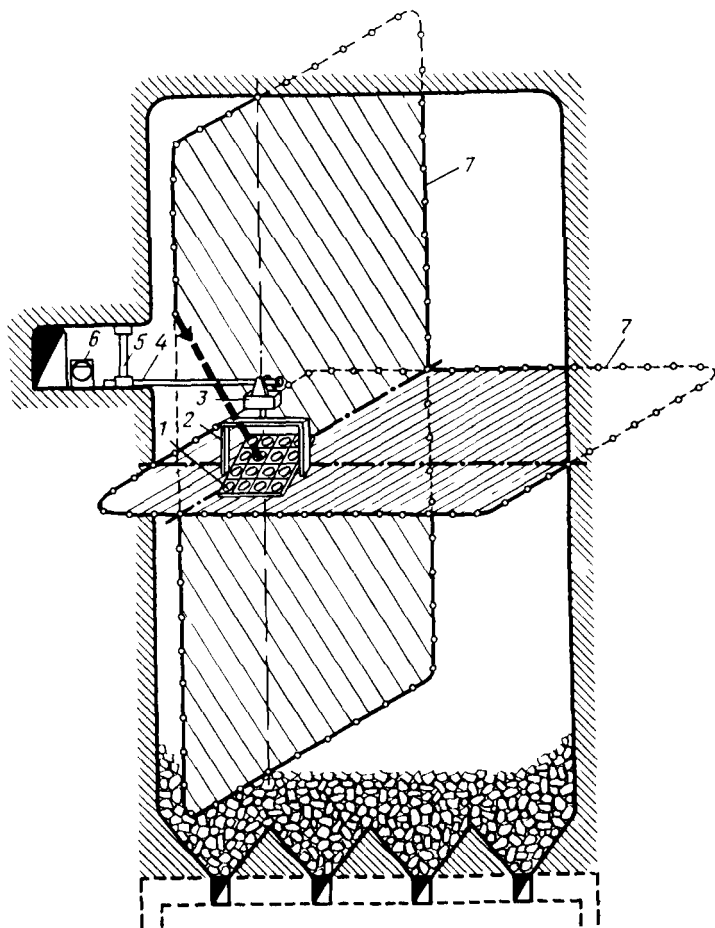


Рис 145 Схема звуколокационной съемки камеры

1 — акустический приемоизлучатель, 2 — рама с механизмом вертикального обзора, 3 — механизм горизонтального обзора, 4 — штанга; 5 — распорная стойка; 6 — самопишущий регистратор (самописец), 7 — контуры горизонтального и вертикального сечения камеры

$b' = 65$ мм — длина глазного базиса; h — длина базиса фотографирования.

Съемка подземных пустот с помощью звуколокации начинает получать широкое распространение в маркшейдерской практике. Так, для съемки недоступных очистных камер разработан звуколокатор «Сфера». Его акустическую систему с помощью штанг выносят в полость камеры (рис. 145). Маркшейдерской съемкой определяют координаты центра акустической системы и дирекционный угол исходного направления акустического луча. Затем по горизонтальным и вертикальным сечениям выполняют съемку камеры.

Дальность действия звуколокатора 60 м, погрешность измерений расстояний не превышает 4 %.

Для съемок пустот, заполненных соляным рассолом, используется звуколокатор «Луч». Он смонтирован на автомашине и состоит из двух частей: скважинного снаряда и приборной стойки. Связь скважинного снаряда с наземной аппаратурой осуществляется по кабелю, служащему одновременно и подвесом для снаряда.

При съемке камеры, заполненной соляным рассолом, вначале производят разгерметизацию камеры, демонтаж оголовки скважины, подъем или извлечение рассолоподъемной колонны труб и опускание скважинного снаряда в район днища камеры. Затем осуществляют непосредственно съемку, включающую измерение глубины спуска скважинного снаряда, измерения скорости распространения звука на уровне точки наблюдения и радиусов горизонтального сечения камеры. Измерение скорости распространения звука на уровне точки наблюдения производят на пробах рассола, отобранных заранее в точках наблюдения. Измерение радиуса 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 съемки стволов, проходимых способом бурения, разработан звуколокатор типа «Калибр», позволяющий получать вертикальные профили и горизонтальные сечения ствола, заполненного буровой жидкостью.

Максимальная глубина съемки звуколокатором «Калибр» 1000 м, погрешность измерения радиусов не превышает 4 %

§ 133. СЪЕМКА ВЗРЫВНЫХ ВЫРАБОТОК

Перенесение в натуру проекта и съемки минных выработок производят от точек и сторон съемочных ходов методом ординат, полярным методом или проложением висячих ходов.

Съемка глубоких взрывных скважин состоит в привязке устья скважины к пунктам съемочной сети, определении глубины скважины, направления и угла наклона ее оси. Погрешность определения глубины скважины не должна превышать 0,2 м, направление оси в плане и угла наклона 30'.

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. 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. 146, *а*). После сооружения камеры производят ее съемку, в результате которой помимо контуров камеры определяют положение направления *АВ*, что позволяет вычислить координаты точки *С*. По полученным данным определяют горизонтальный угол *АВС* и расстояние *ВС* для разбивки в натуре точки *С*. В кровле камеры закладывают точку *С*, под которой устанавливают угломерный прибор, ориентируют его относительно направления *СВ* и задают направление будущих скважин. Эти направления закрепляют на деревянных брусках, установленных под кровлей камер. При забури-

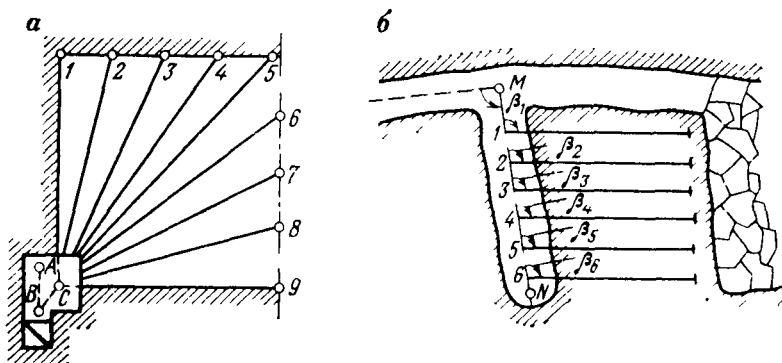


Рис. 146 Схемы задания веерообразных (а) и параллельных скважин (б)

вании из точек на брусках опускают отвесы, по которым осуществляется ориентировка скважин в плане.

Если необходимо задать направление наклонным скважинам, в камере в точке *С* устанавливают угломерный прибор на одной высоте с осью вращения бурильного станка. После фиксации направления в горизонтальной плоскости на вертикальном круге откладывают необходимый угол наклона и на стенке камеры и отвесе, подвешенном в створе направления, отмечают точки, определяющие наклон будущей скважины.

При задании направления параллельным скважинам (рис. 146, б) 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 центра скважины, возле которой записывают ее номер. По окончании бурения скважин производят их контрольную съемку. 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. Для определения глубины скважин также можно использовать эхолот типа «Пульсар», позволяющий измерять скважину глубиной до 60 м, диаметром от 50 до 220 мм, с погрешностью, не превышающей 3 % от измеряемой длины.

Используются также приборы «Рифей 2» и «Рифей 1», диапазон измерения длины скважины которыми от 3 до 60 м при диаметре скважин, изменяющемся от 50 до 220 мм. Погрешность измерения длины скважины при помощи этих приборов 0,3 м. Прибор «Рифей 1» также позволяет устанавливать места разрушения стенок скважин.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается основная задача подземных маркшейдерских съемок?
2. В чем заключается основное назначение подземных маркшейдерских опорных сетей?
3. В чем заключается принцип построения опорных сетей?
4. Чем отличаются постоянные пункты опорных подземных сетей от временных пунктов?
5. Какова точность угловых измерений в подземных полигонометрических ходах?
6. Чему равна допустимая угловая невязка в полигонометрических ходах?
7. Чему равна допустимая линейная невязка в полигонометрических ходах?
8. В чем заключаются особенности тригонометрического нивелирования, выполняемого в подземных выработках?
9. Какова точность угловых измерений в подземных теодолитных ходах? В угломерных ходах?
10. В чем заключается съемка подробностей капитальных и подготовительных выработок?

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 134. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВЫРАБОТКАМ

При проведении выработок маркшейдерская служба горных предприятий определяет их место заложения, осуществляет контроль их проведения с заданными размерами и соответствующим паспортом крепления по заданному направлению и соблюдением проектного профиля. Метод задания направлений зависит от условий проведения выработки и ее назначения. Часто задание направления облегчается наличием какого-либо естественного ориентира, например, плоскость кровли или почвы пласта, называемого «проводником».

Наличие «проводников» при проведении выработок по падению наклонного или крутопадающего пласта позволяет контролировать направление только в горизонтальной плоскости и, наоборот, при проведении в этих условиях выработки по простиранию пласта направление задают только в вертикальной плоскости.

Задание горизонтального направления на прямолинейном отрезке выработки осуществляют при помощи теодолита, буссоли или гироскопического прибора. В натуре теодолитом откладывают проектный угол или проектное направление гиroteодолитом или буссолью.

Направление, задаваемое в выработке, закрепляют не менее, чем тремя маркшейдерскими знаками, называемыми скобами. Отвесы, подвешенные в этих точках, образуют створ, используемый непосредственно проходчиками.

Для задания направления выработке в горизонтальной плоскости теодолит устанавливают в исходной точке и от существующего направления откладывают рассчитанный угол. Если направление задается перпендикулярно существующей выработке и расстояние от исходной точки, как правило, меньше предела визирования зрительной трубы, временное направление задают при помощи визирного прицела. Это направление фиксируется двумя точками. После проходки новой выработки на некоторое расстояние (5—10 м) опять при помощи теодолита задают постоянное направление тремя точками (скобами).

Направление в горизонтальной плоскости при проходке второстепенных выработок может осуществляться подвесной буссолью. Для этого по плану горных выработок определяют магнитный азимут оси будущей выработки. В шахте в начальной точке выработки закрепляют и натягивают шнур, на него

подвешивают буссоль и, передвигая свободный конец шнура, добиваются отсчета по буссоли, соответствующего заданному магнитному азимуту.

Направление оси выработок может задаваться светящимися отвесами, лампочки которых хорошо видны в горных выработках на расстояниях до 60—70 м. Получили также применение для задания направления лазерные указатели, представляющие собой светопроекционные приборы с лазерным источником света, создающие узконаправленный световой пучок.

При использовании лазерных указателей на расстоянии около 50 см от боковой стенки закрепляют исходную точку, с нее при помощи теодолита двумя временными отвесами закрепляют створ. Затем на каждой точке устанавливают лазерный указатель и винтом наводки устанавливают его по временным отвесам в створе выработки. Создаваемый при помощи лазера световой пучок отчетливо различают на расстоянии до 500 м.

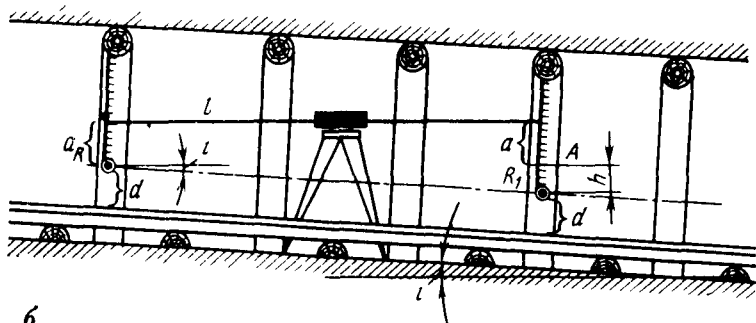
Задание направления выработкам в вертикальной плоскости производится с проектным уклоном.

При углах наклона менее $5-6^\circ$ (при уклоне $i = \pm 0,1$) направление выработке в вертикальной плоскости может осуществляться при помощи нивелира, шаблона с уровнем, ватерпаса, нивелира-уклономера и световых приборов, например, лазерного визира ЛВ (ЛВ-5М).

Если используется нивелир, в горной выработке закладывают стенные реперы на некотором расстоянии от проектного положения почвы выработки или головки рельсов, например, репер R на расстоянии d от головки рельса (рис. 147, а). На расстоянии 5—6 м от репера R на стенке выработки, используя отсчет по рейке a , при помощи горизонтального луча отмечают точку A . По измеренному расстоянию l и известному уклону i вычисляют превышение между репером R и репером R_1 , устанавливаемым на расстоянии l от исходного репера. Вычисленное превышение $h = il$ откладывают от точки A и закрепляют репер R_1 . Реперы R и R_1 указывают в выработке заданный уклон.

При углах наклона выработок более 6° для задания направления в вертикальной плоскости используют теодолит. В исходной точке A (рис. 147, б) устанавливают теодолит, трубу которого ориентируют по направлению горизонтальной оси выработки. Измеряют расстояние h_A , представляющее собой вертикальную скобу. На вертикальном круге теодолита устанавливают отсчет, соответствующий проектному углу наклона выработки, и производят визирование на отвес наиболее удаленной точки (например, точка $З$, см. рис. 147, б). На отвесе отмечают расстояние h_3 . После этого при двух положе-

a



б

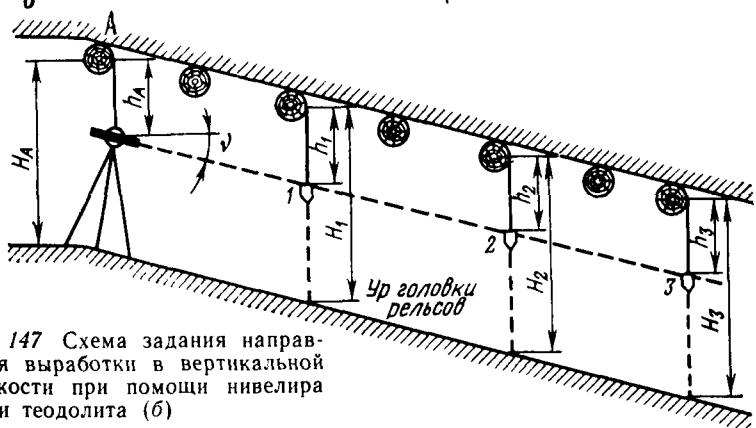


Рис. 147 Схема задания направления выработки в вертикальной плоскости при помощи нивелира (а) и теодолита (б)

ниях вертикального круга для контроля измеряют угол наклона; если он соответствует проектному v , то по отвесу в точке 3 как ориентиру отмечают «скобы» на остальных точках 1 и 2. По известному вертикальному расстоянию от верха головки рельса до точек 1, 2, 3, равного $H_A - h_A$, контролируют правильность укладки рельсов.

Проверка правильности укладки рельсовых путей в выработках производится геометрическим или тригонометрическим нивелированием. Геометрическое нивелирование выполняют по пикетам через 10 или 20 м, невязка хода не должна превышать $50\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км. При выполнении нивелирования одновременно измеряют высоту выработки на каждом пикете и в ее характерных местах.

Съемка рельсовых путей в наклонных выработках выполняется при помощи тригонометрического нивелирования.

Для контроля уклонов рельсовых путей могут также использоваться профилографы, позволяющие определить уклон пути между пикетами с погрешностью не менее 0,0005. В нашей стране для этих целей выпускается путеизмерительный

комплекс ПКШ-2, с помощью которого автоматически регистрируют на диаграммной ленте продольный профиль пути, возвышение одного рельса над другим и отклонение расстояния между рельсами от паспортного.

§ 135. ЗАМЕРЫ СЕЧЕНИЙ ВЫРАБОТОК

Маркшейдерская служба осуществляет контроль соблюдения проектных сечений выработок при их проходке. Занижение сечений выработок ведет к уменьшению допускаемых зазоров между габаритами подвижного состава или конвейеров и стенками горных выработок, что, в свою очередь, может привести к авариям и послужит причиной несчастных случаев. Кроме того, уменьшение поперечных сечений выработок ведет к ухудшению проветривания очистных забоев.

Используют несколько способов измерения поперечных сечений горных выработок.

1. При наличии временных путей получил распространение способ с двумя легкими рейками (рис. 148, а). По длине выработки разбивают пикеты, на каждом из которых отмечают створ направления. От последнего замеряют расстояния до головки рельсов a и b . Затем на рейки устанавливают рейки с дециметровыми делениями, от них рейки с сантиметровыми делениями измеряют расстояния до стенок выработки l .

По результатам съемки в масштабе 1:20 или 1:50 строят фактическое сечение горной выработки.

2. Полярный способ получил распространение при съемках сводных выработок. В этом способе по оси выработки устанавливают распорную стойку, к которой на некоторой высоте h крепят транспортир. Затем рулеткой измеряют последовательно расстояние l от центра транспортира до характерных

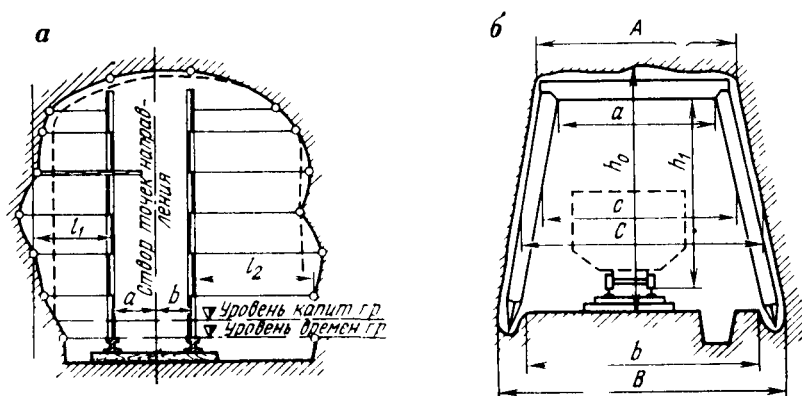


Рис. 148. Схемы съемки сечения выработки двумя рейками (а) и выработки трапецидальной формы (б)

точек контура выработки. При этом фиксируют угол γ наклона рулетки. По высоте h , значениям угла γ и расстояний l строят поперечное сечение выработки.

3. В выработках прямоугольного и трапецеидальной формы обычно применяют способ непосредственных измерений. При измерениях, которые выполняют как вчерне, так и в свету, определяют высоту h_0 (рис. 148, б) от кровли до почвы выработки и h_1 от головки рельсов до верхняка. Измеряют также ширину вчерне и в свету A и a по верху выработки, C и c на уровне верха вагонетки и B и b по почве выработки.

Материалы маркшейдерских измерений проходки и крепления сечения выработок, проверки направления в плане и по высоте заносят в специальную книгу маркшейдерских указаний. В этой же книге маркшейдером даются пояснения с эскизами по поводу отклонений от проекта, а также предложения по их ликвидации. Об исполнении предписаний в книге делает специальные отметки главный маркшейдер предприятия.

§ 136. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК ВСТРЕЧНЫМИ ЗАБОЯМИ

Обеспечение проведения выработок встречными забоями является одной из наиболее ответственных маркшейдерских задач, так как неправильное или недостаточно точное маркшейдерское обеспечение может привести к расхождению забоев, влекущему за собой материальный ущерб и другие отрицательные последствия.

Для каждой сбойки устанавливается предельная погрешность смыкания встречных забоев, которая определяет выбор маркшейдерами приборов и методики измерения.

Выработки встречными забоями могут проводиться:

- 1) двумя забоями навстречу друг другу;
- 2) догоняющими забоями одной и той же выработки;
- 3) одним забоем, навстречу другому, в котором горные работы не проводятся.

Все виды сбоек можно классифицировать на сбойки по проводнику, когда выработки проводят, придерживаясь висячего или лежащего бока пласта, и сбойки без проводника. Последние подразделяют на три типа:

- сбойки выработок, проводимые в пределах одной шахты;
- сбойки выработок в условиях несообщающихся шахт;
- сбойки вертикальных выработок.

Сбойка выработки, проводимая в пределах одной шахты. Этот тип сбойки представлен на рис. 149, а, где между штреками, проведенными по пластам l_8 и l_7 , должен быть проведен встречными забоями квершлаг AB . В данном случае проведение сбиваемой выработки должно быть обеспечено в горизон-

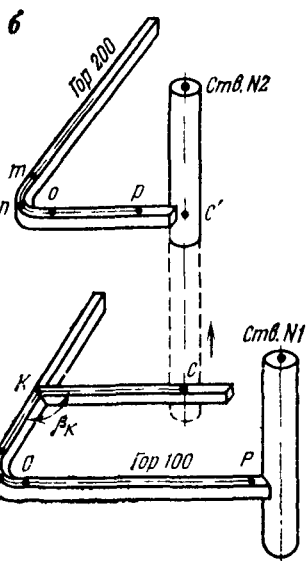
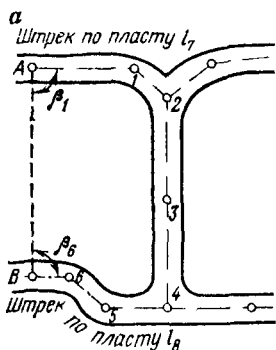


Рис. 149 Схемы сбойки квершлага (а) и вертикального ствола (б)

тальной и вертикальной плоскостях.

Для задания направления квершлага в горизонтальной плоскости необходимо найти координаты x , y точек A и B и дирекционные углы сторон $A1$ и $B6$.

Вычисление дирекционного угла производят по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Горизонтальные углы β_1 , β_6 при точках A и B можно определить следующим образом:

$$\beta_1 = \alpha_{AB} - \alpha_{A1}; \quad \beta_6 = \alpha_{61} - \alpha_{BA}.$$

Задание оси квершлага в точках A и B производят установкой на них теодолитов и откладыванием вычисленных горизонтальных углов β_1 и β_6 . Закрепление створов осуществляют по методике, изложенной в § 134.

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 отметкам почвы (головки рельсов) в точках A и B вычисляют уклон квершлага по формуле

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{z_B - z_A}{l},$$

где l — горизонтальная проекция квершлага AB , равная

$$l = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{AB}}.$$

Задание квершлага в вертикальной плоскости может быть осуществлено одним из способов, изложенных в § 134.

Сбойки выработки, проводимой в условиях несообщающихся шахт. Рассмотрим в качестве примера сбойку квершлага, проводимого встречными забоями из двух несообщающихся шахт.

В результате ориентировок шахт определяют координаты ряда пунктов в выработках околоствольного двора каждой шахты. На основании этих пунктов закладываются в каждой шахте по одному пункту на оси сбойки. По координатам этих пунктов, как это было в предыдущем случае, вычисляют углы для разбивки направления оси квершлага, которые затем при помощи теодолита откладывают в подземных выработках. Также вычисляют уклон квершлага и осуществляют его задание в выработке.

Сбойка вертикальных выработок осуществляется в том случае, если ствол проходится снизу и сверху встречными забоями или производится его углубка снизу вверх или сверху вниз. На рис. 149, б показан пример сбойки при проходке ствола № 2 с горизонта +100 до горизонта +200 м.

Задача маркшейдеров в этом случае заключается в определении на горизонте +100 точки C , лежащей на одной вертикали с центром ствола на горизонте +200 м. Для этого прокладывают полигонометрический ход по горным выработкам от ствола I до некоторой точки, лежащей в выработке шахтного двора (например, точка K). В результате съемок в выработках горизонта +200 определяют точные координаты точки C' . По координатам центра ствола в точке C' и координатам точки K определяют длину KC и дирекционный угол направления KC

$$\operatorname{tg} \alpha_{KC} = \frac{y_{C'} - y_K}{x_{C'} - x_K}; \quad KC = \frac{y_{C'} - y_K}{\sin \alpha_{KC}} = \frac{x_{C'} - x_K}{\cos \alpha_{KC}}.$$

По дирекционному углу направленной KC и MK вычисляют угол β_K

$$\beta_K = \alpha_{KM} - \alpha_{KC}.$$

Получив эти данные в точке K , устанавливают теодолит и откладывают угол β_K ; по визирной оси зрительной трубы теодолита откладывают расстояние KC и отмечают точку C .

Вопросы для самопроверки

1. Как можно задать горизонтальное направление на прямолинейном участке выработки?
2. Что называется встречными забоями?
3. В чем заключаются маркшейдерские работы при выполнении сбойки в пределах одной шахты?
4. В чем заключаются маркшейдерские работы при выполнении сбойки в условиях несообщающихся шахт?
5. В чем заключаются маркшейдерские работы при сбойке вертикальных выработок?

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТ****§ 137. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Маркшейдерское обеспечение шахтного строительства является одной из наиболее ответственных частей маркшейдерского дела. Основные задачи, решаемые маркшейдерами при шахтном строительстве, заключаются в проверке числовых значений и графики проектных решений; в перенесении геометрических элементов проекта в натуру; в контроле за соблюдением установленного проектом соотношения геометрических элементов зданий, сооружений и горных выработок; в наблюдении за осадками сооружений, в съемке промплощадки, горных выработок и пополнении чертежей горной графической документации; в учете объемов горнопроходческих работ.

Строительство горных предприятий должно быть обеспечено следующей технической и проектной документациями: техническим отчетом по топографо-геодезическим работам; топографическим планом территории, предусмотренной для застройки; стройгенпланом; проектным планом расположения проходческого оборудования; проектным планом земляных работ; генеральным планом подземных коммуникаций, чертежами нулевого цикла; проектной документацией на шахтные стволы и другие горные объекты.

Разбивочные работы строящихся объектов должны выполняться с пунктов маркшейдерской опорной сети, разбивочных сетей и пунктов осевых линий шахтных стволов.

Основные разбивочные работы заключаются в построении на местности осей шахтных стволов и сторон разбивочной сети, детальные — в вынесении в натуру основных осей зданий, сооружений, фундаментов под оборудование и осей подъема.

Все измерения при разбивках маркшейдер фиксирует в журнале разбивок. Вынесенные в натуру заданные расстояния, высотные отметки, углы должны быть проконтролированы. После окончания застройки территории составляют исполнительные чертежи.

§ 138. РАЗБИВОЧНАЯ СЕТЬ НА ПРОМПЛОЩАДКЕ

Разбивочная сеть, представляющая собой систему опорных пунктов, заложенных на земной поверхности, используется для выполнения детальных разбивочных работ. При строительстве объектов поверхностного комплекса с размещением оборудования в отдельных зданиях для разбивочных работ используются пункты, заложенные на осях шахтных стволов. При строитель-

стве горных предприятий, у которых основные сооружения поверхностного комплекса объединены в крупные блоки, используют разбивочную сеть в виде систем прямоугольников со сторонами, параллельными осям шахтных стволов.

Для разбивки центра и осей ствола от пунктов опорной сети, удаленных от ствола не более, чем на 300 м, прокладывают полигонометрический ход 2 разряда. Положение осей ствола определяют не менее двух раз, расхождение между двумя определениями центра ствола не должно превышать 0,2 м, расхождение дирекционного угла главной оси ствола — 2'. Погрешность направления второй оси ствола относительно главной не должна быть больше 30".

Каждую ось ствола закрепляют не менее, чем шестью пунктами, по три с каждой стороны от центра ствола. Не допускается расстояние между смежными пунктами на одной оси менее 50 м.

При использовании разбивочной сети ее основные пункты располагают в вершинах прямоугольников с длинами сторон 80—350 м. В створе между основными размещают дополнительные пункты.

Построение разбивочной сети выполняют в следующей последовательности: выносят пункты и направления, от которых производят построение разбивочной сети при помощи полигонометрического хода 2 разряда протяженностью не более 300 м; разбивают и закрепляют постоянными центрами основные пункты сети; по пунктам прокладывают полигонометрический ход 2 разряда; производят обработку результатов измерений, уравнивание системы полигонометрических ходов; редуцируют пункты и производят контрольные измерения. При этом отклонения измеренных углов от 90 или 180° не должны превышать 30".

Высоты пунктов разбивочной сети и пунктов, вынесенных на ось ствола, определяют проложением нивелирных ходов IV класса.

§ 139. ПОНЯТИЕ О РАЗБИВКАХ

Разбивку основных осей зданий, блоков сооружений и фундаментов могут выполнять способом перпендикуляров или полярным способом. При этом определяемые осевые пункты не должны находиться на расстоянии более чем 25 м от сторон разбивочной сети, направления на определяемые пункты от исходных должны задаваться с погрешностью не ниже 1', а расстояния — измеряться с точностью до 1 см. Высоты этих пунктов определяют при помощи технического нивелирования.

Разбивочные работы складываются из ряда геодезических измерений, включающих в себя перенесение в натуру точки,

проектных углов, расстояния, высотной отметки, осей и т. п.

Для перенесения в натуру горизонтального угла на местности в вершине угла устанавливают теодолит. От исходного направления при двух положениях зрительной трубы (КП и КЛ) откладывают значение проектного угла. Главным образом из-за коллимационной погрешности при разбивке горизонтального угла получают две рядом расположенные точки. Отрезок между ними делят пополам и его середина соответствует искомому направлению, определяемому заданным горизонтальным углом. Для контроля измеряют полученный угол и сравнивают его значение со значением проектного угла.

Способ перенесения в натуру заданного горизонтального отрезка определяется его длиной, рельефом местности и точностью измерения.

Если длина разбиваемой линии не превышает 50 м и местность имеет угол наклона не более 3° , то по заданному направлению рулеткой или мерной лентой откладывают от исходной точки проектное расстояние и на местности закрепляют точку.

Если местность представлена ровным склоном с углом наклона более 3° и длина разбиваемой горизонтальной линии не превышает 50 м, то используют угол наклона склона. По измеренному углу наклона и заданному горизонтальному отрезку вычисляют его наклонную длину, которую по заданному направлению откладывают при помощи рулетки или мерной ленты.

В случае, когда местность представлена спокойным склоном с углом наклона к горизонту более 3° , а разбиваемая горизонтальная длина существенно большая, по заданному направлению ориентировочно (можно использовать нитяный дальномер теодолита) в месте предполагаемой точки закрепляют вспомогательную точку. Теодолитом измеряют угол наклона участка местности, а рулеткой (мерной лентой) измеряют до нее расстояние. По вычисленному горизонтальному проложению предварительно разбитого отрезка и заданной горизонтальной длине вычисляют отрезок, являющийся разностью между ними. Длину этого отрезка откладывают от промежуточной точки, после чего закрепляют точку, обозначающую конец разбиваемого отрезка прямой.

На сильно пересеченной местности по заданному направлению, длину которого на местности отмечают ориентировочно, выбирают участки, имеющие ровный скат. Измеряют их длину и угол наклона. Это, в свою очередь, помогает определить их горизонтальные проложения. По сумме их горизонтальных проекций и заданному горизонтальному проложению, как в предыдущем случае, вычисляют отрезок, который откладывают от промежуточной точки.

Для перенесения точек с проекта на местность используют несколько способов.

При полярном способе на местности от известного направления откладывают проектный угол и проектную длину.

В способе угловой засечки положение на местности точки определяют в месте пересечения двух направлений, проведенных под заданными углами из пунктов, обозначающих исходное направление.

Способ прямоугольных координат целесообразно применять в тех случаях, когда разбиваемые на местности точки лежат вблизи опорной сети. В шахтном строительстве получил распространение способ, при котором одна из прямоугольных (разбивочных) осей фиксируется натянутой проволокой.

Точки с проектными отметками переносят в натуру при помощи геометрического нивелирования с использованием горизонта нивелира. Для этого нивелир устанавливают посередине между исходным репером, отметка которого известна, и выносимой точкой, отметка которой задана проектом.

Взяв отсчет по рейке, например a , установленной на исходном репере, вычисляют горизонт нивелира по формуле $ГН = H_R + a$, где H_R — высота исходного репера.

По известной из проекта высоте определяемой точки H_i и горизонту нивелира вычисляют необходимый отсчет по рейке, которая должна находиться на этой точке, т. е. $b = ГН - H_i$.

При вынесении проектной отметки на стенку выработки или какое-либо сооружение рейку, установленную в месте выноса поднимают вверх или опускают вниз, добываясь того, чтобы отсчет 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, установленный на нем, не будет равен b .

Разбивочные работы на промплощадке начинают с центра и осей ствола, при этом их разбивку и закрепление выполняют по координатам x , y центра ствола и дирекционным углам осей ствола.

До начала земляных работ на промышленной площадке горнодобывающего предприятия выносят и закрепляют в натуре основные оси зданий и сооружений с таким расчетом, чтобы они были сохранены на весь период строительства. Так, при разбивке фундамента здания сначала выносят точки A и B (рис. 150), используя для этого определенные заранее угловые и линейные элементы. Затем намечают в натуре оси здания, например, I—I и II—II (см. рис. 150). Опираясь на вынесенные оси здания, разбивают чаще всего способом перпендикуляров оси стен здания. Основные оси зданий закрепляют осевыми

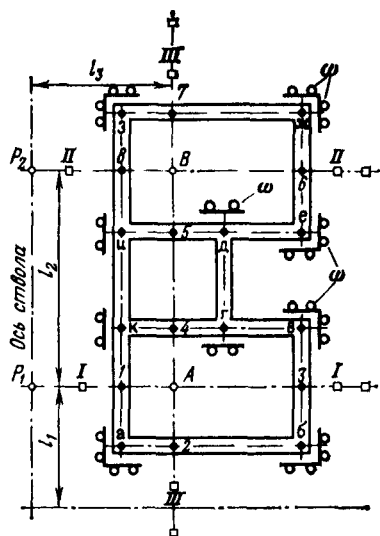


Рис. 150. Схема разбивки осей здания:

I, II, III — осевые пункты; *1* — обноска; *L1, L2, L3* — расстояния между разбивочной сетью и осями здания; *а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к* — угловые точки здания; *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7* — точки пересечения осей здания с осями стен; ω — обноска

пунктами, а оси фундаментов выносят на обноску, представляющие собой столбы с прибитыми к ним горизонтальными досками. Обноску располагают на некотором удалении (не менее 3 м) от наружных стен здания, на их противоположных сторонах натягивают проволоку между соответствующими осевыми точками, в результате отмечают направление осей, а в точках их пересечения — угловые точки. При строительстве блоков крупных промышленных зданий протяженностью более 80 м на обносках закрепляют также оси капитальных стен.

Разбивочные работы при ленточных фундаментах заключаются в проверке правильности разработки котлована, установке опалубки и выносе на опалубку проектных отметок верха фундамента. Отклонение осей фундамента от проектных не

должно быть больше 2 см, отклонение осей стен, колонн, балок, прогонов — не более 1 см. Уменьшение поперечного сечения фундамента не допускается, увеличение не должно быть больше 5 мм. Установка опалубки по вертикали, проверяемая с помощью отвеса, должна быть выполнена с погрешностью, не превышающей 2 мм на 1 м высоты фундамента.

При сборных фундаментах разбивочные работы заключаются в фиксировании их наружных и внутренних поверхностей при помощи натянутых между обносками шнуров или проволоки.

§ 140. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОПРОВ

Копры в конструктивном отношении подразделяют на укосные и башенные. Укосные копры изготавливают, главным образом, из металла, включают они вертикальный станок, являющийся продолжением шахтного ствола и укосины, подпирающей станок и создающей противодействие опрокидывающей силе. Укосные копры работают с подъемными машинами, располагаемыми в специальных зданиях.

Башенные копры размещают в себе весь подъемный комплекс, включая подъемную машину.

Маркшейдерские работы при возведении металлических укосных копров заключаются в разбивке осей подкопровой рамы и фундаментов под укосину копра, в контроле правильности установки металлоконструкций, а также в выносе монтажных осей подшкивной площадки, копровых шкипов и разгрузочных кривых.

Монтаж укосных копров выполняют или последовательным наращиванием отдельных звеньев непосредственно на его месте, или путем предварительной сборки на монтажной площадке с дальнейшим его подъемом и установкой на подкопровой раме.

До монтажа укосных копров подготавливают фундаменты под укосину и подкопровую раму в устье ствола. Правильность установки и положения подкопровой рамы проверяется относительно осевых пунктов, закладываемых в постоянной крепи устья ствола. Погрешность ее установки не должна превышать в горизонтальной плоскости 5 мм, в вертикальной 30 мм, а разность отметок углов рамы не должна быть больше 5 мм. Если монтаж укосного копра ведут способом предварительной сборки, то перед его подъемом и закреплением необходимо на подшкивной площадке наметить проектное положение осей ствола. Закрепление копра разрешается только после сравнения положений перенесенных и проектных осей подшкивной площадки. При этом отклонение указанных осей от проектного положения не должно быть больше: в направлении, перпендикулярном оси подъема, 25 мм; в направлении, параллельном оси подъема, 50 мм.

В тех случаях, когда монтаж копра ведется последовательным наращиванием отдельных звеньев, маркшейдерское обслуживание заключается в проверке правильности установки каждого монтажного звена.

Правильность установки направляющих копровых шкивов осуществляется после окончательного закрепления укосины и основания копра. Для этого на подшкивную площадку с помощью теодолита с осевых пунктов, расположенных не более, чем на 100 м от ствола, выносят оси ствола и подъема. Расстояния от реборды шкива до оси подъема (разбивочной оси) не должны отличаться от проектных более чем на 10 мм. Положение оси шкива в горизонтальной плоскости должно определяться с погрешностью не более 1 мм.

Башенные копры могут быть двух видов: в скользящей опалубке и со стальным каркасом.

Маркшейдерские работы при возведении башни копра, возводимого при помощи скользящей опалубки, включают: проверку правильности установки в исходное положение скользя-

щей опалубки на фундаментной плите; контроль за положением опалубки в плане и по высоте при возведении стен башенного копра; проверку положения проемов и отверстий для установки закладных конструкций; разбивку стационарных опалубок для устройства междуэтажных перекрытий, бункеров и машинного зала; наблюдения за осадкой копра.

Для контроля установки скользящей опалубки на фундаментной плите вдоль осей ствола натягивают проволоки, от которых измеряют расстояния до рабочих поверхностей каждого щита по верху опалубки. Правильность установки рабочего пола опалубки и по высоте домкратных рам проверяют нивелированием рабочего пола в углах секций и ригелей домкратных рам.

После возведения стен на высоту до 2 м закрепляют на наружной и внутренней поверхностях стен копра скобы, на которые с ближайших осевых пунктов при помощи теодолита выносят оси ствола.

Положение скользящей опалубки в процессе возведения копра контролируют с помощью отвесов или приборов вертикального визирования (зенит-приборы). Места расположения отвесов или визирных марок определяют в зависимости от размеров опалубки и высоты копра. Для копров высотой менее 50 м оказывается достаточным 4—5 визирных марок, при большей высоте копра (рис. 151, а) марки размещают по углам стволового отделения и по углам у наружных стен копра. Марки крепят к элементам скользящей опалубки, причем их ориентируют так, чтобы их шкалы были параллельны осям ствола, а возрастание оцифровки было бы противоположно направлениям осей x и y (см. рис. 151, а). При использовании зенит-прибора последний последовательно устанавливают на консольные пункты (рис. 151, б), после чего берут отсчеты по шкалам марок. Одновременно с наблюдениями по шкалам определяют отметки положения скользящей опалубки.

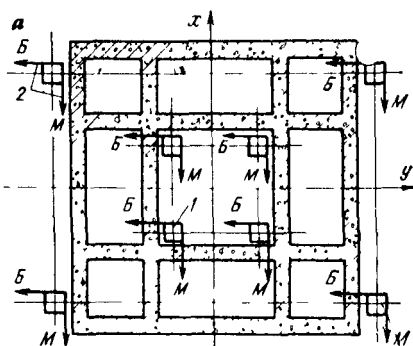
Для определения высоты рабочего пола опалубки к арматуре по углам как шахтной, так и наружной части башенного копра прикрепляются контрольные рейки, которые систематически наращиваются по мере подъема опалубки. Кроме того, через каждые 20 м подвигания опалубки маркшейдер определяет высоты рабочего пола от репера, забетонированного в нижней части копра.

По результатам наблюдений за положением опалубки составляют чертеж проекций ряда сечений копра на горизонтальную плоскость или чертеж профильных линий стен копра.

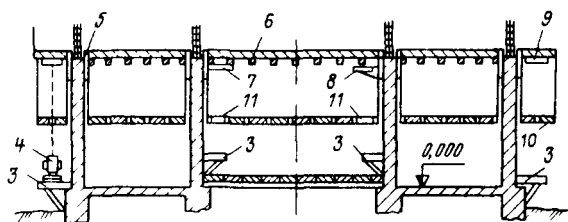
Маркшейдерские работы при сооружении каркаса металлических башенных копров начинают с разбивки на фундаменте копра монтажной сетки, точки которой должны совпадать с центрами колонн.

Рис 151 Схема размещения марок при возведении копров прямоугольного сечения (а) и положение визирных марок и зенит прибора при контроле за скользящей опалубкой (б)

1 — визирная марка, 2 — направление возращения оцифровки большой (Б) и малой (М) шкал, 3 — консольный пункт, 4 — зенит прибор, 5 — щит опалубки, 6 — рабочий пол опалубки, 7 — визирная марка, укрепленная к низу рабочего пола, 8 — визирная марка на консоли, укрепленной к кружалам опалубки, 9 — визирная марка, укрепленная на козырьке опалубки, 10 — наружные подвесные подмости, 11 — отверстия в подмостях для наблюдений за визирными марками



б



Контроль установки колонн в отвесное положение выполняют с помощью двух теодолитов, устанавливаемых на взаимно перпендикулярных осях колонн или осях монтажной сетки.

После монтажа каждого яруса каркаса вычерчиваются в вертикальной проекции схемы рядов колонн в плоскостях, параллельных обеим осям ствола. По мере возведения металлического каркаса на горизонте перекрытий разбиваются оси ствола, которые после сооружения железобетонных перекрытий и установки стеновых панелей переносятся на скобы.

§ 141. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Маркшейдерские разбивочные работы при монтаже оборудования подъемной установки заключаются в перенесении в здание подъемной машины оси подъема и оси главного вала, разбивке фундамента подъемной машины и отдельных ее элементов. Разбивочные работы начинаются с перенесения в натуру точки пересечения оси ствола и вала подъемной машины.

После возведения стен здания машинного отделения на 1—1,5 м выше поверхности Земли внутрь здания теодолитом переносят ось ствола и ось главного вала подъемной машины, которые закрепляются на скобах на внутренних стенках.

После возведения стен здания закладывается второй ряд скоб (монтажные скобы) несколько ниже верхнего перекрытия. На эти скобы с нижних скоб с помощью теодолита или отвесов переносятся осевые точки.

Разбивка осей подъемного и главного вала машины проводится дважды. Среднее значение дирекционного угла оси главного вала не должно отличаться от проектного более чем на $2'$, угол между закрепленными прямоугольными осями не должен отличаться от прямого более чем на $1'$. Расстояние от центра ствола до вала машины не должно отличаться от проектного более чем на 100 мм, а смещение точки пересечения оси вала и оси подъема в боковом направлении — более чем на 50 мм. Допустимое отклонение оси вала от горизонтального положения устанавливается техническими условиями на монтаж.

При установке основной рамы подъемной машины контролируется горизонтальность и правильность расположения рамы относительно оси подъема и оси главного вала машины. Положение рамы по высоте проверяется нивелированием угловых точек рамы в плане относительно осей с помощью отвесов. Отклонение рамы в горизонтальной плоскости от ее проектного положения не должно превышать 10 мм, а по высоте 100 мм. Максимальная разность отметок между точками углов рамы не должна превышать 15 мм.

Контроль установки подшипников главного вала по высоте осуществляется нивелированием нижних точек внутренней поверхности, в горизонтальной плоскости — по отвесам, опущенным со шнура, натянутого между осевыми скобами оси главного вала подъемной машины. Отклонение подшипников в плане и по высоте от проектного положения не должно превышать 1—2 мм. Контроль фактического положения оси вала подъемной машины осуществляется так же, как и при установке подшипников.

После окончания монтажа проверяется положение барабана относительно оси подъема. Используют два отвеса, от которых измеряют расстояния до реборды барабана.

§ 142. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ШАХТНОГО ПОДЪЕМА

В связи с тем, что в настоящее время существуют два класса подъемных установок — одноканатные и многоканатные, имеются некоторые особенности в соотношении геометрических

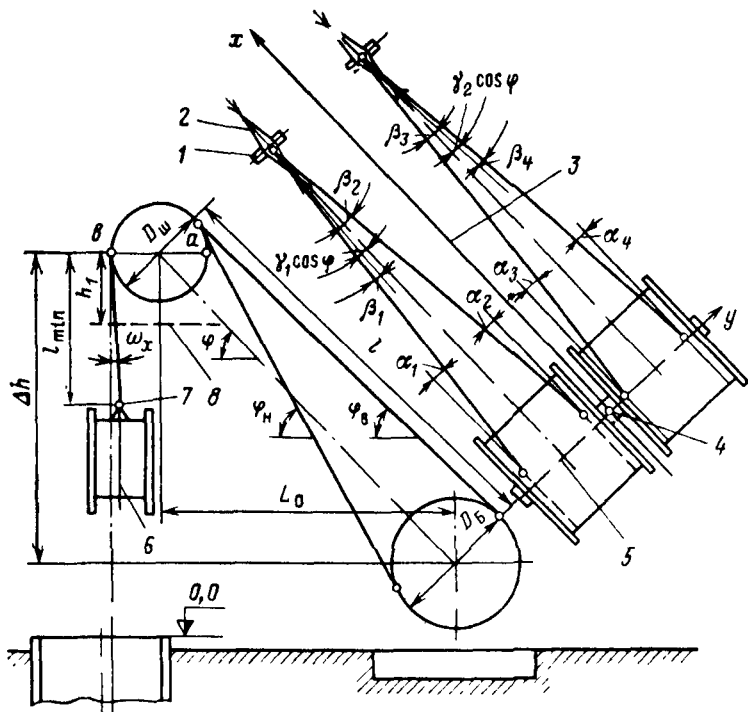


Рис. 152. Геометрические элементы и параметры одноканатной подъемной установки.

1 и 2 — ось вала и ось симметрии копрового шкива, 3 — ось подъема, 4 и 5 — соответственно центр и ось главного вала подъемной машины, 6 — вертикальная ось подъемного сосуда; 7 — точка закрепления подъемного каната, 8 — горизонт измерений; $l_{\min}$ — минимальная длина головного каната, L , f — длина и угол наклона линии, соединяющей оси вала шкива и главного вала, α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 — углы девиации канатов соответственно на барабанах подъемной машины и шкивах; ω_x — угол отклонения от вертикали головного подъемного каната в плоскости

элементов этих установок. Однако во всех случаях для нормальной и безопасной деятельности горного предприятия необходимо, чтобы соотношения геометрических элементов подъема соответствовали проектным.

Одноканатные подъемные установки характеризуются следующими основными геометрическими элементами (рис. 152).

Ось подъема вертикального ствола 3, представляющая собой прямую, проходящую через точку, расположенную посередине между двумя отвесными подъемными канатами, перпендикулярно к оси главного вала подъемной машины 5.

Центр подъема — точка пересечения оси подъема и прямой, проходящей через оси двух отвесных подъемных канатов.

Центром вала подъемной машины 4 является точка, расположенная посередине между внутренними сторонами внешних реборд барабанов.

Ось симметрии копрового шкива 2 — прямая, проходящая перпендикулярно к оси вала шкива и посередине между внутренними гранями его реборд.

Углами наклона подъемных канатов являются углы, составленные осями канатов с горизонтальной плоскостью. Различают угол верхнего φ_v и угол нижнего φ_n канатов. Определяют их из выражений

$$\varphi_v = \varphi - \Delta\varphi_v; \quad \Delta\varphi_n = \varphi + \Delta\varphi_n,$$

где φ — угол наклона линии, соединяющей оси вала шкива и главного вала подъемной машины; $\Delta\varphi_v$, $\Delta\varphi_n$ — углы наклона верхней и нижней струн канатов относительно линии, соединяющей оси вращения шкива и главного вала машины.

Угол φ определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H_{\text{ш}} - H_6}{L_0},$$

где L_0 — горизонтальная проекция линии, соединяющей оси вала шкива и главного вала подъемной машины; $H_{\text{ш}}$ — высота оси шкива от нулевой площадки; H_6 — то же, для оси главного вала подъемной машины (оси барабана подъемной машины).

Величины $\Delta\varphi_v$ и $\Delta\varphi_n$ можно определить из выражений

$$\operatorname{tg} \Delta\varphi_v = \frac{R_6 - R_{\text{ш}}}{L}; \quad \operatorname{tg} \Delta\varphi_n = \frac{R_6 + R_{\text{ш}}}{L},$$

где R_6 , $R_{\text{ш}}$ — соответственно радиус барабана подъемной машины и шкива; L — расстояние между центрами шкива и вала подъемной машины, которое принято называть длиной струны каната. Углы, образующиеся между осью каната и вертикальной плоскостью, перпендикулярной к оси главного вала подъемной машины α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , и углы, образующиеся между осью каната и осевой плоскостью шкивов β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , называются углами девиации (отклонения). Углы девиации вычисляют по следующим формулам:

на барабанах подъемных машин

$$\alpha = \rho \frac{y_6 - y_{\text{ш}}}{L};$$

на копровых шкивах

$$\beta = \alpha - \gamma \cos \varphi,$$

где y_6 , $y_{\text{ш}}$ — ординаты точек схода каната с барабана и шкива в системе координат, ось Oy которой совмещена с осью главного вала, а ось Ox с осью подъема (см. рис. 152); γ — угол поворота плоскости шкива относительно оси Ox ; L и φ — длина и угол наклона линии, соединяющей оси вала и шкива и главного вала.

Угол γ определяют измерениями на подшипкиной площадке копра относительно вспомогательной оси. По результатам измерений ведется вычисление по формуле

$$\gamma = \rho \frac{y_a - y_b}{D_{ш}},$$

где y_a, y_b — расстояния (ординаты) от оси подъема до плоскости шкива на концах его горизонтального диаметра; $D_{ш}$ — диаметр копрового шкива.

Для равенства углов девиации на шкиве осевая плоскость шкива устанавливается по направлению центра рабочей части барабана подъемной машины. При расположении осевой плоскости шкива параллельно оси ствола углы отклонения каната на шкиве и на барабане равны между собой.

Углы отклонения головных канатов от отвесного положения $\omega_x (\omega_y)$ определяют по разностям абсцисс (ординат) осей канатов при нижнем и верхнем положениях подъемного сосуда и расстоянию h_1 от оси вала копрового шкива до горизонта измерений на ярусе копровых расстрелов.

Углы наклона осей валов подъемной машины ϵ и копровых шкивов δ должны определяться по разности высот шеек вала.

Допустимые отклонения геометрических параметров одноканатной подъемной установки не должны превышать величин, приведенных в табл. 45.

Многokrатные подъемные установки устанавливают на башенных копрах на высоте около 100 м. Такое расположение подъемной машины, а также высокая вероятность неравномерного распределения нагрузок на подъемные канаты предъявляют высокие требования к соблюдению необходимых геометрических элементов подъема.

Схема наиболее распространенной четырехканатной установки со шкивами, отклоняющими одну систему канатов, пока-

Таблица 45

Обозначения	Допустимые отклонения
α, β	1°30'
$\alpha_1 (\beta_1), \alpha_4 (\beta_4)$	2° для машин БЦК при желобчатой поверхности малого барабана
α, β	2°30' для проходческих грузовых лебедок
ω_x, ω_y	1° при жесткой армировке
ω_x, ω_y	30' при канатной армировке
ϵ	2' при монтаже
δ	4' при монтаже
ϵ	20° при диаметре барабана менее 5 м
	14' при диаметре барабана более 5 м
δ	20' в период эксплуатации

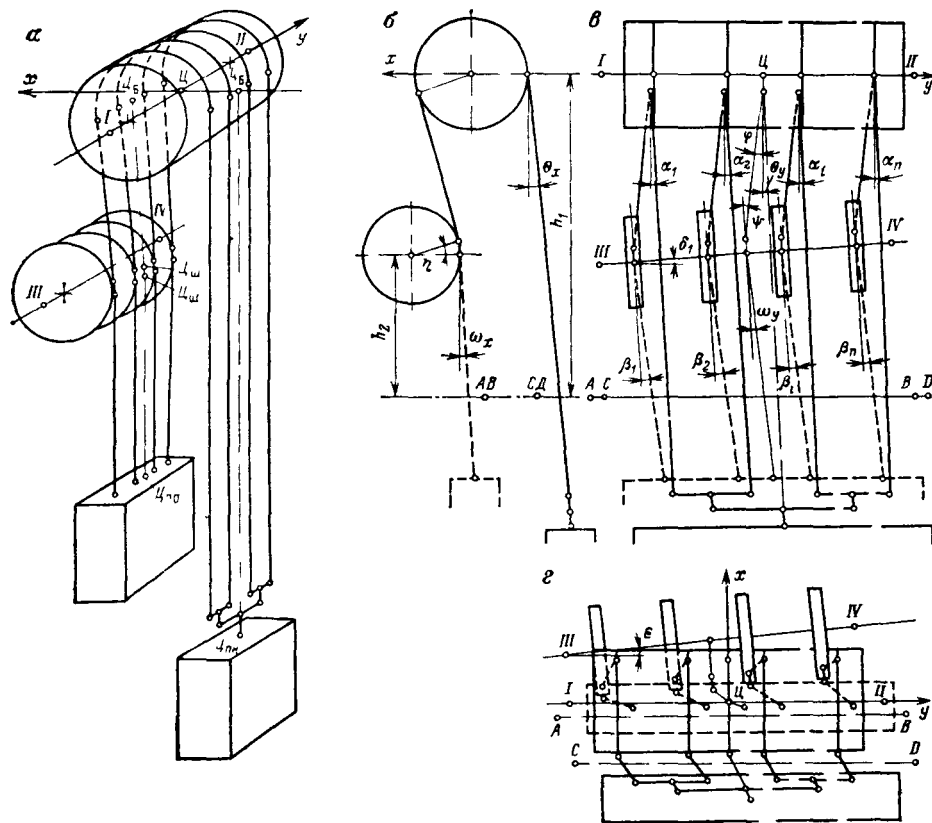


Рис 153 Геометрические
элементы многоканатной
подъемной установки
а — общий вид, б, в — про
екции на вертикальную
плоскость (x, y), г — вид
в плане

зана на рис. 153. Основными геометрическими элементами этой установки являются: ось главного вала I—II; ось вала отклоняющихся шкивов III—IV; центр главного вала Ц; средние точки схода головных и промежуточных канатов с барабанами ведущих шкивов Ц_б, Ц_{б'}; средние точки схода головных и промежуточных канатов с отклоняющихся шкивов Ц_ш, Ц_{ш'}; центр подвешного устройства неотклоненной системы канатов Ц_{п.н}; центр подвешного устройства отклоненной системы канатов Ц_{п.о}; углы девиации; углы наклона осей главного вала и вала отклоняющихся шкивов δ, δ'; углы отклонения от вертикали осей систем канатов в проекции на координатные плоскости θ_х, θ_у, ω_х, ω_у; углы девиации головных канатов на ведущих и отклоняющихся шкивах α_г, β_г; углы девиации оси системы промежуточных канатов на ведущих и отклоняющихся шкивах φ, ψ; угол обхвата отклоняющего шкива канатом η; угол поворота оси вала отклоняющихся шкивов относительно оси главного вала ε.

Для проверки соотношения геометрических элементов на перекрытии башенного копра закрепляют вспомогательные оси *AB* и *CD* (см. рис. 153) параллельно главному валу машины. От этих осей выполняют ординатную съемку канатов при верхнем и нижнем положениях подъемных сосудов. Кроме того, выполняют нивелирование главного вала и вала отклоняющихся шкивов.

Для вычисления углов отклонения и углов девиации используются следующие выражения:

$$\theta_x = \frac{\sum_1^n x_{i'} - \sum_1^n x_i}{nh_1} \rho'; \quad \theta_y = \frac{\sum_1^n y_{i'} - \sum_1^n y_i}{nh_1} \rho';$$

$$\omega_x = \frac{\sum_1^n x_{i'ш} - \sum_1^n x_{iш}}{nh_2} \rho'; \quad \omega_y = \frac{\sum_1^n y_{i'ш} - \sum_1^n y_{iш}}{nh_2} \rho'; \quad (97)$$

$$\alpha_i = \theta_y + \delta + \lambda_i; \quad \beta_i = \omega_y + \delta' + \lambda'_i; \quad (98)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{\sum_1^n y_{iш} - \sum_1^n y_i}{nl} \rho' + \delta; \\ \psi &= \frac{\sum_1^n y_i - \sum_1^n y_{iш}}{nl} \rho' + \delta' + \varepsilon \sin \eta, \end{aligned} \right\} \quad (99)$$

где $x_{i'}$, $y_{i'}$, x_i , y_i — координаты центров неотклоненных канатов при верхнем и нижнем положениях подъемного сосуда; n — число канатов; h_1 и h_2 — превышения оси главного вала и

оси вала отклоняющих шкивов над горизонтом измерений; $x_{i' ш}, y_{i' ш}, x_{i ш}, y_{i ш}$ — координаты центров отклоненных канатов при верхнем и нижнем положениях подъемного сосуда; λ_i и $\lambda_{i'}$ — поправки за крайние положения канатов; l — длина промежуточной струны каната.

Допустимые величины углов девиации и углов отклонения от вертикали осей канатов приведены ниже.

Обозначение угла	θ_y	ω_y	θ_x	ω_x	α	β
Допустимое отклонение	0°30'	0°30'	1°30'	1°30'	1°30'	1°30'
Обозначение угла	φ	ψ	δ	δ'		
Допустимое отклонение	0°30'	0°30'	0°02'	0°10'		

§ 143. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Основные задачи маркшейдерской службы при сооружении шахтных стволов заключаются в обеспечении проектного положения ствола и его оснастки, для этого маркшейдерами производится вынесение осей оборудования при оснащении проходки; задание направлений проходки ствола; вынесение и обозначение разбивочных сетей для монтажа подъемно-транспортного оборудования; контрольные измерения в стволе; разбивка околоствольных выработок и камер.

Все измерения при проходке ствола маркшейдер заносит в «Журнал проходки шахтного ствола». В его начале, преимущественно в табличной форме, помещают: основные данные о проходке ствола, сроки сооружения ствола, характеристику технологического оборудования, основные данные по водоподдавлению и результаты химического анализа воды, характеристику крепи ствола, горизонтальные сечения ствола в различные периоды строительства шахты. После изложения приведенной информации на четных страницах приводят данные по продольному сечению ствола, на нечетных страницах помещают эскизы деталей проходки ствола, а также необходимые примечания.

К деталям проходки ствола относят горизонтальные сечения ствола в свету и в проходке не реже чем через 10 м по глубине с указанием расстояний от отвесов до крепи и толщины крепи; опорные башмаки; околоствольные камеры, водоулавливающие кольца, сопряжения с околоствольными выработками; места и характер деформаций стенок ствола; структуру угольных пластов, пересекаемых стволом, места выбросов угля, газа и пород.

В период оснащения шахтного ствола горнопроходческим оборудованием маркшейдер особое внимание должен уделять

контролю установки рамы проходческой лебедки: отклонение оси рамы лебедки от оси подъема не должно превышать 50 мм, отклонение же высоты углов рамы от проектного положения — 0,3 м, а углов рамы друг относительно друга — не более чем на 15 мм. Отклонение оси вала проходческой машины от оси разбивочной сети не должно быть более 10', превышение одного конца вала над другим не должно быть более 0,001 его длины.

Проходческий копер монтируют относительно осей ствола. Не допускается смещение его подшивной площадки в горизонтальной плоскости более чем на 60 мм.

Разбивка шейки устья ствола, возведение оголовка и установка нулевой рамы выполняется относительно осевых линий ствола со следующими погрешностями: смещение осей нулевой рамы относительно проектного положения не должно превышать 5 мм, отклонение рамы от проектного не должно быть более 50 мм, а разница высотных отметок точек опоры разгрузочного станка не должна превышать 5 мм.

Для контроля проходки вертикального шахтного ствола в нем создается геометрическая основа в виде системы проходческих отвесов, световых указателей или проекциометров. На практике наибольшее распространение получили отвесы, количество которых и схема расположения зависят от формы поперечного сечения. Так, при круглом сечении обычно применяется один центральный проходческий отвес, при прямоугольном — четыре, по углам ствола.

Отклонение вертикальных направлений ствола от проектных проверяют измерениями относительно осевых пунктов, закрепленных или в шейке ствола, или на основной проходческой раме.

В процессе проходки ствола маркшейдер выполняет измерения для подсчета объемов горных работ; определяет местоположение и размеры вывалов породы и забутовки пустот; осуществляет контроль за положением передвижной опалубки, размерами сечений ствола и вертикальности стенок крепи; закрепляет в крепи ствола у сопряжений с околоствольными выработками реперы и определяет их высотные отметки; выполняет разбивку сопряжений с околоствольными выработками, проемов для устанавливаемого в стволе оборудования; проводит наблюдения за деформацией шахтного ствола и надшахтных зданий.

Положение стенок ствола определяют замерами не реже, чем через 8 м. Измерения проводят от центрального, проходческого отвеса. По результатам измерений вычисляют фактические площади сечения ствола. Причем, замеренная площадь не должна отличаться от проектной: при площади сечения ствола до 20 м² не более чем на 4—10 %, при сечении от 20 до 40 м² на 3—4 % и при площади сечения свыше 40 м² — на 2—5 %.

Если постоянная крепь возводится с помощью подвижной опалубки, ее положение проверяется маркшейдером не реже чем через 3—4 проходческих цикла при помощи измерений расстояний от центрального отвеса по восьми (через 45°) направлениям.

При возведении крепи из железобетонных тюбингов через каждые 20—24 м ствола сооружают опорные венцы, которые устанавливают при участии маркшейдера. При их установке должно быть обеспечено отклонение расстояний от центрального отвеса до внутренних граней тюбингов не более 10 мм от проектных.

Маркшейдерской съемке подлежат все установленные тюбинги опорного венца и каждый десятый тюбинг рядовых колец. Контроль положения в плане тюбингового кольца выполняется измерением расстояния от центрального отвеса до угловых точек на стыках тюбингов в кольце, контроль положения тюбингов в вертикальной плоскости осуществляется через каждые 6—8 колец. Если окажется, что отклонение тюбинговой колонны от вертикального положения больше чем на 30 мм, то необходимы исправления крепи.

§ 144. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ ШАХТ СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ

В сложных горно-геологических условиях не всегда имеется возможность проходки стволов традиционным способом. В связи с этим используют специальные методы проходки стволов, в основе которых лежат способы направленного искусственного упрочнения вмещающих пород, таких как замораживание, тампонирувание и т. п. Получила также распространение проходка вертикальных стволов в сложных условиях способом бурения.

Каждый из специальных методов проходки вертикальных стволов обладает некоторой спецификой в выполнении маркшейдерских работ.

При проходке вертикальных стволов с искусственным замораживанием пород маркшейдер помимо разбивки центра и осей ствола также выполняет разбивку устьев замораживающих скважин, проверку соотношения геометрических элементов бурового оборудования и проверку вертикальности кондукторов скважин, съемку замораживающих скважин, а также составление погоризонтных планов ледопородного ограждения.

Для разбивки центров скважин в центре ствола устанавливают теодолит, ориентируют его по одной из осей ствола и затем откладывают угол, с помощью рулетки — поочередно расстояние для каждой скважины в соответствии с проектными

данными. Устье каждой скважины обозначается на местности колышками, точность нанесения скважин ± 50 мм.

До монтажа буровой установки при помощи технического нивелирования должна быть выполнена проверка направляющих рельсов платформы буровой вышки. Нивелирование выполняют через каждый метр, получаемые при этом высоты не должны отличаться друг от друга больше, чем на 10 мм. Кроме того, разность высот углов платформы буровой установки не должна быть более 5 мм. Погрешность центрирования ротора буровой установки не должна превышать 10 мм, разность высот осевых точек стола ротора — 2 мм, а отклонение осей ведущей трубы и кондуктора от вертикали — 0,001 от длины трубы.

Для съемки глубоких вертикальных замораживающих и контрольных скважин используются гироскопические инклинометры следующих типов: фотоинклинометр И560Ф и дистанционные инклинометры И447Д и ВД-2, которые позволяют измерять зенитные углы в диапазоне от 0 до $4-6^\circ$ с погрешностью $1,5-2'$, дирекционные углы направлений с погрешностью $3-6^\circ$.

В результате инклинометрических съемок замораживающих скважин строят погоризонтные планы ледопородного ограждения, являющиеся основой для оценки полноты ледопородного ограждения.

Широкое распространение получил способ проходки шахтных стволов бурением, позволяющий полностью механизировать все работы по разрушению горных пород и выдаче их из забоя на поверхность, а также исключить опасный и тяжелый подземный труд шахтопроходчиков. Проходка стволов способом бурения обычно осуществляется в мягких водоносных породах (плавуну, водоносные пески, мел, глины и т. д.), так как в крупнозернистых песках гравийно-галечных отложений способ теряет эффективность из-за больших потерь глинистого раствора.

В СССР для бурения стволов используются буровые установки УЗТМ-8,75 и УЗТМ-7,5, агрегат РТБ, основанные на принципе сплошного разбуривания породы шарошками по всему забою.

Бурение стволов начинается с передовой скважины (пилот-скважины) длиной на 5—10 м больше проектной глубины ствола и диаметром 0,5—1,2 м, которая используется для направления бурового инструмента при последующем расширении ствола. По окончании бурения ствола возводится крепь. Маркшейдерское обслуживание проходки шахтных стволов бурением заключается в проверке соотношения геометрических элементов буровой установки, определении осадок ее фундамента и крена буровой вышки, контроля вертикальности оси ствола и съемке его породных стенок.

Проверка соотношения геометрических элементов буровой установки включает в себя контроль положения ведущей трубы буровой колонны, центра ротора и центра форшахты, которые должны находиться на одной отвесной линии. Это условие проверяется при помощи теодолитов, расположенных на двух взаимно перпендикулярных осях. Смещение центра ротора относительно центра форшахты не должно превышать 20 мм. Отклонение ведущей оси от вертикали не должно быть более 0,001 ее длины, а отклонение плоскости стола ротора от горизонтального положения — не более чем на 0,002 диаметра этого стола.

Проверка соотношения геометрических элементов включает также контроль горизонтальности рельсовых путей раздвижных платформ. Эту проверку выполняют нивелированием через 1 м головок рельсовых путей. При этом разность высот отдельных точек не должна быть более 5 мм.

Наблюдения за осадками буровой установки выполняют по реперам, закладываемым в фундаментах буровой лебедки и буровой вышки, а также в крепи форшахты.

Крен буровой вышки определяют по марке с горизонтальной шкалой, закрепляемой на кронблочной балке.

Отклонение оси ствола от вертикали определяют по положению центра бурового снаряда с погрешностью, не превышающей 100 мм.

Положение забоя по высоте принято определять по суммарной длине бурового снаряда и труб буровой колонны.

Для съемки стенок ствола используют ультразвуковые локаторы, позволяющие определять расстояния между измерительным снарядом прибора и стенкой ствола с погрешностью 0,02 от измеряемого расстояния и погрешностью ориентирования сечений или профилей 3°.

§ 145. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ АРМИРОВКИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Армировкой шахтных стволов называют совокупность конструкций, обеспечивающих правильное движение подъемных сосудов. Основными элементами армировки являются проводники и расстрелы, последние в зависимости от их расположения в стволе подразделяются на главные и вспомогательные. Главные расстрелы заделываются в крепь ствола обоими концами, вспомогательные — крепятся или между главными расстрелами, или одним концом заделываются в крепь, а другим крепятся к главному расстрелу. Главный расстрел, расположенный в центре или около центра ствола, называется центральным. Совокупность главных и вспомогательных расстрелов, расположенных в одной горизонтальной плоскости, носит название яруса расстрелов, а расстояние между соседними яру-

сами расстрелов — шагом армировки. Проводники, которые могут быть жесткими и канатными, крепятся к расстрелам.

Маркшейдерские работы при укладке расстрелов и навеске проводников заключаются в проверке расстояния по вертикали между ярусами расстрелов, положения проводников осей ствола, мест сочленения расстрелов в ярусе и положения армировочных отвесов. В связи с тем, что положения характерных точек арматуры ствола повторяются от яруса к ярусу, для монтажа и его контроля используются шаблоны. Конструкция и число шаблонов выбираются в зависимости от расположения расстрелов и отвесов, а также технологии армирования. Изготавливаются они главным образом из листовой стали, уголкового железа и металлических труб.

По своему назначению армировочные шаблоны разбиты на следующие группы: 1) шаблоны для разметки длин расстрелов и мест расположения лежек или монтажных отверстий; 2) шаблоны для взаимной установки расстрелов по высоте (дистанционные шаблоны); 3) шаблоны для разбивки лунок под расстрелы; 4) шаблоны для взаимной установки расстрелов в ярусе (горизонтальные шаблоны); 5) шаблоны для установки расстрелов относительно отвесов.

Для выполнения работ, обеспечивающих монтаж армировки, маркшейдер руководствуется чертежами поперечного сечения ствола, размещения монтажного оборудования, расположения монтажных лебедок и т. п. На рис. 154 показана типовая схема размещения маркшейдерских приборов и оборудования при армировании ствола.

Укладку расстрелов контрольного яруса (см. рис. 154) проверяют относительно осей ствола, закрепленных осевыми скобами в его шейке. В зависимости от расположения расстрелов в ярусе и принятой технологии работ по армированию ствола выбирают точки закрепления армировочных отвесов. При этом следует учитывать, что расстояния от отвесов до расстрела и до боковой грани проводника не должны превышать 200 мм.

После укладки расстрелов контрольного яруса на них закрепляют армировочные отвесы и определяют фактическое положение точек схода отвесов и расстояний между ними. Погрешности в положении отвесов не должны превышать по направлению осей ствола 2 мм, по расстоянию между ними 3 мм.

При армировании в восходящем порядке в зумпфовой части ствола устанавливают второй контрольный ярус. При этом расстояния между отвесами перед их закреплением на втором контрольном ярусе не должны отличаться от соответствующих на первом более чем на 5 мм.

При нисходящем порядке армирования отвесы опускают вслед за монтажным полком. Причем, после определения положения состояния покоя отвесов устанавливают ограничители

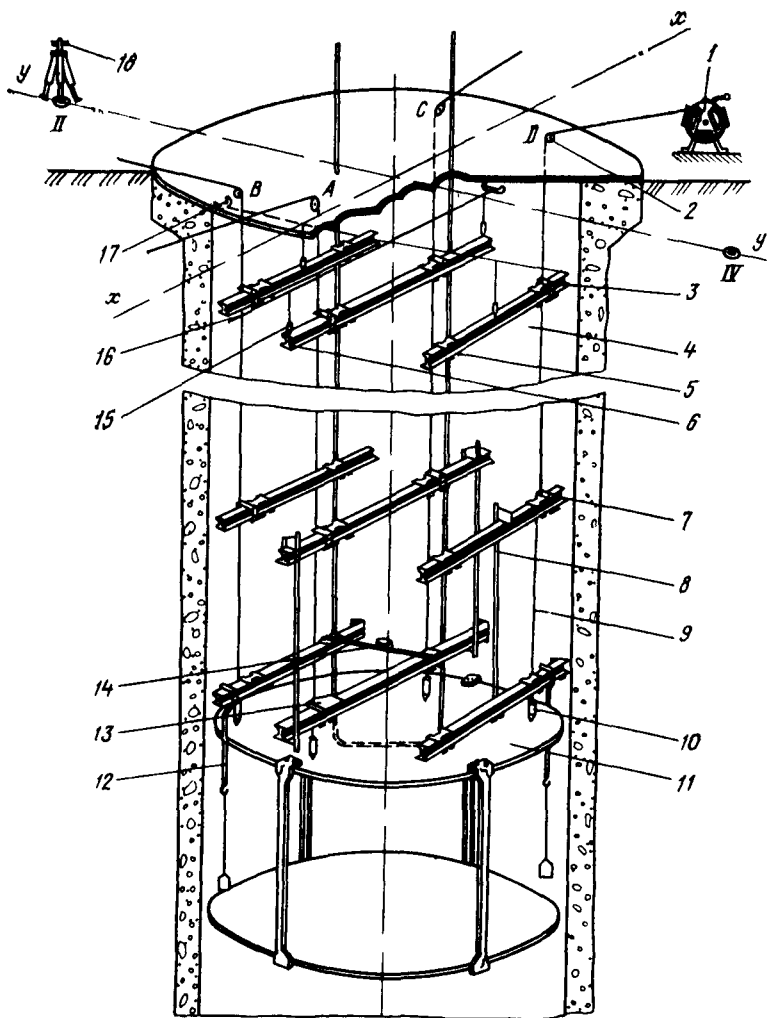


Рис 154 Схема монтажа расстрелов относительно подвижных отвесов

1 — лебедка, 2 — направляющий блок, 3 — центрировочная пластина, 4 — контрольный ярус, 5 — боковой расстрел, 6 — центральный расстрел, 7 — ограничитель колебаний, 8 — дистанционный шаблон, 9 — нить отвеса, 10 — разъемный груз, 11 — подвесной двухэтажный армировочный полок, 12 — шаблон для разбивки лунок, 13 — накладной шаблон, 14 — горизонтальный шаблон, 15 — нитяной отвес, 16 — разбивочная ось, 17 — осевая скоба, 18 — теодолит, A, B, C, D — подвижные отвесы

их колебаний. Расстояние между отвесами после их успокоения не должно отличаться более чем на 5 мм от соответствующего на контрольной раме. Ограничители колебаний устанавливаются через 30—100 м глубины ствола.

Контроль установки арматуры маркшейдер производит через каждые 3—4 яруса. Проверяют расстояния между смежными ярусами расстрелов, положение расстрелов и проводников относительно армировочных отвесов, а также горизонтальность осей расстрелов. При этом не допускается расхождение между расстояниями от отвесов до расстрелов и проводников на ярусе установки и на контрольном ярусе более чем на 5 мм при металлической армировке и 10 мм — при деревянной. Расстояния же между ярусами не должны отличаться от проектных при металлических проводниках более чем на 15 мм, при деревянных — 50 мм.

После полного монтажа армировки ствола и навески подъемных сосудов, так же как и в различные периоды эксплуатации ствола, выполняют измерения расстояний (зазоров) между максимально выступающими частями подъемных сосудов и крепью ствола на каждом ярусе расстрелов.

Для измерения зазоров используется прибор С32. Его устанавливают на крыше подъемного сосуда или монтируют в клетку со стороны измеряемого зазора, привод крепят вблизи проводника. Прибор С32 может быть настроен на измерение зазоров между направляющими лапами подъемного сосуда и элементами армировки, на измерение расстояний до крепи, трубного става, кабеля, лестничного отделения и т. д. Диапазон измерения от 0 до 500 мм, точность измерений ± 5 мм.

Профильная съемка ствола выполняется автоматической аппаратурой, измерениями относительно вертикально закрепленных проволок или другими способами. В результате профильной съемки определяют отклонения от вертикали пролетов проводников между смежными ярусами расстрелов и ширину колеи проводника. Погрешность определения отклонения от вертикали пролета проводника не должна превышать 5 мм, ширины колеи проводников — 3 мм.

Для профильной съемки проводников шахтных стволов в нашей стране созданы каретки КД-2 (рис. 155), в которых смонтированы два прибора для измерения углов отклонения проводников от вертикали, размещенных под углом 90° один к другому. В результате получают записи углов отклонений проводников в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Запись осуществляется на перфорированной фотоленте шириной 35 мм. На этой же ленте производятся запись базовой линии и отметка положения расстрелов. Точность измерения $30''$. Диапазон измерения $\pm 20'$.

Прибор для измерения расстояний между проводниками представляет собой механический самописец, который крепится на одной из секций каретки. Записывающее устройство прибора связано тросом с другой секцией. При измерении расстояний между проводниками перо вычерчивает на ленте кривую

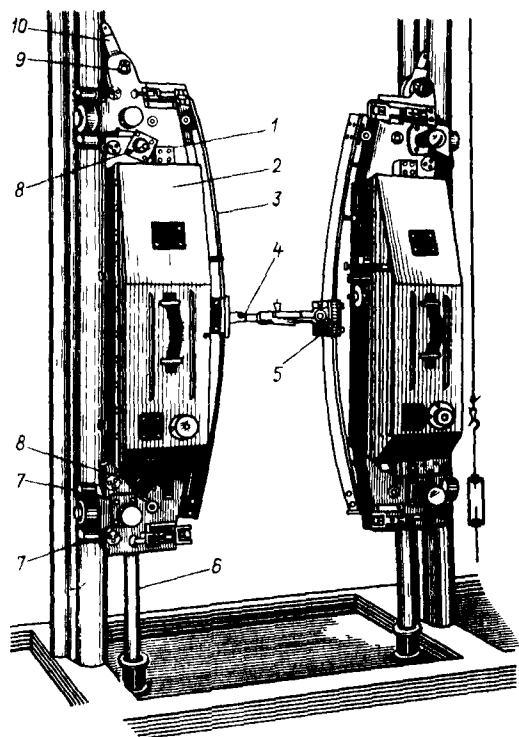


Рис 155 Внешний вид каретки КД-2

1 — коробчатая рама 2 — съёмные кожухи 3 — рессоры, 4 — телескопическая штанга
5 — зажимное устройство, 6 — опоры 7 — дополнительные страховочные ролики, 8 —
механизм ручной подмотки, 9 — оси 10 — серги

отклонений фактических расстояний между проводниками от номинального размера, второе перо записывает базовую линию. На ленте также производится разметка расстрелов. Горизонтальный масштаб записи расстояний 1:1, вертикальный масштаб 1:500, точность измерения $\pm 0,5$ мм, диапазон измерения отклонений расстояний между проводниками от номинального размера ± 40 мм, диапазон измеряемых расстояний от 350 до 3000 мм.

Каретка, на которой устанавливаются приборы, имеет двухсекционное исполнение, что обеспечивает быстрый монтаж аппаратуры в ствол. Секции каретки соединены между собой телескопическими штангами. Каретка крепится к днищу подъемного сосуда двумя разъемными штангами длиной 6—8 м каждая. Конструкция каретки рассчитана на все типы проводников жесткой армировки. Скорость перемещения аппаратуры по

проводникам до 0,8 м/с. Максимальная глубина профилируемых стволов 1700 м. На съемку проводников одного отделения ствола глубиной 500—800 м затрачивается всего 0,5—1 ч.

В последние годы получила распространение канатная армировка. Ее основные геометрические элементы и параметры приведены на рис. 156.

Маркшейдерские работы при монтаже канатной армировки заключаются в определении отклонения ширины колеи канатных проводников на горизонтах подвеса и фиксации, отклонения ширины колеи верхних и нижних направляющих устройств подъемных сосудов, отклонения подвеса канатных проводников от проектного положения, отклонения от вертикали осей систем канатных проводников подъемных отделений, отклонения расстояний между осями вспомогательных и канатных проводников от проектных.

Контроль монтажа натянутой рамы и установки вспомогательных проводников у горизонтов загрузки контролируют относительно разбивочных осей горизонта фиксации канатных проводников и осевых пунктов, заложенных в крепи ствола у околоствольного двора. Смещение расстрелов контролируемого горизонта в горизонтальной плоскости не должно быть более, чем на 3 мм, разность отметок концов расстрелов не должна превышать 5 мм.

Проверка монтажа прицепных устройств или домкратов на горизонте подвеса осуществляется относительно закрепленных на этом горизонте осей ствола или многоканатной подъемной машины. При этом разбивка осей устройств выполняется методом ординат. Проектное положение прицепных устройств или

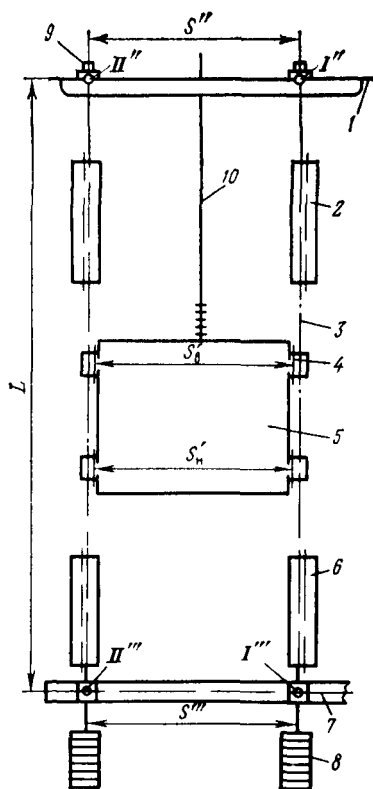


Рис. 156. Геометрическая схема канатной армировки подъемного отделения.

1 — горизонт подвеса канатных проводников (перекрытие копра), 2 и 6 — оси верхнего и нижнего вспомогательных проводников; 3 — канатный проводник, 4 — ось направляющего устройства; 5 — подъемный сосуд; 7 — горизонт фиксации канатных проводников (плоскость симметрии натяжной рамы), 8 — натяжной груз, 9 — ось прицепного устройства; 10 — подъемный канат, I'', II'' и I''', II''' — соответственно точки подвеса и фиксации канатных проводников

домкратов отмечается осевыми рисками на опорных поверхностях.

После монтажа и при эксплуатации канатной армировки маркшейдер должен проверять ширину колеи направляющих устройств подъемных сосудов; ширину колеи канатных проводников на горизонтах подвеса и фиксации; положение точек подвеса канатов относительно осей многоканатной подъемной машины или осей подшківной площадки; положение вспомогательных проводников и отбойных канатов относительно проводниковых канатов; отклонение от вертикали систем проводниковых канатов.

Проверку проектных значений ширины колеи (см. рис. 156) осуществляют измерением ширины колеи направляющих устройств нижнего $S'_н$ и верхнего $S'_в$ поясов на нулевой площадке и с крыши сосуда.

Ширину колеи канатных проводников определяют измерением расстояния S'' на перекрытии копра и S''' на натяжной раме.

Положение точек подвеса канатов относительно осей многоканатной подъемной машины находят при помощи съемки прицепных устройств на перекрытии копра. Выражают положение этих точек в условной системе, за ось ординат в которой принята ось главного вала многоканатной подъемной машины, а за ось абсцисс — ось подъема. При одноканатном подъеме за оси условной системы координат принимают оси подшківной площадки.

Отклонение от вертикали осей систем проводниковых канатов определяют по формуле

$$v = \frac{1}{nL} \sqrt{\left(\sum_1^n x_{\phi_i} - \sum_1^n x_{п_i}\right)^2 + \left(\sum_1^n y_{\phi_i} - \sum_1^n y_{п_i}\right)^2}, \quad (100)$$

где $x_{п_i}$, $y_{п_i}$, y_{ϕ_i} , x_{ϕ_i} — координаты точек подвеса и точек фиксации канатных проводников; n — число канатных проводников в подъемном отделении; L — длина канатного проводника.

§ 146. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ УГЛУБКЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Углубка шахтных стволов может производиться как сверху вниз, так и снизу вверх, кроме того, возможно несколько схем углубки стволов, что предопределяет специфику маркшейдерских работ.

При углубке вертикального ствола сверху вниз под проходческим полком маркшейдерские работы включают в себя определение осей центра ствола в его части, примыкающей к сопряжению ствола с околоствольным двором, и закрепление

восстановленных осей и центра ниже будущего полка. Центр ствола в этом случае восстанавливается в месте пересечения проволок, натянутых между скобами, фиксирующими оси ствола.

Расхождения между результатами двух определений не должны превышать: в положении центра 20 мм, в направлении осей 5'.

При углубке вертикального ствола сверху вниз с помощью специального ходка, пройденного в углубляемую часть ствола, маркшейдерские работы начинают с определения центра и осей ствола в нижней части существующего ствола. Вынос центра и осей ствола под временный целик осуществляют через специальный ходок при помощи двух отвесов, координаты которых определяют привязкой их к пунктам подземной опорной сети. После рассечки камеры под целиком, используя отвесы, там разбивают центр и оси ствола. Для этого теодолит устанавливают в примычной точке, выбранной таким образом, чтобы получить выгодную форму соединительного треугольника. В результате измерений элементов и решения соединительного треугольника получают координаты примычной точки и дирекционные углы направлений на отвесы.

По найденным ранее координатам центра ствола на горизонте, с которого начинается углубка, и известным координатам примычной точки можно, решая обратную геодезическую задачу, определить разбивочный угол и расстояние для выноса центра ствола под предохранительным целиком. Затем по известным дирекционным углам осей ствола и разбивочного направления вычисляют горизонтальный угол, который откладывают теодолитом, установленным в точке центра ствола, и, таким образом, задают направление одной из осей ствола. Это направление закрепляют скобами на стенах камеры.

Перенесение центра и осей ствола под предохранительный целик производится дважды. Расхождения между результатами не должны быть больше: в направлении осей 5', в положении центра ствола 20 мм.

При углубке ствола через вспомогательные выработки, пройденные за пределами ствола (гезенки, слепые стволы, наклонные выработки и т. п.), на действующем горизонте определяют координаты центра ствола и дирекционный угол одной из осей ствола от точек подземной опорной сети. От этих точек до вспомогательной выработки прокладывают полигонометрию. Выполняют ориентирование вспомогательной выработки, например, способом соединительного треугольника. Это позволяет определить на горизонте, до которого производят углубку, дирекционный угол некоторого направления, закрепленного двумя точками. Определяют координаты x , y этих точек.

По известным координатам центра ствола и координатам

пункта, например, расположенного на нижнем горизонте, решением обратной геодезической задачи вычисляют разбивочные углы. После этого, как и в предыдущем случае, задают одно из направлений осей ствола, которое закрепляют в стенках выработки нижнего горизонта.

При углубке ствола снизу вверх вначале определяют координаты центра ствола и дирекционный угол оси ствола на существующем горизонте. Затем выполняют съемку по выработкам горизонта углубки. Это помогает получить данные, необходимые для разбивки в натуре на горизонте углубки центра и осей ствола. Обычно центр ствола на нижнем горизонте закрепляется в почве выработки, оси ствола — скобами в стенках или кровле выработки. Проверка вертикальности и сечения проходимого ствола производится по отвесам, закрепляемым под забойным полком на скобах временной крепи. Положение этих отвесов проверяется промерами расстояний между ними и центром ствола. В забое центр ствола определяется шаблонами или промерами от временных нитяных отвесов, которые центрируются над проходческими отвесами. Проверка вертикальности ствола должна выполняться через каждые 3 м подвигания забоя, а перенесение осей на скобы проходческих отвесов — через каждые 10 м.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется разбивочной сетью на промплощадке?
2. Какова точность разбивки центра шахтного ствола?
3. Какова точность разбивки осей шахтного ствола?
4. Каким образом закрепляют оси ствола?
5. Какова погрешность установки подкопровой рамы?
6. Каким образом выполняют маркшейдерский контроль установки колонн в отвесное положение?
7. Какова точность разбивки главного вала подъемной машины?
8. Что называется углами наклона подъемных канатов?
9. Что называется углами девиации?
10. Что называется углом обхвата отклоняющего шкива канатом?

Глава 22.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

§ 147. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При открытом способе разработки задачи маркшейдерской службы заключаются в создании геометрической основы съемочных работ в виде опорных и съемочных сетей, в съемке горных выработок и земной поверхности, составлении горной графич-

ческой документации, обеспечивающей нормальную деятельность предприятия: участие 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 карьера и разработке мероприятий по их устранению.

Данные маркшейдерской съемки используются для составления календарных планов развития горных работ, изучения геологического строения месторождения, решения различных задач, связанных с деятельностью эксплуатационных участков и др.

Объектами съемки на карьерах являются разведочные выработки и элементы геологического строения месторождения, видимые в натуре; горные выработки: уступы, съезды, траншеи, линии откола при взрыве блока, развалы взорванных пород, дренажные выработки, водоотводные и т. п.; внутренние отвалы пород; границы опасных зон; транспортные пути в карьере и на внутренних отвалах; ленточные конвейеры и переходы через них; сооружения: эстакады, подъемники, электроподстанции, установки гидромеханизации и т. п.

§ 148. ОПОРНЫЕ И СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

При открытом способе разработки маркшейдерские опорные сети на территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия создают методами триангуляции I и II разрядов и нивелированием III и IV классов. Плотность плановой опорной сети всех классов и разрядов должна быть в застроенной части территории деятельности горного предприятия не менее четырех пунктов на 1 км², в незастроенной — не менее одного пункта на 1 км².

Плотность высотной опорной сети для съемки карьера в масштабе 1:5000 должна быть не менее одного репера на 10—15 км², а в масштабе 1:2000 на незастроенных территориях — не менее одного репера на 5—7 км², на застроенных — не менее одного репера на 5 км².

Опыт эксплуатации горных предприятий показал, что основные пункты как бы составляющие каркас опорной сети должны быть расположены за пределами границ контура технологической деятельности карьера. На базе основных пунктов по мере развития работ выполняют сгущение сети. Отмеченная организация работ по развитию опорной сети позволяет сохранять, во-первых, стабильность сети на весь срок существования горного предприятия, во-вторых, легко восстанавливать утерянные из-за горных работ или строительства пункты.

Для производства съемок карьеров на базе опорных создают съемочные сети. Съемке на карьерах подлежат горизонты уступов, число которых может быть от 2—3 до 10—15 и более, кроме того, уступы находятся в постоянном движении и в связи с этим центры съемочных пунктов периодически уничтожаются в результате горных работ и затем восстанавливаются уже для съемки на следующем (нижележащем) горизонте уступа. Поэтому в каждом случае отработки месторождения при выборе способа создания съемочной сети необходимо учитывать возможно продолжительную сохранность пунктов, удобство пользования пунктами, необходимость точного определения положения отдельных пунктов съемочной сети относительно опорных пунктов.

В зависимости от глубины и размеров карьера, рельефа земной поверхности, горно-геологических условий применяют следующие способы создания съемочных сетей: геодезическими засечками, проложением теодолитных ходов, полярным способом, построением цепочек треугольников и прямоугольной сеткой. Однако во всех случаях погрешность определения пунктов съемочной сети относительно пунктов опорной сети в плане не должна превышать 0,4 мм в принятом масштабе съемки и 0,2 м по высоте.

Горизонтальные углы во всех съемочных сетях измеряют теодолитом типа ТЗ0 двумя приемами или повторениями. При использовании более точных приборов углы измеряют одним приемом.

Геодезические засечки как способ создания съемочной сети используют, главным образом, на карьерах при малой ширине рабочих площадок вскрышных и добычных уступов. При этом способе применяют прямые и обратные геодезические засечки.

Углы при определяемых точках в прямых засечках не должны быть меньше 30° и больше 150° . Расстояния от определяемых до исходных пунктов не должны превышать 1, 2, 3 км соответственно при съемках в масштабах 1:1000, 1:2000, 1:3000.

Координаты пунктов съемочной сети, определяемые прямыми угловыми засечками, вычисляют из двух треугольников. При использовании обратных засечек — решением двух вариантов засечки. За окончательное значение координат принимают среднее значение. Допустимое расхождение в положении пункта съемочной сети из двух вариантов засечки не должно превышать 0,6 мм, выраженных в масштабе плана. Проложение теодолитных ходов для создания съемочного обоснования обычно используют на открытых разработках, расположенных на горных склонах, а также при отработке нижних горизонтов глубоких карьеров с крутыми откосами бортов.

Теодолитные ходы могут быть в виде замкнутых полигонов или проложенные между пунктами маркшейдерской опорной сети. Угловая привязка теодолитных ходов на исходном пункте должна производиться по двум направлениям на пункты опорной сети.

Длина сторон теодолитного хода не должна быть более 400 м и, как правило, менее 100 м. Длина же всего теодолитного хода не должна превышать 1,8; 2,5 и 6 км при масштабе съемки соответственно 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000.

Возможно определение отдельной точки съёмочного обоснования полярным способом, если длина стороны до определяемой точки не больше 400 м.

Стороны в теодолитных ходах могут измерять светодальномерами, оптическими дальномерами, металлическими рулетками, мерными лентами и другими приборами. Разность между двумя измерениями не должна превышать 1 : 1500 ее длины.

Угловая невязка в теодолитном ходе не должна превышать $45''\sqrt{n}$, где n — число измеренных углов. Линейная невязка теодолитного хода не должна превышать 1 : 3000 длины хода. Угловые невязки теодолитных ходов распределяют поровну на все углы, невязки в приращениях координат — пропорционально длинам сторон.

Полярный способ создания съёмочного обоснования целесообразно использовать на крупных карьерах со значительным удалением участков горных работ от пунктов опорной сети.

В полярном способе определение положения опорных точек относительно исходного направления и полюса выполняют путем измерения горизонтальных углов, углов наклона и наклонных расстояний. Углы измеряют от двух направлений, расстояния — при помощи светодальномера со средней квадратической погрешностью не более 0,01 м, причем, расстояния до определяемых пунктов не должны быть более 3 км.

Для повышения эффективности маркшейдерских измерений целесообразно на нерабочем борту карьера выбирать пункт опорной сети, с которого обеспечивается видимость на 2 или 3 смежных пункта, а также — хорошая видимость всех работающих (подвижных) участков карьера.

Способ прямоугольной сетки нашел распространение на неглубоких карьерах при спокойном рельефе поверхности. Прямоугольная сетка представляет собой условную систему прямоугольных координат, разбитую на поверхности поля карьера. Пунктами съёмочной сети являются точки пересечения координатных осей и линий, параллельных им (рис. 157) и закрепленных центрами долговременной сохранности или центрами временного пользования.

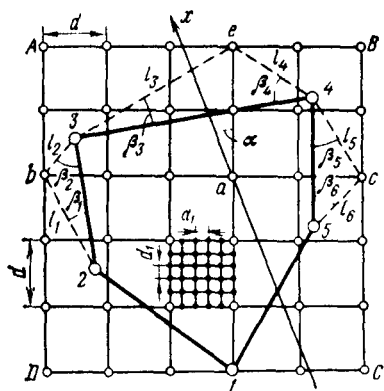


Рис. 157. Съёмочное обоснование в виде прямоугольной сети

Вершины главной фигуры прямоугольной сетки строят от пунктов маркшейдерской опорной сети при помощи засечек, полярного способа или прокладки теодолитных ходов. Положение вершин прямоугольников определяют способом створа, при этом длина визирного луча створа не должна быть больше 800 м.

Обычно одну из взаимно перпендикулярных осей прямоугольной сетки располагают совпадающей с простиранием разрабатываемой залежи, т. е. параллельно фронту работы или

параллельно направлению одной из осей, принятой для маркшейдерско-геодезических съемок прямоугольной системы координат.

Рассмотрим пример разбивки сети вершин прямоугольной сетки (см. рис. 157). Принято разбивать две системы прямоугольников: основной сетки с размерами сторон d , равными 50, 100 или 200 м, и заполняющей сетки, сгущаемой до прямоугольников, с размерами сторон d_1 , равными 5—40 м, и служащей непосредственно для проведения съемок.

Направление сторон сетки выбирается параллельно (перпендикулярно) главному фронту работ или совпадающим с направлением координатной сетки.

Для разбивки прямоугольной сетки составляется план поверхности, на который выносятся техническая граница карьера и пункты опорной сетки 1, 2, 3, 4, 5, расположенные вблизи карьера. Затем выбирается направление осей съёмочной прямоугольной сетки; производится разбивка прямоугольной сетки и на плане вычисляются координаты ее вершин.

По известным координатам опорных точек 1, 2, 3, 4, 5 и измеренным на плане координатам точек b , e , c при помощи обратной геодезической задачи вычисляют разбивочные углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6$ и горизонтальные проложения $l_1, l_2, \dots, l_6$. Полученные значения углов и длин позволяют разбить на местности точки b , e , c . Используя одну из этих точек, например, точку e , намечают на местности направления взаимно перпендикулярных осей сетки. Затем при помощи двух теодолитов, располагаемых на взаимно перпендикулярных осях сетки, разбивают вершины сначала больших прямоугольников и затем, по необходимости, вершины малых прямоугольников.

Перенос пунктов съёмочной сети на нижележащие гори-

зонты или восстановление уничтоженных пунктов чаще всего производится способом створа, при котором на ближайших сохранившихся пунктах в двух взаимно перпендикулярных направлениях устанавливаются теодолиты, в пересечении визирных лучей которых закладывается новый пункт. Возможно также применение способа прямой угловой засечки. В этом случае положение пункта съемочной сети определяется на местности в точке пересечения визирных лучей двух теодолитов, с помощью которых откладываются горизонтальные углы в 30, 45 или 60°.

§ 149. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОЙ СЕТИ

Для определения высотного положения точек на карьерах разбивается высотное обоснование. Высоты пунктов съемочной сети определяются техническим геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

Геометрическое нивелирование обычно применяется на карьерах с железнодорожным транспортом. Для нивелирования применяют технические нивелиры и нивелирные рейки любого типа. Техническое нивелирование, выполняемое между пунктами опорной сети, может производиться в одном направлении, 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 5 мм. Допустимая невязка ходов $50\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода, км. При числе станций на 1 км хода более 25 невязка в ходе не должна превышать $10\sqrt{n}$, где n — число станций в ходе.

Тригонометрическое нивелирование получило распространение на карьерах с безрельсовым транспортом, а также при создании съемочной сети способом геодезических засечек. При определении высот пунктов с помощью тригонометрического нивелирования вертикальные углы измеряются одновременно с горизонтальными углами теодолитами с точностью отсчетных приспособлений вертикального круга не ниже 30". Высота прибора и визирной цели должна измеряться с точностью до 1 см. Контролем правильности измерения вертикальных углов является постоянство места нуля вертикального круга. Колебания места нуля не должны быть более тройной величины погрешности отсчитывания по вертикальному кругу.

Ходы тригонометрического нивелирования должны опираться на пункты, высоты которых были определены в результате геометрического нивелирования по точности не ниже IV класса. Длина хода тригонометрического нивелирования не должна превышать 2,5 км.

Превышения для каждой стороны хода определяют в прямом и обратном направлениях, расхождение превышений при этом не должно превосходить $0,04 l$, см, где l — длина стороны, м. Невязка хода тригонометрического нивелирования, опирающегося на пункты маркшейдерской опорной геодезической сети, не должна быть больше $0,04L\sqrt{n}$, см, где L — длина хода, n — число сторон.

В тех случаях, когда съёмочная сеть создается способом засечек или проложением цепочек треугольников, превышения определяют тригонометрическим нивелированием или в прямом и обратном направлениях, или в одном, но не менее чем с двух исходных пунктов.

При полярном способе повторное определение превышения выполняют после измерения высоты цели или прибора.

При измерениях вертикальных углов теодолитом типа Т30 расстояние между исходным и определяемым пунктами не должно быть больше 1 км, при изменении теодолита типа Т15 — не более 1,5 км, при использовании более точных теодолитов — до 2 км.

Расхождение в определяемых превышениях при расстоянии между пунктами до 1 км не должно превышать $0,03 l$, см, при расстояниях более 1 км — $0,02 l$, см, где l — длина стороны, м.

§ 150. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ СЪЕМКА КАРЬЕРОВ

Съемка карьеров выполняется в масштабах 1:1000 или 1:2000, внешних отвалов в масштабах 1:2000 или 1:5000. Съёмку карьеров выполняют при помощи аэрофотосъемки, наземной фотограмметрической съемки, тахеометрической съемки и способом перпендикуляров.

Аэрофотосъемка нашла широкое применение для съемки карьеров. Она состоит из аэрофотосъемки, фотограмметрической обработки аэроснимков, аналитических расчетов, дешифрирования снимков геодезических и радиогеодезических измерений, чертежных работ.

При аэрофотосъемке получают фотограмметрическое изображение местности, в частности, территорию карьера. Для съемки карьеров применяют плановую аэрофотосъемку, которая ведется с использованием аэрофотоаппаратов, предназначенных для крупномасштабной аэрофототопографической съемки. Кроме того, должны соблюдаться следующие требования:

продольное перекрытие снимков 60 или 80 %;

углы наклона снимков до 4° ;

измерения высоты полета в пределах одного маршрута не более 50 м;

величина расчетного линейного смаза фотоизображения не более 0,05 мм.

Масштаб аэрофотосъемки карьера M_c не должен быть мельче 1 : 10 000 — при съемке горных выработок в масштабе 1 : 1000 и съемке для контрольных определений выемки за период два года и больше, 1 : 15 000 — при съемке горных выработок в масштабе 1 : 2000, 1 : 5000 — съемке складов полезного ископаемого, 1 : 25 000 — при съемке отвалов вскрышных пород.

Аэрофотосъемку используют для составления планов горных выработок, отвалов вскрышных пород и складов полезного ископаемого, а также для составления и пополнения цифровой модели карьера. Кроме того, материалы аэрофотосъемки могут быть использованы для составления фотопланов и фотосхем карьеров и прилегающей к ним территории, для получения координат и высот пунктов съемочной сети.

Перед каждой аэрофотосъемкой карьера и прилегающей к нему территории производят маркшейдерско-геодезическую наземную подготовку, состоящую в обеспечении каждой стереоскопической пары аэрофотоснимков при глубине карьера до 200 м четырьмя планово-высотными точками, а при глубине более 200 м необходимо иметь еще одну высотную опорную точку в центрах стереопары.

Пункты планово-высотного обоснования (опорные пункты) располагают в местах, где возможно их долговременное сохранение и использование при последующих залетах самолетов для аэрофотосъемки. Обычно в опорные пункты включают точки маркшейдерской опорной сети и пункты съемочной сети. Опорные пункты перед каждой аэросъемкой маркируют, что способствует полному и эффективному их использованию.

Составление планов горных выработок по материалам аэрофотосъемки выполняют на универсальных фотограмметрических приборах, инструментальная погрешность которых не должна превышать при определении координат точек модели местности 0,02 мм в плоскости снимка и при определении высоты 0,01 % H , где H — высота проектирования на приборе, мм.

Составление (пополнение) плана горных выработок карьера начинают с нанесения контуров, значительных по протяженности: транспортные пути, верхние и нижние бровки уступов, а затем наносят здания, технические сооружения и другие объекты. Причем, плановое положение верхней и нижней бровок уступа рисуют при непрерывном ведении пространственной марки фотограмметрического прибора по видимому контуру стереомодели.

Расстояние между пикетами на бровках уступов или на поверхности взорванных пород при масштабе плана 1 : 1000 не должно превышать 20 и 30 м, если бровки вытянуты и близки к прямолинейным; при масштабе плана 1 : 2000 эти рас-

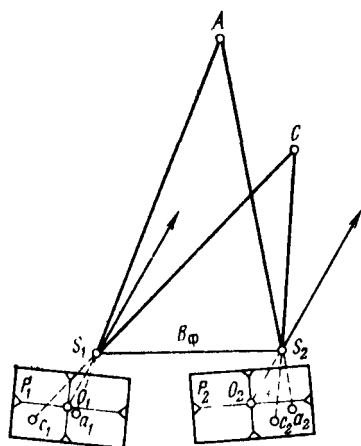


Рис 158. Элементы стереопары

стояния не должны превышать соответственно 30 и 40 м. При съемке отвалов вскрыши в масштабе 1:5000 расстояние между пикетами не должно превышать 100 м; при съемке развала взорванных пород в масштабе 1:1000 — не более 10 м, в масштабе 1:2000 — не более 20 м.

Более подробные сведения об аэрофотосъемке приведены в главе «Основы аэрофотосъемки».

Наземная стереофотограмметрическая съемка карьеров может применяться как самостоятельный вид съемки, так и в сочетании с тахеометрией. Наземная стереофотограмметрическая съемка по сравнению с тахеометрической и

ординатной имеет ряд преимуществ:

- повышается производительность труда на полевых работах; отпадает необходимость в рабочих-реечниках, и, таким образом, повышается безопасность работ;

- при составлении плана по фотоснимкам появляется большой выбор точек, наилучшим образом характеризующих снимаемый участок;

- съемкой охватываются все видимые объекты, в том числе не доступные для тахеометрической съемки. Стерефотосъемка может быть наземной и воздушной.

При стереофотограмметрической съемке производится определение с дальнейшим графическим изображением формы, размеров и пространственного положения предметов и рельефа земной поверхности. Особенно эффективна эта съемка на крупных карьерах.

Для составления плана участок карьера фотографируется с двух точек, являющихся концами базиса S_1S_2 (рис. 158). Бинокулярное рассмотрение двух снимков, полученных с концов базиса и изображающих один и тот же участок местности, позволяет получить объемное восприятие соответствующих предметов, участка карьера и т. п.

Снимки, полученные с разных концов базиса, представляют собой стереопару, элементами которой считаются:

- левый P_1 и правый P_2 снимки;
- центры проекций левого S_1 и правого S_2 фотоснимков (задние узловые точки объективов фотокамер);
- базис фотографирования $B_\phi = S_1S_2$, которому также равно расстояние между центрами проекций фотоснимков;

связки лучей a_1S_1A ; c_1S_1C ; a_2S_2A ; c_2S_2C — совокупность проектирующих линий, создающих изображение на фотоснимках;

главные лучи S_1O_1 ; S_2O_2 — лучи связок, перпендикулярные к плоскостям фотоснимков;

главные точки O_1 и O_2 — точки пересечения главных лучей с фотоснимками;

соответственные (идентичные) точки a_1 и a_2 , c_1 и c_2 ; изображение одной и той же точки местности на фотоснимках стереопары;

соответственные лучи S_1a_1 ; S_2a_2 .

В стереофотограмметрической съемке положение точки на местности определяется прямой пространственной фотограмметрической засечкой, образующейся проектирующими лучами, проходящими через левую и правую точки базиса. Например, положение точки C (см. рис. 158) определяется, если известны направления проектирующих лучей c_1S_1C и c_2S_2C . Поверхность, образованную совокупностью точек пересечения соответствующих проектирующих лучей, принято называть геометрической моделью или просто моделью.

Фотокамера (рис. 159, а), с помощью которой получают фотоизображение снимаемого объекта, снабжена специальным устройством, обеспечивающим неподвижное и определенное ее положение в момент фотографирования. В целом такой прибор называется фотограмметром. Если фотокамера монтируется совместно с теодолитом, то прибор называется фототеодолитом (рис. 159, б).

Фотокамера (см. рис. 159, а) состоит из корпуса 1, сложного объектива 2, имеющего заднюю узловую точку S , прикладной рамки P с прижимным устройством и кассеты в которой помещается фотопластинка. Обычно фотокамеры изготавливаются под размер пластинок 13×13 см.

Если снимаемые предметы находятся на достаточно большом расстоянии от камеры, то изображение получается вблизи главной фокальной плоскости объектива, где располагают прикладную рамку P . С помощью прижимного устройства в плос-

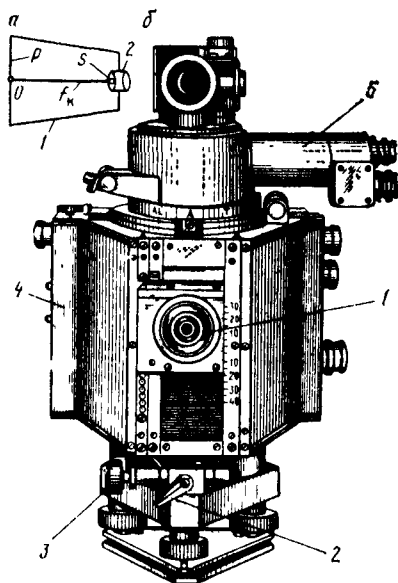


Рис. 159 Основные элементы фотокамеры (а) и фототеодолита (б).

1 — объектив, 2 — зажимной винт, 3 — наводящий винт, 4 — камера фототеодолита, 5 — визирная труба

кости прикладной рамки помещают светочувствительный слой стеклянной пластинки. Кратчайшее расстояние от плоскости прикладной рамки P до задней узловой точки объектива S называется фокусным расстоянием камеры и обозначается f_k .

Наземную стереофотограмметрическую съемку на карьерах выполняют фотокамерами с фокусным расстоянием $f_k = 100$ — 300 м.

Различают два основных случая фотографирования с земной поверхности: при горизонтальном положении оптической оси фотокамеры, съемка называется горизонтальной; при значительном отклонении оси фотокамеры от горизонтального положения, съемка называется перспективной.

Горизонтальная съемка легко осуществима и имеет существенное преимущество перед перспективной при обработке съемки, так как обработка перспективной съемки очень сложна.

Горизонтальная съемка обычно используется в сочетании трех случаев: направления оптической оси камеры перпендикулярно к базису и отклонения ее влево и вправо на 30 — 35° .

Координаты точек на фотоснимках определяются в прямоугольной системе координат, которая на фотоснимках отмечена метками. Точка пересечения координатных осей является началом координат. Координаты некоторой точки a , измеренные на фотоснимке, принято обозначать x_a, y_a .

Координаты точек местности определяются в системе координат, принятой на карьере. В отличие от фотокоординат координаты точек на местности обозначаются большими буквами XYZ .

Определение координат точек местности по фотоснимкам производится по положению связок проектирующих лучей в момент фотографирования. Величины, определяющие положение связок, называются элементами ориентирования фотоснимков. Они различаются на внешние и внутренние элементы ориентирования.

К элементам внутреннего ориентирования относят фокусное расстояние камеры f_k и координаты главной точки x_0, z_0 . К элементам внешнего ориентирования (рис. 160) относят координаты левого конца базиса фотографирования $X_{S_1}, Y_{S_1}, Z_{S_1}$; угол наклона главного луча левого фотоснимка ω_1 ; угол поворота левого фотоснимка в его плоскости χ_1 ; угол скоса левого фотоснимка φ_1 , равный углу между проекцией главного луча левого фотоснимка на горизонтальную плоскость и перпендикуляром к проекции базиса фотографирования на ту же плоскость; дирекционный угол базиса фотографирования α_B ; проекция базиса фотографирования на горизонтальную плоскость; превышение правого конца базиса фотографирования над левым Δz , угол наклона главного луча правого снимка ω_2 , угол

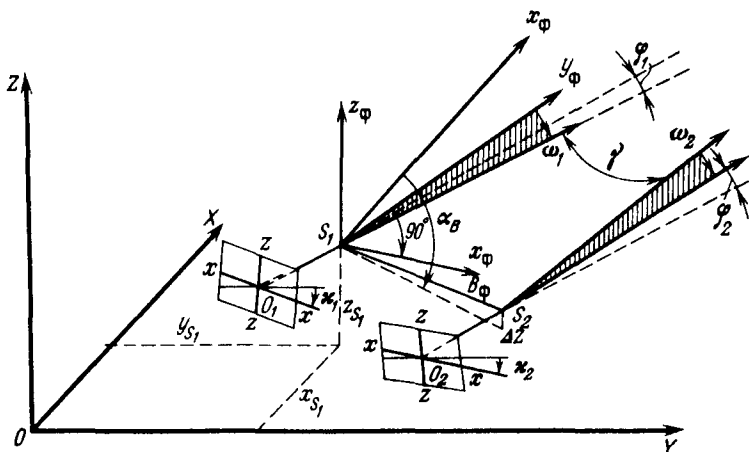


Рис. 160 Элементы внешнего ориентирования

поворота правого фотоснимка в его плоскости κ_2 ; угол между проекциями главных лучей фотоснимков на горизонтальную плоскость γ . При положительном угле γ главные лучи сходятся, а образованный ими угол γ называется углом конвергенции; при отрицательном угле γ — главные лучи расходятся, а угол γ называется углом дивергенции.

Значения координат X_{S_1} , Y_{S_1} , Z_{S_1} и величины α_B , B_ϕ определяются геодезическими методами, угол скоса фотоснимка устанавливается ориентирным устройством фототеодолита. Углы наклона главных лучей снимков ω и поворота фотоснимков κ приводят к значениям, близким к нулю, при помощи уровней, закрепленных на камере.

В маркшейдерском деле для изображения на плане земной поверхности и горных выработок применяется левая система координат, в стереофотограмметрии обычно используется правая система. Но в том и другом случае ось z располагается вертикально.

Рассмотрим случай нормальной стереофотограмметрической съемки (рис. 161), когда оптические оси фотокамер, установленных в точках S_1 и S_2 взаимно параллельны и перпендикулярны к базису фотографирования B_ϕ . Здесь принято:

- ось x_ϕ совпадает с направлением базиса фотографирования;
- ось y_ϕ совпадает с направлением оптической оси фотокамеры, находящейся в точке S_1 (левой точке базиса);
- ось z_ϕ имеет направление, перпендикулярное к плоскости, формируемой первыми двумя осями.

Для определения фотограмметрических координат некоторой точки K обозначим ее изображение на левом снимке

через $k_{\text{л}}$, на правом — $k_{\text{п}}$ (см. рис. 161). На рисунках приняты обозначения: $y_{\text{ф}}$, $x_{\text{ф}}$, $z_{\text{ф}}$ — фотограмметрические координаты точки K местности (координата $y_{\text{ф}}$ также называется отстоянием); $x_{\text{л}}$ — абсцисса точки $k_{\text{л}}$ на левом снимке; $x_{\text{п}}$ — то же, на правом снимке, $z_{\text{л}}$ — ордината точки $k_{\text{л}}$ на левом снимке; $B_{\text{ф}}$ — базис фотографирования; $f_{\text{к}}$ — фокусное расстояние фотокамеры фототеодолита.

Из подобия треугольников $KK'S_1$ и $k_{\text{л}}k'_{\text{л}}S_1$ (рис. 162) можно написать

$$\frac{y_{\text{ф}}}{f_{\text{к}}} = \frac{B_{\text{ф}}}{x_{\text{л}} - x_{\text{п}}},$$

Выражение $x_{\text{л}} - x_{\text{п}}$ обозначают через p (горизонтальный параллакс). На основании принятого обозначения предыдущее выражение можно записать следующим образом

$$y_{\text{ф}} = \frac{B_{\text{ф}} f_{\text{к}}}{x_{\text{л}} - x_{\text{п}}} = \frac{B_{\text{ф}} f_{\text{к}}}{p}. \quad (101)$$

Из подобия треугольников S_1OK и $S_1O_{\text{л}}k_{\text{л}}$ напомним

$$\frac{x_{\text{ф}}}{y_{\text{ф}}} = \frac{x_{\text{л}}}{f_{\text{к}}},$$

откуда

$$x_{\text{ф}} = \frac{x_{\text{л}}}{f_{\text{к}}} y_{\text{ф}}.$$

Подставив значение $y_{\text{ф}}$, получим

$$x_{\text{ф}} = \frac{B_{\text{ф}} x_{\text{л}}}{p}. \quad (102)$$

Аналогично

$$z_{\text{ф}} = \frac{B_{\text{ф}} z_{\text{л}}}{p}. \quad (103)$$

К основным параметрам стереосъемки относят длину базиса фотографирования, отстояние фототеодолита от снимаемых объектов и фокусное расстояние камеры фототеодолита.

При составлении проекта съемочных работ используют минимально допустимое отстояние $y_{\text{ф min}}$ и максимально допустимое отстояние $y_{\text{ф max}}$ точек от базиса фотографирования, первое из которых обеспечивает появление стереоэффекта, второе — заданную точность.

Минимально допустимое отстояние зависит от технических данных стереоприборов и особенностей стереоскопического зре-

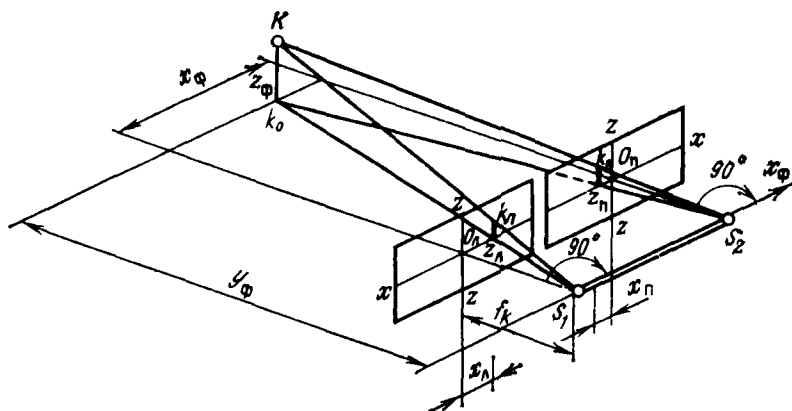


Рис. 161. Схема нормальной стереофотограмметрической съемки

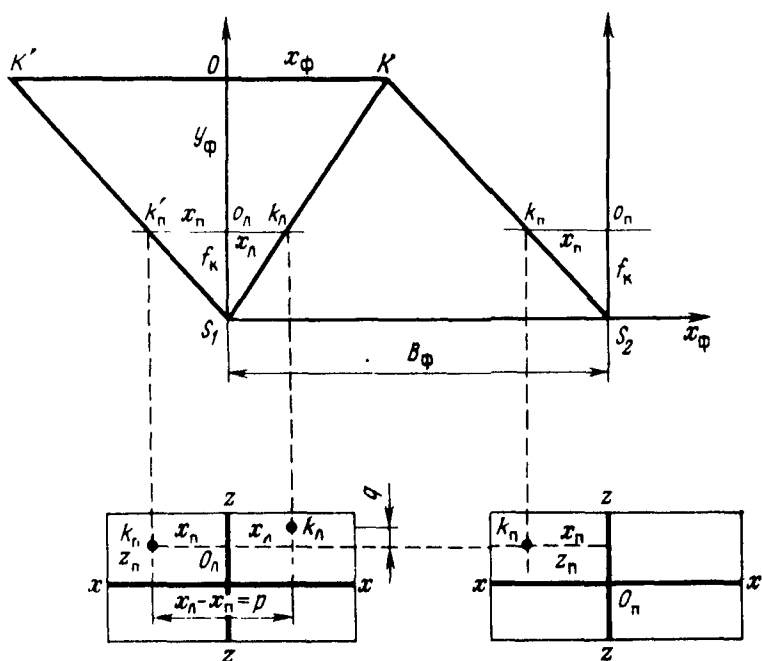


Рис. 162. Схема определения фотограмметрических координат точки местности

ния наблюдателя, его величина может быть определена по формуле

$$y_{\phi_{\min}} = (3-4) B_{\phi}. \quad (104)$$

Максимально допустимое отстояние определяется по формуле

$$y_{\phi_{\max}} = 1,25 \frac{M f_{\kappa}}{100} t_{\min}. \quad (105)$$

Здесь M — знаменатель масштаба составляемого плана,

$$t_{\min} = \cos \varphi - \frac{x^2}{f_{\kappa}} \sin \varphi,$$

где φ — угол скоса снимка; x — наибольшее значение координаты x на правом снимке в пределах рабочей площади стереопары. На практике $y_{\phi_{\max}}$ (отстояние дальнего плана) не должны превышать 4,3 и 1,5 км при использовании фотокамер с фокусным расстоянием соответственно 300, 200 и 100 м.

Длина базиса фотографирования в зависимости от требований к точности и возможностей обработки снимков на стереоприборах может быть определена:

1) если выполняется съемка всего карьера или участка местности с целью картирования, то для определения величины базиса используется формула:

$$B_{\phi} = 15 \frac{y_{\Delta}^2}{M f_{\kappa} t_{\min}}, \quad (106)$$

где y_{Δ} — отстояние дальней границы участка отработки данной стереопары;

2) если ежемесячная пополнительная съемка используется для подсчета объема экскаваторной заходки, то для определения величины базиса используется формула

$$B_{\phi} = \frac{y_{\Delta}^2 k}{5 f_{\kappa} t d}, \quad (107)$$

где d — ширина экскаваторной заходки, м; $k = \sin \alpha / \cos \beta$; $t = \cos \varphi - 0,3 \sin |\varphi|$. В последних двух выражениях α — угол между направлением проектирующего угла и обобщенным направлением бровки уступа на дальнем плане; φ — угол скоса; β — угол между направлениями проектирующего луча и оси y_{ϕ} .

Расчетное значение k принимает не менее 0,5.

Приведем примеры расчета длины базиса фотографирования.

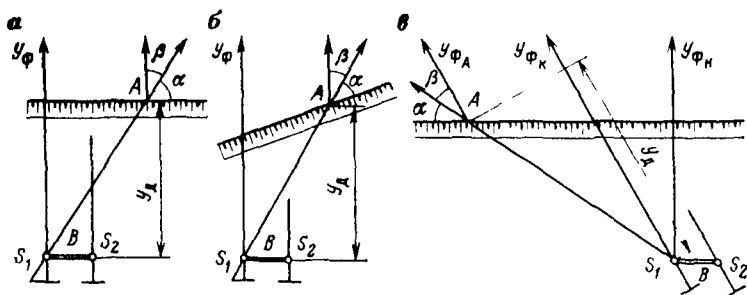


Рис. 163. Схема расчета длины базиса при наземной стереофотограмметрической съемке:

a — нормальный вид съемки; линия бровки уступа перпендикулярна к оси y_ϕ , *б* — нормальный вид съемки; линия бровки уступа расположена под углом к оси y_ϕ , *в* — равноотклоненный вид съемки

1. Пополнительная съемка карьера, нормальный вид съемки (рис. 163, *a*). Исходные данные для расчета: $y_d = 2000$ м, $f_k = 190$ мм, $\phi = 0$, $d = 20$, $t = 1$, $k = 1$.

Согласно (107) напишем:

$$B_\phi = \frac{y_d^2 k}{5 f_k t d} = \frac{2000^2 \cdot 1}{5 \cdot 190 \cdot 1 \cdot 20} = 210 \text{ м.}$$

2. Пополнительная съемка карьера, обобщенная линия бровки уступа на дальнем плане расположена к оси y_d под углом α , отличным от 90° (рис. 163, *б*).

Исходные данные для расчета: $y_d = 2000$ м, $f_k = 190$ мм, $\phi = 0$, $d = 20$ м, $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 25^\circ$, $t = 1$, при $k = 0,38$ в расчете принимаем $k = 0,5$.

Согласно (107) напишем:

$$B_\phi = \frac{y_d^2 k}{5 f_k t d} = \frac{2000^2 \cdot 0,5}{5 \cdot 190 \cdot 1 \cdot 20} = 105 \text{ м.}$$

3. Пополнительная съемка карьера, равноотклоненный вид съемки (рис. 163, *в*). Исходные данные для расчета: $y_d = 2000$ м, $f_k = 190$ мм, $\phi = 31,5^\circ$, $d = 20$ м, $\alpha = 35^\circ$, $\beta = 22^\circ$, $t = 0,7$, $k = 0,61$.

Согласно (107) напишем

$$B_\phi = \frac{y_d^2 k}{5 f_k t d} = \frac{2000^2 \cdot 0,61}{5 \cdot 190 \cdot 0,7 \cdot 20} = 183 \text{ м.}$$

4. Топографическая съемка карьера, нормальный вид съемки.

Исходные данные для расчета: $y_d=2000$ м, $M=2000$, $t=1$,
 $f_k=190$ мм.

Согласно (106) напишем

$$B_\phi = 15 \frac{y_d^2}{M f_k t} = \frac{15 \cdot 2000^2}{2000 \cdot 190 \cdot 1} = 158 \text{ м.}$$

Наземная стереофотограмметрическая съемка карьера включает в себя следующие виды работ: рекогносцировку, геодезические измерения, фотографирование местности.

В результате рекогносцировки выбирается местоположение пунктов опорной сети, базисов фотографирования и контрольных точек. 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 фотограмметрическим и геодезическим способами. Таким образом, при сопоставлении координат, полученных двумя независимыми методами, возникает возможность контроля правильности проведения стереофотограмметрической съемки. Для одной станции обычно намечают по три корректирующих точки 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.

Места для закладки базисов фотографирования выбираются таким образом, чтобы они располагались параллельно фронту работ и на одном уровне со снимаемыми объектами (или несколько выше). Необходимо также, чтобы разность высот концов базисов фотографирования была минимальной, так как при фотографировании карьера с наклонного базиса происходит смещение одноименных точек на снимке стереопары по оси, называемое вертикальным параллаксом. Последний 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 $0,3 B_\phi$. 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.

Места расположения базисов фотографирования выбираются с учетом следующих соображений;

базисы фотографирования должны располагаться выше снимаемых объектов или на одном уровне с ними;

точки базиса должны размещаться в местах, где обеспечивается их длительная сохранность;

базисы должны быть размещены таким образом, чтобы съемка участка выполнялась с наименьшим количеством стереопар. При этом используются как нормальный, так и равноотклоненный виды стереофотограмметрической съемки.

В зависимости от размеров карьера, системы разработки, направления фронта работ могут быть следующие варианты расположения базисов и съемки карьеров:

1) при транспортной системе разработки с внешними отвалами базисы фотографирования неглубоких карьеров располагаются на бортах, при съемке нижних уступов глубоких карьеров базисы располагаются на площадках уступов;

2) при транспортной системе с внутренними отвалами и при транспортно-отвальных системах базисы фотографирования размещаются непосредственно на отвалах;

3) 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.

Для выполнения съемочных работ на концах базиса устанавливаются штативы. На левом исходном конце базиса по направлению съемки устанавливают теодолит (для измерения базиса). Затем фотографическую камеру ориентируют относительно базиса, фотографирование ведется с левого и правого концов базиса. Оптическая ось располагается нормально к направлению базиса.

Геодезические работы при наземной стереофотограмметрической съемке включают следующее:

1. Определение плановых координат левых точек базисов и измерение длин базисов. Длина базиса фотографирования может измеряться с помощью рулетки, мерной ленты, провольного длиномера и других приборов, обеспечивающих расхождение между прямым и обратным измерениями не более 1:2000 длины базиса. Плановые координаты и высоту левой точки базиса определяют по требованиям к пунктам съемочной сети. Плановые координаты левых точек базисов определяются при помощи триангуляции и аналитических сетей, прямыми и обратными засечками, проложением полигонометрии и теодолитных ходов, полярным и фотограмметрическим способами.

2. Определение дирекционного угла базиса фотографирова-

ния путем измерения в левой точке базиса горизонтальных углов между направлением на правую точку базиса и некоторыми двумя точками опорной маркшейдерской сети.

3. Маркировка контрольных (опорных) точек осуществляется путем установки на них марок, изготовляемых в виде щитов из фанеры или другого материала. Координаты и высоты опорных точек определяют как для пунктов съемочной сети.

Для корректирования фотограмметрической модели каждая стереопара должна быть обеспечена тремя опорными точками.

Тахеометрическую съемку карьеров применяют:

для съемки карьеров, где технология разработки позволяет непосредственно по результатам съемки уступов определять объем вынутых пород вскрыши и полезного ископаемого в целике;

для съемки малых по производительности карьеров;

для съемки «мертвых» пространств при изменении наземной стереофотограмметрической съемки;

для контрольной съемки горных выработок при выборочной проверке их положения на плане и для съемки в тех случаях, когда стереофотограмметрические способы нецелесообразны или их нельзя применять.

Т а б л и ц а 46

Место съемки площадка
уступа гор 170 м
Прибор Т15 № 5118

Исполнитель *Титов И. И.*

Точки визи- рования	Отсчет по даль- номеру	Отсчет по гори- зонтальному кругу	Отсчет по верти- кальному кругу	Угол наклона ν	Горизонтальное продолжение, м	Превышение $h =$ $= d \operatorname{tg} \nu + i - v,$ м	Высоты точек, м	Примечания и эскизы
				Станция II, IV			190,30	
x		0°00'						
1	35,1	217 15	90°28'	-0°28'	35,1	-0,28	190,02	$MO = 90°00'$ $k = 100$ $c = 0,0$ $i = 1,52$ $v = 1,52$
2	9,8	269 03	91 10	1 10	9,8	-0,20	190,10	
3	28,1	325 51	89 27	+0,33	28,1	+0,27	190,57	
4	51,0	330 01	89 39	+0 21	51,0	+0,31	190,61	
5	75,5	348 20	89 26	+0,34	75,5	+0,75	191,05	
6	81,7	344 52	79 28	+10 32	79,0	+14,68	204,98	
7	59,9	325 11	75 23	+14,37	56,1	+14,63	204,93	
8	36,7	316 15	65 03	+24 57	30,2	+14,05	204,35	
9	28,0	273 15	52 05	+37 55	17,4	+13,55	203,85	
10	28,2	261 41	55 59	+34,01	19,4	+13,09	203,39	
11	38,8	230 33	69 22	+20 38	34,0	+12,80	203,10	
x		0°01'						

Выполняют тахеометрическую съемку теодолитами типа Т20 и Т15, а также номограммными тахеометрами.

При использовании тахеометрии расстояние от прибора до рейки не должно превышать 150, 200 и 300 м при съемке бровок уступов соответственно в масштабах 1:1000, 1:2000, 1:5000. Но если высота уступа не превышает 3 м, то расстояние до рейки не должно быть более 150 м. При съемке четких контуров (здания, сооружения) расстояния от прибора до рейки не должны превышать 80, 100, 150 м при масштабах съемки соответственно 1:1000, 1:2000, 1:5000. Расстояние между пикетами на бровках уступов не должно быть более 20 м, если бровки сложной конфигурации, и 30 м при бровках простой конфигурации при масштабе съемки 1:2000 и соответственно 30—40 и 50 м при масштабе съемки 1:2000.

На каждой станции тахеометрической съемки ведут абрис и полевой журнал (табл. 46). Высоты пикетов и горизонтальные приложения после вычислений округляют до дециметров.

§ 151. ПОДСЧЕТ ОБЪЕМОВ ГОРНОЙ МАССЫ

Горнодобывающие предприятия применяют три вида учета добычи: маркшейдерский, оперативный и бухгалтерский.

В основу бухгалтерского учета положены соответствующие документы об отгрузке товарного полезного ископаемого. Ведут бухгалтерский учет в целом по предприятию за каждый месяц. При бухгалтерском учете для получения общего объема добычи необходимы маркшейдерские замеры остатков полезного ископаемого на складах, т. е. общий объем добычи за месяц:

$$Q = Q' + (q_2 - q_1), \quad (108)$$

где Q' — количество отгруженного (реализованного) товарного полезного ископаемого; q_1 и q_2 — остатки товарного полезного ископаемого на складе соответственно на начало и конец месяца.

Бухгалтерский учет является основой для определения выполнения государственного плана по объему и реализации добытой продукции в целом по предприятию.

Оперативный (статистический) учет применяется для оценки как добычи полезного ископаемого, так и вскрышных работ. На карьерах оперативный учет добычи при вывозке железнодорожным или автомобильным транспортом при наличии весов осуществляется по данным непосредственного взвешивания вагонов или автомашин до и после их загрузки; при отсутствии весов — по числу вагонов или автомашин и среднему значению массы полезного ископаемого в транспортном сосуде с последующей корректировкой на недогруз или перегруз.

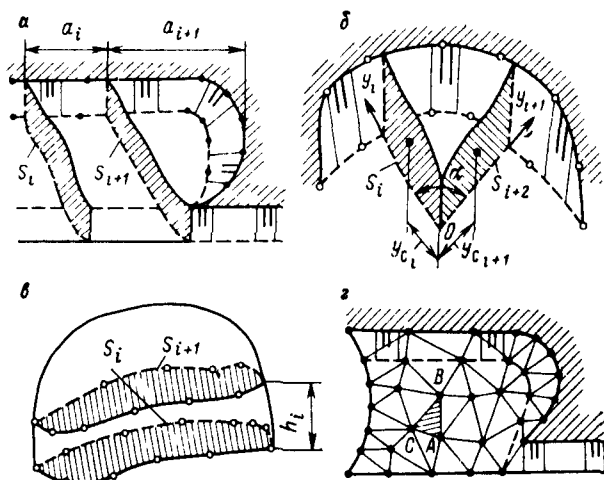


Рис. 164. Способы подсчета объемов.

a — вертикальных параллельных сечений; *б* — вертикальных непараллельных сечений; *в* — горизонтальных сечений; *г* — трехгранных призм

При оперативном учете объем добычи, например по отдельному забою, за отчетный период определяют по формуле

$$Q = N g k, \quad (109)$$

где N — число емкостей, подсчитанное диспетчерской службой; g — масса полезного ископаемого в сосуде при его нормальной загрузке; k — коэффициент загрузки емкости, который периодически определяется маркшейдером измерением фактического объема горной массы, вывезенной с горного участка.

Маркшейдерский учет ведут по результатам инструментальной съемки. Подсчет объемов полезного ископаемого и вскрыши при маркшейдерском учете ведут по основным планам по горизонтам горных работ. При этом для подсчета объемов используют способы вертикальных и горизонтальных сечений, трехгранных призм и другие способы, обеспечивающие необходимую точность результата.

Способ параллельных вертикальных сечений (рис. 164, *a*) применяют для подсчета объема заходок и выемочных блоков с вытянутыми и примерно параллельными контурами.

Подсчеты ведутся:

1) если площади параллельных сечений не отличаются друг от друга более чем на 40 %, по формулам:

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} v_i; \quad v_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} a_i,$$

где v_i — объем между смежными сечениями, м^3 ; S_i, S_{i+1} — площадь сечения, м^2 ; a — расстояние между смежными сечениями, м ;

2) если площади параллельных сечений отличаются по величине более чем на 40 %, по формулам

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} v_i; \quad v_i = \frac{S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}}{3} a_i;$$

3) для крайних блоков по формуле

$$= \frac{S_{i+1}}{3} a_{i+1}.$$

Способ непараллельных вертикальных сечений (рис. 164, б) применяют на значительных по объему криволинейных участках заходок и выемочных блоков. Подсчет извлеченных объемов ведут по следующим формулам:

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} v_i;$$

$$v_i = \frac{\alpha}{6} [y_{c_i} (2S_i + S_{i+1}) + y_{c_{i+1}} (2S_{i+1} + S_i)],$$

где α — угол между сечениями; y_c — ордината центра тяжести сечения.

Способ горизонтальных сечений (рис. 164, в) используют для определения объемов при изображении горного объекта в горизонталях. Для подсчета объемов используют формулы:

1) при сечениях, не отличающихся по площади более чем на 40 %

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} v_i; \quad v_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} h_i;$$

2) при сечениях, отличающихся по площади более чем на 40 %

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} v_i; \quad v_i = \frac{S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}}{3} h_i,$$

где v_i — объем между смежными сечениями, м^3 ; S — площадь сечения, м^2 ; h — высота сечения, м .

Способ трехгранных призм (рис. 164, г) применяют для определения объемов при изображении объема в проекции с числовыми отметками. Для подсчета объема используют следующую формулу

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} v_{a_i} - \sum_{i=1}^{i=k} v_{b_i},$$

в которой значения v_a и v_n определяют из выражения

$$V_{в(н)} = \frac{1}{3} S (z_A + z_B + z_C),$$

где $V_{в}$, $V_{н}$ — объемы трехгранных призм (например, ABC , см. рис. 164, з), построенных независимо для верхней и нижней поверхностей тела в границах выемки; n , k — число призм, сформированных соответственно на верхней и нижней поверхностях; S — площадь основания призмы; z_A , z_B , z_C — высотные отметки вершин призмы; AB — отрезок контура или сторона построенного треугольника.

Способ объемной палетки обычно используют для определения объемов при изображении поверхности в числовых отметках, располагаемых по прямоугольной сетке, или при равнинном рельефе, изображенном в горизонталях.

Подсчет объема способом объемной палетки выполняют по следующей формуле

$$V = S \sum_{i=1}^{i=n} h_i,$$

где S — площадь прямоугольника, представляющего собой основание палетки, m^2 ; h — высота вынимаемого слоя, m ; n — число точек палетки в границах выемки.

Достоверность отчетных данных по карьере как за месяц, так и за год проверяют контрольным подсчетом объемов, выполняемым по планам горных выработок и разрезам.

Расхождения между объемом, принятым к учету за год, и объемом по контрольному подсчету не должны превышать данных, приведенных ниже.

Объемы вынутых пород, тыс m^3	До 20	20—50	50—100	100—200
Допустимая относительная разность объемов вынутых пород при контрольном подсчете, %	15	12	9	6

Объемы вынутых пород, тыс m^3	200—500	500—1000	1000—2000	Более 2000
Допустимая относительная разность объемов вынутых пород при контрольном подсчете, %	4	3	2	1,5

§ 152. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Маркшейдерское обслуживание буровзрывных работ заключается в подготовке графической документации для составления проекта буровзрывных работ и составлении на участке буро-

вых работ основы для разбивки в натуре проектного положения буровых выработок.

Подготовка графической документации состоит в изготовлении выкопировки с пополненного на момент составления проекта плана горных выработок и, при необходимости, с разреза горных выработок.

Проект взрыва обычно составляют в масштабе 1 : 1000 или 1 : 5000, поэтому, если требуется план в более крупном масштабе, то выкопировку увеличивают до нужного масштаба.

На выкопировке должны быть показаны: положение верхней бровки уступа, граница полностью очищенного экскавационного откоса, границы развала взорванной ранее и неубранной горной массы, высоты характерных точек нижней и верхней площадок уступа не реже чем через 20 м, положение опор контактной сети и железнодорожных путей, если отработка ведется с применением железнодорожного транспорта, границы размещения в массиве пород с различными по взрываемости и буримости характеристиками, положение тектонических нарушений и характеристика трещин отдельностей, границы опасной зоны, определяемой правилами ведения взрывных работ, и положение зданий и сооружений, находящихся в непосредственной близости от этой зоны.

Положение устьев скважин переносят в натуру на основании проекта. При расположении взрываемого блока у контура карьера и при проходке капитальных съездов выносят инструментально все взрывные выработки. В остальных случаях, если взрывные выработки проходят при незачищенном откосе уступа, инструментально выносят взрывные выработки первого ряда, а при защищенных уступах инструментально разбивают только первую и последнюю из них. Разбивку мест расположения остальных скважин выполняет мастер-взрывник.

После окончания проходки взрывных выработок при необходимости выполняют съемку блока, подлежащего взрыву.

§ 153. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРЬЕРОВ

Основными задачами маркшейдерских работ при строительстве карьера являются: обеспечение планово-высотного положения возводимых технических зданий и сооружений, транспортных трасс и коммуникаций, а также проведение открытых и подземных капитальных горных выработок.

При открытой разработке полезных ископаемых получили распространение следующие виды транспорта: рельсовый, автомобильный, конвейерный, отвальные мосты и др.

К маркшейдерским работам при строительстве карьерных железнодорожных путей относят: вынос в натуру осей трасс

в плане и профиле; разбивку стрелочных переводов, отводных путей и съездов; разбивку станций, путепроводов и т. п.; планово-высотный контроль железнодорожных трасс, контроль габаритов подвижного состава.

Профили железнодорожных путей состоят из горизонтальных и наклонных участков. Последние характеризуются уклоном i , являющимся отношением превышения h к горизонтальному расстоянию l :

$$i = \operatorname{tg} \nu = h/l,$$

где ν — угол наклона участка пути.

Различают руководящие, вспомогательные и второстепенные уклоны. Под вспомогательным уклоном понимают уклон, являющийся круче руководящего (на небольшом участке), а под второстепенным — положе руководящего. Для угольных месторождений максимальный руководящий уклон установлен для электрической тяги равным $i=0,040$.

Перенесение в натуру трассы может осуществляться полярным способом, геодезическими засечками или способом проектного полигона. Последний заключается в том, что на местности последовательно откладывают проектные углы поворота трассы и проектные длины трассы.

Элементы кривых трассы определяют по известному углу поворота и заданному радиусу кривой. Детальную разбивку кривых осуществляют способом ординат, продолженных хорд, углов.

Стрелочные переводы разбивают по координатам центра перевода и центра крестовины и углу поворота. Основанием для разбивки железнодорожных путей на станциях является их проект, составляемый в масштабах 1:500 или 1:1000. На плане указывают координаты всех стрелочных переводов, углы поворота, а также положение и высотные отметки всех без исключения путей.

После выполнения планировочных земляных работ с особой тщательностью разбивают в натуре ось главного пути станции и стрелочные переводы.

После укладки станционных путей и стрелочных переводов выполняют исполнительную съемку и составляют план всей железнодорожной станции.

При строительстве железнодорожных путей выполняют контроль габаритов подвижного состава и габаритов приближения строений. Габаритом подвижного состава называют предельное поперечное очертание как вагонов, так и локомотивов. Под габаритом приближения строений понимают предельное поперечное очертание сооружений и устройств, внутрь которого не могут заходить части подвижного состава и грузов, находящихся в подвижном составе.

При строительстве карьеров минимальное расстояние от оси пути до зданий и сооружений не должно быть более 3000 мм на перегонах и 2450 мм на станциях. Контактные опоры устанавливают от оси крайнего пути: для постоянных путей 3100 мм, для перегонных (временных) путей 2750 мм, на станциях 2450 мм. Нормальное расстояние между осями двух параллельных путей 4100 мм.

Строительство автомобильных дорог на карьерах ведут с соблюдением следующих положений: ширина общей полосы дороги 30 м, максимальный уклон на отдельных участках в зависимости от рельефа местности, а также руководящие уклоны в карьере допускаются от 0,060 до 0,100; трассы дорог должны проходить по возможности по кратчайшему расстоянию; радиусы кривых дорог непосредственно в карьере до 30—10 м. Маркшейдерские работы при строительстве автомобильных дорог заключаются в разбивке оси трассы, которую выполняют от ближайших пунктов маркшейдерских опорных сетей.

Маркшейдерское обеспечение проведения выездных и разрезных траншей и съездов заключается:

- в перенесении в натуру проектной оси выработки;

- в контроле правильности проведения выработок по заданным направлению, сечению и высотным отметкам;

- в определении подлежащих выемке и фактически вынутым объемам.

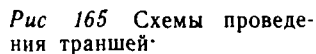
Возможны различные схемы проведения траншей.

1. Траншея проводится на склоне, породу отсыплют под откос (рис. 165, а). Основной задачей маркшейдерских работ в данном случае является соблюдение заданного уклона оси траншеи.

Сначала по координатам, взятым из проекта, выносят на местность точку примыкания оси траншеи. Затем прокладывают теодолитный ход, соответствующий предварительному направлению оси траншеи, которую закрепляют временными пикетами через 50—100 м. По известным отметкам почвы траншеи определяют в натуре точки R_p , R_p , R_p , ..., образующие линию выхода плоскости почвы на склон. После этого разбивают уточненную ось траншеи (точки A , B , C , D , E), используя для этого линию выхода и проектную ширину траншеи. Разбивают на местности линии верхней и нижней бровки промером от оси траншеи.

2. Траншея проводится сплошным забоем с погрузкой породы на транспорт, расположенный на ее борту (рис. 165, б), или выемкой породы драглайном и разгрузкой ее на борта (рис. 165, в).

Способом, описанным в предыдущем случае, прокладывают теодолитный ход, выносят ось траншеи, закрепляют ее на прямолинейных участках на расстоянии до 50 м, на криволиней-



а — на склоне, б — с отгрузкой породы в вагоны, в — с выемкой породы драглайном на борта траншеи, г, д — с помощью массовых взрывов на выброс

ных — на расстоянии до 10 м. Одновременно на борту траншеи разбивают ось железнодорожного пути или ось породного отвала, если сооружение траншеи ведут драглайном. При проходке траншеи через 20—30 м задают реперы $R_{p_1}, R_{p_2}, R_{p_3}, \dots$, контролирующие высотные отметки ее почвы. Реперы должны быть смещены от оси траншеи таким образом, чтобы они были расположены на линии хода одной из гусениц экскаватора.

3. Траншея проводится с помощью массовых взрывов на выброс (рис. 165, г, д). Маркшейдерские работы в этом случае заключаются в том, что в натуру выносят проектные 2 положения взрывных выработок.

После их проведения 1 выполняют съемку, необходимую для уточнения массового взрыва.

После взрыва выполняется съемка, на основании которой определяют объем взорванной массы, затем выносят ось и боковые бровки траншеи и задают реперы для контроля уклона почвы траншеи.

§ 154. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Проблема восстановления земель, нарушенных в результате открытой разработки месторождений полезных ископаемых, имеет одно из первостепенных значений. Комплекс мероприятий, направленных на восстановление земельных участков, принято называть рекультивацией земель.

Различают следующие виды рекультивационных работ — горнотехнические, биологические и строительные.

Горное предприятие выполняет горнотехническую рекультивацию, заключающуюся в подготовке освободившихся от разработки территорий для последующего биологического или строительного освоения. Горнотехническая рекультивация включает в себя следующий цикл работ: 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.

Маркшейдерские работы, направленные на обеспечение работ по восстановлению земной поверхности, заключаются в:

выполнении крупномасштабной топографической съемки земной поверхности на площадях, отведенных под карьер, внешние породные отвалы и хвостохранилища, где предусмотрено снятие почвенного слоя;

отводе согласно планам развития горных работ и внешних отвалов площадей под снятие почвенного и подпочвенного слоев земной поверхности;

съемке площадей спланированных породных отвалов и хвостохранилищ, подготовленных к покрытию почвенным слоем;

периодической съемке и определении объемов выполненных работ по снятию и насыпке почвенного слоя, а также в определении объемов почвы на складах;

перенесении проекта планировки бортов и дна отработанного карьера, предназначенного к использованию в качестве водоема или для других целей.

Топографические планы для решения вопросов со снятием почвенного слоя составляют по результатам тахеометрической съемки или съемки по квадратам в масштабе 1:500 или 1:1000 с сечением горизонталей через 1,25—0,5 м. На планы наносят точки взятия проб почвы с указанием мощности почвенного и подпочвенного слоев, подлежащих выемке. Эти топографические планы в дальнейшем являются основой, на которую наносят результаты периодически проводимых дополнительных съемок работ по снятию почвенного слоя.

Объем удаляемого почвенного слоя определяют чаще всего с помощью объемной палетки, используемой на плане изомощностей.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какая должна быть плотность опорной сети для съемки карьера?
- 2 Назовите способы создания съемочных сетей для съемки карьеров
- 3 Назовите размеры сетки, используемой для съемки карьеров
- 4 Охарактеризуйте способы переноса пунктов съемочной сети на ниже лежащие уступы
- 5 Назовите масштабы съемки карьеров и внешних отвалов
- 6 Назовите требования для выбора места расположения базиса фотограмметрической съемки карьеров
- 7 В чем заключается маркшейдерское обслуживание буровзрывных работ при открытом способе отработки месторождений полезных ископаемых?
- 8 В чем заключается маркшейдерское обслуживание работ по восстановлению (рекультивации) земной поверхности?

Глава 23

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ

§ 155. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ РОССЫПЕЙ

Россыпные месторождения полезных ископаемых (россыпи) имеют неглубокое залегание и чаще всего вытянутую лентообразную форму. Разрабатывают россыпи подземным или открытым методом, при открытом применяют скреперно-бульдозерный, экскаваторный, гидравлический, а также дражный способы.

Первый способ открытой разработки применяют в случаях, где рациональным является послойная выемка, как торфов, так и песков. Характерные особенности скреперно-бульдозерного способа заключаются в развитии горных работ на относительно большой площади при незначительной величине углубки.

Экскаваторный способ применяют, главным образом, на талых россыпях. Вскрытие в этом способе осуществляют на отно-

сительно небольших площадях, но слоями сравнительно большой мощности, в некоторых случаях несколькими слоями (уступами).

В обоих приведенных случаях отработку россыпей с землеройными машинами выполняют на выемочных участках, называемых полигонами, ширина которых значительно больше глубины.

Гидравлический способ разработки россыпей нашел применение для извлечения песков на отдельных, разобщенных участках со сравнительно небольшими запасами полезного ископаемого. Отбойка, разрушение, а также перемещение песков до промывочных устройств и в отвалы в этом способе осуществляют энергией напорной воды. При гидравлическом способе образуют глубокие узкие выработки, называемые разрезами.

Подводные россыпи разрабатывают драгами, представляющими собой землечерпалки, оснащенные обогатительным оборудованием. Часть россыпи, разрабатываемую драгой, называют дражным полигоном, а выработанное пространство — дражным разрезом.

Маркшейдерской службой при обслуживании разработки россыпей решаются следующие вопросы:

- создание маркшейдерских опорных сетей;
- составление проектов геологоразведочных и горно-эксплуатационных работ;
- перенесение с проекта в натуру основных элементов горно-технических сооружений, геологоразведочных и горно-подготовительных выработок;
- контроль за правильным и безопасным ведением горных работ;
- проведение маркшейдерских съемок;
- определение объемов выполнения горных работ, подготовленных запасов, потерь и разубоживания полезных ископаемых;
- выполнение оперативного руководства горными работами.

§ 156. СОЗДАНИЕ СЪЕМОЧНЫХ СЕТЕЙ

При разработке россыпей плановое положение съемочных сетей определяют в виде цепочек треугольников, теодолитных ходов, геодезических засечек, а также при помощи прямоугольных сеток. Пункты съемочной сети должны быть размещены равномерно вдоль месторождения и за его границей, причем, на каждый километр месторождения должно быть не менее 3—4 пунктов.

Горизонтальные углы в съемочных сетях измеряют теодолитом типа ТЗ0 двумя приемами или повторениями. Углы между линиями прямых и комбинированных засечек при определяемом пункте не должны быть менее 30° и более 150°. Расстояния от

исходных до определяемых пунктов не должны превышать 2 км. Расстояния измеряют светодальномером со средней квадратической погрешностью не более 0,1 м.

Предельная длина цепочек треугольников между исходными пунктами не должна превышать 3,6 км. В цепочке можно иметь не более 7 треугольников, сторона треугольника не должна превышать 1 км.

Теодолитные ходы должны прокладываться или между пунктами маркшейдерской опорной сети или в виде замкнутых полигонов. Длины сторон не должны превышать 400 м и быть меньше 100 м. Предельная общая длина хода 2,5 км. Длины сторон в теодолитных ходах измеряют компарированными металлическими рулетками, мерными лентами, светодальномерами с относительной погрешностью 1 : 1500. Угловые невязки в ходах не должны превышать $45''\sqrt{n}$, где n — число измеренных углов в ходе.

Высоты пунктов съёмочной сети могут определяться как тригонометрическим, так и геометрическим техническим нивелированием. При этом в техническом нивелировании допустимая невязка $50\sqrt{L}$, мм, где L — длина хода нивелирования, км; в тригонометрическом $0,04L/\sqrt{n}$, где L — длина тригонометрического хода, м; n — число сторон в ходе.

§ 157. СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ РОССЫПЕЙ

При открытой разработке россыпей в результате съёмки определяют:

- рельеф и ситуацию земной поверхности;
- конфигурацию и объёмы слоев торфов, галей и эфелей;
- при дражных разработках контуры бьефа, рельеф берегов и дна, водотоки;
- расположение и размеры разведочных выработок;
- параметры и расположение траншей, канав, котлованов, дамб, плотин, перемычек, дренажных выработок и других сооружений;
- положение бровок уступов и траншей, поверхности плотика; геологическую и гидрогеологическую ситуацию;
- параметры деформационных процессов пород: осыпей, обрушений, оплывин и оползней.

Топографическую съёмку земной поверхности выполняют в масштабе 1 : 2000 с сечением рельефа через 1 или 2 м. Съёмку горных выработок, как правило, производят в масштабе 1 : 2000. Если площадь разрабатываемой за месяц россыпи не превосходит 3 тыс. м², то в масштабе 1 : 1000 съёмка разрабатываемой

части россыпи должна выполняться ежемесячно. Погрешность определения объемов вынутых на полигоне за месяц песков или торфов не должна превышать 6 %. Отвалы же снимают раз в год к началу подсчета запасов.

При съемках россыпей, разрабатываемых открытым способом, могут быть применены способы нивелирования площадей, тахеометрический, наземной стереофотограмметрии, профильных линий и ультразвуковой локации.

Нивелирование площади. Этот способ используют при скреперно-бульдозерном и экскаваторном извлечении полезного ископаемого, а также при предварительном вскрытии торфов слоями мощностью до 1,5 м, залегающими над песками, разрабатываемыми драгами.

В зависимости от формы и размеров полигона сетку ориентируют или по среднему направлению простираения россыпи, или параллельно координатным осям x , y .

В первом случае сетку разбивают непосредственно на местности, после чего ее привязывают к пунктам опорной маркшейдерской сети. При ориентировании по направлениям осей прямоугольных координат вначале составляют проект сети, определяют разбивочные элементы, по которым проект переносят в натуру. При этом закрепляют и определяют координаты основных пунктов прямоугольной сетки. Длины сторон основных прямоугольников сетки выбирают кратными длинам сторон наименьших заполняющих прямоугольников.

Вершины основных пунктов определяют с точностью, принятой для съемочных сетей.

Для упрощения работ по разбивке или восстановлению сетки часть вершин закрепляют в виде отдельных створов, в пересечении которых отмечают вершины квадратов при помощи деревянных колышков длиной 25—30 см.

Размеры наименьших сторон прямоугольной сетки определяют в зависимости от двух групп россыпей:

первая — с плавными формами рельефа земной поверхности и плотика, а также выдержанной мощностью торфов и песков,

Т а б л и ц а 47

Показатель k , м ²	Размер сторон сетки, м	Показатель k , м ²	Размер сторон сетки, м
Первая группа		Вторая группа	
40	10×10	40	5×5
100	20×20	80	10×5
160	20×20	120	10×10
400	40×20	250	20×10
600	40×40	400	20×20

однородным литологическим составом пород и равномерным их оттаиванием во время разработки, и вторая — с наличием микроформ рельефа земной поверхности и плотика, неравномерной мощностью торфов и песков, неодинаковым составом пород, а также наличием таликовых участков, препятствующих равномерной выемке торфов или песков.

Выбор оптимального размера съемочной сетки производят с использованием показателя k и выполняют по данным табл. 47. Показатель k определяют из выражения

$$k = V/\sqrt{S},$$

где V — объем вскрытия (промывки) за месяц, м^3 ; S — площадь разработки, м^2 .

Нивелирование площади рекомендовано проводить с соблюдением следующих требований:

отсчеты по рейке, установленной на исходном репере или переходной точке, берут дважды — в начале и в конце работ на станции; разность двух отсчетов не должна превышать 4 мм; расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 250 м;

высоту горизонта нивелира, отсчеты по рейкам округляют до сантиметров, высоты пикетов — до дециметров.

При съемке способом нивелирования площадей границу выработанного пространства определяют тахеометрическим или ординатным способами.

Тахеометрическая съемка применяется при экскаваторном, гидравлическом, дражном и бульдозерно-скреперном способах разработки россыпей в тех случаях, если вынимаемая за месяц мощность слоя превышает 1,5 м.

Выполняют тахеометрическую съемку с пунктов маркшейдерской опорной сети, а также с пунктов съемочной сети, последняя может сгущаться проложением тахеометрических ходов с числом сторон не более трех при общей длине хода не более 0,5 км. Причем, при углах наклона линий хода менее 2° возможно измерение длин сторон нитяным дальномером.

Для тахеометрической съемки могут быть использованы теодолиты типа Т30, Т15 или авторедукционные тахеометры. Расстояния от прибора до пикета не должны превышать 200—250 м при съемке бровок уступов, при съемке же четких контуров (здания, сооружения) не должны превышать 100 м. Расстояния между пикетами, располагаемыми по поверхности слоя, не должны быть более 40 м, между пикетами, располагаемыми вдоль нижней и верхней бровок, — не более 20 м.

Высоты пикетов должны быть округлены до дециметров.

Способ профильных линий обычно применяют на россыпях, разрабатываемых слоями большой мощности, и если откосы и

подошва слоев имеют сложные поверхности, а также при разработке россыпей уступами.

При применении данного способа еще до начала разработки россыпи разбивают профильные линии, концы которых закрепляют за границами горных работ. Расстояние между профильными линиями не должно быть более 25 м.

Положение характерных точек вдоль профильных линий определяют тахеометрическим способом, рейку вдоль профиля устанавливают визуально. Расстояние между пикетами вдоль профильных линий не должно быть более 25 м.

Наземную стереофотограмметрическую съемку применяют при экскаваторном, гидравлическом и скреперно-бульдозерном способах для случаев, когда местность позволяет иметь необходимое количество базисов, сохраняемых в течение промывочного сезона. Кроме того, базисы должны иметь наибольшее отстояние при мощности вынимаемого слоя 1 м не более 800 м, при мощности менее 1 м — не более 400 м.

§ 158. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДРАЖНЫХ РАЗРАБОТОК РОССЫПЕЙ

Драги представляют мощные и высокопроизводительные горные машины, обеспечивающие добычу, обогащение, получение концентрата и складирование пустых пород в отработанном дражном разрезе. Среди существующих драг наибольшее распространение получили многочерпаковые драги (рис. 166).

При дражной разработке маркшейдерами выполняются следующие работы: контроль выполнения технического проекта разработки россыпи; создание плано-высотной опорной маркшейдерской и съемочных сетей; проведение съемок для определения объемов добычи, потерь и разубоживания полезного ископаемого; пополнение и ведение маркшейдерской документации, ведение учета и отчетности.

Правильное выполнение указанных задач определяется, главным образом, достоверностью определения геометрических параметров дражного забоя.

Для выполнения маркшейдерских измерений на

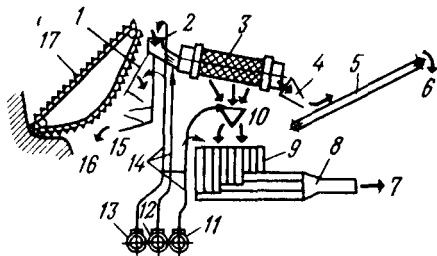


Рис 166 Схема работы многочерпаковой драги

1 — отвал подчерпакового шлюза, 2 — завалочный люк, 3 — бочка; 4 — галечный лоток, 5 — стакер, 6 — галечный отвал, 7 — эфельный отвал, 8 — эфельная колода; 9 — шлюзы; 10 — распределитель, 11 — насосы шлюзов; 12 — насос бочки, 13 — насос завалочного люка, 14 — водопровод, 15 — уловитель; 16 — колосники уловителя, 17 — черпачная цепь

дражном полигоне и территории, прилегающей к нему, создают опорную маркшейдерскую и съёмочную сети.

Опорные сети должны удовлетворять требованиям, изложенным при описании опорных сетей в гл. 22. Съёмочные сети создают в виде цепочек треугольников, геодезических засечек и теодолитных ходов. Требования, предъявляемые к ним, изложены в § 156. На участках, подлежащих затоплению, пункты съёмочной сети располагают на территории, которая не окажется под водой, или создаются специальные устройства в виде свай и т. п.

При строительстве и монтаже драг маркшейдер переносит в натуру ее геометрические оси, от которых в дальнейшем разбивают положение котлована или настила для спуска понтона, а также всех зданий и вспомогательных сооружений.

Если драгу строят в котловане, то его контуры обычно разбивают полярным способом, причем угловые точки закрепляют центрами. Съёмку котлована выполняют способом нивелирования площадей по сетке квадратов со сторонами 10×10 м.

В том случае, если драгу строят на берегу котлована, маркшейдер на суше проверяет положение стапеля и определяет угол наклона настила для спуска драги.

После спуска драги на воду маркшейдер проверяет поперечную и продольную остойчивость понтона (крен и дифферент), а также угол наклона бочки драги. Углы остойчивости понтона не должны быть более $1,5^\circ$. Для определения этих углов маркшейдер намечает четыре угловые точки на понтоне, нивелиром определяет превышения h_1, h_2, h_3, h_4 между ними и стальной рулеткой расстояния a, a_1 вдоль понтона; b, b_1 — поперек понтона.

Угол поперечной остойчивости α и угол продольной остойчивости β вычисляют по формулам

$$\sin \alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{h_1}{a} + \frac{h_3}{a_1} \right);$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2} \left(\frac{h_2}{b} + \frac{h_4}{b_1} \right).$$

Для определения угла наклона бочки драги на ее концах выбирают по точке, измеряют рулеткой расстояние между ними, например, c , и при помощи нивелира превышение h одной точки над другой.

Угол наклона бочки вычисляют по формуле

$$\sin \gamma = h/c.$$

В этот угол вводят поправку за дифферент понтона драги: при дифференте понтона на нос

$$\gamma_0 = \gamma + \alpha,$$

при дифференте понтона на корму

$$\gamma_0 = \gamma - \alpha.$$

Угол γ_0 устанавливается проектом и находится в пределах 6—8°.

Маркшейдерская съемка дражного разреза заключается в систематической съемке незаваленной части дражного забоя.

Съемку борта дражного разреза выполняют до появления оползня. Съемка верхней бровки осуществляется через каждые 2—3 суток или через 20—30 м подвигания драги. Как правило, за этот срок борт дражного разреза не успевает разрушиться.

Верхняя граница дражного разреза, как правило, определяется в результате тахеометрической съемки. Дальномерную рейку при этом в целях безопасности работ располагают на расстоянии 1—3 м от бровки. При затопленной верхней бровке реечник пользуется лодкой или подвесным мостиком. В обоих случаях он нащупывает контур верхней бровки через слой замутненной воды.

Определение контура нижней бровки забоя дражного разреза является довольно трудной операцией. Определяют его с погрешностью около 0,5 м. Для съемки нижнего контура бровки получил распространение способ К. С. Воркова, при котором под верхней площадкой 9 передней мачты 7 (рис. 167) устанавливают в вертикальной плоскости, проходящей через ось черпаковой рамы, рейкодержатель 4 длиной до 12 м с нанесенными на него шкалой заложения лобового откоса.

Расчет шкалы заложения выполняют аналитически или графически по конструктивным размерам драги и геометрическим параметрам забоев и разрезов. Через каж-

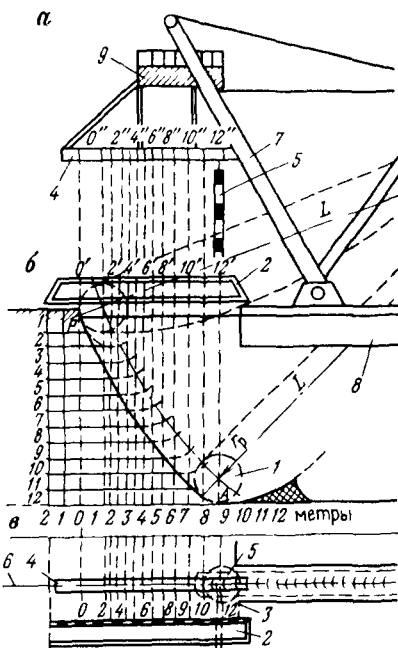


Рис. 167. Схема разметки шкалы заложения забойного откоса на диаметральной рейкодержателе (а), на перилах берегового мостика (б) и ее вид сверху (в).

1 — нижний черпаковый барабан, 2 — перила берегового мостика, 3 — поперечный рейкодержатель рычажного типа, 4 — диаметральный рейкодержатель, 5 — дальномерная рейка с грузом на нижнем конце в момент съемки забоя при длине черпания $h_r = 12$ м, 6 — след диаметральной плоскости драги, 7 — передняя мачта драги, 8 — понтон, 9 — передняя площадка передней мачты драги

дыи метр глубины черпания определяют горизонтальное расстояние между центром нижнего черпакового барабана (НЧБ) и проекцией центра верхнего черпакового барабана (ВЧБ) Аналитически расчет этого расстояния выполняют по формуле

$$l = \sqrt{L^2 - H^2},$$

где L — расстояние между центрами ВЧБ и НЧБ, взятое из паспорта драги, м, $H = h_b - r_p + h_c$ — вертикальное расстояние между центром НЧБ и проекцией центра ВЧБ, м, h_b — высота центра ВЧБ над уровнем воды в дражном разрезе, м, r_p — радиус резания на НЧБ, м, h_c — глубина черпания, м

В описываемом способе применяют тахеометрическую съемку с использованием в качестве дальномерной подвесной рейки 5, которую во время съемки подвешивают над нижним черпающим барабаном (НЧБ)

Проведем расчет шкалы заложения наклона черпаковой рамы драги для следующих условий используется драга ИЗТМ 210, для которой $L = 30,2$ м, $r_p = 1,7$ м, $h = 11,8$ м, $d = 18,9$ м (расстояние от оси шарнира берегового мостика до горизонтальной проекции центра ВЧБ) Откуда $L^2 = 912,04$ м, $h - r_p = 10,1$ м

Необходимые данные для расчета шкалы заложений приведены в табл. 48

Для разметки шкалы заложений берут одно из вычисленных значений расстояния l , уменьшают его на величину расстояния d , т. е.

$$\Delta l_i = l_i - d$$

Полученную разность Δl_i например, для $h = 11$ м, откладывают от оси шарнира к забюю вдоль поручней берегового мостика, и в этом месте надписывают деление шкалы заложений, соответствующее данной глубине черпания Остальные деления размечают от этого штриха через соответствующие интервалы a_i , взятые из табл. 48

Измерение глубины черпания драги может производиться мерными средствами (рулетка с грузом, штокметр и пр.) и автоматическим способом

Т а б л и ц а 48

h_q	H	H^2	L^2	l	$a_i = l_{i-1} - l_i$	$\Delta l_i = l_i - d$
0	10,1	102,10	809,94	28,66	—	9,76
1	11,1	123,21	788,83	28,08	0,38	9,18
11	21,1	445,21	466,83	21,61	0,93	2,71
12	22,2	488,41	423,63	20,58	1,03	1,68

При применении рулеток измерение глубины выполняют с носовой части понтона дважды: один раз с правой стороны понтона при движении драги влево, второй — с левой стороны при движении драги вправо. Измерения выполняют равномерно по всей площади дражного разреза не реже, чем через 2—3 дня работы драги.

Высотные отметки дна дражного разреза вычисляют по отметкам уровня воды на момент измерений и измеренной глубине дна. Для контроля уровня воды на драге устанавливают две водомерные рейки или специальный уровнемер, например, ГПН-20.

При автоматическом измерении дна дражного разреза получили распространение электромеханический и звуколокационный методы.

В электромеханическом методе измерения ширины забоя и глубины черпания выполняют по положению в пространстве рабочих органов драги. В звуколокационном методе используют звуколокатор, который может быть установлен непосредственно на драге или на лодке.

Определение объемов драгирования при разработке россыпных месторождений выполняют, главным образом, способами вертикальных и среднего арифметического сечений.

Способ вертикальных сечений получил распространение при разработке россыпей, имеющих сложную форму плотика. Расстояние между сечениями при этом, как правило, не превышает 20 м.

В способе среднего арифметического объем дражной выработки определяют по формуле

$$V = S_{\text{ср}} h_{\text{ср}},$$

где $S_{\text{ср}}$ — средняя площадь драгирования за отчетный период, м^2 ; $h_{\text{ср}}$ — средняя высота забоя за этот же период, м.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вопросы решает маркшейдерская служба при разработке россыпей?
2. Охарактеризуйте способы создания съемочных сетей при разработке россыпей
3. Что является предметом маркшейдерских съемок при открытой разработке россыпей?
4. Назовите способы съемки, применяемые при съемке россыпей открытым способом
5. Охарактеризуйте основные маркшейдерские работы при дражной разработке россыпей
6. Назовите способы измерения глубины черпания драги.

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

§ 159. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Несмотря на то, что в настоящее время ни один минерал нельзя добывать с морского дна дешевле, чем на суше, отмечается существенное развитие разведочной и горнодобывающей промышленности как у нас в стране, так и за рубежом. Уже известны минералы, добыча которых с морского шельфа перспективна — это песок, гравий, нефть и газ, причем их добыча ведется с возрастающей интенсивностью. Привлекают внимание обнаруженные месторождения фосфатов, россыпей хрома, золота и алмазов, выносимых в океан реками, особое внимание начинает уделяться сульфидным залежам, образующимся на срединных океанических хребтах, марганцевым конкрециям и кобальтовым отложениям.

Изученность Мирового океана с точки зрения эксплуатации его полезных ископаемых пока еще нельзя признать удовлетворительной. Однако несмотря на это, можно уверенно утверждать, что запасы полезных ископаемых шельфовой зоны и глубоководных зон огромны.

В настоящее время более 100 стран ведут геологоразведочные работы на морском дне, что позволило обнаружить богатейшие залежи полезного ископаемого. Пока основное внимание уделяется месторождениям шельфа, где в результате динамической деятельности моря, а также химических процессов, протекающих в морской воде, образуются морские россыпи.

По времени образования морские россыпи могут быть погребенные, континентальные и современные. Морские погребенные россыпи образовались в результате перекрытия древних морских россыпей более молодыми осадками. Погребенные континентальные россыпи формируются при опускании прибрежной поверхности суши ниже уровня моря. Наиболее доступны для освоения современные морские россыпи, обычно они не перекрыты наносами и в основном имеют форму ленты, вытянутой вдоль берега.

Обычно россыпи встречаются на шельфе и подводном береговом склоне. Шельфовые россыпи характеризуются очень малой мощностью пласта песков и высокой концентрацией в песках полезных компонентов (несамородных — до 90 %). Как правило, лентообразные шельфовые россыпи имеют разрывы сплошности на мысах и в устьях рек. Россыпи подводного берегового

склона располагаются на расстоянии от 500 м до 15 км от береговой черты. Длина их несколько десятков километров, а ширина — сотни метров.

§ 160. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОМОРФОЛОГИИ РЕЛЬЕФА ДНА ОКЕАНА

Рельеф дна морей и океанов так же, как и рельеф поверхности, характеризуется сложностью и многообразием форм. На дне океанов имеются сильно расчлененные горные массивы, глубоководные впадины (желоба), плато и равнины. Большая часть площади дна океанов и морей имеет следы вулканической деятельности Земли. Даже на пологих склонах развиты оползни, приводящие к накоплению осадков у их оснований в виде обширных осадочных шлейфов.

По современным представлениям в строении дна океанов различают четыре его структурные особенности (см. рис. 1). Подводная окраина 1, включающая шельф 1а, материковый склон 1в и материковое подножие 1с. Подводную окраину в геологическом отношении представляют как затопленную часть материковой платформы, имеющей тот же тип земной коры, что и материковая платформа и характеризующуюся относительно спокойным тектоническим режимом с заметным преобладанием медленных вертикальных деформаций поверхности. Под шельфом или, как его часто называют, материковой отмелью, понимают мелководную зону подводной окраины, составляющей около 8 % Мирового океана и простирающейся от береговой линии до резкого перегиба поверхности дна, располагаемой на глубине в среднем 130—140 м. Часть шельфа до глубины 30—50 м называют прибрежной мелью. Ширина шельфа измеряется от нескольких десятков до тысячи и более километров. По происхождению шельф подразделяют на трансгрессивный, абразионный, сбросовый, аккумулятивный. Трансгрессивный шельф — наиболее широкий, его формирование протекало за счет таяния ледников и повышения уровня океана, характер рельефа его дна часто неровный. Абразионный и сбросовый шельфы по приходящейся на них площади невелики. Шельф аккумулятивного происхождения образуется вблизи крупных рек и отличается ровной, однообразной поверхностью.

У внешнего края шельфа располагается материковый склон, представляющий собой относительно крутую часть дна. Его ширина невелика и обычно изменяется от 15 до 30 км. Величина углов наклона материкового склона в среднем небольшая — равна 3—6°. Его поверхность нередко изрезана ложбинами, получившими название подводных каньонов и представляющих собой каналы для выносов осадков из береговой зоны. В результате в нижней части каньона накапливаются конусы

наносов площадью до нескольких десятков тысяч квадратных километров.

За материковым склоном идет область материкового подножия. Это наклонная, слабоволнистая равнина на глубинах 2—4 км. Волнистый характер рельефа часто обусловлен соединением отдельных конусов выноса.

В переходной зоне *II*, являющейся промежуточной между зонной подводной окраины *I* материков и ложем океана *III*, различают со стороны материкового подножия — котловину окраинного моря и со стороны океана — островные дуги *IIв* и глубоководные желоба *IIг*.

Ложе океана *III* представлено океаническим типом земной коры и располагается на больших глубинах (от 2500 до 6000 м). Рельеф ложа океана холмистый аккумулятивного типа с большими океаническими котловинами и поднятиями.

Срединные океанические хребты представляют собой горные образования шириной от 0,5 до 2 тыс. км. Вдоль осевой линии хребтов располагается рифтовая долина, где отмечается из недр Земли повышенный тепловой поток.

По обе стороны от рифтовой долины расположены рифтовые гребни с отдельными вершинами, достигающими 7000—8000 м от подножия срединного океанического хребта.

§ 161. ОСОБЕННОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА МОРЕ И ЗАДАЧИ, СТОЯЩИЕ ПЕРЕД МОРСКОЙ ГЕОДЕЗИЕЙ

Морская геодезия начала развиваться с начала 50-х годов для обеспечения работ, связанных с комплексным изучением биологических, минеральных и энергетических ресурсов Мирового океана. В связи с этим появилась необходимость в создании геодезического обоснования для съемочных работ как на прибрежной части, так и в морских условиях. Последнее поставило необходимость создания методов геодезического обеспечения, отличных от методов решения аналогичных работ на суше. Работы на море проводятся с судов или других плавсредств на любом удалении от береговой линии как правило при отсутствии опорной геодезической сети в пределах оптической видимости. В таких условиях возникла необходимость в создании нетрадиционных приборов, позволивших проводить геодезические измерения в морских условиях, в том числе и гидросреде. Для этого разработаны различные типы радиогеодезических и радионавигационных систем наземного базирования, спутниковые навигационно-геодезические системы, гидроакустические средства, а также интегральные навигационно-геодезические системы.

Одной из задач морской геодезии является создание морских опорных сетей и отдельных пунктов общегеодезического и спе-

циального назначения, которые используются для проведения детальных крупномасштабных топографических и геологических съемок.

Большое развитие получают работы, направленные на создание топографических карт шельфа Мирового океана. Эти карты используются при выяснении тектонического строения дна морей и океанов, для оценки месторождений полезных ископаемых, при строительстве гидротехнических и других сооружений, для обеспечения работ, связанных с индустриализацией прибрежной полосы как на суше, так и на море.

Для рекогносцировочных геологических исследований используются топографические карты дна масштаба 1 : 1 000 000, при детальных съемках карты масштаба 1 : 500 000 и в инженерно-геологических целях масштаба 1 : 100 000.

Основной особенностью геодезических работ в акваториях морей и океанов является нестационарность морской среды, которая сказывается на положении судов или других плавсредств, с которых или на которые выполняются наблюдения. Колебания судна в зависимости от ряда факторов могут достигать от долей метра до нескольких десятков метров. Это существенно осложняет измерения с борта судна высокоточными геодезическими приборами.

Второй особенностью геодезических морских работ является отсутствие на акваториях Мирового океана геодезической опоры. Специфика работ заключается в том, что за исключением прибрежной полосы невозможно применение угловых измерений, основным видом измерений при создании геодезического обоснования являются линейные измерения. Величина измеряемой дистанции в зависимости от удаления от берега может изменяться от нескольких метров до нескольких тысяч километров. Эти измерения производятся при помощи специально созданной для этого электронной аппаратуры, не обеспечивающей точности измерений, получаемой при высокоточных геодезических измерениях.

Третья особенность геодезических работ в море определяется физическими свойствами водной среды, плохо пропускающей световые волны (на расстоянии до 60 м). Однако вода является идеальной средой для распространения упругих колебаний. Поэтому подавляющее большинство аппаратуры, применяемой для измерений в воде, использует акустические колебания и принципы гидроакустики.

При разведке и разработке подводных месторождений перед маркшейдерско-геодезической службой стоят следующие задачи [4]:

сбор и изучение имеющихся на данную акваторию геодезических, гидрографических и метеорологических документов;

создание плано-высотной съемочной основы на прибрежной части суши и акватории горного отвода;

проведение дополнительной съемки рельефа поверхности дна и геологоразведочных выработок;

контроль перенесения проекта расположения акваториальных разведочных и горных выработок в натуру;

составление чертежей акваториальной горной графической документации, отражающих рельеф дна бассейна, форму и размеры залежи полезного ископаемого, геологические характеристики залежи, свойства вмещающих породных отложений;

обеспечение съемки подводных горных выработок;

выполнение подсчета запасов месторождений;

определение литодинамических изменений рельефа дна, характеризующихся перемещением наносов, мощностью активного слоя, динамикой изменения исходного рельефа и изменения подводных выработок.

При строительстве и эксплуатации подводных месторождений маркшейдерско-геодезическая служба:

выполняет проектно-изыскательские работы при строительстве портовых и акваториальных технических сооружений — причалов, пульпопроводов, гидротехнических объектов и пр.;

участвует в проектировании и составлении календарного плана развития горных работ;

разрабатывает меры по охране сооружений и окружающей природной среды от вредного влияния горных разработок;

вносит геометрические элементы технического проекта в натуру;

контролирует монтаж установок и параметров гидротехнических сооружений;

задает направления вскрышным и горно-подготовительным выработкам;

осуществляет обслуживание и контроль динамики вскрышных и добычных горных работ;

пополняет маркшейдерские планы, разрезы и другую горную графическую документацию данными результатов съемок горных выработок и отвалов;

составляет горногеометрические графики с целью уточнения формы залежи полезного ископаемого, его качества, свойств вмещающих пород и размещения в залежи полезных компонентов;

контролирует характер изменения литодинамических процессов при разработке месторождения, уточняет прогноз изменения глубин и контуров подводных горных выработок;

участвует в разработке мероприятий по безопасному ведению горных работ;

выполняет учет движения запасов, добычи, потерь и разубоживания полезного ископаемого.

§ 162. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ОПОРНЫЕ МОРСКИЕ СЕТИ

Для выполнения различного рода работ, связанных с разведкой и разработкой дна морей и океанов, создаются опорные акваториальные маркшейдерские сети (рис. 168), которые в зависимости от удаления пунктов от берега разделяются на прибрежные и мористые, располагаемые за пределами видимости с пунктов побережья.

Прибрежные маркшейдерские акваториальные сети развивают от береговых геодезических сетей, мористые — от пунктов маркшейдерской акваториальной сети. Последние также могут представлять собой отдельные локальные сети, построенные от геодезической опорной сети суши.

Развивают маркшейдерские акваториальные сети методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии. Для месторождений, расположенных вблизи от берега для создания опорной сети могут использоваться засечки (прямая, обратная, комбинированная).

Исходной высотной основой для работ на прибрежной акватории служат пункты нивелирования I—IV классов. Абсолютные отметки береговых съемочных пунктов определяются методами

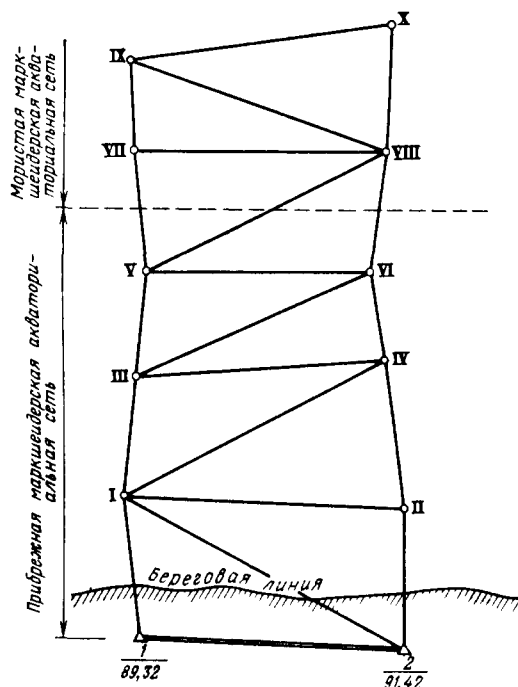


Рис 168 Схема маркшейдерской акваториальной сети

геометрического и тригонометрического нивелирования, акваториальных — как правило, — тригонометрическим нивелированием. Средняя квадратическая погрешность определения высот пунктов маркшейдерских прибрежных сетей относительно исходных реперов не должна превышать 0,02 м, а средняя квадратическая погрешность взаимного высотного положения двух соседних пунктов 0,05 м. В тех случаях, когда в акваториях возникает надежное ледовое покрытие целесообразно использование геометрического нивелирования.

Точки маркшейдерской акваториальной опорной сети отмечаются акваториальными сигналами, которые могут быть столбовые, свайные, фермовые в виде деревянных сигналов или металлических ферм, плавучие, в виде поплавков или буйев с автоматической корректировкой или регистрацией их перемещения относительно центра. При проведении геологоразведочных и горных работ на глубинах до 20 м сигналы могут быть закреплены непосредственно в грунт дна моря.

Устанавливают акваториальные знаки до начала сезона штормовой активности, при этом каждый знак снабжается сигнальными навигационными средствами. При развитии маркшейдерских акваториальных сетей на льду центрами могут служить замороженные в лед металлические стержни или деревянные колья, положение которых из-за возможных подвижек ледового покрова необходимо контролировать повторными наблюдениями, а в ряде случаев и выполнять повторные уравнивания.

Определение положения точек, расположенных в акваториях морей и океанов, может производиться с использованием только береговых или только акваториальных пунктов, а также сочетанием тех и других.

Наилучшее время для проведения наблюдений, когда температура поверхности воды и воздуха близки между собой, так как в этом случае минимально влияние рефракции на результаты измерений.

§ 163. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ И ГОРНЫХ РАБОТ, ПРОВОДИМЫХ НА ДНЕ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

В результате маркшейдерских измерений в акваториях должны быть определены размеры, форма и строение подводных месторождений и отражены на горной графической документации. Маркшейдерские работы на акватории сводятся главным образом к профилированию морского дна и горных морских выработок.

В общем случае все маркшейдерские работы, выполняемые при освоении подводных месторождений, могут быть подразделены на специальные и текущие.

Специальные маркшейдерские работы в акваториях выполняют совместно с определениями геологических и гидрогеологических характеристик месторождения, его геоморфологических и литодинамических особенностей, гидрорежима акватории и т. п. Одна из основных задач специальных маркшейдерских работ заключается в установлении литодинамических процессов, влияющих на характер донного рельефа и параметры залежи и подводных горных выработок. Для картографирования отложений съемки выполняют и в период детальной разведки, и в период эксплуатации месторождений. Важным вопросом при этом является выбор периода повторения наблюдений, который должен быть таким, чтобы изменения рельефа между съемками были соизмеримы с погрешностью самих съемочных работ. На практике частоту наблюдений определяют экспериментально. Для этого участок дна изучают эхолотом таким образом, чтобы расстояние между промерными точками постепенно, начиная с 5 м увеличивалось до 10, 15 м и т. д. Сравнение замеренных значений средних мощностей при различных интервалах опробования, позволяет определить допустимую плотность сети промерных точек. В случаях небольших горных выработок, а также выработок, имеющих сложную конфигурацию, расстояния между промерными точками могут быть менее 5 м.

По результатам промеров вычерчивают горизонтالي рельефа дна. Графики, построенные по данным предыдущей и последующей съемок, позволяют получать характеристики изменения донного рельефа в изолиниях разности глубин. При увеличении глубины изолинии обозначаются синим цветом, при уменьшении — коричневым, нулевые разности — зеленым.

К специальным работам также относятся создание и развитие плано-высотной съемочной основы (маркшейдерские береговая и акваториальная сети), установка уровневых постов, оборудование навигационных и других знаков.

Основными задачами текущих маркшейдерских работ в акваториях является контроль геологоразведочных и обслуживание добычных работ.

Для геологоразведочных работ выполняют подготовительные исследования, заключающиеся в наблюдении за режимом моря и литодинамическими процессами в слое рыхлых отложений дна. Это осуществляют крупномасштабными съемками рельефа дна, съемкой плановых и высотных координат устьев разведочных буровых скважин, контуров канав и траншей, мест взятия геологических проб и угловых (конечных) точек галсов маркшейдерского и геофизического профилирования.

Проведение подводных горноэксплуатационных работ сопровождается маркшейдерскими съемками выработок с последующим их изображением на планах горных работ и построением профилей и разрезов. Маркшейдерские съемки позволяют опре-

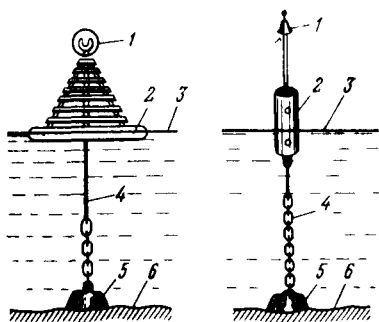


Рис. 169 Некоторые средства навигационного оборудования

слева — бакеч, справа — вежа 1 — сигнал центра знака, 2 — понтон, 3 — урез воды, 4 — буйреп 5 — якорь 6 — дно

делять объемы извлеченной горной массы, места потерь полезного ископаемого и источники его разубоживания,

Основой горной графической документации являются комплекты графических документов проекта, включающих планы морских горных работ в масштабах 1:1000 или 1:2000, разрезы по разведочным линиям и профили ранее пройденных разведочных и горных подводных выработок по наиболее характерным направлениям.

Промышленный контур месторождения и проектные графы контуры выработок маркшейдер в натуре отмечает вежами, бакенами или буями (рис. 169), которые выставляются в море через 100—200 м по всему периметру месторождения и контурами выработок.

В практике маркшейдерских измерений обычно совмещают работы по получению плановых координат и глубин точек. Во всех случаях маркшейдерские наблюдения организуются таким образом, чтобы была обеспечена необходимая точность маркшейдерских измерений при наименьшем количестве галсов в зависимости от характера рельефа дна и назначения съемок (рис. 170). Наибольшее распространение имеет съемка параллельными галсами (рис. 170, а), их направление, как правило, совпадает с направлением наибольшей расчлененности рельефа дна, а для выработок — с направлением, перпендикулярным к их протяженности. Измерения глубины выполняют зигзагообразными (рис. 170, б, в) и радиальными (рис. 170, г) галсами. Зигзагообразные применяют в случаях, когда требуется выявить резкие перегибы рельефа или при промерах над ложбинами, распадками, грядами. Радиальные галсы целесообразны, когда удаление от берега или от пунктов съемочного обоснования не приводит к ощутимому искажению отображенных форм рельефа, например, при изучении отдельных островов, мысов, протяженных и слабо расчлененных поверхностей рельефа дна.

При разведке и разработке месторождений возникает необходимость в периодическом определении положения движущегося по галсу плавсредства (судна), с которого проводятся промерные или другие работы. Точность определения координат x , y при этом связана с погрешностью измерения горизонтальных углов, которая зависит от угловой скорости и подвижной визирной цели. Угловая же скорость в свою очередь является функ-

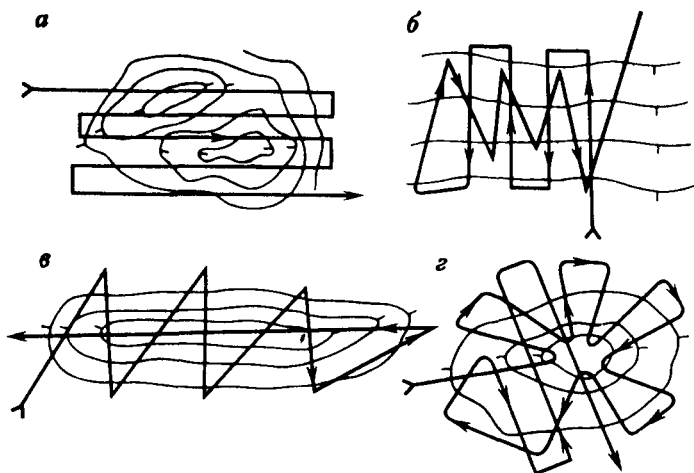


Рис 170 Типовые схемы проложения галсов при съемке рельефа дна
 а — параллельными галсами, б — то же, с зигзагообразными галсами сгущения, в — зигзагообразная с контрольным галсом сгущения, г — радиальная с дополнительными поперечными галсами сгущения

цией линейной скорости перемещения плавсредства, расстояния от наблюдателя и направления галса относительно визирного луча. Установлено, что хорошие результаты можно получить при величине угловой скорости, не превышающей 0,003 рад/с. В этом случае среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла определяют из выражения

$$m_{\beta_{\omega}} = \sqrt{\frac{0,94v^2 \sin^2 \varphi \rho^2}{D^2} + m_{\beta}^2},$$

где v — скорость судна на галсе, м/с; D — расстояние от наблюдателя до точки промера, м; φ — угол между линией визирования и линией галса; $\rho'' = 206265''$; m_{β} — инструментальная средняя квадратическая погрешность измерения угла.

С учетом точности измерения угла на движущуюся цель средняя квадратическая погрешность определения положения в плане подвижной визирной цели (промерной точки) при использовании прямой угловой засечки выразится формулой

$$m_{пл}^2 = \frac{b^2}{\rho^2 \sin^4 \gamma} \left[m_{\beta} (\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2) + 0,94v^2 \rho^2 \left(\frac{\sin \beta_2 \sin^2 \varphi_1}{D_1^2} + \frac{\sin^2 \beta_1 \sin^2 \varphi_2}{D_2^2} \right) \right],$$

где b — величина базиса; γ — угол при определяемой точке; β_1 и β_2 — измеренные углы при базисных пунктах (углы между

базисной линией и линией визирования на плавсредства), D_1 и D_2 — расстояния от базисных пунктов до плавсредства; m_B — инструментальная средняя квадратическая погрешность измерения угла.

Определение планового положения подвижной визирной цели определяется также способом линейной засечки при помощи свето- и радиодальномеров с использованием 2—3 исходных точек. Светодальномеры применяются при выполнении линейных засечек на небольшие расстояния (до 2 реже 4—5 км). При удалении от берега объектов морской съемки более чем на 3 км используются высокоточные радиогодезические и радионавигационные системы, при помощи которых можно определять положение точек в акваториях со средней квадратической погрешностью около 1 км.

Определение планового положения плавсредства может быть осуществлено фотограмметрическим способом, при котором на судне устанавливают автоматический многозарядный фотоаппарат «МАФА-ИМ». Через определенные промежутки времени фотографируется береговая линия с расположенными на ней не менее, чем тремя пунктами геодезического обоснования. С использованием абсцисс опорных точек и фокусного расстояния фотоаппарата определяют положение судна в акватории с учетом координат береговых опорных пунктов.

Точность определения местоположения плавсредств при помощи описанного способа существенно превышает способы угловой и линейной засечек.

Определение планового положения точек рельефа дна при маркшейдерских съемках не должно превышать 1,5 мм в масштабе плана. Средняя квадратическая погрешность определения контурных точек подводных выработок, как показала практика измерений, не должна быть более 0,5 м при ширине выработок до 20 м и одного метра при ширине более 30 м.

Т а б л и ц а 49

Характер рельефа дна	Глубина, м	Высота сечения рельефа горизонталями на планах масштаба, м			
		1 1000	1 2000	1 5000	1 10 000
Нерасчлененный и полого-волнистый с углами наклона до 2°	До 50	0,5	0,5	1,0	1,0
	До 200	1,0	1,0	2,0	2,0
Расчлененный с углами наклона 2—6°	До 200	1,0	1,0	2,0	2,0
	До 200	2,0	2,0	5,0	5,0
Сильно расчлененный с углами наклона более 6°	До 200	2,0	2,0	2,0	5,0
	До 200	5,0	5,0	5,0	10,0

Высота сечения рельефа дна горизонталями должна соответствовать данным табл. 49.

Задание галсов плавучим средствам обычно выполняют по береговым створам, компасу, с помощью лазерного луча. Створы на берегу при небольших расстояниях обозначают вехами, а при больших — щитами. Передние створные знаки устанавливаются не только на берегу, но и при помощи буйев на воде. Использование компаса для проложения галсов рекомендуется осуществлять только в тех случаях, когда отсутствуют дрейфовые смещения судна из-за течения или ветра.

§ 164. ПРОМЕРЫ

Промерные работы заключаются в определении глубины расположения дна относительно горизонта воды. Глубины могут измеряться наметкой, лотом, эхолотом, эхотралом, гидролокаторами бокового обзора и другими приборами. Из-за того, что разработка подводных месторождений в ряде случаев вызывает сильную взмученность, получили распространение также маркшейдерские измерения по параметрам добычных средств.

Наметка представляет из себя металлический или деревянный шест диаметром до 5 см и длиной до 8 м, имеющий деления через 6 или 10 см, с точностью отсчета 2—3 см. Лоты применяются двух видов: ручные и механические. Ручные изготавливаются из пенькового или металлического троса, к которому привязан относительно небольшой груз. Трос размечают марками различного цвета на метры и дециметры. Ручным лотом измеряют глубины до 50 м. Механический лот состоит из лебедки со счетным механизмом, троса и груза массой до 100 кг. При помощи механического лота измеряют глубины более 50 м.

Таблица 50

Марка комплекта	Пределы измерения расстояний, м	Инструментальная погрешность измерений, м	Ширина диаграммы на направлении	Рабочая частота, кГц	Масса комплекта аппаратуры, кг
«Язь»	1—40	1,5	—	85	18
	1—160	1,5	—	85	18
«Чайка»	0,3—16	1,5	15°	160	—
«Кубань»	0,3—20	До 4	—	150	20
НЭЛ-3	0,4—200	1	20	20	50
ПЭЛ-3	0—20; 20—40	1,5	—	200	60
ЭПО-10	0,5—5; 0,5—1	1	—	150/170	8,8
ИРЭЛ	0,5—20	2	20	20	—
ЗИР	0,5—20	1,5	20	30	—

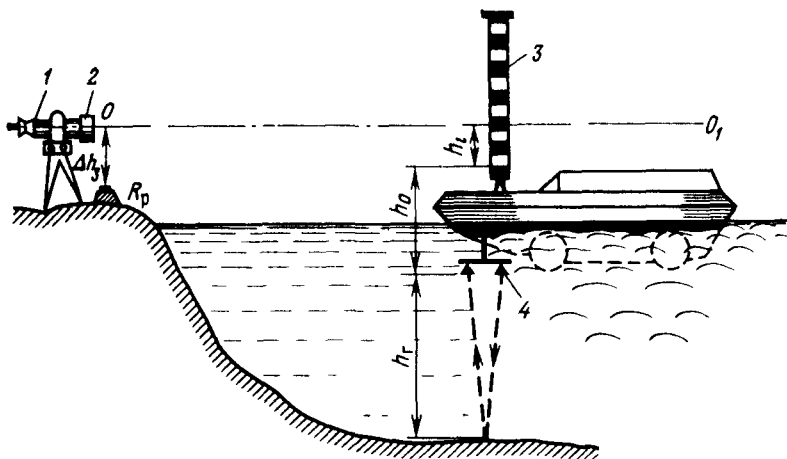


Рис 171 Схема работы лазерно-акустической системы при профилировании дна

Δh_3 — высота лазерного визира над репером, R_p — отметка репера в принятой системе, h_r — глубина точки промера по эхограмме, h_0 — отсчет, соответствующий n -ступени фотоприсланика, h_l — отсчет точки пересечения лазерного луча с вертикальной рейкой

Наиболее часто для промеров глубины в настоящее время используются эхолоты, действие которых основано на распространении излучателем ультразвуковых импульсов и приеме приемником отраженных от дна сигналов. В табл. 50 приведены характеристики некоторых современных эхолотов.

Фактором, значительно снижающим точность измерений с использованием эхолотов, являются колебания плавсредств, находящихся на морской поверхности. Для повышения эффективности маршейдерских промерочных работ получили распространение лазерноакустические системы. Система (рис. 171), включающая лазер и эхолот, состоит из лазерного визира 1 со сканирующей насадкой 2, вертикальной рейки 3 с фотоэлектрическим элементом, акустической системы 4, генератора электрических импульсов, усилителя и регистратора записи. Лазерный визир лучом $O-O_1$ задает опорную плоскость, пересекающую фотоэлектрический приемник рейки 3. Сигнал от рейки передается генератору импульсной задержки. После окончания формирования задержки генератор выдает импульс запуска генератора. Последний вырабатывает электрический импульс для возбуждения акустической системы, которая преобразует электрический импульс в акустический, отраженный от дна импульс, он передается на генератор, который осуществляет одновременную запись глубины дна и высотной отметки уровня воды в точке промера на каждый момент времени.

В случаях подледной разведки и разработки месторождений полезных ископаемых промерные работы выполняются со льда. Для этого на льду и берегу закрепляют магистральные створы, координаты конечных точек которых определяют с точностью, принятой при маркшейдерских измерениях, проводимых для создания опорных сетей. Так как из-за неоднородности льда эхолотные измерения часто содержат большие погрешности, глубины со льда измеряют наметкой или ручным лотом. Опираясь на магистральные створы, наносят сетку квадратов, в вершинах которых во льду бурят скважины, через которые проводят промерные работы. Перед каждой серией промеров выполняются контрольные измерения стабильности ледяного покрова.

Измеренные отдельные значения глубин приводят к одному определенному уровню поверхности моря или океана, называемого нулем глубин. Для морей с малыми амплитудами колебаний уровня (высота прилива до 0,5 м) за нуль глубин принимают средний многолетний уровень воды: со значительными колебаниями уровня — положение наинизшей уровенной поверхности моря.

В результате промеров дна водного объекта также изучают литодинамические процессы, заключающиеся в интенсивности и величине размыва полезных ископаемых и выработок. В этом случае мощность активного слоя устанавливают при помощи промеров в одних и тех же фиксированных точках глубин в процессе волнения моря. Эти измерения могут выполняться или способом «подвижной шайбы», или повторных промеров между волнениями

Первый способ, применяемый при глубинах до 3 м, состоит в том, что фиксируют глубину опусканием шайбы, скользящей по закрепленному в дне металлическому стержню. При размыве грунта шайба опускается. Это ведет к изменению положения на поверхности воды марки. Наблюдения за рейкой выполняют с береговых или экваториальных пунктов опорной сети.

Способ повторных промеров по точности ниже способа «подвижной шайбы», однако отличается значительной оперативностью. Промеры ведут строго по одним и тем же профилям, величину активного слоя определяют по данным предшествующих и последующих промеров.

§ 165. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ИЗВЛЕЧЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

Определение объемов добытой из-под воды горной массы определяют: 1) по результатам маркшейдерских измерений; 2) по измерениям объемов извлеченной горной массы в трюмах рудовозов или на береговых складах; 3) по показаниям расходомеров и консистомеров, установленных на пульпопроводах. Определе-

ние объемов добытой горной массы по результатам маркшейдерских измерений геометрических параметров подводных горных выработок целесообразно применять в тех случаях, когда контуры горных выработок существенно не изменяются в течение измерений.

Подсчет объемов извлеченного полезного ископаемого при использовании маркшейдерских наблюдений целесообразнее всего производить методом горизонтальных сечений. В этом случае средняя площадь вычисляется как полусумма верхней и нижней площадей выработок, а средняя глубина разработки по формуле

$$h_{\text{ср}} = \Sigma h_i / n,$$

где Σh_i — сумма замеренных глубин выработки в границах ее дна, м; n — число промеров.

На практике среднюю выемочную мощность извлекаемого полезного ископаемого вычисляют обычно как разность средних отметок поверхности подводной залежи (в границах верхней бровки откосов выработки) и ее дна, или как разность средних глубин дна выработки и средних глубин первичной поверхности дна.

Для определения объемов извлеченной из-под воды горной массы по измерениям в трюмах кораблей (рудовозов) или на береговых складах маркшейдер выполняет следующие работы:

измеряет геометрические параметры отвала или емкости;

определяет коэффициент наполнения емкости рыхлой горной массы;

вычисляет объем горной массы в отвале или в емкости в рыхлом состоянии;

определяет коэффициент разрыхления добытой горной массы с учетом физического состояния и качества (влажности, гранулометрического состава), времени хранения и величины усадки;

приводит с помощью коэффициента разрыхления значение полученного объема рыхлой горной массы к значению в массиве;

Т а б л и ц а 51

Порода	Коэффициент разрыхления	Порода	Коэффициент разрыхления
Песок	1,01—1,02	Глины	1,30—1,45
Речники	1,03—1,04	Галечник	1,40—1,60
Гравий	1,07—1,18	Скальные породы	1,45—1,65
Песок крупно- и средне-зернистый	1,14—1,28	Мерзлые пойменные отложения речных долин в устьях рек	1,20—1,17
Галька, щебень	1,23—1,30		
Супесь	1,07—1,18		
Суглинки	1,15—1,30		

производит дополнительную съемку подводных горных выработок для определения оставшихся в недрах запасов полезного ископаемого, учета потерь и разубоживания.

Наиболее сложным в данном случае является определение коэффициента разрыхления горной массы с достаточной для практики точностью. Он может быть принят по данным табл. 51.

Контроль добываемых объемов полезного ископаемого в случае его транспортирования по пульпопроводам осуществляют при помощи расходомеров и консистомеров, устанавливаемых непосредственно на пульпопроводах. Погрешность определения объемов при их использовании составляет не более 3 %.

§ 166. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МОРСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Радиотехнические методы измерений, использующие электромагнитные волны радиодиапазона, широко применяются для геодезических измерений на море. Применяется аппаратура следующих видов: радиогеодезические системы (РГС), радионавигационные системы (РНС) и спутниковые навигационные системы (СНС). Первые два вида систем имеют одинаковые принципы построения и функционирования, поэтому принято рассматривать единый класс радиотехнической аппаратуры, в котором наиболее точной является аппаратура, использующая ультракороткие волны. Радиус действия такой аппаратуры 50—60 км со средней квадратической погрешностью определения положения движущегося объекта около 1—5 м. Наибольшей дальностью действия до 10 000 км обладают РНС, использующие волны низких частот. Погрешность определения положения объектов в море такими системами достигает 5 км. Наиболее совершенными являются спутниковые системы, с помощью которых суда в любой точке Мирового океана можно определить с погрешностью 5—10 м.

Радиогеодезические и радионавигационные системы представляют собой комплекс наземных и судовых радиотехнических устройств, предназначенных для определения места положения судов (или других передвигающихся объектов) и неподвижных объектов. Наземные РГС и РНС, называемые базисными, устанавливаются на суше в точках с известными координатами. Совокупность наземных радиотехнических систем, обеспечивающих определение координат судна, называют цепью (цепочкой). Линия, проходящая через центры излучения антенн двух станций цепи, является базовой линией, а ее длина между антеннами — базой (базисом). На судах устанавливаются приемопередаточные или приемные станции.

Положение судов при помощи РГС и РНС определяют с использованием измеряемых геометрических величин, характери-

зующих положения подвижной станции относительно наземных. Эти геометрические величины принято называть навигационно-геодезическими, в различных типах радиотехнических устройств ими могут являться:

угловые величины — азимуты, пеленги, углы между направлениями с определяемого объекта на опорные пункты;

расстояния (приращения расстояний) между подвижной и базисными станциями системы;

разности расстояний (приращения разностей расстояний) между подвижной и парой базисных станций системы;

суммы расстояний (приращения сумм расстояний) между подвижной и парой базисных станций системы.

Любому из измеренных значений, приведенных выше геометрических параметров, на поверхности Земли соответствуют изолинии (линии положения), представляющие собой семейство непересекающихся линий. Пара пересекающихся семейств изолиний, соответствующих различным значениям двух различных геометрических параметров, образуют на местности сетку изолиний, являющуюся по существу криволинейной координатной сеткой. Положение судна в такой системе координат определяется точкой пересечения изолиний, принадлежащим разным семействам системы координат. Перевод данных, характеризующих положение судна, в другую систему координат (например, принятую в данном месте систему геодезических прямоугольных координат), выполняется или графически, или при помощи специального математического аппарата.

В зависимости от используемых геометрических параметров радиотехнических систем применяются следующие методы определения положения судов: угломерный, дальномерный, разностный, суммарный, а также сочетания названных: дальномерно-разностный, дальномерно-угломерный, разностно-суммарный. На

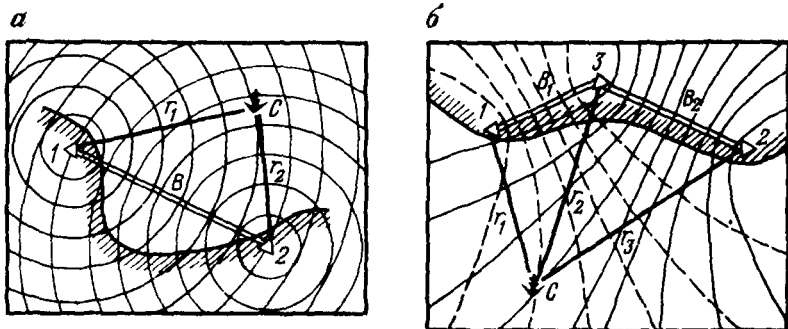


Рис. 172. Методы определения положения судна:

а — дальномерный; б — разностный

практике чаще всего используются дальномерный и разностный методы.

В дальномерном методе измеряемыми параметрами являются расстояния (дистанции) r_1 и r_2 от судна до базисных станций системы (рис. 172, а) или их приращения Δr_1 и Δr_2 . Изолинии в данном случае представляют собой концентрические окружности с центрами в точках базисных станций 1, 2. Место положения судна определяется сеткой изолиний, образуемых парой семейств.

В разностном методе определение положения судна выполняется по разностям дистанций $r_3 - r_1$ и $r_3 - r_2$ (рис. 172, б) или их приращений Δz_1 и Δz_2 . Создаваемые в этом случае изолинии представляют собой семейства софокусных парабол с фокусами в точках расположения пар базисных станций 1—3 и 3—2. Положение судна определяется точкой пересечения гипербол, принадлежащим разным семействам.

Вопросы для самопроверки

- 1 Охарактеризуйте морские геодезические сети
- 2 Для каких целей используют топографические карты шельфа морей и океанов?
- 3 Какого масштаба топографические карты дна морей и океанов используют для геологических исследований?
- 4 Охарактеризуйте основные задачи маркшейдерско-геодезической службы при разведке и разработке подводных месторождений
- 5 Какова точность определения планового положения точек рельефа морского дна?
- 6 Охарактеризуйте промерные работы
- 7 Что называется дальномерным методом измерений?
- 8 Что называется разностным методом измерений?

Глава 25.

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК

§ 167. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Верхняя часть земной коры, представляющая интерес для горняков, подвержена действию различных силовых полей. Основными являются два независимые друг от друга силовых поля: гравитационное, являющееся результатом действия закона всемирного тяготения Ньютона, и тектоническое, обусловленное тектоническими движениями, проявляющимися в земной коре. Кроме отмеченных возможно воздействие и других факторов, являющихся локальными, например, действие напорных подземных вод, неравномерность тепловых потоков в земной коре, вы-

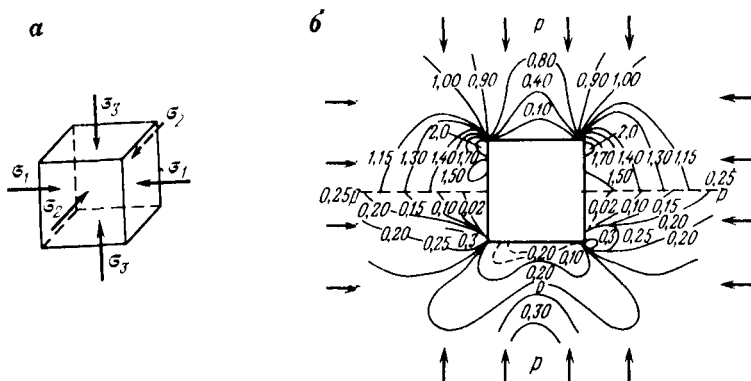


Рис. 173 Схема действия напряжений на кубик (а) и распределение напряжений вокруг выреза (б)

зывающая появление дополнительных механических напряжений и т. п.

Предложены три гипотезы, описывающие количественно и качественно напряженное состояние массива горных пород, не тронутого горными работами: гипотеза гидростатического напряженного состояния, гипотеза упругого состояния и гипотеза, предполагающая наличие в земной коре тектонических усилий, формирующих значительную горизонтальную составляющую исходного поля напряжений.

Гипотеза гидростатического напряженного состояния. Швейцарский ученый А. Гейм, занимавшийся анализом механических причин складкообразования и явлениями деформаций, задолго до лабораторных опытов показал возможность непрерывного пластического деформирования горных пород под действием всестороннего давления. Он предположил, что в горных породах в результате непрерывного пластического деформирования напряжения во всех направлениях выравниваются, и массивы находятся в гидростатическом сжатии. А. Гейм считал, что основной причиной возникновения напряжений являются гравитационные силы, определяемые массой вышележащих пород. По гипотезе А. Гайма, напряжения, действующие на грани кубика, мысленно представленного на некоторой глубине H (рис. 173, а), со стороны, равной единице длины, определяются следующим образом

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \gamma H, \quad (110)$$

где γ — плотность горных пород; σ_3 — вертикальное напряжение; σ_1, σ_2 — горизонтальные напряжения, действующие в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Гипотеза упругого состояния массива. По этой гипотезе горные породы рассматриваются как упругие тела. Аналитическое выражение для упругого изотропного массива получено А. Н. Динником, исходя из условия равновесия кубика (см. рис. 173, а) с ребрами, расположенными вертикально и горизонтально, сжатого вертикальной силой, определяемой гравитацией и приложенной к верхней и нижней граням. Для этого случая величина горизонтального напряжения определяется из выражения

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H, \quad (111)$$

где выражение $\mu/1 - \mu$ — носит название коэффициента бокового распора b ; μ — коэффициент поперечных деформаций (коэффициент Пуассона).

Величина коэффициента μ для различных горных пород изменяется в широких пределах: от 0,05 до 0,5. Откуда значение коэффициента бокового распора может быть от 0,05 до 1,0. Максимальное значение коэффициента бокового распора выражает условия гидростатического состояния массива, так как в этом случае коэффициент бокового распора равен единице, $b = 0,5/(1 - 0,5) = 1,0$.

Гипотеза влияния тектонических сил на формирование напряженного состояния горного массива. Наблюдения последних лет, проведенные в нетронутых горными работами массивах горных пород, показали, что фактически напряжения зачастую не соответствуют первым двум 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 существующие горизонтальные напряжения намного превосходят по величине напряжения, обусловленные массой пород. Так, по Хасту сумма горизонтальных главных напряжений $\sigma_r' + \sigma_r''$ на Скандинавском полуострове уже на земной поверхности равна 16,0 МПа; с увеличением же глубины напряжения увеличиваются по линейному закону и при глубине 1000 м достигают 105,0 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 5,0—30,0 МПа, а иногда даже на 50,0 МПа превосходят величину гидростатического давления.

Развитие экспериментальной части механики горных пород обеспечило появление данных о существовании аномальных полей напряжений, т. е. не отвечающих условиям (110) и (111).

Отмеченные величины напряжений были приписаны действию тектонических сил и названы тектоническими напряжениями, а характеризовались они значительным превышением горизонтальной составляющей тензора напряжений над величиной γH . Установление и обоснование таких величин напряжений ознаменовало новый этап в развитии представлений о естественном напряженном состоянии массивов горных пород, для которого общим является тезис напряженное состояние массива формируется при суммарном действии двух силовых полей — гравитационного и тектонического

$$T_{\Pi} = T_{Гс} + T_{Т}, \quad (112)$$

где T_{Π} — полный тензор напряжений, $T_{Гс}$ — тензор гидростатических напряжений, $T_{Т}$ — тензор тектонических напряжений

Высокие тектонические напряжения обнаруживаются непосредственными наблюдениями в массивах пород, слагающих кристаллические фундаменты и складчатые толщи. Как правило, наибольшие тектонические напряжения могут рассматриваться как горизонтальные. В плане их ориентировка связана с ориентировкой тектонических структур соответствующих участков. Во многих случаях тектонические напряжения превосходят по величине гравитационные в 1,5—2,0 раз.

Изменение тектонического поля с глубиной характеризуют вертикальным градиентом тектонических напряжений $\Delta\sigma_T$ (в МПа/м), который может иметь как положительное, так и отрицательное значения.

Рассмотрим действие тектонических напряжений на мысленно вырезанный кубик, расположенный в упругом изотропном массиве на некоторой глубине H (см рис. 173, а).

Пусть грани кубика расположены вертикально и горизонтально, тектоническая сила T_{Π} на глубине H действует горизонтально. Максимально действующее напряжение на грани кубика численно равно $\sigma_1^T = T_{\Pi}$.

Деформации ребер кубика, вызванные действием горизонтальных тектонических сил различны в горизонтальном и вертикальном направлениях. Так как в вертикальном направлении, в отличие от горизонтального, со стороны земной поверхности нет подпора, реактивные напряжения в плоскость перпендикулярной действию тектонических сил запишутся следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_2^T &= \psi T_{\Pi}, \\ \sigma_3^T &= b T_{\Pi}. \end{aligned} \right\} \quad (113)$$

Коэффициент ψ назван коэффициентом горизонтального распора в поле тектонических сил, коэффициент b — коэффициентом вертикального распора в поле тектонических сил.

В общем случае массив горных пород можно рассматривать находящимся под воздействием двух объемных сил: гравитационных и тектонических.

Приведенные материалы показывают, что в верхних слоях земной коры возможно существование дополнительно к гравитационным геодинамическим напряжений, возникающих за счет тектонической деятельности Земли.

§ 168. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ СДВИЖЕНИЯ

Проведение в горном массиве выработки вызывает перераспределение напряжений в некоторой зоне вокруг нее (рис. 173, б). Причем возникают зоны концентрации и разгрузки напряжений, часто ведущие к появлению разрушений горных пород.

При отработке угольных месторождений в начальном периоде, 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 расслаиваются, образуются трещины и происходит обрушение слоев кровли в выработанное пространство.

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

В общем случае вокруг очистной выработки можно выделить следующие зоны деформаций горных пород (рис. 174, а, б):

зону обрушения I, непосредственно прилегающую к выработанному пространству и характеризующуюся тем, что в ней происходят отделение от массива слоев пород, расчленение их на

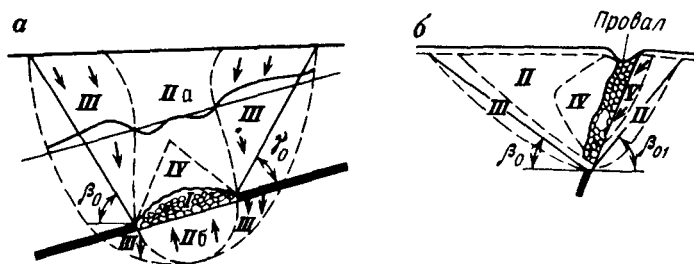


Рис. 174. Характер сдвижения горных пород вокруг очистной выработки.
а — при пологом залегании, б — при крутом падении пластов

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;

зону изгиба *II*, которая 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 образования трещин и расслоений, расположенную над зоной прогиба с образованием трещин;

зону опорного давления *III*, которая 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 зависит и, как следствие, его масса перераспределяется на горные породы, окружающие эту выработку. Величина и характер зоны опорного давления в покрывающих породах зависят от зависания пород у границ выработки, глубины горных работ и свойств пород;

зону полных сдвижений *IV*, которая 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. 174, б) часто происходят оползания пород лежащего бока и образования провалов на поверхности над выходами пластов.

§ 169. 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

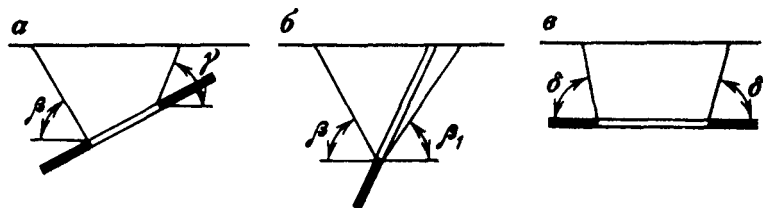


Рис 175 Углы сдвижения

а, б — на разрезах вкрест простирания в — на разрезах по простиранию

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

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

Различают углы сдвижения в коренных породах и наносах. В коренных породах вкрест простирания углы сдвижения обозначаются висячем боку со стороны нижней границы выработанного пространства через β , со стороны верхней границы — через γ (рис 175, а). При крутом падении опасная зона определяется от нижней границы выработанного пространства в висячем боку углом сдвижения β , в лежачем — углом сдвижения β_1 (рис 175, б). На разрезе по простиранию углы сдвижения принимаются одинаковыми с обеих сторон выработанного пространства и обозначаются через δ (рис 175, в). В наносах углы сдвижения равны по всем трем направлениям и обозначаются φ .

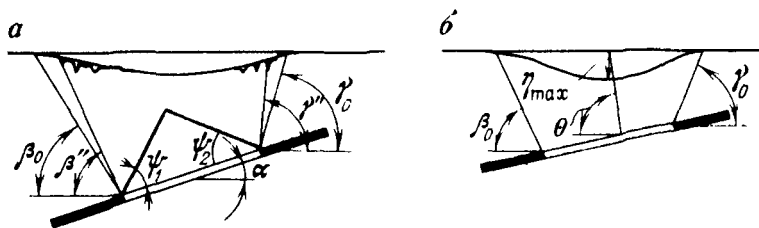


Рис 176 Граничные углы, углы полных оседаний, угол максимальных оседаний и углы разрывов

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 падении граничные углы β_0 , γ_0 (рис. 176, 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 пласта и плотность пород.

Граничные углы используются при предрасчете сдвижений и деформации поверхности.

Центр мульды сдвижения при горизонтальном залегании располагается над серединой выработанного пространства, а при наклонном — сдвинут относительно нее. Угол θ (рис. 176, б) называется углом максимальных оседаний и определяется углом со стороны падения пласта, образованным на вертикальном разрезе в главном сечении мульды вкрест простирания горизонтальной линией и линией, соединяющей середину выработки с точкой на поверхности, испытавшей максимальные оседания, или с серединой плоского дна мульды.

При большой величине отношений линейных размеров выработанного пространства к глубине залегания на поверхности может образоваться обширная площадь, все точки которой осядут на равную и максимальную в данных условиях величину. Дальнейшее расширение выработки не ведет к увеличению оседания поверхности, последняя рассматривается в условиях полной подработки. В противном случае подработка называется неполной.

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

Различают углы полной подработки на разрезе вкрест простирания: ψ_1 — со стороны падения; ψ_2 — со стороны восстания выработанного пространства (см. рис. 176, а) и на разрезе по простиранию; ψ_3 — с обеих сторон выработанного пространства.

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

В ряде случаев при сдвижении поверхности возникают трещины. Зона мульды сдвижения, в которой они наблюдаются, оконтуривается углами разрывов, представляющими внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с ближайшими к краям мульды трещинами на земной поверхности (см. рис. 176, а). 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. 177, а точки 1, 2, 3 — реперы на поверхности до подработки; 1', 2', 3' — реперы на поверхности после подработки; η_1 , η_2 , η_3 — оседания соответствующих реперов; s_{1-2} , s_{2-3} — расстояния между точками 1—2 и 2—3 до подработки.

Наклон интервала поверхности определяется по отношению к его первому положению. Например, наклон отрезка 2—3 после

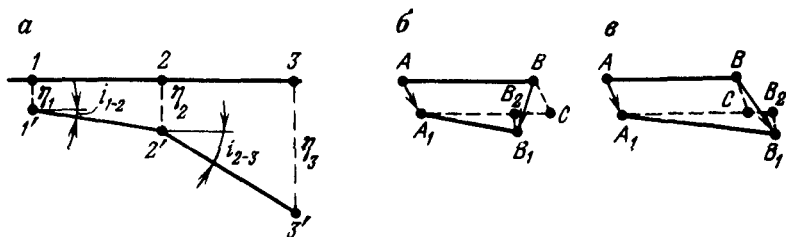


Рис 177 Деформации
вертикальные (а), горизонтальные (б) сжатия и растяжения (в)

подработки выражается углом i_{2-3} . На практике о величине наклона судят по разности оседаний крайних точек интервала, отнесенной к первоначальной его длине

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

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

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

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

Радиусом кривизны R является величина, обратная кривизне. Горизонтальные деформации — одна из наиболее важных характеристик процесса сдвижения поверхности. Рассмотрим совместное движение двух точек поверхности: A и B (рис. 177, б, в). В результате сдвижения точка A переместится в точку A_1 , а B — в точку B_1 . В случае сжатия отрезка AB соотношение между векторами AA_1 и BB_1 будет таково, как показано на рис. 177, б, а в случае растяжения — как на рис. 177, 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

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

Таким образом, горизонтальная деформация (растяжение —

сжатие) является укорочением или удлинением длины интервала, отнесенным к первоначальной длине.

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

Длительность процесса сдвижения в основном зависит от глубины горных работ, мощности пласта, физико-механических свойств пород.

Траектория движения точек и распределение величин сдвижений и деформаций в пределах мульды сдвижения имеют вполне определенные закономерности. По мере подвигания забоя точки поверхности при приближении забоя сдвигаются ему навстречу. Затем после того, как забой пройдет под точкой, сдвигаются точки в сторону удаляющегося забоя и, наконец, при достаточном удалении забоя точки начинают двигаться по вертикали вниз.

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. 178, а показаны кривые, характеризующие распределение деформаций поверхности на разрезе вкрест простирания при пологом залегании пласта.

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*. По-

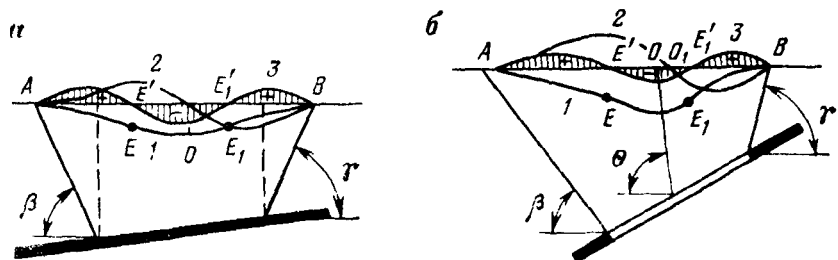


Рис 178 Схема распределения сдвижений и деформаций поверхности
1 — вертикальные сдвижения (оседания), 2 — горизонтальные сдвижения, 3 — горизонтальные деформации

следняя 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 мулды.

При наклонном залегании (рис 178, 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

§ 170. ФАКТОРЫ, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ 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 раздельно-зернистых 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 продвижением забоя лавы; поверхность сдвигается, не вызывая разрушений поверхностных сооружений.

Большое влияние на характер сдвижения оказывает строение месторождений. Чередование в толще пластов крепких и слабых пород приводит к появлению вторичных осадок 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 процессов сдвижения пльвуны. Были отмечены случаи, когда пльвуны, залегающие в подрабатываемой толще, резко выполаживали углы сдвижения. Подработка пльвунов 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 стороны 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 вызывала появления трещин на поверхности, отработка крутых пластов при глубине 600 м сопровождалась 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. Мощность 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 в непосредственной близости к выработанному пространству.

Мощность наносов 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 неравномерность 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 зависание, 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 продвижения 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 происхо-

дит 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 налегающие 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 оседания 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 остаются 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.

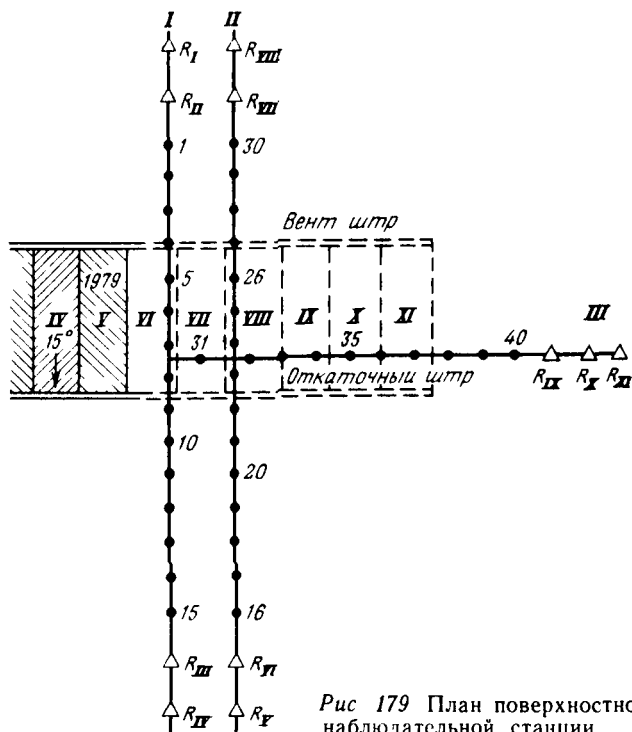
§ 171. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СДВИЖЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД

Устройство поверхностных наблюдательных станций. Поверхностной наблюдательной станцией принято называть систему закрепленных точек (реперов), заложенных в грунте или сооружении (рис. 179). Реперы, как правило, закладываются по профильным линиям, располагаемым 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.

Специальные станции закладывают с целью детального изучения отдельных вопросов сдвижения горных пород или деформаций 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 и 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 даль-

нейшее 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 задач наблюдений. Удобной для наблюдений является ровная, мало застроенная местность, расположенная в стороне от железнодорожных путей и дорог. Обычно закладывают две профильные линии вкрест простирания и одну линию по простиранию 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 вкрест простирания залежи располагают на расстоянии не менее $0,85H_{\text{ср}}$ от разрезной печи или места остановки забоя ($H_{\text{ср}}$ — средняя глубина разработки). Если забой лавы уже отошел от разрезной печи, то расстояние от нее до профильной линии определяется по формуле

$$d = H_{\text{ср}} \operatorname{ctg} \delta_0 \geq 0,85H_{\text{ср}}$$

Вторую профильную линию закладывают параллельно первой на расстоянии 50 м.

Длина профильных линий вкрест простирания 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. Место предполагаемой остановки забоя проектируется на поверхность. В сторону целика откладывается расстояние $B = H_{\text{ср}} \operatorname{ctg} \delta_0$, а в 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.

Глубина разработки, м	До 50	50—100	100—200	200—300	300—400	400 и более
Расстояние между рабочими реперами, м	5	10	15	20	25	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 глубину 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, км).

После привязки 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 профильных линий, съемку 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 среднее арифметическое.

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, определенный 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. Нивелирование на наблюдательных станциях следует проводить по нормам нивелирных ходов IV классов.

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

$$\eta = H_n - H_{n-1}; \quad (114)$$

наклона — по формуле

$$i = (\eta_n - \eta_{n-1})/s; \quad (115)$$

кривизны — по формуле

$$k = (i_n - i_{n-1})/s_{cp}; \quad (116)$$

горизонтальных сдвижений — по формуле

$$\xi = D_2 - D_1; \quad (117)$$

горизонтальных деформаций — по формуле

$$\varepsilon = (s_n - s_{n-1})/s, \quad (118)$$

где η — величина оседания репера; H_n — абсолютная отметка репера предыдущего наблюдения; H_{n-1} — абсолютная отметка репера последующего наблюдения; i — наклон кривой оседания; k — кривизны кривой оседания; i_n , i_{n-1} — величины наклонов последующего и предыдущего интервалов; D_1 , D_2 — расстояния от опорного репера до данного репера из последующего и предыдущего наблюдений; s_n , s_{n-1} — длины интервала из последующего и предыдущего наблюдений; s_{cp} — полусумма длин предыдущего и последующего интервалов.

Вычисление деформаций и сдвижений земной поверхности производится в специальных ведомостях.

При подработке вертикальных шахтных стволов закладываются комплексные наблюдательные станции, состоящие из двух профильных линий, расположенных на земной поверхности: одной по простиранию пласта, другой — вкрест простирания, из четырех профильных линий в стволе и глубинных реперов,

закладываемых в вертикальную скважину, пробуренную вблизи ствола.

Длины профильных линий на земной поверхности выбирают таким образом, чтобы их концы располагались от устья ствола по восстанию и падению на расстоянии соответственно $H_{\text{в}} \operatorname{ctg}(\psi_1 + \alpha)$ и $H_{\text{н}} \operatorname{ctg}(\psi_2 - \alpha)$; а по простиранию $H_{\text{ср}} \operatorname{ctg} \psi$. Здесь $H_{\text{в}}$, $H_{\text{н}}$ — глубины расположений верхней и нижней границ целика под ствол, а $H_{\text{ср}}$ — глубина залегания пласта в точке пересечения его стволом; α — угол падения пласта; ψ_1 , ψ_2 , ψ — углы полной подработки.

Вертикальные профильные линии в стенке ствола закладываются таким образом, чтобы в плане они располагались парами соответственно по простиранию и вкрест простирания пласта. Реперы профильных линий в вертикальных стволах могут закладываться как в крепи, так и во вмещающих породах. Закладку глубинных реперов в скважину выполняют одновременно с закладкой реперов в стволе.

Наблюдения в стволе состоят из:

- измерений вертикальных расстояний между реперами;
- измерений горизонтальных расстояний между парами реперов, расположенными на одном горизонте;
- профилировки стенок ствола по реперам вертикальных продольных линий;

съемки и замеров трещин в крепи ствола.

В результате наблюдений на комплексных наблюдательных станциях вычисляются сдвиги и деформации земной поверхности и величины сдвижений и деформаций в горном массиве. По данным наблюдений в стволе вычисляются сжатия (растяжения) по вертикали (удаления) стенок ствола.

Деформация по вертикали вычисляется по формуле

$$\varepsilon_z = \frac{l'_i - l_i}{l_i},$$

где l'_i — расстояние по вертикали между соседними реперами в данной серии наблюдений; l_i — то же в начальной серии наблюдений.

Наблюдения по вертикальным профильным линиям в стволе целесообразно проводить при тех же натяжениях, при которых проводилось компарирование рулетки (ленты). Величины сближений (удалений) стенок ствола определяют по формуле

$$\Delta d = d'_i - d_i,$$

где d'_i — горизонтальная проекция расстояния между реперами в стволе, расположенными на одном горизонте (в данной серии наблюдений); d_i — то же в начальной серии наблюдений.

По результатам профилирования ствола вычисляют отклонения оси ствола от вертикали и искривления ствола.

§ 172. РАСЧЕТ СДВИЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД

Увеличение глубины разработки полезных ископаемых приводит к расширению зон вредного влияния земной поверхности, а следовательно, и к увеличению количества объектов, подверженных вредному влиянию и требующих мер охраны. Одновременно с увеличением глубины уменьшаются деформации и возникает возможность подрабатывать ответственные сооружения, которые на вышележащих горизонтах не подрабатывались. Подработка густонаселенного, застроенного многоэтажными жилыми и общественными зданиями, соцкультобъектами, с разветвленной сетью газопроводов, водоводов и канализацией района требует большого количества инженерных расчетов по определению ожидаемых деформаций, степени повреждения сооружений, наблюдениям за деформацией земной поверхности и состоянием подрабатываемых сооружений, выполнением горных, конструктивных мер защиты и послеосадных ремонтов.

Чтобы решить эту проблему в районах, ведущих массовую подработку, создаются специализированные бюро маркшейдерских работ, в состав которых входят специалисты различных направлений (маркшейдеры, строители, проектировщики, геодезисты, картографы).

Специализируясь на подработке, они успешно применяют современные достижения отечественной науки по сдвигению, технологии и технику за наблюдением деформаций, ЭВМ и графопостроители.

При подработке городов большое значение приобретают планирование возможности подработки при разработке перспективных, пятилетних и годовых планов развития горных работ и определение затрат на выполнение защитных мер подрабатываемых объектов.

При решении вопросов подработки необходима предварительная оценка будущих деформаций поверхности, которая должна дать возможность провести оценку воздействия на сооружения подземных разработок. Существующие способы предварительного расчета подразделяются на следующие виды: эмпирические методы, методы, основанные на функциях распределения, методы, основанные на теоретических моделях. Эмпирические методы имеют преимущество перед остальными, так как они основываются на данных непосредственных наблюдений за сдвижением.

Наибольшей полнотой и достоверностью среди эмпирических методов обладает метод ВНИМИ, разработанный в СССР и применяемый для способов управления кровлей полным обрушением или закладкой выработанного пространства, при кратности подработки $H/m > 20$ для углов падения пластов от 0 до 55° и для части мульды сдвижения за пределами зоны прова-

лов 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. Величины ожидаемых сдвижений и деформаций рассчитываются при наличии календарных планов развития горных работ, вероятные — в условиях выдержанного залегания пород при отсутствии календарных планов горных работ. При расчете ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности определяются оседания η , горизонтальные сдвижения ξ , наклоны i , кривизна k и радиус кривизны 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 или больше предельного угла, то расчет производится по методике, учитывающей наличие сдвижения пород лежащего бока. Предельный угол падения пласта α_n — это угол, при котором возникают опасные сдвижения пород лежащего бока. Его значение различно для каждого угольного бассейна, например, для Кузнецкого бассейна $\alpha_n = 55^\circ$, Кизеловского $\alpha_n = 60^\circ$.

Расчет сдвижения 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

$$m_3 = (h_k + h_n) (1 - B_1) + B_1 m, \quad (119)$$

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 м; 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.

Значение коэффициента усадки закладки B_1

Гидравлическая закладка	
из песка	0,05—0,15
из дробленой породы	0,15—0,30
Пневматическая закладка	0,25—0,40
Самотечная закладка:	
из дробленой 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.

Оседание земной поверхности определяется по формуле

$$\eta_m = q_0 m \cos \alpha N_1 N_2, \quad (120)$$

где q_0 — относительная величина максимального оседания, определяемая по табл. 52; 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 ; для угольных бассейнов страны значения этих коэффициентов определены, в качестве примера для Кузбасса они приведены ниже.

Значения коэффициентов N_1 и N_2 для Кузбасса

D_p/H	1,4 и более	1,2	1,0	0,90
N_1, N_2	1,00	0,96	0,90	0,86
D_p/H	0,80	0,70	0,60	0,50
N_1, N_2	0,81	0,75	0,66	0,51
D_p/H	0,40	0,30	0,20	0,15 и менее
N_1, N_2	0,30	0,15	0,09	0,5

Оседание земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения определяется по формуле

$$\eta_{(x, y)} = \eta_m S(z), \quad (121)$$

где $S(z)$ — функция типовой кривой оседания, принимается в зависимости от коэффициентов N_1 и N_2 ; функция $S(z)$ табулирована.

Наклоны в главных сечениях мульды определяются: в полумульде по простиранию

$$i_x = \frac{\eta_m}{L_s} F(z_x); \quad (122)$$

в полумульде по падению

$$i_y = \frac{\eta_m}{L_1} F(z_y); \quad (123)$$

Т а б л и ц а 52

q_0	a_0	Условия применения
0,75 0,80	0,3 0,3	В районах залегания углей марок ПА-А В районах залегания углей марок Д-Г при мощности наносов менее 30 % глубины разработки и марок Ж К, ОС, Т
0,85	0,4	В районах залегания марок Д-Г при мощности наносов 30 % глубины разработки и более

в полумульде по восстанию

$$i_u = \frac{\eta_m}{L_2} F(z_u). \quad (124)$$

Функции $F(z_x)$, $F(z_{y_1})$ и $F(z_y)$ табулированы. L_1 , L_2 , L_3 — длины полумульд на разрезах соответственно вкост простираия по падению, вкост простираия по восстанию и по простираию.

Кривизна в главных сечениях мульды определяется в полумульде по простираию

$$k_x = \frac{\eta_m}{L_3^2} F'(z_x); \quad (125)$$

в полумульде по падению

$$k_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1^2} F'(z_{y_1}); \quad (126)$$

в полумульде по восстанию

$$k_y = \frac{\eta_m}{L_2^2} F'(z_y), \quad (127)$$

Функции $F'(z_x)$, $F'(z_{y_1})$, $F'(z_y)$ табулированы.

Горизонтальные сдвигения точек в главных сечениях мульды определяются:

в полумульде по простираию

$$\xi = 0,5a_0\eta_m F'(z_x); \quad (128)$$

в полумульде по падению

$$\xi = 0,5a_0\eta_m F'(z_{y_1}); \quad (129)$$

в полумульде по восстанию

$$\xi = 0,5a_0\eta_m F'(z_y). \quad (130)$$

Значение коэффициента a_0 , представляющее собой относительную величину максимального горизонтального сдвижения, определяется по табл. 52. Функции $F'(z_x)$, $F'(z_{y_1})$, $F'(z_{y_2})$ такие же, как и в формулах (125), (126), (127).

Горизонтальные деформации (растяжение, сжатие) в главных сечениях мульды определяются:

в полумульде по простираанию

$$\epsilon_x = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_3} F'(z_x); \quad (131)$$

в полумульде по падению

$$\epsilon_{y_1} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_1} F'(z_{y_1}); \quad (132)$$

в полумульде по восстанию

$$\epsilon_{y_2} = 0,5a_0 \frac{\eta_m}{L_2} F'(z_{y_2}). \quad (133)$$

Значения функций $F'(z_x)$, $F'(z_{y_1})$, $F'(z_{y_2})$ такие же, как и в формулах (125), (126), (127).

§ 173. 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, особенно в крупных угольных бассейнах, так как подработка зданий 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 меры охраны производятся сравнением расчетных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными для них деформациями.

Под допустимыми деформациями земной поверхности понимают деформации, вызывающие в сооружениях разрушения, поддающиеся ремонту. Таким образом, в этих случаях после текущих ремонтных и наладочных работ сооружения могут эксплуатироваться по своему прямому назначению. Под предельными деформациями земной поверхности понимают деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений с угрозой опасности для жизни людей.

Для определения условий безопасности подработки охраняемых объектов над 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

$$H_6 = k_e \frac{m}{[\epsilon_d]}, \quad (134)$$

если для охраняемого объекта в качестве допустимых приняты горизонтальные деформации, и по формуле

$$H_6 = k_i \frac{m}{[i_d]}, \quad (135)$$

если для охраняемого объекта в качестве допустимых деформаций приняты наклоны.

В формулах (134), (135) k_e , k_i — эмпирические коэффициенты, значения которых определены для каждого угольного бассейна; например, для Донецкого при первичной подработке они приведены ниже, при повторной подработке эти значения увеличиваются в 1,2 раза.

Значения коэффициентов k_e и k_i для Донбасса

Угол падения пласта, градус	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

$$H_n = k_e \frac{m}{[\epsilon_n]}, \quad (136)$$

если для охраняемого объекта в качестве предельных деформаций принять горизонтальные деформации, и по формуле

$$H_n = k_i \frac{m}{[i_n]}, \quad (137)$$

если для охраняемого объекта в качестве предельных деформаций приняты наклоны.

В формулах (136), (137) 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 (134) и (135).

Таблица 53

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_ϵ	1	0,85	0,70	0,60	0,50

Методики определения допустимых и предельных горизонтальных деформаций для гражданских зданий и промышленных сооружений следующие

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

$$[\epsilon] = \Delta l / (1,2 m_\epsilon l), \quad (138)$$

где m_ϵ — коэффициент условий работы, осредняющий горизонтальные деформации (определяется по табл. 53, в которой приведены также значения коэффициента m_k , осредняющие кривизну по длине здания); l — длина здания (отсека)

$[\Delta l_d] = [\Delta l_d]_n n_1 n_2 n_3 n_4 n_5$; $[\Delta l_n] = [\Delta l_n]_n n_1 n_2 n_3 n_4 n_5$, где $[\Delta l_d]_n$, $[\Delta l_n]_n$ — нормативные допустимые и предельные показатели суммарных деформаций, определяемых в зависимости от назначения гражданских зданий и их этажности (табл. 54); n_1 — коэффициент, зависящий от грунтовых условий; значения приведены ниже; n_2 — коэффициент, учитывающий материал и толщину стен (табл. 55); n_3 — коэффициент, учитывающий износ кирпичных и шлакоблочных стен, значения n_3 приведены

Таблица 54

Разряд	Назначение зданий	Этажность	$[\Delta l_d]_n$, мм	$[\Delta l_n]_n$, мм
Первый	Общественные здания, имеющие особую значимость, монументальные здания, здания с большими залами пролетом более 18 м	1—3	90	160
		1—5	120	160
Второй	Детские дошкольные учреждения, больницы, поликлиники, школы, родильные дома, бани, театры, дворцы культуры	1—3	130	180
Третий	Жилые здания, гостиницы	1—3	130	180
Четвертый	Учреждения общественного обслуживания, вспомогательные здания			

Т а б л и ц а 55

Материал стен	Толщина стен, мм	n
Кирпич	380	1,0
»	500 и более	1,2
Шлакоблоки	400	1,0
»	600 и более	1,2
Дерево	—	1,5

ниже; 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 конфигураций $n_5 = 0,8$, для остальных $n_5 = 1$; для зданий с деревянными стенами во всех случаях $n_5 = 1$).

Значения коэффициента n_1

Грунты с высокой несущей способностью (скальные, крупноблочные, плотные глины)	0,9
Пески, супеси, суглинки, глины	1,0
Слабые грунты с низкой несущей способностью (глины, пластинчатые, рыхлые пески)	1,2
Многомерзлые грунты	0,8

Значения коэффициента n_3

Износ стен, %	До 10	11—20	21—30	Более 30
n_3	1,0	0,85	0,70	0,50

Промышленные сооружения. В зависимости от особенностей производственного процесса и от особенностей и чувствительности технологического оборудования и строительных конструкций к деформациям земной поверхности, а также 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 двусменным и трехменным производством при наличии подвесных или мостовых кранов тяжелого, среднего или легкого режимов работ.

Основные производственные здания металлургических и химических предприятий с трехсменным и двухсменным производством Сборочные цехи предприятий точного приборостроения Производственные здания пищевой и медицинской промышленности (молочное, масложировое, кондитерское, парфюмерное производство, производство медицинских препаратов), кроме отмеченных в третьем разряде Многоэтажные производственные здания тяжелой промышленности с динамическими нагрузками на перекрытие 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 трехсменным и двухсменным 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 с подвесной кран-балкой или тельфером при трехсменном производстве

Многоэтажные (два или более этажа) 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 электростанции 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 или более смен в сутки, например, административно-хозяйственные помещения, лаборатории, конструкторское 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 нем оборудованием определяются раздельно для зданий и для оборудования. Меры охраны устанавливаются по наименьшим допустимым или предельным деформациям, полученным для зданий или для оборудования.

Для промышленных зданий допустимые и предельные деформации определяются по формулам

$$[\epsilon_d] = [\epsilon_d]_{\text{н}} n_1 N_1; \quad (139)$$

$$[\epsilon_n] = [\epsilon_n]_{\text{н}} n_1 N_1, \quad (140)$$

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 стенках, разрушения кладки, выпучивание колонн и т. п.; n_1 — коэффициент, зависящий от грунтовых условий; $[\epsilon_d]_{\text{н}}$ — нормативная величина допустимых горизонтальных деформаций земной поверхности для зданий на столбчатых и ленточных фундаментах, определяется из выражения

$$[\epsilon_d]_{\text{н}} = \frac{[c_d]}{m_{\epsilon} l_1}, \quad (141)$$

для зданий на сплошных железобетонных фундаментных плитах из выражения

$$[\epsilon_d]_{\text{н}} = \frac{100}{m_{\epsilon} l_{\Phi}}, \quad (142)$$

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. 56); m_{ϵ} — коэффициент условий работы (значения m_{ϵ} приведены в табл. 54); l_1 — расстояние от середины здания (отсека) ближайшей связевой панели или жесткой пристройки до крайних его фундаментов, мм; 100 — коэффициент, мм; l_{Φ} — длина фун-

Т а б л и ц а 56

Разряд зданий	Значения $[c_d]$ (мм) для зданий	
	каркасных	бескаркасных и с неполным каркасом
Первый	25	20
Второй	40	35
Третий	60	40
Четвертый	80, но не более $[c_n]$, определяемого по табл. 57 Допустимые деформации равны предельным, определяемым по формулам (143) и (144)	60
Пятый		

дамента, мм; $[e_n]_н$ — нормативная величина предельных горизонтальных деформаций земной поверхности, для каркасных зданий

$$[e_n]_н = \frac{[c_n]}{m_{el_4}}; \quad (143)$$

для бескаркасных зданий

$$[e_n]_н = \frac{100}{m_{el_4}}, \quad (144)$$

где $[c_n]$ — показатель, зависящий от высоты колонн здания (табл. 57).

Для транспортных сооружений (железные дороги, путепроводы, мосты, подъездные пути, автомобильные магистрали и т. п.; водные объекты — водотоки, водоемы, обводненные породы и т. п.) и наклонных шахтных стволов безопасная глубина определяется по формуле

$$H_6 = k_6 m, \quad (145)$$

где k_6 — коэффициент безопасности, установленный в результате многолетних наблюдений и учитывающий особенности охраняемого объекта, изменяется от 400 до 100; m — вынимаемая мощность залежи, м.

В качестве мер охраны объекта применяются следующие:

Т а б л и ц а 57

Разряд	Значения $[c_n]$ (мм) для колонн высотой, м						
	4	5	6	7	8	9	10 и более
Первый — четвертый	60	70	80	90	100	110	120
Пятый	70	80	90	100	110	120	130

1. Горные меры, заключающиеся: а) в охране сооружений с помощью закладки выработанного пространства, доставляемой в зону ведения горных работ; б) в охране путем применения различных режимов выемки полезного ископаемого. К ним относятся: нарезка выемочных участков, производимая таким образом, чтобы сооружения располагались в той части мулды, 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 сооружений является оставление ленточных целиков с большим запасом прочности с расстоянием между ними, обеспечивающим устойчивость основной кровли. Так, для охраны поверхности сооружений для одной из шахт Джезказганского месторождения был составлен проект охраны, по которому через каждые 60 м предусмотрены ленточные (барьерные) целики шириной 20 м. Сущность способа заключается в том, что при разрушении междукammerных целиков, расположенных между барьерными целиками, процесс обрушения локализуется на площади, заключенной между барьерными целиками. В этом случае обрушение налегающей толщи будет только в пределах свода естественного равновесия, над которым останется незатронутой сдвижением значительная толща пород основной кровли.

2. Конструктивные меры, снижающие напряжения и деформации, возникающие в зданиях, и усиливающие несущую способность конструкций, но не всегда исключаящие появление мелких трещин в стенах, фундаментах, перекрытиях, однако не мешающие нормальной эксплуатации. В числе конструктивных мероприятий, применяющих для уменьшения деформаций зданий могут быть:

а) осадочные швы, при помощи которых длинные здания разрезаются на отдельные отсеки, размеры их выбирают в зависимости от конфигурации здания и его конструктивной схемы, но так, чтобы отсеки имели замкнутый контур. Осадочные швы располагаются рядом с внутренними поперечными стенками, толщина швов должна быть такой, чтобы отдельные отсеки в процессе подработки работали независимо друг от друга. По вертикали здание рекомендуется разрезать на всю высоту, исключением является фундамент;

б) податливые фундаменты, погашающие горизонтальные напряжения в зданиях. Для этого делается шов, отделяющий подземную часть здания от фундамента. Шов заполняется материалом с небольшим коэффициентом трения;

в) фундаментные плиты. На выровненную и уплотненную поверхность грунта укладывается железобетонная плита, раз-

резанная диагональными швами, заполненными эластичным материалом. На плиту насыпается слой влажного песка толщиной до 5 см и укладывается еще одна, но сплошная плита, на которой без применения конструктивных мероприятий возводится здание. Эффективную защиту от подземных разработок можно осуществлять с помощью компенсационных траншей, сооружаемых в грунте вдоль зданий и позволяющих в 1,5—2 раза снизить величину горизонтальных деформаций. Дно траншеи 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: переселение жильцов, прекращение учебного или производственного процесса и т. п. В дальнейшем после затухания процесса сдвижения 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 и величины предельных деформаций для промышленных зданий и инженерных сооружений, а также определяется предельная глубина разработки $H_{\text{п}}$.

Если окажется, что расчетные деформации больше допускаемых, но не 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, но 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.

§ 174. ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

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 вкрест простирания от точки, соответствующей верхней границе.

Наклонные линии, проведенные под углом сдвижения δ , продолжаютс дальше до горизонта H_r , определяемого из выражения

$$H_r = A_r H_\gamma, \quad (146)$$

где A_r — коэффициент, равный

$$A_r = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \alpha}}; \quad (147)$$

H_γ — расстояние по вертикали от контакта коренных пород с наносами до проекций 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. 58.

Т а б л и ц а 58

Допустимые деформации		Категории охраны транспортных сооружений	Ширина бермы, м
$[\epsilon_d] 10^3$	$[\epsilon_d] 10^3$		
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. В этом случае предельные границы предохранительных целиков, до которых допускается проведение выработок, определяются при помощи радиусов-векторов по формулам:

$$r_v = \frac{H_v - h(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta \cos^2 \omega + \operatorname{tg}^2 \delta \sin^2 \omega} + \operatorname{tg} \alpha \cos \omega} + h \operatorname{ctg} \varphi; \quad (148)$$

$$r_n = \frac{H_n - h(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \varphi)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta \cos^2 \omega + \operatorname{tg}^2 \delta \sin^2 \omega} - \operatorname{tg} \alpha \cos \omega} + h \operatorname{ctg} \varphi, \quad (149)$$

где r_v и r_n — радиусы-векторы, откладываемые в плане от угловых точек охраняемой площади соответственно в сторону восстания (r_v) и падения (r_n) пласта, м; H_v — 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 $[\epsilon_d] \geq 2 \cdot 10^{-3}$, расположенных над выходами разрабатываемых пластов и вышележащих пластов и промпластов, должны составляться дополнительно к предохранительным целикам целики-упоры, которые по верхнему пласту оставляются до глубины $H_v = H_s \sqrt[3]{n}$, 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

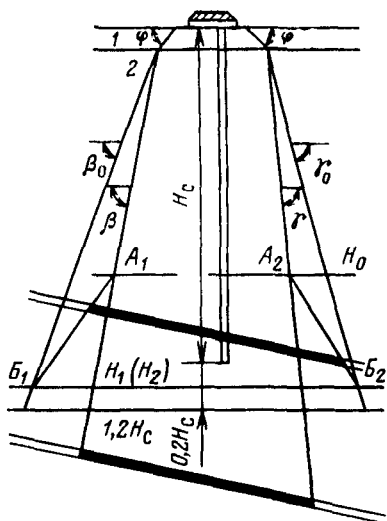


Рис. 180. Схема определения границ целиков для охраны шахтного ствола на различной глубине

1 — наносы 2 — коренные породы

по углам сдвижения, если глубина разработки не превышает H_0 , величина которой определена для каждого угольного бассейна. Например, в Донецком бассейне $H_0 = 400$ м. Для вентиляционных и воздухопадающих стволов, не оборудованных постоянным подъемом, или стволов, закрепленных податливой крепью, предохранительные целики также определяются по углам сдвижения

Для вертикальных главных и вентиляционных стволов с жесткой крепью, оборудованных постоянным подъемом при углах падения пластов $\alpha \leq 45^\circ$ на глубинах, равных и более H_1 , а при $\alpha > 45^\circ$ на глубинах, равных и более H_2 (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. 180):

а) в коренных породах до глубины 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 (см. рис. 180, линии $A_1 B_1$ и $A_2 B_2$).

Построение предохранительных целиков производится способом вертикальных разрезов и способом перпендикуляров. Второй способ используется для вытянутых объектов (железная дорога, река и т. п.), ось которых ориентирована под некоторым углом θ к простиранию пласта

Рассмотрим пример построения предохранительного целика под отдельно стоящее здание в условиях Кузнецкого бассейна. В рассматриваемом случае школа расположена на площади, подработанной ранее пластом «Инским III»; процесс сдвижения поверхности окончился до строительства школы. Отработке под зданием школы подлежат два пласта «Полысаев-

ский I» мощностью 2,0 м и «Полысаевский II» мощностью 2,25 м. Угол падения пластов 9° , мощность наносов 7 м. Износ здания составляет 10 %.

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, волосяных трещин толщиной до 1 мм.

Допустимый для здания школы показатель суммарных деформаций $[\Delta l_d]$ от верхнего пласта «Полысаевский I».

Четырехэтажное здание школы относится к зданиям охраны второго разряда, для которых нормативный показатель суммарных деформаций $[\Delta l_d]_н$ принимается равным 140 мм.

Значение коэффициентов n согласно приведенным 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.

Допустимые горизонтальные деформации определяются по формуле:

$$[\epsilon_d] = \frac{[\Delta l_d]}{1,2 m_t l},$$

где $l = 35\,000$ мм, m_t — коэффициент условий работы равен 0,6. Откуда $[\epsilon_d]$ равна $5,4 \cdot 10^{-3}$.

Безопасная глубина разработки равна

$$H_0 = k_e \frac{m}{[\epsilon_d]} = \frac{1,7 \cdot 2,0}{5,4 \cdot 10^{-3}} = 433 \text{ м.}$$

Для построения границы предохранительного целика по пласту «Полысаевский I» на плане через углы здания школы проводим линии, параллельные простиранию и падению пласта (рис. 181). Параллельно полученным сторонам проводятся линии на расстоянии от них, равном ширине предохранительной бермы, которая при $[\epsilon_d] = 5,4 \cdot 10^{-3}$ принимается равной 10 м. Таким образом, получаем прямоугольную фигуру $АВВГ$, подлежащую охране.

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 , B_1 , Γ_1 . Для условий Кузнецкого бассейна угол сдвижения $\varphi = 55^\circ$, а углы сдвижения в коренных породах, подверженных подработке должны быть уменьшены на 5° по сравнению с углами сдвижения для неподработанной толщи. Откуда $\beta = 73^\circ - 5^\circ = 68^\circ$, $\gamma = 80^\circ - 5^\circ = 75^\circ$; $\delta = 80^\circ - 5^\circ =$

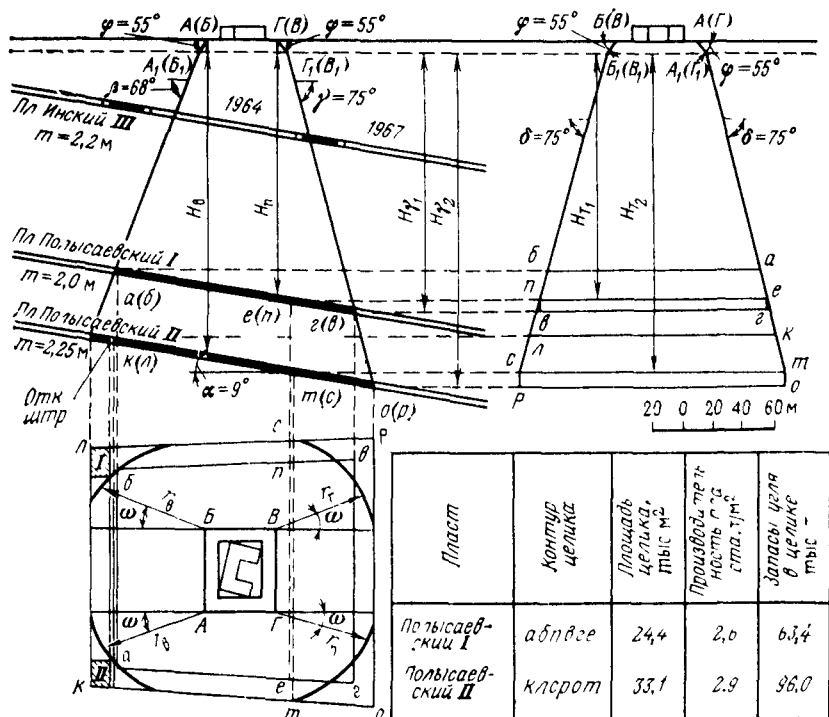


Рис. 181 Предохранительный целик для охраны отдельно стоящего здания

$=75^\circ$. На разрезе вкрест простирания от точки A_1 проводим под углом сдвижения $\beta=68^\circ$ линию до ее пересечения с пластом «Польшаевский I» и получаем точку a , являющуюся верхней границей целика. От точки G_1 под углом $\gamma=75^\circ$ проводится прямая до пересечения с пластом «Польшаевский I» и получаем точку z , являющуюся нижней границей целика. Измерение на построенном разрезе показывает, что целик по пласту «Польшаевский I» расположен намного выше вычисленной глубины безопасных работ $H_6=433$. Действительно, верхняя граница целика (точка a) расположена на глубине 150 м, а нижняя — на глубине 177 м. Следовательно, выемка запасов угля по пласту «Польшаевский 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 «Польшаевская I» необходимо оставление предохранительного целика.

Границы предохранительного целика на разрезе вкрест простирания были построены выше — это точки a (b), z (v) (см. рис. 181). Для определения границ по простиранию строятся вертикальный разрез по простиранию, на который наносятся контуры охраняемой площади B (B), A (Γ). Из точек B и A 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 a разреза вкрест простирания. Полученные таким образом точки a , b определяют верхнюю границу предохранительного целика по пласту «Полысаевский I».

Для получения нижней границы предохранительного целика 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,

$$H_r = A_r H_\gamma = 0,96 \cdot 170 = 163 \text{ м.}$$

От пересечения линий, проведенных под углом δ , с горизонтом H_r получают точки n , e . 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 переносятся на план, в результате получают границы предохранительного целика, отмеченные контуром a , b , v , z .

Построение предохранительного целика по пласту «Полысаевский II» принципиально не отличается от описанного выше. На рис. 182 его контур показан буквами k , l , c , p , o .

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 (148), (149) радиусы-векторы для различных значений угла ω для рассматриваемого целика следующие:

$\omega = 0^\circ$	$r_B = 81 \text{ м}$	$r_H = 63 \text{ м}$
$\omega = 20$	$r_B = 77$	$r_H = 63$
$\omega = 30$	$r_B = 72$	$r_H = 63$
$\omega = 60$	$r_B = 62$	$r_H = 62$
$\omega = 90$	$r_B = 59$	$r_H = 61$

Полученные значения радиусов-векторов под соответствующими углами ω откладываются от точек A , B , B , Γ , z в результате получают криволинейный (сглаженный) контур предохранительного целика.

Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите основные зоны сдвижения горных пород
- 2 Что называется мульдой сдвижения?
- 3 Что называется углами сдвижения?
- 4 Назовите величины опасных деформаций земной поверхности
- 5 Что называется граничными углами сдвижения?
- 6 Что называется углом максимальных оседаний?
- 7 Что называется углами полной подработки?
- 8 Что называется вертикальными деформациями? Горизонтальными деформациями?
- 9 Что влияет на длительность процесса сдвижения?
- 10 Что называется поверхностной наблюдательной станцией?
- 11 Из чего складывается полный комплекс наблюдений на поверхностной наблюдательной станции?
- 12 Что называется эффективной мощностью пласта?
- 13 Что называется безопасной глубиной разработки?
- 14 Что называется предельной глубиной разработки?
- 15 Назовите горные меры охраны
- 16 Что называется предохранительным целиком?

Глава 26

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

§ 175 ПРИЧИНЫ И ВИДЫ ДЕФОРМАЦИИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Потеря устойчивости (сдвижение) бортов и уступов в карьерах связана главным образом с изменением напряженного состояния нетронутого массива пород в результате проведения открытых горных выработок

При этом разрушение горных пород происходит под воздействием касательных напряжений, которые при определенных условиях вызывают в массиве необратимые деформации сдвига по поверхностям, называемым поверхностями скольжения

Изучение характера напряженного состояния бортов карьеров показывает, что в общем случае в массиве горных пород, ослабленном боковым вырезом (бортом карьера), точки с максимальными значениями напряжений, расположенные на различной высоте борта, формируют направление наиболее слабой поверхности, которая в случае предельных напряжений становится поверхностью скольжения. Такая поверхность скольжения соответствует главным образом однородному (изотропному) массиву горных пород. При наличии плоскостей анизотропии (напластование, системы трещин, тектонические нарушения и пр.) положение поверхности скольжения изменяется, в ряде случаев совпадая с поверхностями анизотропии

Все многообразие деформаций пород бортов карьеров может быть разделено на пять видов осыпи, обрушения, оползни, просадки и оплывины

Осыпи характеризуются тем, что с верхней части откоса в нижнюю часть происходит постепенное скатывание небольшими объемами сыпучих масс. Такое перемещение происходит в том случае, когда угол откоса больше угла внутреннего трения при практическом отсутствии сцепления пород.

Обрушения — быстрое смещение породных масс по поверхностям скольжения, которыми могут являться поверхности, ослабленные геологическими нарушениями и трещиноватостью. Эти поверхности могут быть плоскими и криволинейными, последние часто совпадают с круглоцилиндрической кривой.

Для предотвращения обрушений проектирование борта и уступов карьера производят с обязательным учетом особенностей массива или с применением соответствующих искусственных мероприятий, повышающих устойчивость горных пород. Оползни характеризуются тем, что движение пород происходит медленно, процесс продолжается в течение длительного времени, и сдвигению подвергаются большие массы горных пород. При оползнях происходят пластические деформации в движущемся массиве. В движении могут принимать участие как коренные породы, так и породы отвалов.

Просадки — вертикальное опускание прибортовых участков рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности скольжения. Причинами их возникновения могут быть уплотнения отвалов рыхлых пород, которые усиливаются при увлажнении, насыщении водой высокопористых отложений, наличие слабых пластических слоев в основании откоса.

Оплывины происходят в породах, способных насыщаться водой и в результате этого переходить из твердого в текучее состояние. Чаще всего оплывины наблюдаются при насыщении влагой рыхлых и высокопористых отложений (лессов, лессовидных суглинков и т. п.) и при выносе песчаных частиц, фильтрующих потоков. Устраняются оплывины проведением дренажа.

§ 176 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Устойчивость бортов карьеров определяется соотношением сил, удерживающих откос, и сил, стремящихся его сдвинуть. На величину отмеченных сил оказывают влияние многие факторы.

Определение устойчивых углов наклона бортов карьеров (откосов) по существу является задачей теории предельного равновесия, согласно которой прочность горной породы характеризуется некоторой кривой (рис. 182, а), построенной в координатах τ , σ_n (касательное и нормальное напряжения). Кривая *ABC* определяет собой предельное состояние горной породы в образце. Отрезок *OB'*, отсекаемый кривой на оси τ , опреде-

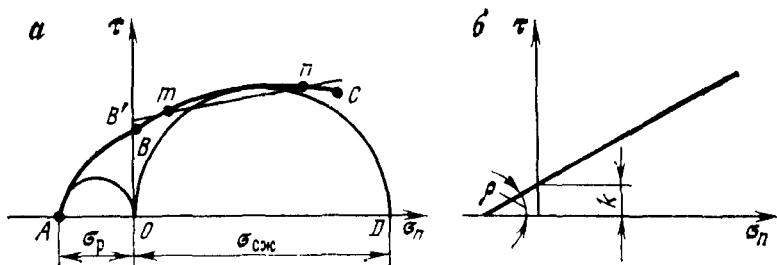


Рис. 182 Паспорт прочности

а — с криволинейной огнивающей кругов Мора, *б* — с огнивающей в виде прямой

ляет величину сцепления, угол наклона к оси σ_n отрезка прямой mn , заменяющий на некотором интервале кривую ABC , называется углом внутреннего трения, а тангенс этого угла — коэффициентом внутреннего трения. Отрезок OA выражает временное сопротивление породы растяжению σ_p , отрезок OD численно равен временному сопротивлению $\sigma_{сж}$.

Общий вид уравнения кривой предельного равновесия $\tau = f(\sigma_n)$, в зависимости от типа горных пород уравнение может быть представлено параболой, циклоидой, прямой. В последнем случае (рис. 182, б) уравнение равновесия записывается следующим образом:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \rho + k, \quad (150)$$

где τ — касательное напряжение по площадке сдвига, МПа; σ_n — нормальное напряжение на площадке сдвига, МПа; ρ — угол внутреннего трения пород, градус; k — коэффициент сцепления пород, МПа. Определение вида кривой предельного равновесия и количественную оценку ее параметров производят при испытаниях образцов горных пород.

Реальные горные породы представляют собой сложную среду, обладающую неравномерностью (анизотропией) свойств. Основной причиной, вызывающей анизотропию, является структура массива — различные поверхности ослабления (напластования, трещиноватость и пр.). Анизотропия является основной причиной того, что законы геометрического подобия, используемые для изотропных твердых тел (металлов, пластмасс и т. п.), не могут быть применены к массивам горных пород. Поэтому механические свойства в массиве отличаются от свойств, полученных на образцах.

Для определения свойства в массиве производят специальные испытания на породных призмах, оконтуренных в местах из естественного залегания и ориентированных определенным образом по отношению к плоскости анизотропии.

Т а б л и ц а 59

Породы	Угол внутреннего трения в куске, градус	Угол естественного откоса градус
Песчаники	36	34—36
Алевролиты	33	34—36
Аргиллиты	27—30	34—36
Известняки	34	33—35
Метаморфические сланцы	29	33—35
Кварцевые порфиры и гранодиорит-порфиры	36	33—35
Сиениты и порфиры	35	35

Обычно разрушение такой призмы происходит по некоторой поверхности, знание положения которой позволяет определить прочностные характеристики массивов. Опыты показали, что из двух параметров, характеризующих сопротивление сдвигу (сцепление и угол внутреннего трения), наиболее изменчивым является сцепление. Поэтому, приняв величину трения по испытаниям образцов, можно с учетом разложения результирующей внешнего давления P на нормальную N и касательную T составляющие определить величину сцепления пород в массиве.

Угол внутреннего трения в массиве, когда поверхности

Т а б л и ц а 60

Породы	Значения угла трения (градус) в зависимости от характера поверхности			
	неровные шероховатые	ровные шероховатые	неровные гладкие	ровные гладкие
Порфиры, роговики, джеспилиты, крепкие песчаники	28—31	24—28	22—27	20—26
Вторичные кварциты, гранодиориты, кварцевые порфиры, гранодиорит-порфиры, скарнированные породы, сиениты, диориты, алевролиты	25—28	22—25	20—23	17—20
Известняки, метаморфические сланцы, магнетиты	24—27	23—25	20—22	16—19
Глинистые сланцы, аргиллиты	23—26	21—23	18—20	15—18
Филлиты, талькохлоритовые и серицитовые сланцы	23—25	20—22	13—15	9—12

скольжения не совпадают с поверхностями контактов между слоями, можно принять равным углу внутреннего трения, определенному при испытаниях на срез образцов горных пород. В табл. 59 приведены значения углов внутреннего трения для некоторых пород.

Углы внутреннего трения по контактам слоев принимают равными углу трения, полученному по результатам лабораторных испытаний на трение по этим поверхностям. В табл. 60 приведены значения угла трения, полученные при испытаниях по контактам слоев и трещин.

Механические свойства горных пород в массиве (особенно сцепление) не только отличаются от свойств в образце, но и, более того, являются переменными величинами, зависящими в значительной степени от отношения размеров деформирующегося объекта, размера структурного блока и прочности горной породы в образце.

Массивы горных пород во время их образования и особенно после образования подвергались различным изменениям и превращениям, сопровождающимся появлением трещин разрыва, отдельностей, кливажа, плоскостей наслоения и пр. Этими поверхностями раздела массивы горных пород расчленяются на отдельные многогранники — структурные блоки, которые представляют собой элементарные структурные частицы, составляющие массив горных пород. При деформациях больших массивов горных пород структурные блоки можно уподобить зернам минералов при деформациях образцов небольших размеров.

Таким образом, при оценке прочностных свойств массивов горных пород надо исходить уже из рассмотрения отдельных структурных блоков.

Пластические деформации горных пород характеризуются появлением двух сопряженных систем трещин, образующих для случая изотропной среды угол с главным действующим усилием $\varphi = 45^\circ - \sigma/2$. В случае же трещиноватых горных пород в поверхности скольжения отчасти реализуются уже имеющиеся плоскости ослабления, т. е. разрушение массива происходит по существующим поверхностям. При деформациях больших масс (оползнях откосов) возникает не поверхность, а зона скольжения, по мощности захватывающая несколько структурных блоков. Перемещения структурных блоков в этой зоне происходит как в виде скольжения, так и в виде вращения.

При разрушении массива горных пород разрушаются и сами структурные блоки, доля участия которых в разрушении зависит от их размеров (чем меньше размеры структурных блоков, тем меньшее количество их разрушается) и их прочности (чем меньше прочность, тем большее количество их разрушается). Для учета влияния структурных блоков на прочностные свойства массива предложено использовать различные коэффици-

Таблица 61

Группа пород	Наименование пород и характер трещиноватости	Величина сцепления в куске, МПа	Величина коэффициента α
III	Слабоуплотненные и слаботрещиноватые песчано-глинистые отложения, сильновыветрелые, полностью каолинизированные, изверженные Уплотненные песчано-глинистые в основном с нормально секущей трещиноватостью	0,4—0,9	0,5
II	Сильнокаолинизированные изверженные, уплотненные песчано-глинистые с развитой кососекущей трещиноватостью. Средней крепости слоистые, преимущественно с нормально секущей трещиноватостью	3,0—8,0	3
		10,0—15,0	3
		15,0—17,0	4
		17,0—20,0	5
I	Крепкие, преимущественно с нормально секущей трещиноватостью Крепкие изверженные с развитой кососекущей трещиноватостью	20,0—30,0	6
		30	7
		20,0	10

енты структурного ослабления. Г. Л. Фисенко для определения величины сцепления в массиве по направлению, не совпадающему с поверхностями ослабления, используют формулу

$$k_m = \frac{k_k}{1 + a \ln H/l}, \quad (151)$$

где k_m , k_k — коэффициент сцепления пород соответственно в массиве и образце; a — коэффициент, определяемый по табл. 61; H/l — отношение высоты борта к среднему размеру структурных блоков, оконтуриваемых трещинами.

Таким образом, для оценки механических характеристик массивов горных пород необходимо знание особенностей трещиноватости, при изучении которой должны быть выявлены основные и второстепенные системы трещин, установлен удельный вес каждой из систем в общей массе трещин, выявлены пространственные углы между системами трещин, оценена интенсивность трещиноватости и выявлен характер ее размещения в карьерном поле и определено значение каждой из систем трещин в структуре месторождения, ее влияние на устойчивость откосов.

Полевые наблюдения трещиноватости проводят на естественных и искусственных обнажениях горных пород и в разведочных и дренажных выработках. Густота участков замера

трещиноватости и их взаимное расположение определяются сложностью геологического строения месторождения или карьерного поля. Участки замеров трещин должны располагаться так, чтобы изучению был подвергнут комплекс горных пород и все элементы структур месторождения. Массивы горных пород, расчлененные крупными геологическими нарушениями, должны иметь каждый по 1—2 участка измерения трещин. При простом строении месторождения или карьерного поля расстояние между участками измерений принимают равным 150—200 м. На каждом участке измерения трещиноватости определяют элементы залегания всех систем трещин, элементы залегания напластования и сланцеватости, линейные размеры отдельных трещин, расстояние между трещинами каждой системы, характер поверхности трещин, формул и размер структурных блоков.

Элементы залегания трещин измеряют при помощи горного компаса. Общее число измерений элементов залегания трещин на площадке зависит от числа систем трещин и характера их поверхностей. При этом следует исходить из того, что каждая система трещин должна иметь не менее 15—20 измерений элементов залегания. При большом разбросе данных для отдельных систем число измерений увеличивается до 30.

Важным фактором, влияющим на устойчивость пород, является их выветрелость, под которой понимается процесс изменения состояния пород и разрушения горных пород на земной поверхности под действием природных факторов (температуры, воды, кислорода, углекислоты, живых организмов). Этот фактор особенно заметен для бортов карьеров с большим сроком службы.

На устойчивость пород существенное значение оказывают гидрогеологические факторы: подток грунтовых вод, гидростатическое и гидродинамическое давление, суффозия, выщелачивание, внезапные прорывы вод, оплывание. Влияние как каждого из этих факторов в отдельности, так и в совокупности приводят к резкому снижению прочностных характеристик пород, а также к уменьшению сопротивления сдвигу.

При оценке устойчивости бортов карьеров должны учитываться и климатические факторы: количество атмосферных осадков, температурный режим района, микрорельеф, сила ветра. Атмосферные осадки при отсутствии регулярного их стока приводят к обводнению песчано-глинистых пород и насыщению их влагой до состояния, когда капиллярная вода переходит в гравитационную, резко снижая силы сопротивления сдвигу и тем самым уменьшая устойчивость откосов. Влияние на устойчивость горных пород оказывают температурный режим и ветры, зачастую способствующие ускорению выветривания. Микрорельеф (особенно бессточный) нередко является причиной заболоченности поверхности.

Существенно на устойчивость пород влияют горнотехнические факторы, среди которых наибольшее значение имеет способ производства взрывных работ, так как после взрыва в некоторой части массива его прочность не превышает 20—25 % естественной. Для избежания оползней или обрушений при этом приходится изменять в сторону снижения эффективности параметры систем разработки (ширину площадок и берм, высоту и угол откоса, уступов и т. п.).

Из других горно-технических факторов при оценке устойчивости бортов необходимо учитывать влияние ширины берм очистки и транспортных берм, профиля рабочих площадок, разработку бортов подземных горными выработками.

§ 177. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ

Наблюдения за сдвижением горных пород при открытых разработках и обработка результатов наблюдений являются одной из задач маркшейдерской службы карьеров. Наблюдения за оползнями разделяют на два этапа: разведка и выявление оползневых очагов и наблюдение оползневых очагов и разработка мероприятий по ликвидации оползневых явлений.

Непрерывная технологическая подвижность откоса накладывает на организацию наблюдений определенные особенности. Заложенные на откосах точки не могут долго сохраняться (особенно на уступах рабочего борта). Поэтому наблюдения нужно организовать так, чтобы в относительно небольшие сроки они были закончены. Различают два основных типа наблюдений: 1) наблюдения видимых деформаций бортов и уступов с целью установления формы оползня и характера его развития во времени и пространстве и 2) наблюдения участков, где нет видимых деформаций, но где они могут возникнуть и принести значительный ущерб предприятию.

В результате наблюдений должны быть установлены сдвижения отдельных точек массива в пространстве и во времени, размерыдвигающегося массива, поверхности скольжения, стадии процесса сдвижения (начальная, активная, затухающая), степень опасности сдвижения пород для горных работ или сооружений на поверхности.

Для проведения наблюдений за сдвижением горных пород на борту карьера закладывают наблюдательные станции, на которых периодически через определенные промежутки времени производят инструментальные наблюдения. Наблюдательные станции представляют собой систему реперов, закладываемых по линиям, перпендикулярно к простиранию борта карьера. Чтобы учесть влияние различных факторов на устойчивость

бортов, профильные линии наблюдательной станции обычно располагают в различных горно-геологических условиях.

Длина профильных линий должна быть такой, чтобы оба или один ее конец были вне зоны ожидаемых сдвижений. При небольшой глубине профильные линии могут быть проведены через весь карьер. Расстояние между реперами профильной линии зависит от глубины карьера и размеров уступа. На каждом уступе должно быть заложено не менее двух реперов: один вблизи бровки уступа, другой — почвы вышележащего уступа. Реперы на уступах располагают так, чтобы была обеспечена безопасность наблюдателя при работе на них. На концах профильных линий имеются опорные реперы. При сооружении наблюдательной станции закладывают не менее трех исходных реперов таким образом, чтобы была гарантия их сохранности. К исходным реперам привязывают опорные реперы всех линий.

Маркшейдерские наблюдения на станциях складываются из: нивелирования всех реперов, включая опорные; измерения расстояний между реперами стальными рулетками с постоянным натяжением и фиксированием температуры; инструментальной съемки отдельных уступов, навалов пород, элементов залегания пород, трещиноватости, образовавшихся смещений и т. п.

В результате выполнения наблюдений должна быть составлена следующая графическая документация: план наблюдательной станции в масштабе 1:500, 1:1000, 1:2000, на котором изображаются профильные линии, горные работы, ситуация и рельеф поверхности; вертикальные разрезы по каждому профилю, где отмечаются положения борта на моменты закладки профильной линии и данной серии наблюдений; графики вектора сдвижений реперов в вертикальной плоскости в масштабах 1:1, 1:5, 1:10, 1:20; графики скоростей сдвижения реперов по направлению векторов.

При наблюдениях за оползнями определяется также положение в теле откоса поверхности скольжения и устанавливаются причины ее возникновения.

§ 178. УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОЧИХ 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 съездов и бERM; экономичность горных работ.

Линия погашения борта может быть конструктивной, когда она соответствует профилю, отстроенному по горнотехническим условиям. Она может быть устойчивой, когда борт карьера имеет минимально достаточный запас устойчивости для данных

горных пород. И может быть конструктивно устойчивой, когда оба вышеуказанных профиля совпадают или очень близки между собой.

В настоящее время известно большое число расчетных методов устойчивости бортов карьеров, в которых для суждения об устойчивости откосов используют коэффициент устойчивости, равный отношению суммы удерживающих сил к сумме сил, сдвигающих оползневой клин:

$$n = \frac{\Sigma F_{\text{тр}} + \Sigma F_{\text{сц}}}{\Sigma F_{\text{сдв}}}, \quad (152)$$

где $\Sigma F_{\text{тр}} = f \Sigma N_i$ (силы трения); $\Sigma F_{\text{сц}} = kL$ (силы сцепления); $\Sigma F_{\text{сдв}} = \Sigma T_i$ (силы сдвигающие); f — коэффициент внутреннего трения пород; k — коэффициент сцепления, определяемый силой, приходящейся на единицу площади расчетной поверхности.

В верхней части откоса в результате действия растягивающих усилий образуются вертикальные трещины разрыва, за счет чего уменьшается длина поверхности скольжения. Высота этой трещины определяется по формуле

$$H_{90} = \frac{2k \operatorname{tg}(45 - \rho/2)}{\gamma},$$

где k и ρ — соответственно сцепление и угол внутреннего трения пород; γ — средняя плотность пород.

При расчете устойчивого положения бортов разрезов по круглоцилиндрической поверхности скольжения большую сложность представляет отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения. Рассмотрение условия равновесия оползневого клина дает лишь одно уравнение, не позволяющее решать задачу сразу однозначно, и поэтому отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения осуществляют путем подбора, что сопряжено с кропотливыми и утомительными вычислениями.

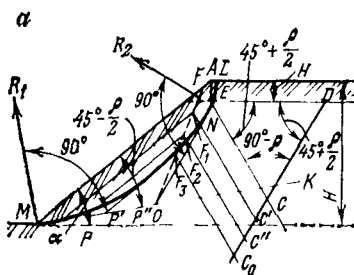
Г. Л. Фисенко предложил способ определения поверхности скольжения, при котором сразу определяется ее положение с наименьшим запасом устойчивости. Для этого (рис. 183, а):

1) на чертеже откоса проводят линию ED , отстоящую от поверхности откоса на расстоянии H_{90} ;

2) на линии ED выбирают произвольную точку D и через нее проводят линию DC под углом $45^\circ + \rho/2$ к линии ED . Здесь ρ — угол внутреннего трения. Под этим же углом из точки E проводят линию EC ;

3) из нижней точки откоса M под углом $45^\circ - \rho/2$ к линии откоса строят линию MK ;

4) на линии MK от точки M откладывают равные отрезки $MP, PP', P'P'',$ а на линии DC от точки C вниз отрезки $CC', C'C''$ и $C''C_0$;



6

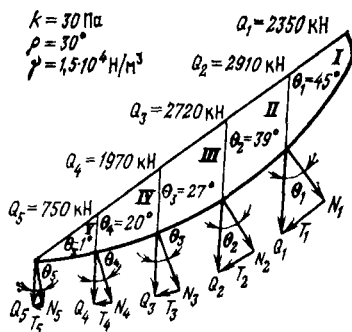


Рис. 183 Схемы определения положения поверхности скольжения по Г. Л. Фисенко (а) и оползневой клина к расчету устойчивости борта карьера (б)

5) из точек P, P', P'' проводят прямые линии, параллельные линии откоса MA , а из точек C', C'' и C_0 — линии, параллельные EC . Пересечение этих линий даст точки F, F_1, F_2, F_3 . Через полученные точки проводится прямая FO до пересечения с линией MK ;

6) из точки O проводят прямую, параллельную DC до пересечения с линией ED в точке E ;

7) из точки N восстанавливают перпендикуляр к линии OE , а из точки M — перпендикуляр к линии MK . Пересечение перпендикуляров даст положение центра окружности проходящей через точки M и E .

После проделанных операций производят проверку устойчивости откоса. Для этого в крупном масштабе строят оползневой клин и вертикальными линиями разбивают его на ряд призм (рис. 183, б). Измеряют площадь каждого блока s_i , определяют нагрузку породы в каждой призме на 1 м фронта карьера по формуле $Q_i = s_i \gamma$. Вертикальные линии, являющиеся границами призм, продолжают вниз на расстояния, соответствующие в вы-

Т а б л и ц а 62

№ блока	Q , МН	θ , градус	N_i , МН	T_i , МН
I	2,33	45	1,65	1,65
II	2,91	39	2,26	1,83
III	2,72	27	2,43	1,24
IV	1,97	20	1,85	0,67
V	0,75	7	0,74	0,09
	—	—	8,93	5,48

Т а б л и ц а 63

Общая характеристика откоса (или борта)	Величина коэффициента заноса в зависимости от срока службы откоса	
	до 5 лет	более 5 лет
Нерабочий борт, сложенный глинами или трещиноватыми породами	1,20	1,30
Нерабочий борт с преобладанием песчаных и гравелистых пород	1,15	1,20
Рабочий борт	1,20	—
Откосы рабочих уступов и отвалов	1,20	—
Откосы уступов нерабочего борта, сложенного глинистыми и трещиноватыми породами	1,50	2,0
Откосы уступов нерабочего борта, сложенные песчаными и гравелистыми породами	1,15	1,20

бранном масштабе массе призм. Из точек пересечения этих линий с поверхностью скольжения составляют перпендикуляры. Определяют N_i и T_i по формулам $N_i = Q_i \cos \theta_i$, $T_i = Q_i \sin \theta_i$ (значения N_i и T_i приведены в табл. 62). Между Q_i и N_i измеряют угол θ_i .

Находят длину поверхности скольжения L , после чего определяют коэффициент устойчивости по формуле

$$n = \frac{\operatorname{tg} \rho \sum N_i + kL}{\sum T_i}, \quad (153)$$

где ρ — угол внутреннего трения, градус; k — коэффициент сцепления породы; L — длина поверхности скольжения.

Если полученный коэффициент устойчивости больше или равен заданному, то построенный борт считается устойчивым, если меньше — неустойчивым. В последнем случае необходимо предусмотреть или выполаживание борта, или проведение мероприятий по увеличению устойчивости горных пород.

В табл. 63 приводятся рекомендуемые величины коэффициента запаса устойчивости бортов и уступов карьеров в зависимости от срока службы откоса.

§ 179. ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Оползни горных пород на карьерах причиняют огромный материальный ущерб предприятиям, нарушают нормальный технологический процесс, нередко ведут к большим потерям вскрытых и готовых к выемке запасов полезного ископаемого и вызывают необходимость многократной перевалки оползающих масс, а иногда и их отгрузки.

Если параметры рабочего борта и уступов рассчитаны правильно, то их общая устойчивость должна быть обеспечена. Однако не исключено, что на отдельных участках могут возникнуть оползневые очаги, ликвидацию которых экономически целесообразно предотвратить противооползневыми мероприятиями, среди которых получили распространение: выколаживание угла откоса уступа или борта; оставление целиков породы или полезного ископаемого в районе оползневого очага; снятие нагрузки с откоса с целью уменьшения сил, создаваемых призмой активного давления; отгрузка очага оползня; искусственное упрочнение горных пород массива.

При проектировании противооползневых мероприятий необходимо различать случаи, когда поверхность скольжения ярко выражена в натуре (по поверхностям ослабления, контактам слоев и пр.) или же является условной линией. В первом случае поверхность скольжения может быть представлена слабыми контактами, когда напластование горных пород падает в сторону выработки, роль поверхности скольжения играют также прослойки глинистых и суглинистых пород в однородной толще откоса. Поверхность скольжения может также проходить по увлажненным контактам горных пород.

Во втором случае положение поверхности скольжения не обосновывается 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. При известном положении поверхности скольжения выбирается один из показанных ниже способов предотвращения оползня.

Выколаживание угла откоса. Сущность способа заключается в том, что в целях предупреждения оползня уменьшают угол наклона борта или уступа до какой-то определенной величины, при которой оползня не произойдет. Расчет этого угла откоса производится последовательно для нескольких углов наклона борта. По результатам подсчета коэффициента устойчивости и для ряда значений угла откоса строят график, по которому выбирают угол откоса по заданному коэффициенту устойчивости. Пусть, например, этот угол равен 41° . Маркшейдер при помощи вычислений определяет положение на верхней площадке точки, соответствующей углу наклона борта 41° . Эту точку отмечают в натуре колышком и передают начальнику участка для выполнения работ по выколаживанию откоса.

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 дав-

ления и, наоборот, увеличение массы призмы упора отсыпкой дамбы в ее нижней части. Эффективность метода определяется тем обстоятельством, что при небольших углах наклона борта карьера развитие оползня происходит медленно, и это позволяет произвести значительные работы по перемещению горных масс с активной призмы в район пассивной призмы (призмы упора).

Отгрузка очага оползня. Данный способ дает хорошие результаты в тех случаях, когда падение слоев направлено в сторону выработанного пространства и угол 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 и тем самым повысить устойчивость борта карьера.

Применение спецтехнологии отработки приконтурных лент на карьерах. Спецтехнология обеспечивает повышение устойчивости уступов и может включать диагональные схемы короткозамедленного взрывания при подходе к предельному контуру, применение наклонных зарядов для отбойки пород и контурное взрывание.

Использование диагональных схем короткозамедленного взрывания сокращает в $1,5-2,0$ раза ширину зоны деформаций массива, вызванных действием сейсмике, по сравнению с порядным взрыванием.

При использовании наклонных зарядов бурятся скважины под углом падения $60-75^\circ$. Это позволяет в значительной мере сократить ширину нарушаемой взрывом зоны и, что является важным, обеспечить повышенную сохранность подошвы уступа.

Контурное взрывание может быть осуществлено или с предварительным щелеобразованием или при помощи гладкого взрывания. В первом случае по проектному контуру бурят сближенные скважины (через $1-2$ м), которые взрывают за $15-20$ м до подхода забоя к предельному контуру. В результате взрыва сближенных скважин образуется щель, ослабляющая воздействие на законтурный массив горных пород сейсмике массовых взрывов.

Гладкое взрывание осуществляют при помощи сближенных скважин (расстояние между ними $2-3$ м), заряды в которых взрывают или одновременно с зарядами в скважинах дробления или с замедлением $50-70$ мс.

Искусственное укрепление горных пород. Существующие способы укрепления откосов можно разделить на следующие группы: использующие механические принципы укрепления; использующие повышение механических характеристик пород путем инъекции в массив укрепляющих материалов; использующие при породах, подверженных быстрому разрушению, изоляцию участков откосов устойчивыми покрытиями.

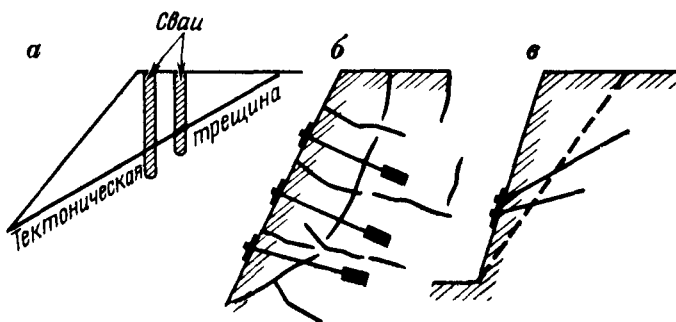


Рис. 184 Схема укрепления откоса железобетонными сваями (а), анкерной крепью (б) и гибкими тросами (в)

К первой группе относят способы укрепления анкерной крепью, grosовыми тяжами, контрфорсными стенками и т. п.

Во второй группе наиболее распространенным является способ инъекции цементного раствора. Эффективными в ряде случаев могут быть инъекции жидких полимерных смол.

Среди способов третьей группы наибольшее распространение получили покрытия торкретбетоном, битумом, эпоксидными смолами. Часто искусственное покрытие применяют вместе с металлической сеткой и анкерной крепью.

Приведенные выше способы повышения устойчивости откосов имеют свои оптимальные условия применения. Так, железобетонные сваи надежно закрепляют участки, имеющие выраженные плоскости ослабления: тектонические трещины, слоистость, зоны нарушений и т. п. (рис. 184, а). 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. Наиболее эффективной является гибкая арматура, состоящая из стальных продольных стержней, связанных поперечными хомутами. Диаметр стержней может быть до 40 мм, для поперечной арматуры используют сталь диаметром 6—8 мм. После закрепления арматуры в скважине в последнюю засыпают щебень, гравий, песок. В качестве цемента используют все виды цементов.

При укреплении участков, сложенных сильнотрещиноватыми породами, целесообразно наряду со сваями производить нагнетание в массив укрепляющего цементного раствора. Такое сочетание способов дает хорошие результаты при небольшом увеличении стоимости укрепительных работ: затраты на укрепление участка сваями с последующей цементацией увеличива-

ются в среднем на 10 % по сравнению с цементацией того же объема породы.

Упрочнение горных пород путем инъекции цементного раствора и других материалов проводят в горных породах, обладающих хорошей водопроницаемостью. Наилучший эффект цементация дает в трещиноватых скальных породах: известняках, песчаниках, сланцах, габбро и других, но при отсутствии в трещинах глинистых примазок. При цементации горных пород бортов карьеров необходимо, чтобы зацементированные участки не создавали условий для гидростатического напора подземных вод.

Анкерную крепь обычно применяют в породах крупноблочной (рис. 184, б) и сланцевой структур. Длину анкеров определяют мощностью ослабленной зоны, но ограничивают технологическими возможностями ее установки. По характеру закрепления в массиве анкера могут быть точечного и рассредоточенного закрепления.

К первому типу относят анкера с замками распорного типа, ко второму — анкера, у которых соединение с горными породами осуществляется на всем протяжении (железобетонные анкера, анкера со смолами).

Способ укрепления откосов гибкими тросами (рис. 184, в) 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.

Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите основные виды деформаций бортов карьеров
- 2 Что называется коэффициентом устойчивости?
- 3 Что является основной причиной возникновения сил трения, сцепления, сдвигающих сил?
- 4 Охарактеризуйте сущность противооползневого мероприятия, выполняемого путем выполаживания угла откоса
- 5 Охарактеризуйте способы искусственного укрепления пород, слагающих борт карьера

МАРКШЕЙДЕРСКИЙ УЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 180. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Запасы полезных ископаемых классифицируются по степени разведанности и изученности и по степени подготовленности к добыче.

В зависимости от степени разведанности, изученности сырья и горнотехнических условий разработки запасы подразделяются на четыре категории:

Категория *A* — 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 *B* — 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 тел полезного ископаемого без точного их оконтуривания, выяснение качества полезного ископаемого и основных природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Категория *C*₁ — 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.

Запасы категории *A*, *B*, *C*₁, *C*₂, удовлетворяющие требова-

ниям кондиций по качеству, количеству, технологическим свойствам минерального сырья и горно-техническим условиям эксплуатации месторождений, а также использование которых экономически целесообразно, называются балансовыми запасами полезного ископаемого.

Запасы, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно, но в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения, называются забалансовыми.

Балансовые запасы используются для проектирования разработки месторождения. При этом проектная организация определяет количество балансовых запасов, относящихся к общешахтным потерям и 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.

Разность между балансовыми запасами предприятия и проектными потерями и запасами, нецелесообразными для отработки по технико-экономическим причинам, составляют промышленные запасы. Промышленные запасы представляют собой то количество полезного ископаемого, которое подлежит выемке горнодобывающим предприятием в пределах его технических границ.

На горных предприятиях с целью организации их ритмичной работы производится нормирование запасов по степени их подготовленности, причем, различают вскрытые запасы, подготовленные запасы и готовые к выемке запасы. Например, при подземной разработке к вскрытым запасам относят часть промышленных запасов, вскрытых капитальными горными выработками и для отработки которых не требуется проведения дополнительных вскрывающих (капитальных) выработок (шахтных стволов, капитальных квершлагов, капитальных уклонов и т. п.). Количество вскрытых запасов не нормируется.

Подготовленные запасы являются частью вскрытых запасов полезного ископаемого, для отработки которых пройдены все горно-подготовительные выработки, предусмотренные проектом в соответствии с принятой системой разработки, обеспечивающие безопасность работ, полноту выемки запасов.

Необходимое количество подготовленных запасов предусматривается проектом рудника (шахты), пятилетним и годовыми планами развития горных работ предприятия.

Готовые к выемке запасы представляют 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.

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.

§ 181. ПОТЕРИ И РАЗУБОЖИВАНИЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Одной из основных задач маркшейдерской службы горнодобывающего предприятия является учет рационального использования недр, выполняемый через определение размеров потерь и разубоживания.

При оценке потерь принято различать потери фактические и проектные.

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. К общешахтным относятся потери полезного ископаемого в предохранительных целиках и в барьерных целиках. К эксплуатационным потерям относится полезное ископаемое, теряемое в массиве, например, в междуканальных, подэтажных и других целиках, потолочинах и т. п., а также полезное ископаемое, теряемое из отбитого полезного ископаемого как в выработанном пространстве, так и вне его.

Под проектными потерями понимают потери, предусмотренные проектом горных работ.

Кроме того, различают нормативные и плановые потери. Нормативные потери характеризуют оптимальную величину эксплуатационных потерь полезного ископаемого на весь период отработки выемочного участка. Плановые потери также являются нормативными потерями, но действующими только на некоторый период развития горных работ.

Под разубоживанием полезного ископаемого понимают потерю его качества, происходящего от снижения содержания полезного компонента или полезной составляющей в добытом полезном ископаемом при его добыче по сравнению с содержанием их в балансовых запасах. Разубоживание происходит из-за засорения балансовых запасов пустыми породами или некондиционным полезным ископаемым, а также вследствие потери части полезного ископаемого или полезной составляю-

щей в виде мелочи, вследствие выщелачивания полезного компонента и т. п.

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

$$k_{\text{кач}} = a/c. \quad (154)$$

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.

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.

$$k_n = D_a/B_c. \quad (155)$$

§ 182. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ

Потери и разубоживание определяют прямым, косвенным или комбинированным способами.

При прямом методе потери и разубоживание определяются или по непосредственно измеренным параметрам, характеризующим это явление, или по планам и разрезам, где изображены соответствующие элементы, необходимые для подсчета потерь и разубоживания.

В прямом методе для подсчета потерь и разубоживания используются следующие формулы:

$$П = \frac{Д}{Б} 100, \%; \quad (156)$$

$$k_{\text{пр}} = \frac{В}{А} 100, \%; \quad (157)$$

$$Р = \frac{c-a}{c} 100, \%, \quad (158)$$

где $П$ и $Р$ — соответственно потери и разубоживание, %; $Б$ — балансовые запасы, т; $В$ — количество добытой пустой породы,

t ; D — количество добытого полезного ископаемого, t ; c — содержание полезного компонента в массиве, %; a — содержание полезного компонента в добытом полезном ископаемом, %; $k_{пр}$ — коэффициент примешивания при прямом методе.

Достоинство прямого метода заключается в том, что он позволяет определять величину потерь и разубоживания в любое время, независимо от состояния горных работ в выемочных единицах, кроме того, прямой метод является наиболее точным.

Косвенный метод основан на определении разности между количеством погашенных балансовых запасов полезного ископаемого и компонента и количеством добытого полезного ископаемого и компонента.

Косвенный метод можно применять только после полной отработки блока, что является существенным недостатком метода, так как он не обладает возможностью оперативного учета потерь и разубоживания.

Формулы, применяемые в косвенном методе для подсчета количества потерь и разубоживания, следующие:

$$P = B - D + V; \quad (159)$$

$$V = D + P - B; \quad (160)$$

$$P = \frac{c - a}{c} 100, \%. \quad (161)$$

Здесь обозначения такие же, как и в формулах (156), (157), (158).

Косвенный метод обычно применяется в тех случаях, когда прямой метод неприемлем, например, метод применяется для определения потерь и разубоживания при разработке системами с обрушением.

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 зарядами объем отбитой горной массы определяется непосредственно по данным маркшейдерской съемки и, следовательно, потери можно определить прямым методом; а разубоживание определяется косвенным, например, петрографическим способом, в котором отобранные пробы рудной массы разделяются на мелкую и крупную фракции, последнюю микроскопически сортируют на рудную и породную составляющие и взвешивают их. Количество засоряющей породы определяется по формуле

$$V = \frac{V_p}{D} 100, \%, \quad (162)$$

где D — количество исследуемой рудной массы; V_p — количество засоряющих пород в исследуемой рудной массе, определенное петрографическим способом.

§ 183. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Каждое горнодобывающее предприятие осуществляет оперативный учет добычи полезного ископаемого 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 вагонеток (вагонов, автосамосвалов и т. п.) на установленную среднюю массу полезного ископаемого, которая определяется несколько раз в год. 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

$$Q = Q_1 - Q_2 + Q_3, \quad (163)$$

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 полезного ископаемого на плотность полезного ископаемого в массиве.

§ 184. УЧЕТ СОСТОЯНИЯ И ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ

Учет движения запасов полезного ископаемого горного предприятия заключается в периодическом определении количества запасов, числящихся на его балансе.

Учету подлежат все разведанные балансовые и забалансовые запасы по категориям A , B , C_1 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 основан на данных о разведочных, горнокапитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработках. Объектами первичного учета являются выемочные

Т а б л и ц а 64

Сводный учет состояния и движения запасов по месторождению (участку, гориз

Операционный период	Номер выемочного участка — объекта первичного учета (блока, камеры и т. п.)	Категория запасов	Наименование полезного ископаемого и полезных компонентов	Количество запасов на начало операционного периода		Движение запасов за					
				полезное ископаемое	полезный компонент	Увеличение запасов (+)					
						Прирост в результате					
						разведки		эксплуатации		по прочим причинам	
						полезное ископаемое	полезный компонент	полезное ископаемое	полезный компонент	полезное ископаемое	полезный компонент
I I	1	A		232	—			—		Пересчет на новую среднюю плотность	
19 г	3	A		178	18					2	
	4	B		158	—		—			1,5	
	8	C ₁		27	—		—			0,3	
I IV	A + B + C ₁			596	18		—			3,8	
19 г	1	A		118,8							
	4	B		144,5							
	6	C ₁		348,0							
	A + B + C ₁			609,4							
Главный (старший) геолог Главный (старший) маркшейдер											

единицы, под которыми понимаются блок, панель, лава, камера, магазин, уступ и т. д., обрабатываемые одной системой разработки.

Первичный учет позволяет определить числовую характеристику состояния запасов на начало отчетного периода, установить изменения, имевшие место за отчетный период и с начала разработки. Кроме того, возможно составить характеристику по отдельным видам запасов, что позволяет контролировать ход выполнения плана подготовки запасов.

онту, этажу)

операционный период										Количество запасов на конец операционного периода	
Уменьшение запасов (—)											
Добыто		Потеряно		Списано							
полезное ископаемое	полезный компонент	полезное ископаемое	полезный компонент	по технико- экономиче- ским причинам		неподтвер- ждение запасов в процессе эксплуатации		прочие причины, предусмот- ренные положением о списании		полезное ископаемое	полезный компонент
				полезное ископаемое	полезный компонент	полезное ископаемое	полезный компонент	полезное ископаемое	полезный компонент		
90		5		10			—			129	
— 15 12		— 1 —		— — —			— — 15,3		— — —	198 145,5 —	
117		6		10			15,3			475,5	

Первичный учет позволяет выполнить 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. Сводный учет состояния и движения запасов осуществляется ежеквартально по всем действующим, подготавливаемым и находящимся в до-разведке выемочным единицам, и является основой для составления статистической отчетности.

Сводный учет запасов предусматривает пересчет разведен-

ных 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, представляемый по форме 5-гр (табл. 64) на 1 января каждого года.

Вопросы для самопроверки

- 1 Чем характеризуются запасы категории А, В, С₁?
- 2 Что называется балансовыми запасами, забалансовыми запасами?
3. Что называется скрытыми запасами, подготовленными к выемке, готовыми к выемке?
- 4 Что называется фактическими потерями полезного ископаемого?
- 5 Что называется проектными потерями?
- 6 Что называется коэффициентом извлечения?
- 7 Что такое оперативный учет добытого полезного ископаемого?

Глава 28

ОРГАНИЗАЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ

§ 185 СТРУКТУРА МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ

Маркшейдерские работы на горных и строящихся предприятиях обеспечиваются маркшейдерской службой, основы организации которой регламентируются Типовым положением о ведомственной маркшейдерской службе, утвержденным Советом Министров СССР. Главные задачи, стоящие перед маркшейдерской службой в этом положении формулируются следующим образом — своевременное и высококачественное осуществление маркшейдерских работ для обеспечения наиболее полного и комплексного использования месторождений полезных ископаемых, эффективного и безопасного ведения горных работ и охраны недр; совершенствование организации и методов ведения маркшейдерских работ на основе широкого внедрения новейших достижений науки и техники и передового опыта; осуществление ведомственного контроля за правильностью разработки месторождений полезных ископаемых и пользования недрами в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых, за выполнением требований по охране недр и наиболее полному извлечению из недр основных и других совместно с ним залегающих полезных ископаемых, за выполнением мероприятий, обеспечивающих при проведении горных работ безопасность для жизни и здоровья работников и населения, охрану окружающей природной среды, зданий и сооружений от вредного влияния этих работ, и за соблюдением других требований, определяющих деятельность маркшейдерской службы.

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.

Первичным подразделением маркшейдерской службы является маркшейдерский отдел (бюро) горного предприятия (рудника, шахты, карьера и т. п.), на которое возлагается обязанность выполнения всех основных и текущих маркшейдерских работ, возникающих при производственной деятельности. Штат маркшейдерского отдела, возглавляемого старшим маркшейдером, состоит из участков 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 гироскопов, производство аэрофотосъемки и т. п.), требующие для исполнения сложных технических средств, специальных методов и приборов, обычно выполняются специализированными маркшейдерскими организациями.

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 в планах развития горных работ, проектах и схемах разработки месторождения, требований по рациональному использованию и охране недр, за своевременностью и эффективностью выполнения мероприятий, обеспечивающих при проведении горных работ безопасность для жизни и здоровья работников и населения, охрану окружающей природной среды, зданий и сооружений от вредного влияния этих работ.

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 вскрытых, 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.

Маркшейдерская служба министерства (ведомств) представлена маркшейдерским отделом (или маркшейдерским управлением) министерства, возглавляемым главным маркшейдером министерства (ведомства).

В шахтостроительных управлениях, трестах, комбинатах, республиканских и всесоюзных объединениях по строительству шахт и разрезов маркшейдерская служба возглавляется главным маркшейдером. В ее составе имеются специалисты по производству маркшейдерских и топографических работ. Маркшейдерская служба подчинена непосредственно главному инженеру соответствующего подразделения.

§ 186. ОСНОВНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ И ПРАВА МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ

Маркшейдерская служба центрального аппарата министерства (ведомства) обеспечивает:

единую техническую политику и методическое руководство маркшейдерской службы в соответствующих подразделениях, систематический анализ состояния и технического уровня маркшейдерских и топографических работ, организацию и проведение совещания, конференций и симпозиумов и школ передового опыта;

утверждение и координацию тематики по проведению научных исследований совершенствования методов и технических средств производства маркшейдерских и топографических работ, охраны недр, охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ и разработку плана научных исследований по этим вопросам;

контроль за правильностью разработки месторождений полезных ископаемых, выполнением требований по охране недр и мероприятий по обеспечению более полного извлечения полезных ископаемых из недр; за правильностью определения объемов выполненных горных работ, охраны окружающей природной среды, зданий и сооружений от вредного влияния горных работ; за обеспечением своевременного нанесения на горную графическую документацию границ безопасного ведения горных работ, барьерных и предохранительных целиков и других требований, определяющих деятельность маркшейдерской службы;

маркшейдерскую службу нормативными документами, методическими справочными пособиями и кадрами.

Маркшейдерская служба производственного объединения (комбината) обеспечивает:

руководство маркшейдерской службой, соответственно, предприятий, стройуправлений, бюро специализированных маркшейдерских работ, разработку мер по улучшению маркшейдерского обеспечения горного производства; планирование и организацию централизованного выполнения капитальных маркшейдерских работ с использованием современных средств измерений, вычислений и методов их производства;

организацию испытаний и внедрение новой маркшейдерской техники, технологии и нормативных требований по производству маркшейдерских работ;

подбор, расстановку и укомплектование маркшейдерских служб кадрами, повышение их квалификации через отраслевые сети;

оснащение предприятий измерительными и вычислительными средствами, журналами наблюдений и вычислений, планшетами для исходной графической документации;

своевременное представление в вышестоящие организации обменной горной графической документации и государственной отчетности, касающейся деятельности маркшейдерской службы;

контроль в системе подведомственных предприятий правильности разработки месторождений, выполнения требований по охране недр, правильности определения объемов выполнения горных работ;

а также принимает участие:

в разработке годовых и перспективных планов развития предприятий по обеспечению охраны недр, рационального и безопасного ведения горных работ вблизи опасных зон;

в подготовке проектов горных отводов и земельных участков под разработку месторождений и рекультивацию нарушенных горными работами земель;

в работе по приемке-передаче разведанных месторождений полезных ископаемых для промышленного освоения, по приемке-передаче в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий;

в составлении государственной статистической отчетности по вопросам, касающимся маркшейдерской службы;

в выборе наиболее рациональных и эффективных систем разработки, составлении календарных планов развития горных работ, в разработке проектов застройки шахтных полей и установления технических границ проектов горных и земельных отводов, плановых размеров потерь угля и расчетов промышленных запасов, в решении вопросов застройки площадей на угле-

носных площадях, в разработке мероприятий, обеспечивающих при проведении горных работ безопасность для жизни и здоровья работников и населения, охрану природной среды, зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ и т. п.

В связи с тем, что практическая деятельность маркшейдерской службы должна быть направлена на строгое соблюдение государственных интересов при пользовании недрами, руководители маркшейдерских подразделений имеют право:

осуществлять контроль деятельности нижестоящих по подчиненности подразделений в части соблюдения ими требований законодательства о недрах приказов и других нормативных документов, регулирующих деятельность маркшейдерской службы, давать подведомственным подразделениям обязательные для исполнения указания по вопросам маркшейдерского обеспечения работ, а также об устранении нарушений требований законодательства о недрах и правил безопасности в пределах компетенции маркшейдерской службы;

останавливать работы по эксплуатации месторождений полезных ископаемых и строительству подземных сооружений, если проведение этих работ может повлечь за собой нерациональное использование и необоснованные потери запасов полезных ископаемых, возникновение условий, опасных для жизни и здоровья рабочих и населения, а также неоправданные затраты государственных средств;

браковать выполненные с отступлениями от планов работы и т. п.

Маркшейдерская служба шахты, рудника, карьера, прииска обеспечивает:

построение и развитие маркшейдерских опорных и съемочных сетей, производство съемок горных выработок и земной поверхности, составление и пополнение маркшейдерской документации, перенос в натуру геометрических элементов проектов горных выработок, технических сооружений, границ безопасного ведения горных работ и различного рода целиков;

периодический контроль за соблюдением установленных соотношений геометрических элементов технических сооружений во время их эксплуатации;

организацию и проведение наблюдений за сдвижением горных пород, проявлениями горного давления, деформациями зданий и сооружений, устойчивостью уступов, откосов и отвалов карьеров;

контроль за выполнением на горном предприятии требований, содержащихся в их проектах, в планах развития горных работ по рациональному использованию и охране недр, а также мероприятий, обеспечивающих безопасность горных работ и охрану окружающей среды;

разработку норм потерь и разубоживания полезных ископаемых при их добыче;

с участием геологической службы определение и учет объемов выполненных горных работ;

представление в установленном порядке вышестоящей организации отчетности, обменной горной графической документации, необходимой для разработки технических проектов горных работ.

Маркшейдерская служба шахты, рудника, карьера, прииска участвует:

в разработке проектов строительства, реконструкции, консервации и ликвидации предприятия (участка) по добыче полезного ископаемого, доразведки и эксплуатационной разведки месторождений полезных ископаемых; планов развития горных работ, мероприятий по безопасному ведению горных работ вблизи опасных зон, по предупреждению и ликвидации аварий, по охране зданий, сооружений и окружающей природной среды от вредного влияния и комплексному использованию месторождений полезных ископаемых; проектов горных отводов и отводов земельных участков, застройки площадей залегания полезных ископаемых, рекультивации земель, нарушенных горными работами, а также проектов строительства, консервации и ликвидации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых;

в подготовке материалов по списанию и временной консервации запасов полезного ископаемого, а также в составлении отчетности об объемах добычи и потерь полезных ископаемых, о полноте отработки запасов полезных ископаемых и состоянии горных выработок;

в определении возможности использования отработанных выработок для использования их в народном хозяйстве, в работе по консервации и ликвидации предприятий (участков) и подземных сооружений.

Маркшейдерская служба геологоразведочной партии обеспечивает:

построение и развитие опорных и съемочных сетей, производство съемок горных выработок и земной поверхности, оформление маркшейдерской документации, перенос в натуру геометрических элементов разведочных выработок, технических сооружений;

контроль за выполнением при ведении геологоразведочных работ требований, содержащихся в проектах разведки и доразведки, по рациональному использованию и охране недр, за своевременностью и эффективностью выполнения мероприятий, обеспечивающих безопасность работ, охрану окружающей природной среды;

определение и учет выполняемых объемов горноразведоч-

ных работ, в том числе объема попутной добычи руды, вскрышных пород, проведения горных выработок, остатков руды на складах и отвалах;

представление в вышестоящие организации отчетности, горной графической и маркшейдерской документации.

Маркшейдерская служба геологоразведочной партии участвует:

в разработке проектов на разведку и доработку месторождений полезных ископаемых, мероприятий по безопасному ведению работ, ликвидации аварий и охране окружающей природной среды, по рациональному и комплексному использованию полезного ископаемого;

в составлении установленной отчетности об объеме добычи и потерях полезных ископаемых и состоянии горных работ, а также в рассмотрении и решении других вопросов, связанных с маркшейдерским обеспечением.

Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите структуру маркшейдерской службы в горнодобывающих отраслях
- 2 В чем заключаются обязанности главного (старшего) маркшейдера шахты (рудника)?
- 3 Назовите перечень работ маркшейдерской службы шахты (рудника)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Борщ-Компониц В И, Кныш Г М, Навитный А М Маркшейдерское дело — М Недра, 1985
- 2 Борщ-Компониц В И Геодезия, основы аэрофотосъемки и маркшейдерское дело — М Недра, 1984
- 3 Борщ-Компониц В И Основы геодезии и маркшейдерского дела — М Недра, 1987
- 4 Ворковастов К С, Агеев М Ф Маркшейдерские акваториальные работы — М Недра, 1986
- 5 Глузов В П Основы морской геодезии М, Недра, 1983
- 6 Инструкция по производству маркшейдерских работ — М Недра, 1987
- 7 Инструкция по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ — М Мингео СССР, 1984
- 8 Мурашов С А, Гебгарт Я И, Кислицын А Г Аэрофотогеодезия — М Недра, 1985
- 9 Маркшейдерские работы на карьерах и приисках/Переудов М А, Пацев И М, Борщ-Компониц В И и др — М Недра, 1980
- 10 Фотограмметрия/Краснощекова И А, Нормандская О Б, Кислова А М и др — М Недра, 1978

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1 Введение	3
§ 1 Общие сведения по геодезии и маркшейдерскому делу	3
§ 2 Краткая история развития геодезии и маркшейдерского дела	6
РАЗДЕЛ I ГЕОДЕЗИЯ	12
Глава 2 Земля и ее отображение на плоскости	12
§ 3 Понятие о форме и размерах Земли	12
§ 4 Методы проецирования земной поверхности	15
§ 5 Система географических координат	16
§ 6 Система плоских прямоугольных координат	18
§ 7 Учет кривизны поверхности при определении горизонтальных и вертикальных расстояний	19
§ 8 Проекция Гаусса—Крюгера	21
Глава 3 Ориентирование линий	24
§ 9 Ориентирование линии по географическому и магнитному меридианам	24
§ 10 Дирекционный угол	27
§ 11 Сближение меридианов	28
§ 12 Зависимость между дирекционными углами и углами поворота	31
§ 13 Румбы	32
Глава 4 Топографические карты и планы	34
§ 14 Масштабы	34
§ 15 Карта и план	37
§ 16 Разграфка и номенклатура топографических карт и планов	39
§ 17 Координатная сетка Зарамочное оформление топографических карт	43
§ 18 Ориентирование карты на местности	45
§ 19 Условные знаки топографических карт и планов	47
§ 20 Изображение рельефа	48
§ 21 Задачи, решаемые на плане с горизонталями	53
Глава 5. Элементы погрешностей и основы геодезических вычислений	57
§ 22 Общие сведения	57
§ 23 Понятия о погрешностях измерений	58
§ 24 Свойства случайных погрешностей	59
§ 25 Среднее арифметическое из результатов измерений	60
§ 26 Средняя квадратическая погрешность одного измерения Предельная погрешность	60
§ 27 Средняя квадратическая погрешность функции непосредственно измеренных величин	62
§ 28 Средняя квадратическая погрешность арифметической суммы	65
§ 29 Средняя квадратическая погрешность выраженная через вероятнейшие погрешности	66
§ 30 Понятия о неравноточных измерениях	67
§ 31 Основы геодезических вычислений	68
Глава 6 Топографо-геодезические работы	71
§ 32 Общие сведения о съемках	71
§ 33 Опорные геодезические сети	72

§ 34 Государственные геодезические сети . . .	74
§ 35 Геодезические сети сгущения и съемочные сети	78
Глава 7 Измерение углов	79
§ 36 Принципы измерения углов Схема устройства угломерных приборов	79
§ 37 Основные части теодолитов	82
§ 38 Теодолиты	88
§ 39 Поверки и юстировка теодолитов	91
§ 40 Измерение горизонтальных и вертикальных углов	95
Глава 8 Измерение линий на местности	98
§ 41 Измерение длин линий мерными лентами и стальными рулетками	98
§ 42 Определение расстояний недоступных для непосредственного измерения лентой	103
§ 43 Измерение расстояний светодальномерами	105
§ 44 Оптические дальномеры	108
Глава 9 Теодолитная съемка	113
§ 45 Сущность теодолитной съемки	113
§ 46 Съемка подробностей	116
§ 47 Обработка результатов измерений и построение плана теодолитной съемки	117
§ 48 Обратная геодезическая задача	123
§ 49 Построение координатной сетки и нанесение по координатам вершин теодолитного хода	127
Глава 10 Определение площадей	131
§ 50 Общие сведения	131
§ 51 Аналитический способ определения площадей	132
§ 52 Графический способ определения площадей	134
§ 53 Механический способ определения площади Планиметр	137
Глава 11 Нивелирование	140
§ 54 Геометрическое нивелирование	140
§ 55 Влияние кривизны Земли и рефракции на точность нивелирования	144
§ 56 Нивелиры	145
§ 57 Испытания и поверки нивелиров	149
§ 58 Нивелирные рейки	153
§ 59 Техническое нивелирование	154
§ 60 Выбор и закрепление трассы на местности	155
§ 61 Нивелирование трассы	158
§ 62 Построение профиля трассы	162
§ 63 Нивелирование поверхности	167
§ 64 Составление плана нивелирования поверхности Проведение горизонталей	171
§ 65 Тригонометрическое нивелирование	174
§ 66 Высотные ходы	175
Глава 12 Тахеометрическая съемка	177
§ 67 Съемочные сети тахеометрической съемки	178
§ 68 Приборы, применяемые при тахеометрической съемке	178
§ 69 Производство тахеометрической съемки	184
§ 70 Камеральная обработка полевых измерений Составление плана тахеометрической съемки	186

Глава 13 Мензуральная съемка	188
§ 71 Сущность мензуральной съемки	188
§ 72 Мензула и ее поверки	188
§ 73 Кипрегель и его поверки	190
§ 74 Установка мензулы на станции и выполнение полевых работ	194
§ 75 Съёмочные сети	195
Глава 14 Геодезическое обеспечение геологоразведочных работ	200
§ 76 Некоторые сведения о развитии геологоразведочных работ	200
§ 77 Геодезическое обеспечение геологоразведочных работ	203
§ 78 Топографическая основа геологоразведочных работ	206
§ 79 Перенесение в натуру проекта геологоразведочных выработок	208
Привязка объектов геологических наблюдений	208
§ 80 Привязка и перенесение в натуру объектов геологических наблюдений по топографической карте	211
§ 81 Перенесение в натуру и привязка объектов геологических наблюдений по опорной сетке	215
§ 82 Геодезическое обеспечение геофизических методов разведки	217
§ 83 Определение высот объектов геологоразведочных наблюдений при помощи барометрического нивелирования	231
§ 84 Глазомерная съемка	240
Глава 15 Основы аэрофотосъемки	242
§ 85 Общие сведения	242
§ 86 Аэрофотосъёмочный самолет и аэрофотоаппарат	243
§ 87 Летно съёмочные работы	245
§ 88 Полевые фотолабораторные и фотограмметрические работы	248
§ 89 Геометрические свойства аэрофотоснимков	250
§ 90 Связь координат соответственных точек аэрофотоснимка и местности	253
§ 91 Масштаб аэроснимка	254
§ 92 Искажения на снимке из за влияния его угла наклона и рельефа местности	256
§ 93 Фотосхемы	259
§ 94 Понятие о трансформировании аэрофотоснимков	260
§ 95 Понятие о фототриангуляции	264
§ 96 Монтаж и корректура фотоплана	265
§ 97 Дешифрирование аэрофотоснимков	266
§ 98 Способы составления топографических планов и карт при аэрофотосъемке	270
§ 99 Продольные параллаксы. Определение превышений по аэро снимкам	271
§ 100 Стереоскопическая модель местности	276
РАЗДЕЛ II МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО	279
Глава 16 Основы геометрии недр	279
§ 101 Общие сведения	279
§ 102 Основные представления о проекции с числовыми отметками	280
§ 103 Преобразование проекций	284
§ 104 Метод совмещения	284
§ 105 Метод перемены плоскости проекций	285
§ 106 Примеры решения некоторых геолого-маркшейдерских задач с применением проекции с числовыми отметками	287
§ 107 Поверхности топографического порядка	289
§ 108 Вычитание поверхностей топографического порядка	289
§ 109 Сложение поверхностей топографического порядка	290

§ 110 Умножение и деление поверхностей топографического порядка	291
§ 111 Построение изогипс висячего и лежащего боков залежи	291
§ 112 Построение изоощностей и изоглубин залежей	292
§ 113 Некоторые вопросы геометризации качественных свойств месторождений полезных ископаемых	292
§ 114 Способы подсчета запасов месторождений полезных ископаемых	293
Глава 17 Маркшейдерская документация	299
§ 115 Общие сведения	299
§ 116 Классификация чертежей горной графической маркшейдерской документации	300
§ 117 Изготовление, хранение и размножение маркшейдерских чертежей	303
§ 118 Первичная и вычислительная маркшейдерская документация	304
Глава 18 Соединительные съемки	306
§ 119 Общие сведения	306
§ 120 Горизонтальная соединительная съемка через штольню или наклонную выработку	308
§ 121 Ориентирование через один вертикальный ствол	310
§ 122 Ориентирование через два вертикальных ствола	315
§ 123 Понятие о магнитном способе ориентирования	318
§ 124 Гироскопический способ ориентирования	319
§ 125 Передача в шахту координаты z	323
§ 126 Ориентирование подэтажных выработок	327
Глава 19 Съемка подземных горных выработок	331
§ 127 Общие сведения	331
§ 128 Подземные маркшейдерские опорные сети	332
§ 129 Подземные маркшейдерские съемочные сети	339
§ 130 Съемка капитальных и подготовительных выработок	340
§ 131 Съемка очистных выработок на угольных месторождениях	341
§ 132 Съемка камер и пустот	343
§ 133 Съемка взрывных выработок	347
Глава 20 Маркшейдерские работы при проведении подземных горных выработок	349
§ 134 Задание направления выработкам	349
§ 135 Замеры сечений выработок	352
§ 136 Маркшейдерские работы при проведении выработок встречающимися забоями	353
Глава 21 Маркшейдерские работы при строительстве шахт	356
§ 137 Общие сведения	356
§ 138 Разбивочная сеть на промплощадке	356
§ 139 Понятие о разбивках	357
§ 140 Маркшейдерские работы при возведении копров	360
§ 141 Маркшейдерские работы при монтаже оборудования подъемных установок	363
§ 142 Маркшейдерский контроль геометрических элементов шахтного подъема	364

§ 143	Маркшейдерские работы при проходке вертикальных стволов	370
§ 144	Маркшейдерские работы при проходке стволов шахт специальными способами	372
§ 145	Маркшейдерские работы при монтаже армировки шахтных стволов	374
§ 146	Маркшейдерские работы при углубке шахтных стволов	380
Глава 22 Маркшейдерские работы при открытом способе разработки месторождений		382
§ 147	Общие сведения	382
§ 148	Опорные и съемочные сети	383
§ 149	Определение высот пунктов съемочной сети	387
§ 150	Маркшейдерская съемка карьеров	388
§ 151	Подсчет объемов горной массы	401
§ 152	Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ	404
§ 153	Маркшейдерское обеспечение строительства карьеров	405
§ 154	Маркшейдерское обеспечение восстановления земной поверхности	409
Глава 23 Маркшейдерские работы при разработке россыпей		410
§ 155	Некоторые особенности разработки россыпей	410
§ 156	Создание съемочных сетей	411
§ 157	Съемочные работы при открытом способе разработки россыпей	412
§ 158	Маркшейдерское обеспечение дражных разработок россыпей	415
Глава 24. Маркшейдерские работы при разработке месторождений полезных ископаемых со дна морей и океанов		420
§ 159	Общие сведения	420
§ 160	Некоторые сведения о геоморфологии рельефа дна океана	421
§ 161	Особенности геодезических работ на море и задачи, стоящие перед морской геодезией	422
§ 162	Маркшейдерские опорные морские сети	425
§ 163	Маркшейдерское обеспечение геологоразведочных и горных работ, проводимых на дне морей и океанов	426
§ 164	Промеры	431
§ 165	Определение объемов извлеченной горной массы	433
§ 166	Радиотехнические методы измерений, применяемые в морской геодезии	435
Глава 25 Сдвижение горных пород под влиянием подземных разработок		437
§ 167	Напряженное состояние массива горных пород	437
§ 168	Общие сведения о процессе сдвижения	441
§ 169	Параметры процесса сдвижения	442
§ 170	Факторы, обуславливающие процесс сдвижения горных пород	448
§ 171	Наблюдения за сдвижением горных пород	451
§ 172	Расчет сдвижений горных пород	457
§ 173	Меры охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок	461
§ 174	Построение предохранительных целиков	469

Глава 26. Устойчивость бортов карьеров	476
§ 175 Причины и виды деформаций бортов карьеров	476
§ 176 Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров	477
§ 177 Маркшейдерские наблюдения за деформациями горных пород при открытых разработках	483
§ 178 Устойчивость рабочих уступов и бортов карьеров	484
§ 179 Противооползневые мероприятия	487
Глава 27. Маркшейдерский учет движения запасов полезных ископаемых	492
§ 180 Классификация запасов полезных ископаемых	492
§ 181 Потери и разубоживание полезного ископаемого	494
§ 182 Определение потерь и разубоживания	495
§ 183 Маркшейдерский контроль добычи полезного ископаемого	497
§ 184 Учет состояния и движения запасов	497
Глава 28 Организация маркшейдерской службы	500
§ 185 Структура маркшейдерской службы	500
§ 186 Основные обязанности и права маркшейдерской службы	502
Список литературы	506