

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

К

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА» В 1989 Г.
ВЫХОДИТ СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО
«ГЕОДЕЗИЯ. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ».

Авторы – Л. М. Бугаевский, проф., д-р техн. наук и Л. А. Вахрамеева, д-р техн. наук – крупные специалисты в области математической картографии с большим опытом научно-исследовательской и научно-педагогической работы.

Л. М. Бугаевским разработаны теория и способы получения равноугольной проекции (проекция Чебышева), теория и конкретные формулы проекций–идеальных моделей космических снимков; теория и конкретные формулы проекций трехосного эллипсоида; способы отображения эллипсоида на шаре, определения ряда равновеликих, равноугольных и произвольных по характеру искажений проекций и др.

Л. А. Вахрамеевой разработана теория и способы получения равноугольных картографических проекций с управляемыми изоголами; проекций, получаемых с применением эллиптических координат, переменного масштабных проекций и др.

В справочном руководстве изложена общая теория картографических проекций, их классификации, условия и способы отображения поверхности эллипсоида на шаре и плоскости, рассмотрена совокупность ранее применявшихся и ныне используемых картографических проекций, разработанные учеными всего мира.

Впервые в систематизированном виде даны сведения об абсолютном большинстве мало известных и ранее применявшихся проекциях, о работах по теории и практике их получения и использования.

Приведены характеристики искажений, данные о свойствах и достоинствах различных проекций, макеты картографических сеток проекций с изоголами. Описаны методы выбора и изыскания проекций, в том числе наилучших и удовлетворяющих заданным требованиям. Многие вопросы о картографических проекциях изложены впервые.

Работа является оригинальным, энциклопедическим трудом, не имеющим аналога ни в отечественной, ни в зарубежной литературе. Отличается высоким научным уровнем, новизной, системностью, полнотой, достаточной подробностью, четкостью, ясностью и доходчивостью изложения всей совокупности получения и использования картографических проекций.

Книга является полезным руководством в научной и практической деятельности инженеров, студентов и научных работников, занимающихся решением задач, связанных с картографией, навигацией, исследованиями природных ресурсов, охраной природной среды и т. п.

к

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА» В 1989 Г.

ВЫХОДИТ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

«ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ»

(2-е изд. перераб. и доп.)

авторов А. В. Маслова, А. Г., Юнусова и Г. И. Горохова. Оно предназначено для студентов сельскохозяйственных вузов по специальности «Землеустройство».

На основе опыта работы в землеустроительном и геодезическом производствах, многолетних теоретических и экспериментальных исследований, авторы рассматривают вопросы, связанные с оценкой точности планов и карт, поддержанием их на уровне современности, определением площадей участков землепользований и контуров земельных угодий, составлением проектов землеустройства, планировки сельских населенных мест, мелиорации, перенесением проектов в натуру с оценкой точности проектирования объектов.

При определении площадей, проектировании объектов и перенесении проектов в натуру используются современная картометрическая техника, ЭВМ и электронные тахеометры.

Описание геодезических работ, выполняемых при осуществлении противозерозионной системы мероприятий и рекультивации земель, значительно расширено по сравнению с предыдущим изданием. В настоящее время авторы и сотрудники кафедры геодезии МИИЗ продолжают их детальное исследование.

Методика оценки точности планов и карт, геодезических работ, связанных с поддержанием их на уровне современности, проектированием и перенесением проектов в натуру, изложенная в книге, может быть использована при проведении земельного кадастра на территории сельскохозяйственных предприятий, в городах и поселках, а также при разработке технологии выполнения геодезических работ в других отраслях народного хозяйства.

Приобрести книгу можно в магазинах издательства «Недра» по адресам:

117334, Москва, Ленинский проспект, 40, магазин № 115 «Дом научно-технической книги»;

199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61, магазин № 17 «Недра».

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача учебника — ознакомить иностранных студентов, обучающихся в вузах СССР по горнотехнологическим специальностям, с назначением и способами выполнения основных геодезических, маркшейдерских и горногеометрических работ и научить их применять полученные знания в своей практической деятельности. Хотя горному инженеру по разработке месторождений полезных ископаемых подземным и открытым способами или строительству горных предприятий и не приходится, как правило, выполнять геодезические на поверхности и маркшейдерские подземные работы, он повседневно пользуется их результатами. Горный инженер должен хорошо разбираться в топографических планах и маркшейдерской горной графической документации и уметь решать по ним задачи планирования рационального строительства, эффективного и безопасного ведения горных работ.

Книга состоит из двух частей. В первой части изложены сведения из геодезии, необходимые для решения разнообразных практических задач по топографическим планам. Во второй части приведены сведения из маркшейдерских и горногеометрических работ при подземной и открытой разработках месторождений, строительстве горных предприятий, изучении процессов сдвижения горных пород и земной поверхности и разработке рекомендаций по охране сооружений от влияния горных выработок.

Авторским коллективом использован отечественный и зарубежный опыт многолетнего преподавания дисциплин «Геодезия и маркшейдерское дело» иностранным студентам.

Особенностью учебника является подкрепление теоретического материала практическими решениями, которые представлены в наиболее доступной для иностранных студентов форме с четким определением последовательности работ.

Учебник подготовлен коллективом авторов: предисловие, гл. 18, 19, 20, 21 написаны В. А. Букринским; введение, гл. 1, 2 (кроме § 15), 4, 5, 6, 7, 11 — П. Н. Бруевичем; гл. 3 — Ю. Н. Новичихиным; гл. 8, 12 — Е. В. Киселевским; § 15, гл. 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17 — Е. М. Самошкиным; гл. 22 — Д. И. Боровским; гл. 23 — Н. Е. Федотовым; гл. 24 — А. Н. Ивлевым; гл. 26 — Г. В. Орловым; гл. 25 — В. А. Букринским в соавторстве с Г. В. Орловым.

ЧАСТЬ I

ГЕОДЕЗИЯ

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Предмет, значение и основные задачи геодезии в обеспечении строительства горнопромышленных объектов и разработки месторождений полезных ископаемых

Геодезией называется наука об измерениях на земной поверхности, производимых с целью составления планов и карт, а также для решения различных научных и практических задач.

Геодезия изучает физическую поверхность Земли, ее форму, пространственное размещение и размеры имеющихся на ней естественных объектов (гидрографии, рельефа, растительности и др.), а также искусственных, созданных человеком, элементов местности (населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов и т. п.).

Земная поверхность изучается геодезией посредством измерений, которые выполняют на местности различными методами при помощи специальных приборов. После соответствующей математической и графической обработки результатов измерений составляют планы, карты и профили. В ряде случаев результаты измерений выражают в аналитической форме в виде длин линий местности, углов между этими линиями, в пространственных координатах отдельных точек земной поверхности.

Геодезия решает или участвует в решении многих задач прикладного характера, возникающих при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов народного хозяйства, в том числе и горнопромышленных объектов (шахт, рудников, карьеров и др.).

Геодезия в своем развитии опирается на современные достижения фундаментальных наук — математики и физики. Очевидна связь геодезии с такими науками о Земле, как геология, география, геоморфология и др. Очень тесно геодезия связана с маркшейдерским делом.

При проектировании и строительстве шахт, рудников, карьеров и разрезов необходимо предварительно иметь топографические планы и карты, т. е. ту топографическую основу, на которую наносят проектируемые объекты и по которой производится геодезическая подготовка исходных данных для выноса проекта на местность. Поэтому горный инженер-технолог обя-

зан уметь разбираться в содержании топографической карты (читать карту), знать основные процессы геодезических полевых и камеральных работ, уметь самостоятельно выполнять наиболее типичные геодезические измерения на местности при помощи основных геодезических приборов: теодолитов, нивелиров, дальнометров и др.

§ 2. Краткий исторический очерк развития геодезии

Геодезия — слово греческое и в переводе на русский язык означает землемерение. Отсюда следует, что геодезия как наука возникла из практических потребностей людей.

Результаты археологических исследований и сохранившиеся документы свидетельствуют о том, что геодезия является одной из древнейших наук. За несколько тысячелетий до нашей эры в Египте, Китае, Индии, Греции, Древнем Риме производились крупнейшие строительные работы по возведению дворцов, каналов, надгробных памятников. Это было возможно осуществить лишь при хорошо разработанных приемах геодезических измерений на местности.

За несколько столетий до н. э. Пифагором и Аристотелем были высказаны предположения о шарообразности Земли, а в III в. до н. э. впервые была осуществлена попытка определения величины земного радиуса.

К XI в. относятся первые исторические сведения о геодезических работах на Руси. В XVI в. появилась одна из первых карт Московского государства под названием «Большой чертеж», а в XVII в. была составлена первая русская печатная карта — «Чертеж Сибирской земли».

Особенно бурное развитие геодезические работы получили в XVII в. после изобретения Галилеем зрительной трубы, что привело к появлению первых геодезических приборов с оптической трубой — нивелиров, а несколько позже — теодолитов.

К началу XVII в. относится и появление метода триангуляции, позволившего с высокой точностью определять значительные расстояния на земной поверхности. С середины XVIII в. все наиболее развитые страны начали систематические геодезические съемки своих территорий.

Большую роль в составлении топографических карт в России сыграл созданный в 1822 г. Корпус военных топографов, усилиями которого и ряда других гражданских ведомств выполнялись регулярные топографические съемки в отдельных районах страны. Участвовало в геодезических работах и Горное ведомство, выполняя съемки для нужд горнодобывающих предприятий.

После Великой Октябрьской социалистической революции в развитии геодезии в России наступила новая эпоха. 15 марта

1919 г. В. И. Ленин подписал декрет «Об учреждении Высшего геодезического управления» (ВГУ), на которое возлагалось изучение территории РСФСР в топографическом отношении в целях поднятия и развития производительных сил республики. ВГУ, переименованное впоследствии в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК СССР), приступило к сплошному картографированию всей страны.

За короткое время советские геодезисты проделали огромную работу по созданию государственной геодезической сети и картографированию всей территории страны в масштабе 1 : 100000. Широким фронтом ведутся сейчас работы по созданию топографических карт более крупных масштабов.

В наши дни советская геодезия имеет заслуженный авторитет во всем мире благодаря значительным достижениям советских ученых в области топографо-геодезических работ, что выдвинуло ее на одно из первых мест в мире.

§ 3. Понятие о форме и размерах Земли

Земля имеет шарообразную форму, немного сплюснутую у полюсов. Для многих областей науки и техники необходимо точное знание формы и размеров Земли: для астрономии, геологии, географии и других наук. Сведениями о размерах и форме Земли пользуются в космонавтике, авиации, мореплавании, при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых и т. д.

Физическая поверхность Земли имеет общую площадь около 510 млн. км², причем 71 % этой площади составляет Мировой океан и всего 29 % — земная суша. Средняя высота суши над уровнем океана около 875 м, тогда как средняя глубина Мирового океана достигает 3800 м. Таким образом, если взглянуть на Землю из космического пространства, то наша планета предстанет в виде объемного водяного тела с островками суши на поверхности воды.

На основании этих данных за фигуру Земли принимают поверхность Мирового океана в невозмущенном состоянии, т. е. без волн, приливов и отливов, которая мысленно продолжена под сушей.

Такая замкнутая поверхность названа *уровенной поверхностью*. Фигура Земли, образованная замкнутой *уровенной поверхностью*, получила название *геоид*. Основное свойство *уровенной поверхности* состоит в том, что она всюду горизонтальна, т. е. перпендикулярна в каждой своей точке к направлению силы тяжести (отвесной линии).

Вследствие неравномерного распределения масс в теле Земли направления силы тяжести в разных точках ее поверхности не пересекаются в едином центре и поэтому геоид имеет

очень сложную форму. В геодезии вместо фигуры геоида принимают близкую к ней фигуру эллипсоида вращения (сфероида). Такая фигура получается при вращении эллипса вокруг его малой (полярной) оси PP_1 (рис. 1).

Размеры земного эллипсоида определяются величинами $OO' = a$ — большой полуосью, $PO = b$ — малой полуосью и $a = (a - b)/a$ — сжатием.

Определение размеров земного эллипсоида связано с необходимостью проведения геодезических измерений на всей поверхности Земли. Так как это является очень сложной и трудоемкой задачей, то в отдельных странах пользуются своими референц-эллипсоидами, размеры которых получены из геодезических измерений, выполненных на территории своей страны и частично на территориях соседних стран. Референц-эллипсоидом называется эллипсоид, имеющий строго определенные размеры и ориентированный в теле Земли при условии возможно большей его близости к поверхности геоида для территории данной страны.

С 1946 г. для производства геодезических работ в СССР принят эллипсоид Красовского с размерами $a = 6\,378\,245$ м, $b = 6\,356\,863$ м, $\alpha = 1:298,3$. Эллипсоид назван так в честь советского ученого-геодезиста Ф. Н. Красовского, руководившего работами по определению размеров референц-эллипсоида, наиболее подходящего для территории Советского Союза.

Для приближенных вычислений земной эллипсоид принимают за шар одинакового с ним объема. По данным Ф. Н. Красовского радиус такого шара равен $6\,371,11$ км.

В 1960—62 гг. советскими и американскими учеными были вычислены размеры земного эллипсоида на основании наблюдений за движением искусственных спутников Земли. Полученные результаты оказались очень близкими к размерам эллипсоида Красовского.

§ 4. Единицы измерений

Измерением называется процесс сравнения измеряемой величины с другой однородной с ней величиной, принятой за единицу измерения.

В СССР все линейные измерения производят в метрической системе мер, в основе которой лежит метр. Метр представляет

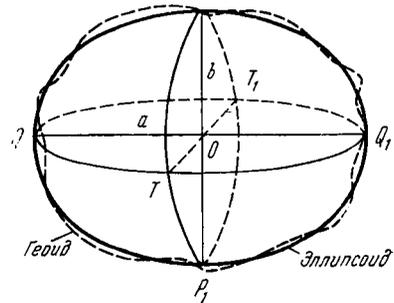


Рис. 1. Схема геоида и земного эллипсоида

Собой длину жезла-эталоны, изготовленного в 1889 г. из сплава платины и иридия. Этот эталонный метр хранится в Международном бюро мер и весов в Париже. В разных странах в качестве метра используют специально изготовленные копии с метра-эталоны.

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла решение выразить длину метра более стабильным образом. Конференция установила, что метр есть длина, равная 1 650 763,73 длины волн излучения изотопа криптона-86 в вакууме. С 12 января 1968 г. этот метр утвержден в СССР в качестве нового государственного эталона.

Один метр (м) содержит 10 дециметров (дм), 100 сантиметров (см) или 1000 миллиметров (мм); одна тысячная доля миллиметра называется микрометром (мкм).

В некоторых странах в качестве единицы длины помимо метра используют фут. В разных странах фут имеет различную величину. Например, английский фут составляет 0,30 479 м и содержит 12 дюймов.

Плоские углы измеряются в градусах. Градус (°)—это Узд часть прямого угла. Полная окружность содержит 360 градусов. Один градус составляет 60 минут (′), одна минута содержит 60 секунд (″). Плоские углы выражают также в радианной мере. Радиан — плоский угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу. Радиан в градусной мере составляет $p = 57,3^\circ = 3438' = 206\ 265''$.

Для перевода угла из градусной меры в радианную надо разделить его на радиан, т. е. $a = a/p$. При малых углах приближенно можно считать

$$a \text{ рад} = \text{tga} = a/p.$$

В ряде западноевропейских стран в качестве меры плоского угла применяют гон ($\hat{\text{он}}$), в русском наименовании градус. Полная окружность составляет 400 гон. Один гон равен 0,9 градуса и содержит 100 сантигон (сгон) или 1000 миллигон (мгон).

Различают измерения прямые (или непосредственные) и косвенные (или посредственные). Если интересующая нас величина непосредственно сравнивается с единицей меры, то такое измерение — прямое. Например, измерение рулеткой расстояния или измерение транспортиром угла на чертеже являются прямыми измерениями. При косвенном измерении результат получают вычислением на базе других прямых измерений. Например, измерив радиус, вычисляют длину окружности; непосредственно измерив две стороны прямоугольника, вычисляют его площадь и т. п. Длина окружности и площадь прямоугольника являются при этом результатами косвенных измерений.

Измерения разделяют на необходимые и избыточные. Так, если один и тот же угол измерен транспортиром n раз, то один из результатов измерений является необходимым, а остальные ($n - 1$) результатов — избыточными. Наличие результатов избыточных измерений очень важно, так как их сходимость позволяет судить о качестве измерений, их точности и является средством контроля.

ГЛАВА 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК И НАПРАВЛЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

§ 5. Принцип изображения земной поверхности на плоскости

Одной из задач геодезии является создание графических изображений земной поверхности на бумаге. Для решения этой задачи используют метод ортогонального проектирования.

Сущность этого метода состоит в том, что все точки физической поверхности Земли проектируют на поверхность земного эллипсоида, проводя через них отвесные линии до пересечения с уровенной поверхностью P_0 (рис. 2,а). В пересечении получают точки a, b, c, d , которые называются горизонтальными проекциями точек местности A, B, C, D .

Таким образом, каждой линии на земной поверхности соответствует ее горизонтальная проекция на уровенной поверхности. На рис. 2, а четырехугольник $abcd$ на уровенной поверхности есть горизонтальная проекция пространственного четырехугольника $ABCD$ на земной поверхности. Так как уровенная поверхность кривая, то проектирующие отвесные линии не параллельны друг другу.

Чтобы можно было судить о форме пространственной фигуры $ABCD$ по ее горизонтальной проекции $abcd$, необходимо знать расстояния Aa, Bb, Cc, Dd от точек местности до уровенной поверхности. Эти расстояния называются высотами точек местности.

Изображая небольшой участок местности на бумаге, кривую уровенную поверхность P_0 заменяют горизонтальной плоскостью P (рис. 2,б), касающейся поверхности P_0 в центре данного участка. Проектирующие отвесные линии Aa, Bb, Cc, Dd , перпендикулярные к горизонтальной плоскости P , будут при этом параллельны между собой. Стороны ab, bc, cd, da и углы между ними $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ являются горизонтальными проекциями на плоскость P соответствующих линий и углов местности,

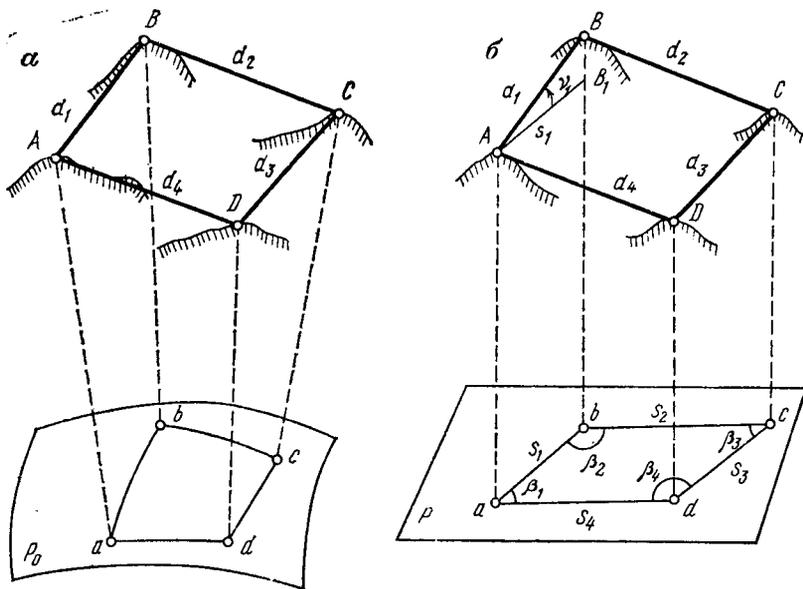


Рис. 2. Схема проектирования точек местности:

a — на урениную поверхность;
 b — на горизонтальную плоскость

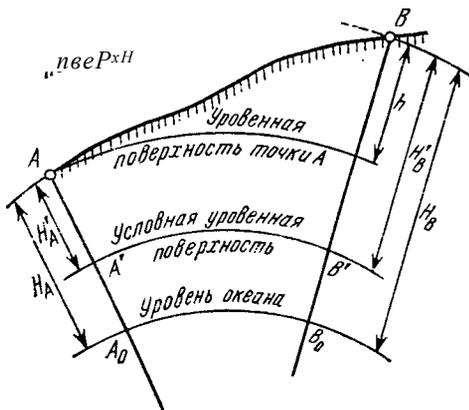


Рис. 3. Высоты точек земной поверхности

Горизонтальные проекции линий называются горизонтальными проложениями. От измеренной на местности линии d можно перейти к ее горизонтальному проложению s при помощи измеренного угла наклона ν этой линии. Угол наклона лежит в вертикальной плоскости и измеряется на местности непосредственно. Из прямоугольного треугольника ABB_u в котором линия AB_u горизонтальна, следует

$$s_1 = d_1 \cos \nu_1. \quad (1)$$

Вертикальное расстояние от урovenной поверхности, проходящей через точку местности, до исходной урovenной поверхности, принятой за начало отсчета, называется абсолютной (геодезической) высотой данной точки, а ее числовое значение — отметкой (рис. 3). Высоты относительно любой другой урovenной поверхности называются условными.

Положение исходной урovenной поверхности определяют из многолетних наблюдений за уровнем Мирового океана. За начало отсчета высот в СССР принят средний уровень Балтийского моря, которому соответствует нулевое деление специальной рейки—Кронштадского футштока, укрепленной на устой моста через Обводный канал в Кронштадте. Такая система высот носит название Балтийской системы высот.

Разность k абсолютных или условных высот двух точек называется превышением (см. рис. 3).

$$h_{Г} = H_{в} - H_{А} = H_{в} - H_{А}$$

§ 6. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния и высоты точек

При геодезических работах, выполняемых на небольших по площади участках местности, урovenную поверхность часто условно принимают за плоскость. Такая замена влечет за собой некоторые искажения в длинах линий и в высотах точек. Определим, при каких размерах участка земной поверхности этими искажениями можно пренебречь без ущерба для точности проектирования.

Допустим, что урovenная поверхность является поверхностью шара радиуса R (рис. 4). Заменяем участок шара A_0BC_0 горизонтальной плоскостью ABC , касающейся шара в центре участка в точке B . Если длина горизонтального участка l , а соответствующая ему длина дуги $г$, то их разность $\Delta g = l - g$ определит появляющуюся погрешность от замены участка шара горизонтальной плоскостью.

Из рис. 4 имеем $l = R \cdot \alpha$ и $g = R \alpha$, откуда

$$\Delta g = R(\alpha - a). \quad (2)$$

Разложим в ряд и, ограничившись первыми двумя членами разложения, получим

$$10 \Delta g = a + \frac{a^3}{6R^2},$$

что после подстановки в формулу (2) приводит к выражению

$$\Delta g = \frac{a^3}{6R^2}.$$

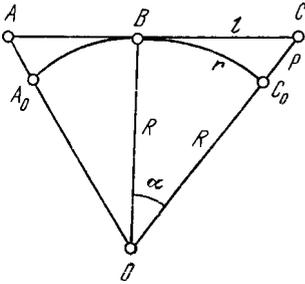


Рис. 4. Схема, показывающая влияние кривизны Земли на измеренные расстояния

ниже. Для расчетов радиус Земли Y взят приблизительно равным 6370 км:

z , км	10;	20;	25;	50;	100
Δz , см	1;	7;	13;	103;	821
$D z/z$	1 : 1 000 000; 1 : 300 000; 1 : 200 000; 1 : 49 000; 1 : 12 000				

Учитывая реальную точность, с которой теперь производят измерения линий на местности при геодезических работах, можно считать, что на участках радиусом до 20—25 км погрешности от замены урвенной поверхности плоскостью не имеют практического значения.

Иначе обстоит дело с влиянием кривизны Земли на высоты точек. Из прямоугольного треугольника OBC (см. рис. 4)

$$z + p = (z + p)^2 = Y^2 + 2 Y p + p^2$$

откуда

$$l^2 = 2 Y p - p^2 = p (2 Y + p), \quad (5)$$

где p — отрезок отвесной линии CC_0 , выражающий влияние кривизны Земли на высоту точки C .

Из выражения (5) получим

$$p = l^2 / (2 Y + p),$$

а так как значение p очень мало по сравнению с Y , то в знаменателе полученной формулы этой величиной можно пренебречь. Тогда окончательно получим

$$p = l^2 / (2 Y). \quad (6)$$

Для различных расстояний l определим следующие поправки в высоты точек местности:

l , км	0,3;	0,5;	1,0;	2,0;	5,0;	10,0;	20,0
p , м	0,01;	0,02;	0,08;	0,31;	1,96;	7,85;	33,40

Учитывая, что $a = 1/2$, будем иметь

$$\Delta z = z^2 / 3 Y. \quad (3)$$

Для более ясного представления о величине Δz обычно определяют относительную погрешность

$$\Delta z/z = z^2 / 3 Y^2. \quad (4)$$

Абсолютные и относительные значения погрешностей, вычисленные соответственно по формулам (3) и (4) для участков земной поверхности различных радиусов z , приведены

Таким образом, влияние кривизны Земли на высоты точек сказывается уже на расстоянии 0,3 км. Значит, при передаче высот даже на небольшие расстояния это необходимо учитывать.

§ 7. Понятие о системах координат, используемых в геодезии

Положение точек на земной поверхности определяется координатами:— величинами, которые характеризуют расположение заданных точек относительно исходных точек линий или плоскостей выбранной системы координат.

Географические координаты. Общепринятой и единой для всего земного шара является система географических координат. Пусть урovenная поверхность Земли имеет форму шара с центром в точке O (рис. 5). P_1P_2 — ось вращения Земли. Линии на урovenной поверхности, полученные от сечения ее плоскостями, проходящими через ось P_1P_2 , называются географическими меридианами. Сечения урovenной поверхности плоскостями, перпендикулярными оси вращения Земли, образуют параллели. Параллель, проходящая через центр O , называется экватором, а плоскость, в которой лежит экватор,— плоскостью экватора. Через каждую точку на урovenной поверхности можно провести только один меридиан и только одну параллель.

Положение любой точки A на урovenной поверхности определяется двумя географическими координатами— широтой ϕ и долготой X .

Географической широтой точки A называется угол ϕ между отвесной линией AO , проходящей через эту точку, и плоскостью экватора. Широта измеряется от плоскости экватора к северу или к югу в зависимости от того, в каком полушарии находится рассматриваемая точка. В северном полушарии широта называется северной, в южном — южной и изменяется от 0 на экваторе до 90° на полюсах Л или Рг.

Географической долготой точки A называется двугранный угол X между плоскостью начального меридиана $P_1M_aP_2$ и плоскостью меридиана $P_1AA_XP_2$ данной точки. За начальный меридиан в географической системе координат принят Гринвичский меридиан, проходящий через астрономическую обсерваторию в Гринвиче вблизи Лондона. Долгота измеряется от Гринвичского меридиана к востоку и к западу и принимает значения от 0 до 180° . В восточном полушарии долгота называется восточной, а в западном — западной.

Система географических координат проста, но неудобна для практического применения в инженерно-геодезических и маркшейдерских работах. Географические координаты выражаются в угловых величинах, а их линейные значения в различных

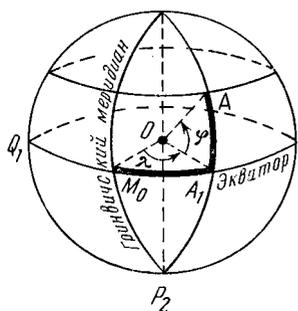
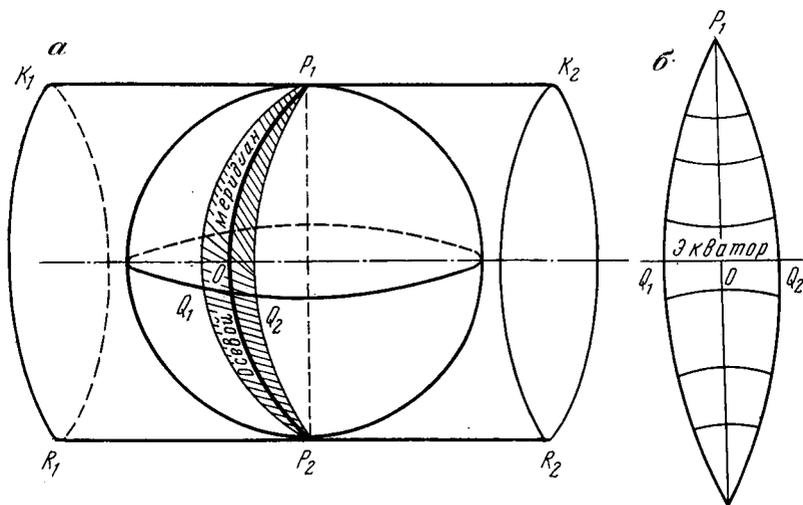


Рис. 6. Проекция Гаусса:

a — проекция на поверхность цилиндра;
изображение зоны



частях земного эллипсоида неодинаковы. Поэтому в геодезии более широкое применение получила система плоских прямоугольных координат.

Зональная система плоских прямоугольных координат. Поскольку уровенная поверхность Земли является кривой, то большую ее часть или всю ее невозможно изобразить на плоскости без искажений. При решении такой задачи используют различные картографические проекции. Для топографических карт в СССР применяют специальную картографическую проекцию, предложенную в XIX в. К. Ф. Гауссом.

Суть этой проекции состоит в том, что вся уровенная поверхность Земли разделяется на 60 отдельных участков, каждый из которых ограничен двумя меридианами с разностью долгот между ними 6° . Такие участки называются *зонами*.

В каждой зоне средний меридиан называется осевым меридианом.

Представим, что земной шар вписан в цилиндр так, что поверхность цилиндра касается поверхности шара по осевому меридиану $P \setminus O P_2$ какой-либо зоны (рис. 6, а), а ось цилиндра лежит в плоскости экватора. Пусть данная зона определенным образом спроектирована на поверхность цилиндра, а сам цилиндр разрезан по образующим $K \setminus K_2$ и $l_1 \setminus l_2$ и развернут в плоскость. На полученном таким образом плоском изображении зоны (рис. 6, б) осевой меридиан $P \setminus O P_2$ и экватор $СБООг$ будут представлять собой взаимно перпендикулярные прямые линии. Граничные меридианы $P \setminus O \setminus P_2$ и $P \setminus \wedge P_2$ и параллели изобразятся кривыми линиями. Каждая из 60 зон изобразится таким образом на поверхности своего цилиндра независимо от остальных.

В проекции Гаусса ставится условие, чтобы изображение углов между различными направлениями на шаре и на проекции были равны между собой. В то же время длины линий будут передаваться с искажениями, причем эти искажения имеют наибольшие значения на краях зон, удаленных от осевого меридиана. Однако в пределах шестиградусной зоны такие искажения не превышают погрешностей графических построений и удовлетворяют требованиям составления топографических карт масштабов 1:10 000 и мельче. Для карт более крупных масштабов применяются трехградусные зоны, в пределах которых линейные искажения меньше.

Так как каждая зона в проекции Гаусса выглядит так, что на изображении имеются две взаимно перпендикулярные прямые — осевой меридиан и экватор, то это позволило ввести для определения положения точек зоны зональную систему плоских прямоугольных координат. За ось абсцисс X принято изображение осевого меридиана, за ось ординат Y — изображение экватора (рис. 7). Началом координат служит точка пересечения O осевого меридиана и экватора. Положительные направления осей: абсцисс — с юга на север, ординат — с запада на восток.

В северном полушарии, а значит и на всей территории Советского Союза абсциссы положительны. Ординаты же в пределах каждой зоны могут быть как положительными, так и отрицательными. Во избежание отрицательных ординат и для удобства вычислений в СССР принято условно считать ординату точки O равной не нулю, а 500 км. В этом случае ординаты всех точек каждой зоны будут иметь положительные значения, так как наибольшая ширина половины шестиградусной зоны не превышает 385 км. Следовательно, все точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты менее 500 км, точки на осевом меридиане имеют ординату,

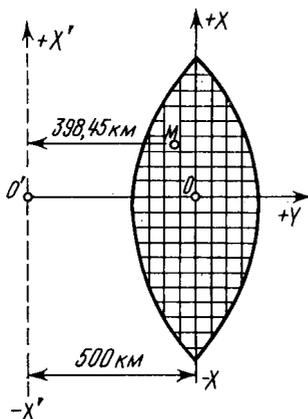


Рис. 7. Зональная система плоских прямоугольных координат

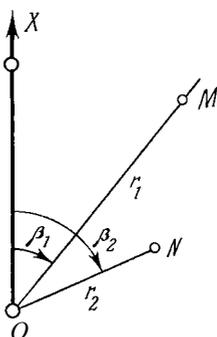


Рис. 8. Плоская система полярных координат

равную 500 км, а точки восточнее осевого меридиана — более 500 км. Такие ординаты называют преобразованными. Чтобы знать, в какой из 60 зон лежит данная точка, впереди ее ординаты пишут номер зоны.

Например, если точка M (см. рис. 7) находится в 10-й зоне, то ее координаты будут записаны так: $X_M = 6\ 065,83$ км, $Y_M = 10398,45$ км. Если же такая точка будет находиться в 8-й зоне, то ее координаты: $X_M = 6\ 065,83$ км, $Y_M = 8\ 398,45$ км.

Для удобства решения практических задач на топографических картах наносят координатную сетку. Координатная сетка представляет собой систему взаимно перпендикулярных линий, образующих сетку квадратов. Стороны квадратов параллельны осям абсцисс и ординат. Размер стороны квадрата соответствует определенному расстоянию на местности в зависимости от масштаба карты.

Условная система плоских прямоугольных координат. При составлении топографических планов небольших участков земной поверхности часто используют условную систему плоских прямоугольных координат. В этой системе взаимное положение координатных осей остается прежним, а направление (ориентировка) оси абсцисс может быть нестрого параллельна осевому меридиану зоны. При этом за начало условной системы координат принимают какую-либо произвольную точку. Эта точка выбирается с таким условием, чтобы все абсциссы и ординаты в пределах картографируемого участка были положительными и небольшими по абсолютной величине, что удобно при решении практических задач.

Плоская система полярных координат. Если на горизонтальной плоскости через произвольно выбранную точку O (рис. 8), называемую полюсом, провести линию OX — полярную ось, то положение любой точки (например, M) можно определить, зная расстояние $OM = \rho$ (радиус-вектор) и угол ρ_1 между полярной осью и радиусом-вектором. Для другой точки N полярными координатами будут соответственно радиус-вектор $\rho_2 = ON$ и угол ρ_2 . В этой системе координат углы отсчитываются от полярной оси по ходу часовой стрелки до радиуса-вектора. Положение полярной оси может быть произвольным, но иногда ее совмещают с направлением меридиана, проходящего через полюс O .

§ 8. Ориентирование линий и ориентирующие углы

Ориентировать линию — значит определить ее направление относительно какого-либо исходного направления. В геодезии за исходные направления принимают: географический меридиан, магнитный меридиан и осевой меридиан зоны. Ориентирование линий осуществляют при помощи ориентирующих углов: географического и магнитного азимутов, а также дирекционного угла.

Географическим азимутом A линии BC в точке B (рис. 9) называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана до данного направления. Географический азимут может изменяться от 0 до 360° .

Так как меридианы различных точек не параллельны, то азимут одной и той же линии в каждой ее точке имеет разное значение. Например, для линии BC ее азимут A в точке B не равен азимуту A' в точке C . Проведя через точку C линию $СЛГ$, параллельную меридиану $ВВ_1$ точки B , получим при точке C угол y , который называется сближением меридианов. Азимут A линии BC в точке B (прямой азимут) и азимут A' той же линии в обратном направлении (обратный азимут), взятый в точке C (см. рис. 9), связан зависимостью

$$A' = A + 180^\circ + y.$$

Географические азимуты линий местности определяют из астрономических наблюдений, либо при помощи специальных приборов — гирокомпасов или гиротеодолитов.

Магнитным меридианом называют направление оси свободно подвешенной магнитной стрелки компаса. Горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до данного направления, называется магнитным азимутом A_m .

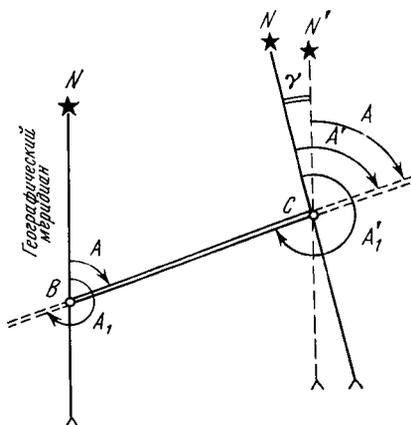


Рис. 9. Географические азимуты и сближение меридианов

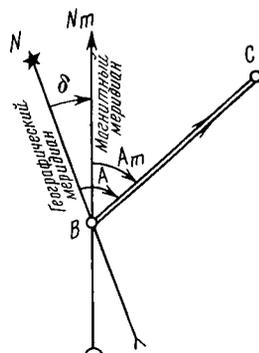


Рис. 10. Магнитный азимут и склонение магнитной стрелки

(рис. 10). Магнитный азимут, как и географический, может принимать значения от 0 до 360°.

Географический и магнитный меридианы в каждой точке земной поверхности образуют между собой угол δ , называемый склонением магнитной стрелки. Северный коней магнитной стрелки может отклоняться к востоку или к западу от северного направления географического меридиана, т. е. склонение магнитной стрелки может быть восточным или западным. Восточное склонение считают положительным, а западное — отрицательным. Следовательно, географический и магнитный азимуты (см. рис. 10) связаны зависимостью

$$A = A_m - (\pm \delta).$$

Таким образом, для перехода от магнитного азимута к географическому необходимо знать величину и знак склонения магнитной стрелки. Однако склонение не только различно для разных точек Земли, но не остается постоянным во времени даже для одной и той же точки местности. Изменение склонения в течение суток может достигать 15' и более, а за несколько столетий — десятков градусов.

Все это приводит к тому, что ориентирование линий по магнитному меридиану выполняется грубо и допустимо лишь при работах невысокой точности на небольших по площади участках.

Так как азимуты одной и той же линии в разных ее точках различны, то пользоваться ими для ориентирования неудобно. Поэтому в геодезии чаще всего для ориентирования используют дирекционные углы.

Рис. 11. Дирекционные углы

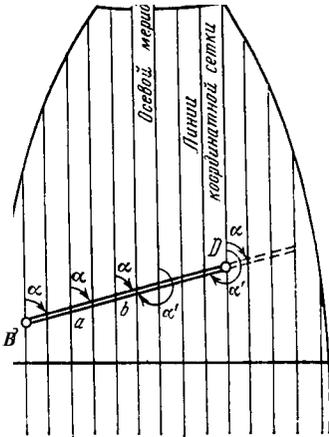
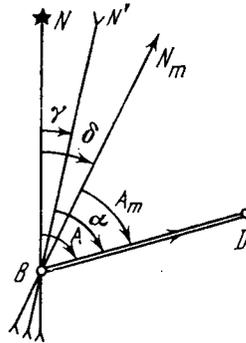


Рис. 12. Схема связи между ориентирующими углами



Дирекционный угол a (рис. 11) — это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана данной зоны (или от положительного направления оси абсцисс OX) до выбранного направления. В отличие от азимутов дирекционный угол линии в каждой ее точке постоянен и может принимать значения от 0 до 360° . Это делает удобным применение дирекционных углов на практике.

Прямой a и обратный a' дирекционные углы одной и той же линии BO (см. рис. 11) разнятся между собой ровно на 180° :

$$a' = a \pm 180^\circ.$$

Связь между ориентирующими углами поясним с помощью рис. 12. Через точку B линии BO проведем географический меридиан BN , линию BN' , параллельную осевому меридиану (линии координатной сетки), и направление магнитного меридиана BN_m . Согласно определениям угол $BNB_m = \gamma$ есть сближение меридианов, а угол $BNB_m = \delta$ — склонение магнитной стрелки. Из рис. 12 следует, что

$$A - A_m = \pm \delta; \quad (7)$$

$$A = a + (\pm \gamma), \quad (8)$$

где в скобках указаны соответствующие положительное (восточное) или отрицательное (западное) значения склонения магнитной стрелки δ и сближения меридианов γ .

Из формул (7) и (8) получим выражение

$$a = L_T + (\pm 6) - (\pm y), \quad (9)$$

определяющее соотношение дирекционного угла и магнитного азимута.

При решении практических задач берут соответствующие знаки для восточного или западного склонения магнитной стрелки или сближения меридианов. Например, если даны магнитный азимут линии $L_T = 65^\circ 20'$, склонение магнитной стрелки западное $b = -1^\circ 15'$, а сближение меридианов восточное $y = +0^\circ 30'$, то дирекционный угол этой линии вычисляют по формуле (9) следующим образом: $a = A_m + \{ -b \} - (+ y) = 65^\circ 20' - 1^\circ 15' - 0^\circ 30' = 63^\circ 45'$.

Горизонтальные углы между ближайшими направлениями географического, магнитного или осевого меридиана и направлением данной линии называются румбами. Румбы являются острыми углами, т. е. могут принимать значения от 0 до 90° и сопровождаются наименованием четверти относительно стран света. Румбами пользуются в тех случаях, когда необходимо пользоваться тригонометрическими таблицами для определения тригонометрических функций ориентирующих углов.

Оперируя с тригонометрическими функциями ориентирующих углов, следует иметь в виду, что в геодезии перемена осей координат (X на Y) с одновременным переходом к обратному, по сравнению с принятым в математике, направлению счета углов (по ходу часовой стрелки) оставляет в силе все принятые в математике формулы приведения тригонометрических функций. Следовательно, знаки и названия тригонометрических функций в геодезических четвертях одинаковы со знаками и названиями функций математических четвертей с теми же номерами.

§ 9. Связь дирекционных углов предыдущей и последующей линий

В практике геодезических работ часто приходится определять дирекционный угол какой-либо одной линии по дирекционному углу другой линии и горизонтальному углу между этими линиями.

Пусть известен дирекционный угол α линии AB (рис. 13), прямое направление которой показано стрелкой. В точке B измерен слева по ходу горизонтальный угол ρ или справа по ходу угол κ между линией AB и последующей линией BC . Необходимо определить дирекционный угол α' последующей линии BC , прямое по ходу направление которой показано на рисунке стрелкой.

Так как прямой α_1 и обратный α_2 дирекционные углы одной и той же линии различаются друг от друга ровно на 180° , то для линии AB запишем «Г» = $\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ$, а из рис. 13 следует, что

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ + \rho. \quad (10) \text{ я}$$

Правый по ходу угол K является дополнением угла ρ до 360° , т. е. $\rho = 360^\circ - X$. Подставив это соотношение в формулу (10), для измеренных правых по ходу углов получим

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ - X.$$

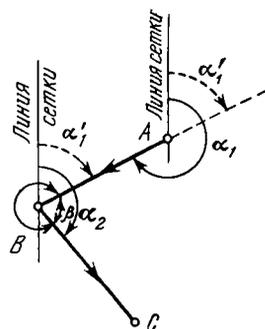
Выведенные формулы устанавливают связь между дирекционными углами смежных линий местности с использованием левых или правых углов. В формуле (10) знак плюс перед цифрой 180° берут в тех случаях, когда при вычислении значений обратного угла оказывается меньше 360° , т. е. сумма первых двух членов формулы менее 360° . Знак минус берут, когда значение прямого дирекционного угла больше 180° . При вычислениях по формуле (10) знак плюс берется, когда сумма двух первых членов оказывается больше угла X , а минус, — если разность первых двух членов больше угла X .

Примеры. Пусть $\alpha_1 = 45^\circ$, $\rho = 110^\circ$. Тогда по формуле (10) $\alpha_2 = 45^\circ + 180^\circ + 110^\circ = 335^\circ$.

Пусть $\alpha_1 = 240^\circ$, $\rho = 190^\circ$, тогда получим $\alpha_2 = 240^\circ - 180^\circ + 190^\circ = 250^\circ$.

Пусть $\alpha_1 = 205^\circ$, $X = 135^\circ$, тогда по формуле (11) $\alpha_2 = 205^\circ + 180^\circ - 135^\circ = 250^\circ$.

Если $\alpha_1 = 345^\circ$, $X = 100^\circ$, тогда $\alpha_2 = 345^\circ - 180^\circ - 100^\circ = 65^\circ$.



(11) Рис. 13. Схема связи дирекционных углов предыдущей и последующей линий

§ 10. Прямая и обратная геодезические задачи

В геодезической практике часто встречаются две типичные задачи, получившие названия прямой и обратной геодезических задач.

Прямая геодезическая задача. Даны прямоугольные координаты X_A и Y_A начальной точки A линии AB (рис. 14), ее горизонтальное положение β и прямой дирекционный угол α_{AB} . Требуется определить прямоугольные координаты X_B , Y_B конечной точки B .

Спроектировав точки A и B на оси координат, получим

$$X_B = X_A + BC = X_A \pm AX;$$

$$Y_B = Y_A + AC = Y_A + AY.$$

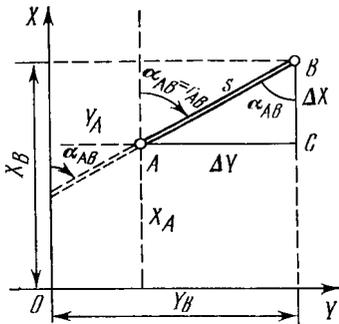
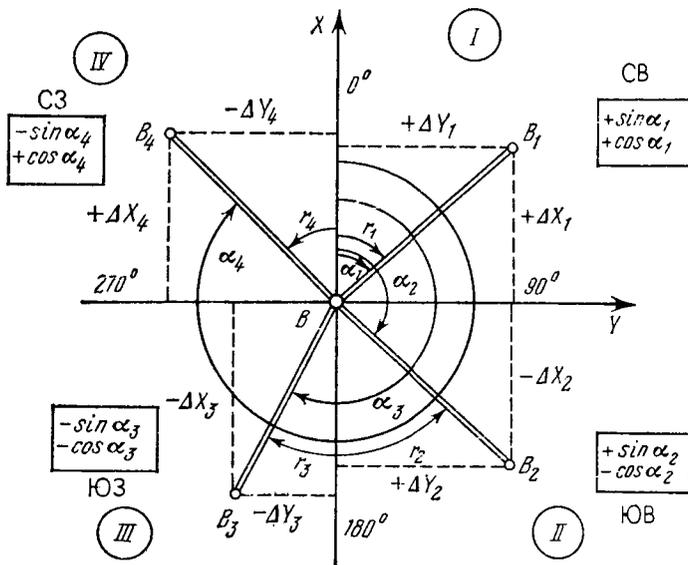


Рис. 14. Схема прямой и обратной геодезических задач

Рис. 15. Схема определения знаков приращений координат и тригонометрических функций



Отрезки $BC - AX$ и $AC = AY$ носят название приращений координат. Из треугольника ABC имеем

$$\begin{aligned} AX &= s \cos a_{AB}; \\ AY &= s \sin a_{AB}. \end{aligned} \tag{13}$$

После подстановки формул (13) в выражения (12) окончательно получим формулы

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + s \cos a_{AB}, \\ Y_B &= Y_A + s \sin a_{AB}, \end{aligned} \tag{14}$$

которые называются формулами прямой геодезической задачи на плоскости.

Решение прямых геодезических задач

Обозначение	Порядок заполнения строк	Результат вычислений по четвертям			
		I	II	III	IV
X_B	9	464,32	242,57	206,47	435,95
X_A	3	330,45	330,45	330,45	330,45
$AX = s \cos a$	7	+ 133,87	-87,88	- 123,98	+ 105,50
$\cos a$	5	+0,82413	-0,54097	-0,76323	+0,64945
S	1	162,44	162,44	162,44	162,44
a	2	34°30'	122°45'	220°15'	310°30'
$\sin a$	6	+0,56641	+0,84104	-0,64612	-0,76041
$Д Y = s \sin a$	8	+92,01	+ 136,62	- 104,96	-123,52
Y_A	4	420,20	420,20	420,20	420,20
Y_B	10	512,21	556,82	315,24	296,68

Правильность вычисления приращений координат AX и $ДY$ можно проконтролировать по формуле $s = (DX^2 + DY^2)^{1/2}$, сравнив полученное расстояние s с заданным.

Приращения координат могут иметь знаки плюс или минус в зависимости от четверти, в которой находится дирекционный угол. Следовательно, знаки приращений координат определяются знаками, которые имеют $\cos a$ и $\sin a$.

Так, в первой четверти (рис. 15) дирекционный угол изменяется от 0 до 90°, поэтому $\sin a$ и $\cos a$, а также AX и $ДY$ будут иметь положительные знаки.

Во второй четверти (90° < a < 180°) $\cos a$ и AX имеют отрицательные знаки, а $\sin a$ и $ДY$ — положительные.

В третьей четверти (180° < a < 270°) $\cos a$, $\sin a$ и приращения AX и $ДY$ имеют отрицательные знаки.

В четвертой четверти (270° < a < 360°) $\cos a$ и AX положительны, а $\sin a$ и $ДY$ — отрицательны.

Решение прямых геодезических задач удобно выполнять в специальных формулярах (табл. 1).

Обратная геодезическая задача. Даны прямоугольные координаты X_A, Y_A, X_B, Y_B концов данной линии AB (см. рис. 14). Нужно определить дирекционный угол alb этой линии и горизонтальное проложение s .

Из рис. 14 следует, что $AX = X_B - X_A, AY = Y_B - Y_A$, а из треугольника ABC имеем

$$igr_{AB} = AY/AX, \quad (15)$$

или

$$r \wedge \arctg (F/AX). \quad (16)$$

Таблица 2

Решение обратных геодезических задач

Обозначение	Порядок за- пол- нения строк	Результат вычислений по четвертям			
			II	III	IV
$У$, м	1	470,23	441,25	392,96	305,30
$У_{a <}$, м	2	398,44	370,80	440,77	428,29
$ДУ$, м	5	+71,79	+70,45	—47,81	—122,99
X_e , м	3	522,79	510,13	505,11	480,82
X_d , м	4	480,37	565,45	574,74	425,39
$ДХ$, м	6	+42,42	—55,32	—69,63	+55,43
$tg \alpha_{AB} = ДК/ДХ$	7	+1,69236	—1,27350	+0,68663	—2,21883
r_{AB}	8	СВ 59°25,3'	ЮВ 51°51,6'	ЮЗ 34°28,5'	СЗ 65°44,4'
a_{AB}	9	59°25,3'	128°08,4'	214°28,5'	294°15,6'
СОБОСА e	10	+0,50872	—0,61758	—0,82437	+0,41088
вша d	И	+0,86093	+0,78650	—0,56605	—0,91169
$\delta_{AB} = ДХ/сова_{AB}$, м	12	83,39	89,57	84,46	134,90
$*ae = ДУ'/бшалв$, м	13	83,39	89,57	84,46	134,90

Окончательное значение дирекционного угла a_{AB} и его принадлежность к соответствующей четверти определяют по знакам приращений координат (см. рис. 15) и соответствующим формулам приведения тригонометрических функций.

Из формул (13) или треугольника $ЛВС$ находят горизонтальное положение

$$в = ДХ/\cos \alpha_{AB} - АК/\sin \alpha_{AB} = д/ \sqrt{AX^2 + A^2}. \quad (17)$$

Сходимость результатов вычислений 5 по формулам (17) служит вычислительным контролем решения задачи. Наиболее внимательно при решении обратной задачи нужно вычислять приращения координат.

Примеры решения обратных геодезических задач по четвертям приведены в табл. 2.

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

§11. Понятие о плане, карте, профиле и разрезе

И план, и карта представляют собой уменьшенное изображение на бумаге горизонтальных проекций участков местности. Однако между планом и картой есть существенное различие.

Планом называется уменьшенное картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции ограниченного участка земной поверхности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается. На плане изображение горизонтальной проекции местности получается практически без искажений за кривизну Земли и поэтому является подобным.

Если на плане изображают предметы и контуры местности без их высотной характеристики, без рельефа, то такие планы называются контурными или ситуационными. Планы, на которых изображаются контуры и рельеф местности, называются топографическими.

Для изображения на бумаге значительных участков земной поверхности или всей Земли кривизной уровенной поверхности пренебречь уже нельзя. Для этого применяют различные картографические проекции, т. е. используя определенные математические законы, земную поверхность можно изобразить на плоскости без разрывов и складок. При этом полученное изображение неизбежно будет сопровождаться искажениями длин линий, углов, площадей, т. е. оно не будет подобным горизонтальной проекции земной поверхности.

Следовательно, картой называется уменьшенное и искаженное вследствие влияния кривизны Земли обобщенное изображение значительной части земной поверхности, построенное в определенной картографической проекции.

Существуют различные картографические проекции, которые различаются между собой характером искажений. Имеются так называемые равноугольные проекции, при которых не искажаются углы (примером может служить поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса). Применяют равновеликие картографические проекции, при которых в меньшей степени искажаются площади и т. д. Чем больше изображаемая территория по площади, тем большие искажения будет иметь карта.

Профилем называется уменьшенное изображение линии пересечения земной поверхности отвесной плоскостью по заданному направлению. Профиль характеризует изменение рельефа местности по этому направлению. Для более наглядного изображения рельефа на профиле его вертикальные отрезки обычно изображают крупнее, чем горизонтальные.

Разрезом называется уменьшенное изображение сечения земной коры в ортогональной проекции на произвольно ориентированную плоскость. Разрезы строят для наглядного показа взаимного расположения геометрических элементов геологических напластований или контуров рудных тел и решения по ним различных практических задач. Различают вертикальные, горизонтальные и наклонные разрезы в зависимости от того, какое положение в пространстве занимает секущая плоскость.

§ 12. Масштабы

Масштабом называется степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при их изображении на плане или карте. Масштаб выражает отношение длины линии на плане или карте к горизонтальному проложению этой линии на местности. Различают масштабы численный, линейный и поперечный.

Численным масштабом называется простая безразмерная дробь с числителем единица, знаменатель которой показывает, во сколько раз уменьшены горизонтальные отрезки линий местности при их перенесении на план или карту. Например, при масштабах $1 : 500$, $1 : 1000$, $1 : 2000$ горизонтальные проложения линий местности на планах уменьшены соответственно в 500, 1000 и 2000 раз. Численный масштаб выражается соотношением

$$= 1/(5 : v) = IM, \quad (18)$$

где v — длина отрезка линии на плане; 5 — длина горизонтального проложения этого отрезка на местности; M — знаменатель численного масштаба.

Чем больше знаменатель масштаба M , тем больше степень уменьшения, значит тем мельче масштаб. Чем крупнее масштаб, тем с большей детальностью можно изобразить местность на плане или карте.

По численному масштабу на плане или карте решают две часто возникающие задачи: по длине отрезка на плане определяют длину горизонтального проложения этого отрезка на местности; по длине горизонтального проложения линии местности определяют ее длину на плане.

Пример 1. На местности горизонтальное проложение линии $5=145$ м. Определить длину этого отрезка на плане масштаба $1 : 2000$.

Исходя из формулы (18) $5=5 : M = 145 \cdot 1000/2000 = 72,5$ мм.

Пример 2. Измеренный на плане масштаба $1 : 500$ отрезок равен $5 = 64,7$ мм. Определить длину соответствующего горизонтального проложения на местности.

На основании формулы (18) $5 = \wedge \cdot \text{Л}|==64,7 * <500/1000 = 32,35$ м.

Как видно из примеров, решение этих задач требует выполнения простых вычислений. Однако при большом числе подобных задач такие вычисления требуют определенного времени. Поэтому на практике чаще всего используют графическое изображение численного масштаба — л и н е й н ы й м а с ш т а б .

Строят линейный масштаб следующим образом. На прямой линии последовательно откладывают несколько раз одинаковый отрезок $a = 2$ см, называемый основанием масштаба (рис. 16,а).

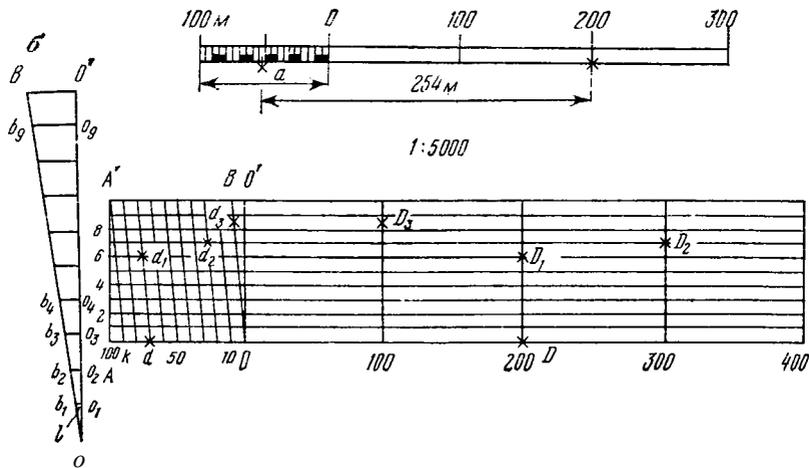


Рис. 16. Масштабы:

a — линейный; *б* — поперечный

По формуле (18) определяют число метров на местности, соответствующее основанию масштаба a на плане заданного численного масштаба. Например, для плана масштаба $1:5000$ основанию линейного масштаба на местности соответствует длина 100 м. Обозначают нулем правый конец левого основания масштаба. Вправо от нуля концы оснований оцифровывают соответствующим числом метров. Левое основание масштаба разделяют на 10 или 20 равных частей и вычерчивают так, как показано на рис. 16, а.

На плане или карте берут заданный отрезок раствором циркуля-измерителя и затем прикладывают его к линейному масштабу так, чтобы правая ножка совпала с одним из концов оснований масштаба, а левая — была в пределах разделенного на части основания. Отсчет расстояния в метрах ведется с оценкой на глаз десятых долей наименьшего деления левого основания линейного масштаба.

Для повышения точности определений длин по карте или по плану применяют поперечный масштаб (рис. 16, б), который строят следующим образом. Как и при построении линейного масштаба, откладывают несколько раз на прямой линии основание масштаба. Затем на концах всех оснований восстанавливают перпендикуляры AA' , OO' и т. д. и делят их на десять равных частей. Крайнее левое основание AO и самый верхний отрезок против него $A'O'$ также делят на десять равных частей. Далее правый конец первого деления основания — точку k соединяют с точкой A' перпендикуляра, восстановленного

в точке A . Через остальные точки нижнего и верхнего оснований проводят наклонные линии, параллельные линии B_1^1 .

Между нулевой вертикалью $00'$ и примыкающей к ней наклонной линии OB образован треугольник OBO' , разделенный отрезками $B_1O_1, B_2O_2, B_3O_3 \dots$. Из подобия треугольников OBO' и $O_b:O_1$ следует, что $B_1O_1/BO' = oO_1/oo' = 1/Ю$, где $1 = B_1O_1 = BO'/Ю$. Но так как основание масштаба AO по построению равно $10 BO'$, то окончательно получим $B_1^1 = 10 BO'/Ю$.

Если основание масштаба $AO = 2$ см, то тогда наименьшее деление поперечного масштаба $= 1/Ю = 0,2$ мм.

Из подобия треугольников $O_b:O_1, O_b:O_2, O_b:O_3$ и; т. д. можно записать, что $B_2O_2 = 21$; $B_3O_3 = B_1^1 B_3O_3 = 41$ и т. д.

Поперечный масштаб гравировать на специальных металлических пластинках — масштабных линейках.

Пользуются поперечным масштабом так. Пусть имеем план масштаба $1 : 5000$. На масштабной линейке подписывают число метров, соответствующее основанию масштаба. Наименьшее деление $1 = 1$ м. Чтобы отложить на плане отрезок, соответствующий, например, 270 м на местности, одну ножку циркуля-измерителя устанавливают в точку I (см. рис. 16,6), а вторую — в точку $c1$. Чтобы отложить расстояние, например в 276 м, обе ножки циркуля одновременно перемещают по вертикали так, чтобы они расположились на шестой горизонтальной линии. При этом правая ножка циркуля должна находиться на вертикали, отмеченной расстоянием 200 м, а левая на соответствующей наклонной линии в точке пересечения с шестой горизонтальной линией (точки i и e'). На рис. 16,6 показаны также для примера расстояния $B_2(I_2 = 327$ м и $i_3) \frac{1}{3} = 108,5$ м. Крестиками отмечены положения ножек циркуля на поперечном масштабе.

Опытным путем установлено, что невооруженный человеческий глаз различает на бумаге наименьшее расстояние, равное 0,1 мм. Отсюда длина линии на местности, соответствующая 0,1 мм на плане данного масштаба, называется точностью масштаба. Для масштабов $1:500, 1:1000, 1:2000,$

$1 : 5000$ точности масштабов равны соответственно 0,05, 0,1, 0,2 и 0,5 м. Это означает, что на планах этих масштабов нельзя измерить линию с более высокой точностью. Например, на плане масштаба $1 : 1000$ линию нельзя измерить с точностью выше 0,1 м. Объекты местности, имеющие линейные размеры менее точности масштаба, нельзя изобразить на плане с соблюдением их формы.

§ 13. Условные знаки и их классификация

К качеству изображения на планах и картах предъявляются высокие требования, важнейшими из которых являются точность и максимальная наглядность. Последнее достигается при помощи специальных обозначений, которые называются условными знаками. Для каждого масштаба разработаны такие условные знаки, которые внешне напоминают вид изображаемых объектов и дают ясное и наглядное представление о местности.

Условные знаки разделяют на три группы: площадные, немасштабные и линейные. К условным знакам можно также отнести и пояснительные подписи.

Площадными условными знаками (рис. 17, а) изображают объекты, занимающие на местности большие площади. Границы объекта изображают точечным пунктиром или тонкими линиями с соблюдением формы объекта. Внутри границы контура помещают значки, отличающие его от других объектов.

Немасштабные условные знаки (рис. 17, б) применяют для изображения объектов местности, площади которых не выражаются в масштабе плана или карты. По ним нельзя судить о размерах объектов, но определенная точка в каждом из таких знаков должна соответствовать на местности положению изображаемого объекта. У ряда условных знаков эта точка расположена в центре (пункты триангуляции, колодцы, высоты точек и др.), у других знаков — в середине основания (памятники и др.), в вершине прямого угла основа-

а

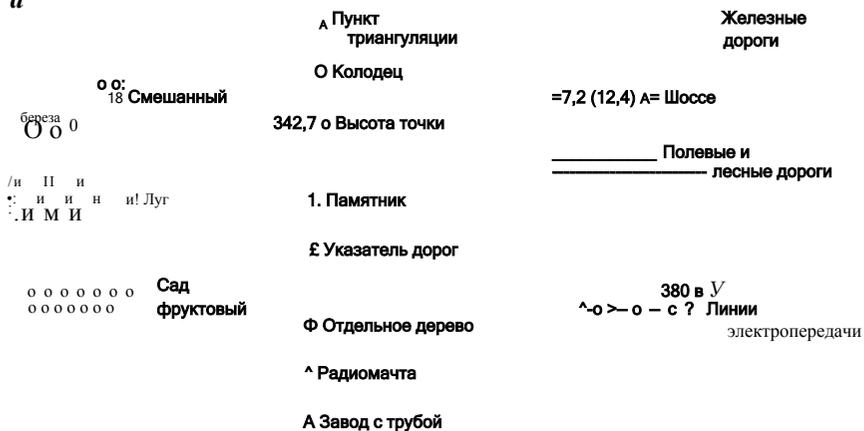


Рис. 17. Примеры условных знаков:

а — площадных; б — немасштабных; в — линейных

ния знака (указатели дорог, отдельно стоящие деревья и др.) и т. п.

Линейные условные знаки (рис. 17, в) применяют для изображения линейных объектов: железных и автодорог, ручьев, линий электропередач, трубопроводов и т. п. Их длина и конфигурация сохраняет сходство знаков с объектами местности, однако ширина выражена без соблюдения масштаба. Иначе говоря, длину таких объектов на плане измерить можно, а ширину нельзя.

Пояснительные подписи — это подписи на планах и картах, поясняющие вид и характер изображенных объектов, а также их количественные и качественные характеристики. Пояснительные подписи применяют как вместе с площадными условными знаками (породы деревьев в лесу, их высота, расстояние между деревьями — при изображении леса; скорость и направление течения реки и т. п.), так и в сочетании с внесмаштабными и линейными условными знаками (значения высот, ширина и характер покрытия дорог и т. п.).

Условные знаки и пояснительные подписи должны быть вычерчены и расположены на планах так, чтобы они легко читались и чтобы исключались неясности во взаимном расположении объектов. Для большей выразительности и наглядности топографические планы и карты издают многокрасочными. Объекты гидрографии изображают голубым цветом; растительность — зеленым; каменные строения, шоссе и дороги — красным; рельеф — коричневым цветом и т. д. Как правило, объекты местности, являющиеся результатом деятельности человека, изображают черным цветом, а природные объекты — другими цветами.

Разработаны сборники общетопографических условных знаков, обязательные для всех министерств и ведомств, занимающихся составлением топографических планов и карт. Отдельными министерствами и ведомствами разрабатываются сборники условных знаков для их использования при создании специализированных планов и карт. Например, имеются сборники условных обозначений для горной графической документации, для маркшейдерских планов разрабатываемых месторождений, геологических, сельскохозяйственных и других планов. Все такие сборники разрабатываются в дополнение к общетопографическим условным знакам.

§ 14. Изображение рельефа на планах и картах

Изображение рельефа является важнейшим элементом содержания топографических планов и карт.

Рельефом называется совокупность неровностей земной поверхности. Знание особенностей рельефа имеет важное зна-

чение при строительстве различных сооружений, правильном использовании земельных ресурсов в сельском хозяйстве, разработке эффективных способов эксплуатации месторождений полезных ископаемых и т. п.

Самым распространенным способом изображения рельефа в настоящее время считается способ горизонталей. Горизонталь — это кривая, все точки которой имеют одинаковые высоты над уровнем моря.

Представим себе остров, постепенно затопливаемый водой. Пусть вначале этот остров затоплен водой до уровня высоты в 1 м. Береговая линия острова на этом уровне и будет представлять собой горизонталь с высотой 1 м. Если ортогонально проектировать эту береговую линию на горизонтальную плоскость, то получим замкнутую кривую. Уменьшенное в масштабе составленного плана изображение этой кривой на бумаге будет являться горизонталью плана. Пусть далее уровень воды повысился еще на 1 м, тогда береговая линия займет другое положение и на плане ей будет соответствовать горизонталь с высотой 2 м. Аналогичным образом на плане будут получены горизонтали с высотами 3, 4, 5, 6 м и т. д.

Расстояние k по высоте между соседними горизонталями называют высотой сечения рельефа (в нашем примере $h/g=1$ м). Величина h/g может быть большей или меньшей в зависимости от масштаба составленного плана и характера рельефа. Ее обязательно указывают на плане или карте.

Расстояние на плане между соседними горизонталями называется заложением ската. Чем круче скат местности, тем меньше заложение и наоборот.

Несмотря на разнообразие форм рельефа из них можно выделить пять основных по разному изображаемых в горизонталях на планах и картах (рис. 18).

Гора или холм — возвышающаяся над окружающей местностью куполообразная или конусообразная форма рельефа с наивысшей точкой — вершиной. Боковые поверхности горы образуют скаты или склоны, иногда имеющие площадки в виде уступов или террас.

Котловина или впадина — замкнутое чашеобразное углубление земной поверхности. Самая низкая точка котловины называется дном.

Хребет — вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении возвышенность, образованная двумя скатами. Скаты соединяются в верхней части, образуя водораздельную линию (или водораздел), которую также называют осью хребта.

Лощина — вытянутое, постепенно углубляющееся в одном направлении понижение местности. Соединяясь в самой низкой части, два ската лощины образуют водосливную линию,



Рис. 18. Изображение основных форм рельефа горизонталями

называемую также осью лощины или тальвегом. Широкая лощина с пологими склонами называется долиной. Узкая лощина с крутыми обнаженными склонами называется оврагом.

Седловина — место, образуемое слиянием двух хребтов между двумя соседними возвышенностями. От седловины расходятся в противоположные стороны две лощины.

Оси лощин и хребтов называют характерными линиями рельефа, а вершину горы, дно котловины и низшую точку седловины — характерными точками рельефа.

Гора и котловина, хребет и лощина изображаются одинаковым рисунком горизонталей (см. рис. 18). Чтобы отличить их друг от друга, у отдельных горизонталей ставят небольшие черточки — бергштрихи, причем направление черточек от горизонталей должно совпадать с направлением понижения рельефа. Кроме того, на планах и картах высоты основных горизонталей подписывают по определенному правилу: верх цифр должен быть направлен в сторону повышения ската. Изображение горизонталями седловины является сочетанием изображений двух хребтов и двух лощин.

Таким образом, по подписям горизонталей, форме их начертания, известной высоте сечения рельефа, направлениям бергштрихов можно быстро определить на планах и картах формы рельефа, а также высоты соседних горизонталей и отдельных точек местности. Принято также некоторые горизонтали изображать утолщенными линиями. При высотах сечения 1, 5, 10, 20 м утолщают обычно каждую пятую горизонталь с высотами, кратными соответственно 5, 25, 50, 100 м. При высоте сечения 2,5 м утолщают каждую четвертую горизонталь. Все горизонтали на планах и картах вычерчивают коричневым цветом.

В отдельных случаях для повышения детальности изображения отдельных форм рельефа используют дополнительно по-

л у горизонтали и даже четвертьгоризонтали. Они проводятся соответственно через половину и четвертую часть принятой высоты сечения рельефа. Помимо горизонталей на планах и картах подписывают высоты отдельных характерных точек рельефа.

Скаты с крутизной более 45° горизонталями не изображают. Для них применяют специальные условные знаки.

Горизонтали на планах и картах проводят только на участках с естественным рельефом местности. Горизонтали прерывают в местах их пересечения с искусственными сооружениями или на участках крутого падения (овраги, ущелья, обрывы и т. п.)

§ 15. Номенклатура карт и планов

Для удобства издания и практического использования топографических карт участки земной поверхности изображают на них по частям в виде отдельных листов. Каждый лист топографической карты ограничивается дугами меридианов и параллелей и представляет собой трапецию, размер которой зависит от масштаба карты и широты местности.

Определенный порядок разделения и взаимного расположения листов топографических карт различных масштабов устанавливается единой разграфкой, а обозначение отдельных листов карт и планов по определенной системе называется номенклатурой.

В международной разграфке лист карты масштаба $1 : 1\,000\,000$ принят в качестве исходного. Его получают в результате условного деления поверхности земного шара параллелями через 4° от экватора к северу и югу и меридианами, проведенными через 6° , начиная от меридиана с долготой равной 180° к востоку. Номенклатура листа карты масштаба $1 : 1\,000\,000$ складывается из буквы латинского алфавита [*A, B, ..., V*]¹, определяющей горизонтальный пояс (ряд), и арабской цифры (1, 2, ..., 60), указывающей номер вертикальной колонны. Поскольку колонны по площади и фигуре совпадают с шестиградусными координатными зонами, то номер колонны отличается от номера зоны на 30. Например, лист карты масштаба $1:1\,000\,000$, в пределах которого находится Москва, имеет номенклатуру *Ы-37*.

Разграфка и номенклатура карт более крупных масштабов получается последовательным делением на определенное число частей листа карты масштаба $1:1\,000\,000$ с добавлением

¹ Листы карт северного и южного полушарий помечают буквами *N* и *S*. На топографических картах СССР буква *N* не указывается.

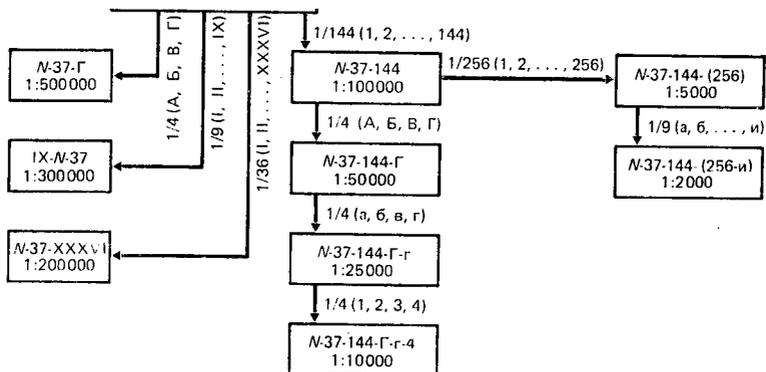


Рис. 19. Схема получения номенклатуры листов топографических карт

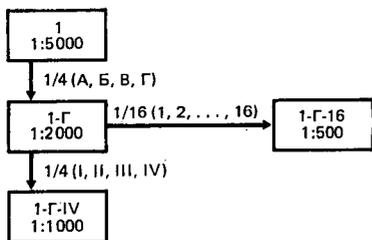


Рис. 20. Квадратная разграфка и номенклатура крупномасштабных планов

к исходной номенклатуре соответствующих буквенных и цифровых обозначений.

На рис. 19 показан порядок нахождения номенклатур топографических карт различных масштабов \ расположенных в юго-восточном углу миллионного листа карты. Дробь и буквы или цифры в скобках на линиях связи указывают на сколько частей делится лист для црлучения номенклатуры карт более крупного масштаба, а также: его условное обозначение. Все листы разбивают на равное число полос в широтном и меридианальном направлениях и нумеруют последовательно по горизонтали слева направо верхнюю полосу, затем нижестоящую и т. д.

При крупномасштабных топографических съемках составление планов на ограниченные участки обычно выполняют с разграфкой на стандартные квадраты по схеме, показанной на рис. 20. За основу принимают лист маштаба 1 : 5000 с размерами рамки 40X40 см. Его нумерация устанавливается местным исполкомом Совета народных депутатов или главным архитектором города. Планы более крупных масштабов 1:2000,

¹ Для листа карты маштаба 1 : 300 000 его номер (римская цифра) ставится перед номенклатурой соответствующего миллионного листа.

1 : 1000, 1 : 500, имеющие единые размеры рамок 50X50 см, получают в результате соответствующего деления листа плана масштаба 1 : 5000.

Сведения о номенклатуре необходимы главным образом при подборе листов топографических карт на территорию горного отвода по известным значениям географических координат пунктов, расположенных в пределах участка работ.

ГЛАВА 3

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 16. Общие сведения

Практика маркшейдерского дела в геодезии связана с выполнением различного рода измерений. Эти измерения осуществляются на различных этапах освоения месторождений и являются основой для изучения количественной стороны явлений и процессов горного производства.

Однако измерения, выполняемые при съемках на земной поверхности и в подземных выработках, из-за ограниченной точности приборов, неблагоприятных внешних условий измерений и несовершенства органов чувств человека сопровождаются неизбежными погрешностями. Их возникновение и накопление подчиняются определенным закономерностям, которые изучаются теорией погрешностей измерений с использованием законов теории вероятностей и приемов математической статистики.

Зависимость между значением измеренной величины I и значением единицы M может быть выражена равенством

$$I = MN,$$

где N — отвлеченное число, показывающее во сколько раз I больше M .

Это равенство называется основным уравнением измерения, а его правая часть есть результат измерения. Число, выражающее такое отношение, называется численным значением измеряемой величины.

Законченное измерение включает следующие элементы: объект измерения; единицу измерения; технические средства измерения; метод измерения; наблюдателя или регистрирующее устройство, воспринимающее результат измерения; внешнюю среду, в которой производят измерения. Совокупность перечисленных элементов называется условиями измерения.

Нестабильность условий в процессе измерения является основной причиной погрешностей измерений.

Так как истинное значение измеряемой величины остается, как правило, неизвестным вследствие отсутствия идеальных условий измерения, то на практике вместо истинного значения измеряемой величины используют результаты измерения, полученные при помощи наиболее точных методов и средств измерения.

Такое наиболее точное значение измеряемой величины, применяемое вместо истинного, принято называть действительным значением измеряемой величины.

В зависимости от способа измерения разделяют на несколько видов.

Простейшим видом измерения является прямое (непосредственное) измерение, при котором результат получается из непосредственного сравнения измеряемой величины с единицей измерения (например, измерение длины проградированной линейкой или температуры — термометром). Однако, прямые измерения не всегда возможны. В этих случаях прибегают к косвенным (посредственным) измерениям, основанным на известной зависимости между искомой величиной и непосредственно измеренными величинами (например, определение превышения между точками по длине и углу наклона линии, соединяющей точки).

В зависимости от условий возникновения погрешностей измерения делят на зависимые, если точность одного измерения влияет на точность другого, и независимые, когда погрешность одного измерения не зависит от погрешности другого.

Если измерения некоторой величины производят в условиях, позволяющих считать все результаты одинаково точными, то их называют равноточными. В противном случае измерения называют неравноточными.

Все перечисленные виды измерений в количественном отношении могут состоять из необходимых, дающих возможность получить единственное значение искомой величины, и избыточных (добавочных), выполняющихся помимо необходимых для контроля измерений и повышения их точности.

Измерения следует отличать от других приемов количественной характеристики величин, применяемых в том случае, когда нет однозначного соответствия между величиной и ее количественным выражением в определенных единицах. Так, определение крепости горных пород по шкале Протодяконова следует считать не измерением, а оценкой.

Обеспечением единства измерений в стране занимается метрологическая служба, хранящая эталоны единиц измерения и производящая поверку применяемых средств измерения.

§ 17. Погрешности измерений и их классификация

Результаты измерений всегда содержат некоторую погрешность, как бы тщательно они не проводились.

Под истинной погрешностью D понимают алгебраическую разность между полученным при измерении x и истинным значением X измеряемой величины

$$A = x - X.$$

Накопление погрешностей приводит к возникновению расхождений между результатами измерений и действительными соотношениями между истинными значениями величин. Эти расхождения называются **н е в я з к а м и**.

По источникам возникновения погрешности измерений подразделяют на приборные, внешние (влияние внешней среды) и личные (субъективные).

Погрешности прибора обусловлены неизбежным отличием реального прибора от идеального, представляемого его схемой, а также неточностью установки его в рабочее положение.

Для каждого типа приборов устанавливаются пределы допускаемых погрешностей, определяющие классы точности приборов.

Внешние погрешности обусловлены неблагоприятным влиянием на результаты измерений факторов внешней среды (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, слабой освещенности, запыленности воздуха, магнитных полей и т. д.). Влияние этих погрешностей ослабляется путем введения в результаты измерения поправок.

Личные (субъективные) погрешности являются следствием физиологических особенностей наблюдателя.

Все перечисленные выше источники погрешностей влияют на результаты измерения независимо один от другого, приводя к суммарной погрешности результата измерений.

Погрешности делятся на грубые, систематические и случайные.

Г р у б ы м и погрешностями (промахами) называются погрешности, которые по абсолютной величине существенно превышают ожидаемую при данных условиях погрешность. Эти погрешности являются результатом промахов или просчетов наблюдателя, неисправности прибора, резкого ухудшения внешних условий измерения.

Грубые погрешности обычно легко обнаруживаются при проведении повторных измерений. После обнаружения результатов с грубыми погрешностями они должны быть исключены из дальнейшей обработки.

Составляющая погрешности измерения, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных изме-

рениях, называется систематической погрешностью. Появление этих погрешностей вызвано влиянием односторонне действующих факторов, систематически искажающих результаты измерений (например, отклонение от створа при измерении линий, погрешность компарирования, погрешности нанесения штрихов лимба, наклон рейки при геометрическом нивелировании и т. п.).

Характерным свойством систематических погрешностей является постоянство их знака. Если известен закон изменения систематических погрешностей, то их влияние ослабляется введением поправок и применением специальной методики измерений.

После исключения из рядов измерений грубых и систематических погрешностей, в них остаются погрешности, исключить которые не представляется возможным. Эти погрешности изменяются при повторных измерениях случайным образом по знаку и величине. При увеличении числа измерений до бесконечности среднее из случайных погрешностей стремится к нулю. Опыт показал, что такие погрешности можно рассматривать как случайные математические величины, изучением которых занимается теория вероятностей и математическая статистика.

§ 18. Свойства случайных погрешностей

Изучение рядов измерений, содержащих только случайные погрешности, показывают, что под видом кажущегося отсутствия какой-либо закономерности в них проявляется так называемая статическая закономерность. Чем больше число измерений, тем сильнее эта закономерность проявляется.

Случайные погрешности обладают следующими свойствами:

1. При данных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превосходить известного предела (свойство ограниченности).

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

3. Равновероятно возникновение случайных погрешностей, равных по величине и противоположных по знаку (свойство симметричности).

4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей равнозначных измерений стремится к нулю с увеличением числа измерений (свойство компенсации), т. е. $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{n} = 0$.

Действие случайных погрешностей в соответствии с указанными свойствами отвечает закону нормального распределения (закону Гаусса).

§ 19. Критерии точности измерений

В общем случае, располагая единственным результатом измерения какой-либо величины, нельзя судить о точности этого измерения. Для этого необходимо иметь ряд измерений, полученных в одинаковых условиях. При этом, чем больше будет сделано измерений, тем лучше можно оценить их точность. Чем сильнее результаты изменения одной величины отличаются друг от друга, чем более они «рассеяны» в одном ряду, тем менее точны измерения. Величину рассеяния (дисперсию) можно определить различными способами. Обычно для этого используют или абсолютные значения случайных погрешностей, или их квадраты.

Очевидно, лучшим будет такой критерий, который не зависит от знаков отдельных случайных погрешностей и который обладал бы хорошей чувствительностью к отдельным крупным погрешностям ряда измерений. Этим требованиям удовлетворяет средняя квадратическая погрешность каждого отдельного измерения, которая определяется по формуле Гаусса:

$$\tau = \sqrt{[A^2]}/n, \quad (19)$$

где $[L^2] = D_1^2 + A_2^2 + \dots + L_n^2$ — сумма квадратов истинных случайных погрешностей отдельных измерений; n — число измерений.

Результат измерения тем точнее, чем меньше его средняя квадратическая погрешность. Этот критерий точности достаточно надежно определяется при 10. В общем случае надежность определения средней квадратической погрешности можно оценить по формуле

$$m_m = m/\sqrt{2n}. \quad (20)$$

Средняя квадратическая погрешность может быть вычислена и через поправки V , которые представляют собой разность между средним арифметическим X и результатом отдельного измерения x :

$$= X - x_v$$

где $X = \sum x/n$ — среднее арифметическое данного ряда равнозначных измерений одной и той же величины.

При этом средняя квадратическая погрешность вычисляется по формуле Бесселя:

$$\tau = \sqrt{[a^2]/(n-1)}.$$

Средняя квадратическая погрешность является основным критерием точности измерений, но наряду с ним в практике используются средняя погрешность, вероятная и предельная.

Среднее арифметическое из абсолютных значений случайных погрешностей называется средней погрешностью и вычисляется по формуле

$$\bar{\rho} = [|A|] / n,$$

где $[|A|] = |A_x| + |A_y| + \dots + |A_n|$ — сумма абсолютных величин случайных погрешностей.

Для оценки средней погрешности с помощью поправок используется формула Петерса:

$$\bar{\rho} = [|i|] / I^n (n - 1).$$

Недостатком этой характеристики является слабая ее чувствительность к крупным по абсолютной величине погрешностям в ряду измерений.

Вероятной погрешностью называется такое значение случайной погрешности, по отношению к которому погрешности, большие и меньшие по абсолютной величине, в ряду измерений равновероятны. Эта погрешность ρ находится в середине ряда погрешностей, расположенных в порядке возрастания или убывания их абсолютных величин.

Предельная погрешность — это такое абсолютное значение случайной погрешности, превзойти которое не может ни одна из погрешностей данного ряда измерений. Так, в теории вероятностей доказывается, что случайная погрешность может превышать среднюю квадратическую погрешность m в 32 случаях из 100, $2m$ — в пяти случаях из 100, $3m$ — в трех случаях из 1000. Следовательно, маловероятно, что в однократном измерении будет допущена погрешность, большая утроенной средней квадратической, поэтому в теоретических расчетах предельную погрешность принимают равной $3m$. Для практических целей при маркшейдерских и геодезических работах в качестве предельной используют погрешность, равную $2m$, т. е.

Апред $2m$.

Если полученная на практике погрешность измерения оказалась больше предельной, то ее относят к числу грубых и исключают измерение из дальнейшей обработки.

Рассмотренные выше погрешности называют абсолютными в отличие от относительных, представляющих отношение абсолютных погрешностей к значениям соответствующих измеренных величин.

При оценке точности измеренных углов удобнее пользоваться абсолютной величиной погрешности, а при измерении

длин более наглядна относительная погрешность. Обычно относительную погрешность представляют дробью

$$\frac{m}{M}$$

Например, если говорят, что длина некоторой линии измерена с погрешностью $m=5$ мм, то этого еще недостаточно для суждения о точности измерения, так как такую погрешность можно допустить при измерении длин линий в 1 и 100 м. В каждом из этих случаев реальные погрешности будут разными. Относительная погрешность в первом случае равна $1/200$, а во втором $1/20\ 000$. Следовательно качество измерений во втором случае намного выше.

§ 20. Точность функции измеренных величин

Если искомая величина не может быть измерена непосредственно, то ее вычисляют через доступные для измерения величины, функционально с ней связанные. Погрешность функции будет зависеть от погрешностей аргументов, по которым ее вычисляют. Эта задача называется прямой задачей теории погрешностей измерений. При этом предполагается, что погрешности аргументов независимы.

Рассмотрим эту задачу для функции общего вида. Если дана функция общего вида

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

аргументы $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, которой измерены со средними квадратическими погрешностями $m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}$, то средняя квадратическая погрешность ее вычисляется по формуле

$$m_U = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 m_{x_i}^2} \quad (21)$$

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

Пример. Определить среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического

$$X = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Решение. Поскольку измерения равноточны, то $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$,

Следовательно

$$X = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

По формуле (21) найдем

$$m_x^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n m_i^2$$

или

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i^2}$$

Следовательно средняя квадратическая погрешность арифметической середины точнее средней квадратической погрешности одного измерения в \sqrt{n} раз.

§ 21. Оценка точности результатов неравноточных измерений

В практике измерений встречаются случаи, когда в одном ряду измерений различные результаты получены в различных условиях, т. е. обладают различной степенью надежности. Очевидно, что при определении наиболее надежного значения из ряда таких неравноточных измерений уже нельзя пользоваться средним арифметическим, так как на окончательный результат более точные измерения должны оказывать большее влияние, чем менее точные.

Так как измерения, выполненные в неодинаковых условиях, характеризуются различными средними квадратическими погрешностями, то за характеристику степени доверия к результату измерения логично выбрать величину обратно пропорциональную их средним квадратическим погрешностям. Такая величина называется весом измерения и определяется по формуле

$$P_i = \frac{1}{m_i^2} \quad (22)$$

где $fx^2 = c = \text{const}$ — коэффициент пропорциональности, постоянный для всех измерений, служащий для их сравнения.

Веса — величины относительные, поэтому в одном ряду измерений их можно одновременно увеличивать и уменьшать в любое число раз. Если принять $p = 1$, тогда $c = \tau$. Величину $|i|$, представляющую собой среднюю квадратическую погрешность измерения, вес которого принят за единицу, называют средней квадратической погрешностью единицы веса.

Среднее из ряда неравноточных измерений вычисляют по формуле

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Эту величину называют **весовым средним** или **общей арифметической серединой**.

Средняя квадратическая погрешность единицы веса может быть вычислена по формуле Гаусса

$$[I = d/[pA^2]]/г. \quad (23)$$

Если значения истинных погрешностей A неизвестны, то оценку точности результатов неравноточных измерений выполняют, пользуясь поправками $= X - x, -,$ по формуле Бесселя:

$$M = d/[p\mu^2]/\{n - \}$$

Средняя квадратическая погрешность общей арифметической середины вычисляется по формуле

$$M = \sigma / \sqrt{P} \cdot$$

§ 22. Общие правила вычислительных работ

В процессе вычислений неизбежные исходные погрешности последовательно переходят от операции к операции, накапливаются и порождают новые погрешности. Источником погрешности является также округление, т. е. процесс приближенного представления чисел с помощью конечного количества цифр. Необходимость округления диктуется потребностями вычислений, в которых, как правило, окончательный результат не может быть получен абсолютно точно, поэтому следует избегать бесполезного выписывания лишних цифр, ограничивая все числа нужным числом знаков.

В вычислительной практике принято округлять числа по правилу, предложенному Гауссом. Чтобы округлить число до n значащих цифр, отбрасывают все его цифры, стоящие справа от n -й значащей цифры, при этом:

если первая из отброшенных цифр меньше 5, то оставшиеся десятичные знаки сохраняются без изменения (например, 23,4 «23»);

если первая из отброшенных цифр больше 5, то к последней значащей цифре прибавляется единица (например, 23,7 — 24»);

если первая из отброшенных цифр равна 5 и среди остальных отброшенных цифр имеются ненулевые, то последняя оставшаяся цифра увеличивается на единицу (например, 23,51 «24»);

если первая из отброшенных цифр равна 5, и все остальные отброшенные цифры являются нулевыми, то последняя оставшаяся цифра остается неизменной, если она четная; и увели-

чивается на единицу, если она нечетная (например, $22,50^{22}$; $23,50^{24}$).

Таким образом, если в округленном числе n десятичных знаков, то предельная погрешность округления будет равна

$$a = \pm 0,5 \cdot 10^{-n}.$$

Средняя квадратическая погрешность округления в $1/3$ раз меньше предельной, т. е.

$$m = a/d/3.$$

При проведении вычислений рекомендуется пользоваться следующими правилами:

1. При сложении и вычитании младший сохраненный десятичный разряд результата должен быть наибольшим среди десятичных разрядов, выражаемых последними верными значащими цифрами исходных данных.

2. При умножении и делении в значении результата следует оставлять столько значащих цифр, сколько их имеет приближенное, т. е. полученное с наименьшим числом верных значащих цифр значение.

3. При возведении в квадрат или куб в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько верных значащих цифр имеет основание степени.

4. При извлечении квадратного и кубического корней в результате следует оставлять столько значащих цифр, сколько верных цифр имеет подкоренное число.

5. В промежуточных результатах следует сохранять на одну цифру больше, чем рекомендуют предыдущие правила. В окончательном результате запасная цифра отбрасывается.

6. При вычислениях с помощью таблиц логарифмов следует подсчитать число верных значащих цифр в приближенном числе, имеющем наименьшее число верных значащих цифр, и пользоваться таблицей логарифмов с числом десятичных знаков на единицу больше. В окончательном результате последняя значащая цифра отбрасывается.

7. Для получения результата с k верными цифрами исходные данные следует брать с таким числом цифр, которые согласно предыдущим правилам обеспечивают $k + 1$ верную цифру в результате.

Если некоторые исходные данные имеют излишние младшие десятичные разряды (при сложении и вычитании) или больше значащих цифр, чем другие (при умножении, делении, возведении в степень, извлечении корня), то их предварительно нужно округлить, сохраняя одну запасную цифру.

ГЛАВА 4

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОСТРОЕНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

§ 23. Принципы организации, классификация и методы создания геодезических сетей

Составление топографических карт на огромную территорию СССР невозможно без создания единой сети геодезических пунктов, плановое и высотное положение которых нужно определить с высокой точностью. Эти пункты должны быть надежно закреплены на местности на возможно более длительное время. Совокупность таких геодезических пунктов называется геодезической сетью.

Геодезические сети в СССР подразделяются на государственную геодезическую сеть (ГГС), геодезические сети сгущения (ГСС) и съемочные геодезические сети (СГС). Все сети строят по принципу перехода «от общего к частному». Это означает, что вначале на территории страны создают сравнительно редкую сеть пунктов, координаты и высоты которых определяют с наивысшей точностью. Затем эта сеть сгущается в несколько ступеней. На каждой последующей ступени определение координат и высот пунктов производится на основе пунктов высшей ступени и с меньшей точностью, чем для пунктов предыдущей ступени.

Создание ГГС является самостоятельным видом капитальных геодезических работ по всей территории страны. Пункты ГГС являются исходными для построения ГСС, на основе которых затем непосредственно перед составлением карт и планов создают СГС на сравнительно небольших по площади участках местности, подлежащих картографированию.

Плановое положение пунктов геодезических сетей определяют в общегосударственной системе координат, а высоты — в общегосударственной Балтийской системе высот. Пункты сети могут быть только плановыми или только высотными, или одновременно и плановыми и высотными (планово-высотными).

Плановые геодезические сети строят в СССР методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии, а также различными их сочетаниями.

Метод триангуляции состоит в том, что на местности строят ряды или сети смежных треугольников. В каждом треугольнике измеряют все горизонтальные углы, а в начале и конце сети определяют длины, как минимум, двух сторон (базисные стороны или базисы). По измеренным углам и одной из сторон последовательно определяют длины всех

сторон треугольников. Затем по полученным сторонам и измеренным горизонтальным углам последовательно вычисляют плановые координаты всех пунктов сети.

Метод триангуляции до последнего времени был наиболее точным и производительным методом построения геодезических сетей. Объяснялось это тем, что угловые измерения были менее трудоемким делом, чем измерение больших расстояний. В СССР государственная плановая сеть построена в основном методом триангуляции. В последние годы были разработаны методы высокоточных измерений больших расстояний при помощи свето- и радиодальномеров.

Метод трилатерации отличается от триангуляции тем, что в треугольниках измеряют не углы, а стороны.

Метод полигонометрии сводится к построению на местности ломаных линий (ходов), в которых измеряют расстояния между смежными пунктами хода, а также все горизонтальные углы. С появлением надежных и производительных средств измерения расстояний метод полигонометрии стал находить все более широкое применение на практике.

Государственная плановая геодезическая сеть делится на сети 1, 2, 3 и 4 классов, которые различаются между собой точностью измерения углов и линий, размерами треугольников, длинами ходов и очередностью их построения.

Плановая ГГС 1 класса строится в виде рядов треугольников протяженностью 200—250 км, расположенных приблизительно вдоль меридианов и параллелей и образующих замкнутые полигоны периметром до 1000 км. В местах пересечения рядов треугольников измеряются длины отдельных базисных сторон. Длины сторон треугольников триангуляции 1 класса составляют 20—25 км. Углы в треугольниках и расстояния измеряют с наивысшей точностью. Вместо рядов треугольников могут быть построены ходы полигонометрии 1 класса.

ГГС 2 класса строится внутри полигонов 1 класса в виде сплошной сети смежных треугольников или в виде пересекающихся ходов полигонометрии. Длины сторон в треугольниках 2 класса находятся в пределах 7—20 км.

В последующем производится дальнейшее сгущение ГГС пунктами триангуляции, трилатерации или полигонометрии 3 и 4 классов. Длины сторон треугольников составляют 5—8 км для триангуляции 3 класса и 2—5 км — для 4 класса.

Точность угловых и линейных измерений в ГГС установлена такой, чтобы при построении сети низшего класса можно было бы учитывать погрешности пунктов высшего класса, где считать их практически абсолютно точными.

Такая схема построения ГГС, принятая в СССР, обеспечивает обширные пространства нашей территории надежной сетью исходных геодезических пунктов.

Дальнейшее сгущение сети геодезических пунктов ведется развитием геодезических сетей сгущения, состоящих из пунктов триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов. ГСС строится на основе пунктов ГГС и служит обоснованием для составления карт и планов различных масштабов. Стороны треугольников в триангуляции 1 разряда равны 2—5 км, в триангуляции 2 разряда 0,5—3,0 км. Длины ходов полигонометрии 1 разряда должны быть не более 5 км, а полигонометрии 2 разряда — не более 4 км.

Государственная высотная геодезическая сеть создается методом геометрического нивелирования и подразделяется на государственные нивелирные сети I, II, III и IV классов. Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой страны. С их помощью устанавливается единая система высот на всей территории СССР.

Нивелирные ходы I класса связывают уровни всех морей и океанов, омывающих нашу страну. Измерения по линиям хода выполняют с наивысшей точностью. Нивелирные ходы

II класса начинаются и заканчиваются на пунктах нивелирования I класса. Они прокладываются в виде замкнутых полигонов длиной до 600 км. Системы нивелирных ходов III класса опираются на пункты I и II классов, образуя замкнутые полигоны длиной 150—200 км, при этом каждый полигон II класса делится ходами III класса на 6—9 частей. Последующее сгущение осуществляется прокладыванием нивелирных ходов IV класса, опирающихся своими концами на нивелирные пункты высших классов.

Непосредственной основой для составления карт и планов служат съемочные геодезические сети или сети съемочного обоснования, развиваемые на основе пунктов геодезических сетей сгущения и государственной геодезической сети. Густота пунктов съемочного обоснования определяется инструкциями по топографическим съемкам соответствующих масштабов.

К ним относятся и маркшейдерские опорные геодезические сети, которые создаются на территории горнодобывающего предприятия. Их задачей является обеспечение всего комплекса геодезических и маркшейдерских работ, которые проводятся при освоении и эксплуатации месторождения.

Съемочные сети создаются на местности в виде теодолитных, тахеометрических, мензульных ходов и их комбинациями, построением треугольников и различных видов геодезических засечек. Высоты пунктов определяют методами геометрического и тригонометрического нивелирования.

Съемочные сети для маркшейдерского обеспечения деятельности горных предприятий создаются силами работников маркшейдерской службы самих горных предприятий.

Технология и точность производства работ по созданию геодезических сетей на территории СССР определяются соответствующими инструкциями, обязательными для всех министерств и ведомств, ведущих геодезические работы в нашей стране.

§ 24. Закрепление пунктов геодезических сетей на местности.

Центры и знаки геодезических пунктов

Все пункты геодезических сетей закрепляются на местности центрами, конструкции которых определены соответствующими инструкциями и различаются в зависимости от классности пунктов и физико-географических и климатических условий местности. Конструкции центров должны обеспечивать сохранность пунктов на длительное время.

Центры пунктов ГГС представляют собой сложные сооружения из бетонных пилонов с якорями в нижней части или бетонных свай, закапываемых в землю на значительную глубину, обязательно ниже зоны сезонного промерзания грунта. Верхние части центров с закрепленными в них металлическими марками должны располагаться на уровне земли. Пункты геодезических сетей сгущения также закрепляются на местности долговременными центрами, но по конструкции они несколько проще, чем центры пунктов ГГС. Пункты сетей съемочного обоснования закрепляют, в зависимости от сроков их использования, постоянными или временными центрами. В качестве центров могут быть использованы деревянные колья, столбы, обрезки рельс, металлических труб или арматуры и т. п.

Пункты высотных сетей в зависимости от класса нивелирования и условий местности закрепляют долговременными грунтовыми реперами, скальными или стенными марками. Грунтовые реперы закладываются в рыхлых породах, скальные марки бетонируются в скальных породах. Стенные марки заделываются в фундаментах капитальных зданий, опорах мостов и т. д.

В качестве наружных знаков над центрами пунктов плановой сети на поверхности земли устанавливают специальные сооружения в виде деревянных или металлических пирамид (рис. 21, а) или более сложных и высоких сигналов (рис. 21, б). Верхняя часть пирамиды или сигнала представляет собой цилиндр 1 специальной конструкции, служащий визирной целью при наблюдении с других пунктов. Высоту пирамиды или сигнала рассчитывают так, чтобы визирный цилиндр был виден со всех смежных пунктов. У сигналов в верхней части под визирным цилиндром оборудуют столбик 2 для установки на нем геодезического прибора. Визирный цилиндр и центр пункта должны располагаться на одной отвесной линии. Несоблюдение этого условия называется р е д у к ц и е й визир-

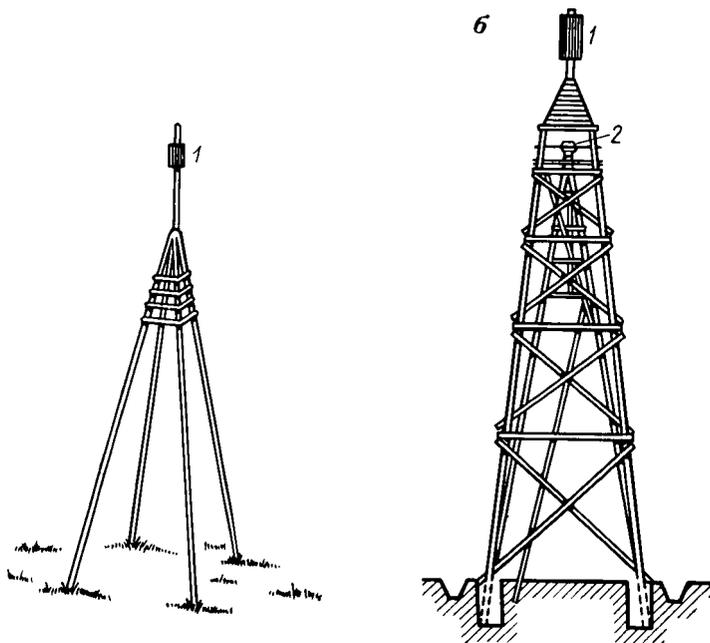


Рис. 21. Наружные знаки геодезических пунктов:

а — пирамида; б — сигнал; 1 — визирный цилиндр; 2 — столик для установки прибора

ной цели и специально измеряется. Если ось вращения геодезического прибора, установленного на столике сигнала или на штативе под пирамидой, и центр пункта не расположены на одной вертикали, то это вызывает погрешность центрирования (центрировки), которую специально определяют.

Заложенные центры и наружные знаки пунктов ГГС охраняются государством.

§ 25. Виды топографических съемок

Съемкой называется комплекс измерений, выполняемых с целью составления плана, карты или профиля заданного участка местности. В зависимости от характера получаемых данных о местности выделяют: горизонтальную, вертикальную и топографическую съемки.

Горизонтальной (плановой) съемкой называют такую съемку, в результате которой получают контурный план участка местности. На таком плане положение элементов местности по высоте не отображается.

Вертикальная (высотная) съемка имеет целью определение положения точек местности по высоте относи-

тельно уровенной поверхности или относительно друг друга. Такой вид съемки называется нивелированием.

Топографическая съемка является сочетанием горизонтальной и вертикальной съемок. В результате этой съемки получают топографический план или карту, на которых положение точек земной поверхности одновременно отмечается как в плане, так и по высоте.

Задачей всякой съемки является определение взаимного положения объектов (ситуации) земной поверхности и рельефа, изображение их на планах, картах или в виде профилей на бумаге.

В комплекс работ по съемке местности входят следующие основные процессы: развитие на заданном участке местности съемочной геодезической сети; съемка ситуации и рельефа; вычислительная обработка результатов измерений, целью которой является получение координат и высот точек съемочной сети с оценкой точности их определения; графические работы, в процессе которых результаты измерений на местности и результаты вычислений переводятся на бумагу в виде планов, карт, профилей и других графических документов.

Первые два из перечисленных процессов составляют полевые работы, т. е. выполняемые непосредственно в полевых условиях, на местности. Вычислительные и графические работы выполняются вне объекта съемки, в кабинетах и лабораториях и называются камеральными работами.

Полевые работы производят по принципу от общего к частному. Это означает, что на участке съемки вначале определяют положение ограниченного числа точек съемочной сети, а затем на основании этих точек выполняют съемку ситуации и рельефа. Все полевые и камеральные работы при съемке должны быть организованы так, чтобы на каждом этапе работ был обеспечен надежный контроль предыдущих результатов.

В зависимости от применяемых методов и приборов различают несколько видов съемок.

Теодолитная съемка выполняется угломерным прибором— теодолитом и мерной лентой (или рулеткой) с целью получения контурного плана местности. Следовательно, теодолитная съемка является горизонтальной.

Тахеометрическая съемка относится к топографическим. Она производится теодолитом и дальномерами. Топографический план участка местности с изображением ситуации и рельефа составляется по результатам полевых измерений полностью в камеральных условиях.

Мензульная топографическая съемка выполняется при помощи мензулы и кипрегеля — приборов, позволяющих непосредственно в полевых условиях составить топографический план.

Наземная фототопографическая съемка производится с помощью фототеодолита — фотокамеры, соединенной с теодолитом. Топографический план или карту получают в камеральных условиях путем специальных измерений наземных фотоснимков местности.

Воздушная фототопографическая съемка — это в настоящее время основной вид съемки для составления топографических карт на большие территории. Местность фотографируется с самолета специальным аэрофотоаппаратом. Карты создают в камеральных условиях по результатам измерений аэрофотоснимков.

Упрощенные съемки пониженной точности применяют в отдельных случаях для получения в самый короткий срок планов небольших участков местности. Различают глазомерную съемку, буссольную и др.

Нивелирование (вертикальная съемка) осуществляется при помощи нивелира — прибора для определения превышений точек местности.

ГЛАВА 5

УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 26. Понятие о горизонтальных и вертикальных углах

Говоря об измерении углов на местности, имеют в виду горизонтальные и вертикальные углы. Рассмотрим три точки местности Л, О и Б (рис. 22), расположенные на разных высотах над горизонтальной плоскостью H .

Требуется измерить горизонтальную проекцию угла AOB на эту плоскость.

Проведем через стороны угла AO и OB отвесные плоскости O и l , пересекающие плоскость H по направлениям oa и ob . Угол aoB в плоскости H и будет горизонтальным углом ρ , который требуется измерить.

Расположим горизонтально угломерный круг K' так, чтобы его центр o' разместился на отвесной линии, проходящей через вершину угла AOB . Отвесные плоскости O и пересекут угломерный круг по радиусам $o'a'$ и $o'b'$, а образованный между ними угол и будет равен углу ρ . Его величина (см. рис. 22) будет равна разности двух отсчетов по кругу K' , взятых в точках B' и a' , т. е.

$$\rho = B'^{\wedge}a'. \quad (24)$$

Чтобы измерить вертикальные углы или углы наклона ли-

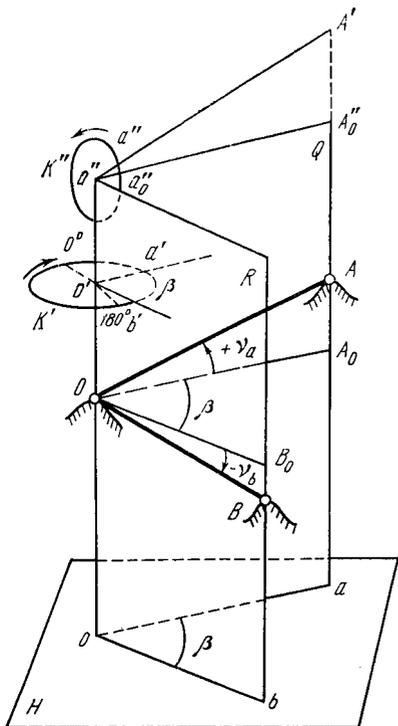


Рис. 22. Принципиальная схема измерения горизонтальных и вертикальных углов

по таким же правилам круг K'' с отвесными проектирующими плоскостями, проходящими через другие линии местности, можно аналогичным образом измерить углы наклона этих линий.

Таким образом, для измерения горизонтальных и вертикальных углов нужно иметь такой прибор, который имел бы один горизонтальный, а другой вертикальный угломерные круги и отсчетные устройства при этих кругах. Прибор должен иметь устройства, позволяющие с достаточной точностью устанавливать горизонтальный круг горизонтально, а вертикальный — вертикально. Необходимо также устройство, при помощи которого можно последовательно совмещать вертикальный круг в отвесных плоскостях 0 и Y , проходящих через стороны заданных линий местности.

Всем перечисленным требованиям полностью удовлетворяет геодезический угломерный прибор, который называется тео-

ний местности OA и OB , нужно через точку O в отвесных плоскостях 0 и провести горизонтальные линии Oa_0 и Ob_0 . Если точка A выше точки O , то угол наклона α_a линии OA будет положительным, а если точка B ниже точки O , то угол наклона α_b линии OB будет отрицательным. В обоих случаях вертикальные углы отсчитываются от горизонтальных линий Oa_0 и Ob_0 до линий местности OA и OB .

Вертикальный угол, например, α_a можно измерить, если расположить угломерный круг K'' в вертикальной плоскости 0 и совместить его центр o'' с отвесной линией Oo , а нулевой радиус круга $o''a_0''$ совместить с горизонтальной линией $o''l_0''$. Вертикальный угол α_a с помощью круга K'' можно получить как разность двух отсчетов по кругу в точках a'' и a_0'' , т. е.

$$\alpha_a = a'' - a_0'', \quad (25)$$

где a'' — отсчет по радиусу $o''a''$, параллельному линии местности OA . Последовательно совмещая

долитом. Он является наиболее точным и распространенным прибором для измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности.

§ 27. Реализация принципа угловых измерений в теодолите

Основными частями теодолита (рис. 23) являются: горизонтальный круг (лимб) 1; отсчетное устройство лимба, расположенное на алидаде 10\ вертикальный лимб 3 и зрительная труба 6, поддерживаемая вертикальными стойками 2\ алидада 4 вертикального круга; цилиндрический уровень 7 горизонтального круга; три подъемных винта 8, связанные с подставкой прибора 9; второй цилиндрический уровень 5 на алидаде вертикального круга.

Несмотря на то, что с момента изобретения первого теодолита еще в XVII в. прошло уже много лет и было выпущено много типов теодолитов, все они имеют одинаковые геометрические элементы — оси и плоскости, обеспечивающие решение задачи измерения горизонтальных и вертикальных углов. Такими геометрическими элементами являются: ось вращения TT теодолита, вокруг которой вращаются лимб и алидада горизонтального круга; HH — ось вращения зрительной трубы; $УУ$ — визирная ось зрительной трубы, которая при вращении зрительной трубы вокруг оси HH описывает коллимационную плоскость; 0_1u_1 — ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга; 11_2u_2 — ось цилиндрического уровня на алидаде вертикального круга.

Цилиндрический уровень представляет собой герметическую стеклянную ампулу, почти полностью заполненную легко подвижной жидкостью. На всей верхней поверхности ампулы нанесены двухмиллиметровые деления. Незаполненная жидкостью часть ампулы уровня образует пузырек уровня, который всегда стремится занять самое верхнее положение в ампуле, так как он легче самой жидкости. Осью $ШШ$ цилиндрического уровня называют касательную к внутренней поверхности ампулы уровня в средней ее части — нуль-пункте (средней части шкалы). Если концы пузырька симметричны относительно нуль-пункта, то говорят, что пузырек приведен в нуль-пункт и ось Ou уровня заняла горизонтальное положение.

Зрительная труба теодолита представляет собой оптическую систему, состоящую из объектива, фокусирующего устройства, окуляра и сетки нитей. Фокусирующее устройство, состоящее из одной или нескольких линз, может перемещаться внутри трубы относительно объектива и окуляра, тем самым

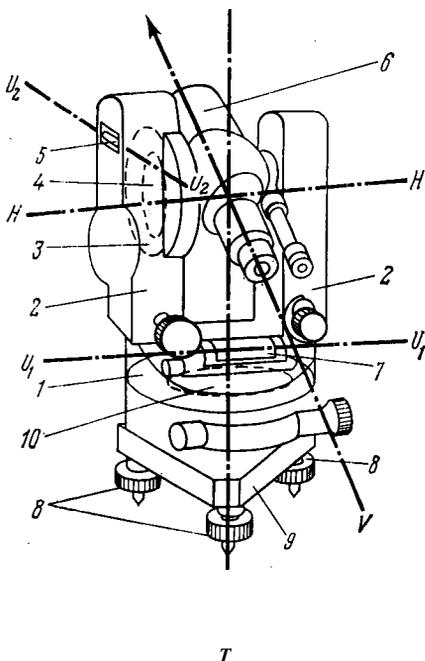
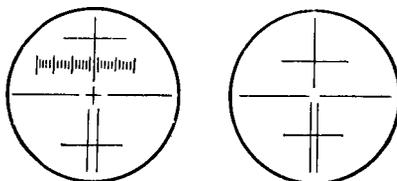


Рис. 24. Схемы сеток нитей теодолита



обеспечивая резкость изображения при рассматривании визирных целей на различных расстояниях.

Сетка нитей (рис. 24) представляет собой плоскую стеклянную пластинку, на которой награвированы тонкие линии в виде сетки. Центральная часть (перекрестие) сетки нитей служит для наведения — визирования — зрительной трубы на выбранную точку местности. Визирной осью UU_1 зрительной трубы (см. рис. 23) называется воображаемая линия, соединяющая оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей.

Горизонтальный и вертикальный лимбы современных теодолитов представляют собой круги, изготовленные из прозрачного оптического стекла. На лимбах нанесены равномерные круговые шкалы, оцифрованные в градусной мере. Алидады горизонтального и вертикального кругов снабжены отсчетными устройствами, обеспечивающими взятие отсчетов по лимбам с определенной точностью.

Все современные типы теодолитов имеют перечисленные выше основные части, отличающиеся лишь конструктивно в зависимости от точности прибора и его назначения для выполнения определенных видов геодезических работ. Выпускаемые в СССР типы теодолитов, их основные параметры и конструктивные особенности строго регламентируются действующими

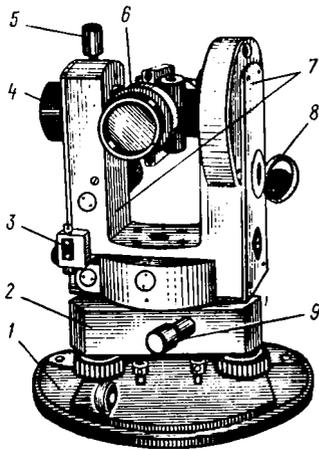


Рис. 25. Теодолит ТЗО:

1 — основание прибора; 2—подставка прибора с тремя подъемными винтами; 3 — цилиндрический уровень; 4 — фокусирующая кремальера; 5 — закрепительный винт зрительной трубы; 6 — объектив зрительной трубы; 7 — стойки алидадной части теодолита; 8 — иллюминатор с поворотным зеркалом для освещения отсчетной системы; 9 — наводящий винт лимба горизонтального круга

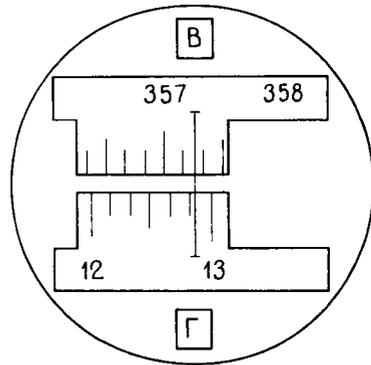


Рис. 26. Схема штрихового микроскопа теодолита ТЗО

в нашей стране государственными стандартами (ГОСТами).

Согласно действующему ГОСТу 10529—86 в СССР выпускаются теодолиты пяти типов: Т1, Т2, Т5, Т15 и ТЗО. Принципиальная геометрическая схема осей всех теодолитов одинакова и они имеют все перечисленные выше основные части. Различаются они по точности измерения горизонтальных и вертикальных углов и конструктивными особенностями отдельных частей. Цифры в обозначениях типов теодолитов указывают на погрешность, с которой можно измерять углы, выраженную в угловых секундах. Например, погрешность измерения углов теодолитом ТЗО составляет 30". Теодолит ТЗО наиболее широко используется для производства геодезических и маркшейдерских работ на поверхности и в подземных горных выработках. Поэтому, говоря о теодолитах, в дальнейшем будем иметь в виду именно этот теодолит, общий вид которого представлен на рис. 25.

Основные преимущества теодолита ТЗО — малые размеры и вес, простейший способ отсчитывания по угломерным кругам при помощи штрихового микроскопа (рис. 26), простота конструкции, надежность в работе. Отсчитывание по угломерным кругам производится с оценкой долей деления кругов по неподвижному индексу на глаз. В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, помеченной буквой В, дается изображение штрихов вертикального круга; в нижней части, поме-

ценной буквой Г — штрихи горизонтального круга. Наименьшее деление лимбов составляет $10'$, отсчеты берутся с точностью до Г. На рис. 27 отсчет по горизонтальному кругу равен $12^\circ 52'$, по вертикальному $357^\circ 16'$.

§ 28. Поверки и юстировки теодолита

Независимо от типа теодолита взаимное расположение его частей должно удовлетворять ряду геометрических условий. Соблюдение их устанавливают, выполняя определенные действия, которые называют поверками. Если обнаруживают, что какое-то из геометрических условий не соблюдено, то производят юстировку (регулировку) прибора.

В каждом теодолите необходимо проверить соблюдение следующих геометрических условий.

1. *Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита* ($\mathcal{E}/, \mathcal{E}/, -1-7T$ — см. рис. 23).

Выполнение этого условия необходимо для того, чтобы при помощи уровня 7 можно было привести ось вращения TT теодолита в отвесное положение, что требуется при измерении углов.

Вначале допустим, что рассматриваемое условие выполнено и приведем ось вращения TT прибора в отвесное положение. Для этого вращением алидадной части теодолита установим уровень 7 так, чтобы его продольная ось была приблизительно параллельна прямой, соединяющей оси каких-либо двух подъемных винтов подставки теодолита. Вращая эти подъемные винты одновременно и в разные стороны, приведем пузырек уровня в нуль-пункт. При этом ось уровня займет горизонтальное положение. Далее повернем алидаду на 90° , чтобы уровень установился в направлении третьего подъемного винта. Вращая только этот винт, приведем пузырек уровня в нуль-пункт. Если представленное ранее геометрическое условие ($u \perp TT$) было выполнено, то после перечисленных действий ось вращения TT теодолита займет отвесное положение, а пузырек уровня по любому направлению относительно подъемных винтов будет неизменно находиться в нуль-пункте. Процесс приведения оси вращения прибора в отвесное положение называется горизонтированием теодолита.

Если условие $u \perp TT$ не выполнено, то горизонтирование теодолита добиться вышеописанным способом нельзя и нужно выполнить поверку. Осуществляют ее следующим образом. Выполнив приближенное горизонтирование теодолита, как описано выше, вновь устанавливают уровень по направлению каких-либо двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачи-

вают алидаду уже на 180° и смотрят, на какую величину относительно нуля-пункта сместился пузырек. Если это смещение не превышает 0,5 деления ампулы, то считают, что условие выполнено. В противном случае требуется юстировка уровня.

Для этого вращают специальные юстировочные винты, имеющиеся на уровне, смещая пузырек в направлении нуля-пункта на половину дуги отклонения.

Затем вновь выполняют горизонтирование теодолита при помощи отъюстированного уровня. В результате при любом положении алидады пузырек не должен смещаться относительно нуля-пункта более, чем на половину деления. Если смещение пузырька по-прежнему больше, то поверку и юстировку уровня повторяют.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита ($УУ \perp НН$, см. рис. 23).

Соблюдение этого условия необходимо для получения отвесной проектирующей (коллимационной) плоскости, которая образуется при вращении визирной оси $УУ$ зрительной трубы вокруг горизонтальной оси $НН$ теодолита.

Зрительная труба теодолита может быть наведена на визирную цель двояко: при положении вертикального круга слева от наблюдателя, находящегося у окуляра зрительной трубы (сокращенно «круг лево», или КЛ), и справа от него («круг право», или КП).

Поверку выполняют следующим образом. Наводят зрительную трубу на удаленную, четко видимую точку, находящуюся примерно на уровне теодолита, при двух положениях трубы — КЛ и КП и берут отсчеты по лимбу u_1 и u_2 . Берут разность этих отсчетов и по формуле

$$i = |u_2 - u_1| \pm 180^\circ = 2c \quad (26)$$

вычисляют так называемую двойную коллимационную погрешность $2c$. Если она не превышает двойной точности отсчитывания по лимбу (для теодолита ТЗО—2'), то считают, что коллимационная погрешность невелика, требуемое геометрическое условие выполнено и юстировки не требуется.

В противном случае определяют одинарную коллимационную погрешность c по формуле (26), а затем вычисляют исправленный отсчет $V_1 = u_1 - c$ или $u_2 = u_1' + c$.

Поворотом алидады вокруг оси вращения $ГГ$ устанавливают на лимбе вычисленный отсчет (при КЛ) или u_2 (при КП). Взглянув в зрительную трубу, убеждаются, что перекрестие сетки нитей сместилось с наблюдавшейся точки. Действуя горизонтальными исправительными винтами, имеющимися у сетки нитей, смещают ее по горизонтали так, чтобы перекрестие сетки

совпало с изображением наблюдаемой точки. Затем поверку коллимационной погрешности повторяют.

Пример. Отсчеты на одну и ту же точку составили: при КЛ $i/=-117^{\circ}32'$, при КП $u_2/=297^{\circ}38'$. Двойная коллимационная погрешность $2c=117^{\circ}32' - 297^{\circ}38'+180^{\circ} = -6'$, откуда $c=-3'$. Вычисляем исправленные отсчеты $\alpha_1 = 117^{\circ}32' + 3' = 117^{\circ}35'$; $\alpha_2 = 297^{\circ}38' - 3' = 297^{\circ}35'$.

3. *Горизонтальная ось теодолита должна быть перпендикулярна к вертикальной оси (НН ± ТТ, см. рис. 23).* Необходимость соблюдения этого условия возникает в связи с тем, что коллимационная плоскость, проходящая последовательно через стороны измеряемого угла, должна занимать отвесное положение.

Поверку выполняют, визируя на длинную нить отвеса, подвешенную на расстоянии 10—20 м от теодолита. Наводят перекрестие сетки нитей на верхнюю точку отвеса и затем плавно опускают зрительную трубу до горизонтального ее положения. Перекрестие не должно смещаться относительно изображения отвеса.

В современных теодолитах юстировка этого условия не предусмотрена, так как его соблюдение гарантирует предприятие-изготовитель. Тем не менее эта поверка должна быть произведена, особенно если работать с теодолитом предполагается при больших углах наклона линий местности.

4. *Один из штрихов сетки нитей должен находиться в коллимационной плоскости.* Иначе говоря, один из штрихов сетки должен быть параллелен, а другой—перпендикулярен к горизонтальной оси НН теодолита.

Соблюдение этого условия необязательно для измерения углов, но оно является необходимым для удобства работы с прибором при визировании на высокие отвесные объекты. Необходимо соблюдение этого условия и при измерении расстояний на местности при помощи нитяного дальномера.

Поверку выполняют следующим образом. Тщательно горизонтируют теодолит. Наводят вертикальный штрих сетки нитей на отвес, который подвешивают в 10—20 м от теодолита. Если изображение отвеса совпадает со штрихом сетки, то условие выполнено. При невыполнении условия сетку нитей вместе с окулярной частью зрительной трубы поворачивают вокруг визирной оси.

Для этого ослабляют винты, скрепляющие окулярную часть с ее корпусом и поворачивают всю окулярную часть в нужном направлении до совмещения вертикального штриха сетки с изображением нити отвеса.

Необходимо иметь в виду, что поверки теодолита следует выполнять именно в той последовательности, в которой они описаны. Такой порядок обусловлен тем, что он не искажает результаты предыдущих поверок последующими.

Проверки первых двух условий необходимо производить ежедневно, а остальные не реже одного раза в месяц. В обязательном порядке все проверки должны быть проведены после длительной транспортировки теодолита непосредственно перед началом полевых работ.

§ 29. Измерение горизонтального угла

Пусть требуется измерить горизонтальный угол между двумя направлениями AO и OB (рис. 27). Вершина угла — точка O . Заранее знают какой угол необходимо измерить — левый или правый по ходу. Для направления от точки A к точке B (показано на рисунке стрелками) левым по ходу углом является угол p , а правым — X , получаемый как дополнение до 360° ($A, = 360^\circ - p$).

Вначале устанавливают теодолит в вершине O измеряемого угла так, чтобы его вертикальная ось была отвесна и проходила через точку O . Установка теодолита состоит из двух операций — центрирования и горизонтирования, которые проводят одновременно.

Центрирование выполняют при помощи нитяного отвеса (или оптического центрира), подвешенного к верхней части штатива, на который укрепляется теодолит. Перемещая штатив относительно пункта на земле, вначале приблизительно центрируют теодолит по отвесу. Затем по уровню приводят ось вращения прибора в отвесное положение и уточняют центрирование. Далее порядок действий повторяют и в конце концов приводят теодолит в рабочее положение на станции — в точке установки прибора.

Существует ряд способов измерений горизонтальных углов теодолитом. Рассмотрим наиболее простой и широко распространенный способ приемов (способ измерения отдельного угла).

Одновременно с приведением теодолита в рабочее положение в вершине угла O на точках A к B устанавливают визирные цели (вехи, колья, марки т. п.). Прием измерения угла состоит из двух независимых полуприемов, выполняемых при КЛ и КП. Рассмотрим измерение левого по ходу угла p (см. рис. 27). Закрепляют неподвижно лимб теодолита, прикрепляют алидаду и наводят зри-

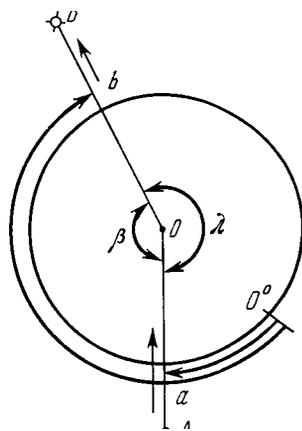


Рис. 27. Схема измерения горизонтальных углов способом приемов

Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов

Дата: 4.07.86 г.

Теодолит ТЗО Наблюдатель: *Захаров М. К.*

Видимость: *хорошая* № 243 071

Записывал: *Михалев В. И.*

Номер приема	Точка стояния	Визируемая точка	КЛ КП	Отсчет по горизонтальному кругу	Значение угла из полуприема	Среднее значение угла из приема	Окончательное значение угла
1	2	3	4	5	6	7	8
1	О	А	кл	0°04' (1)	172°44' (3)	172°44,5' (7)	172°45,2' (15)
		В		172 48 (2)			
		А	КП	180 05 (4)	172 45 (6)		
		В		352 50 (5)			
2	О	А	кл	90 08 (8)	172 45 (10)	172 46,0 (14)	
		В		262 53 (9)			
		А	кп	270 10 (11)	172 47 (13)		
		В		82 57 (12)			

тельную трубу при КЛ на заднюю точку. Берут отсчет (1) и записывают его в полевой журнал (табл. 3). Затем открепляют алидаду, наводят зрительную трубу при том же круге КЛ на переднюю точку **В** и берут отсчет (2). Вычисляют значение (3) левого по ходу угла из полуприема при КЛ по правилу «отсчет на переднюю точку минус отсчет на заднюю», т. е. по формуле (2) — (1) = (3) = $r_{кл}$. На этом первый полуприем заканчивают.

Приступают к выполнению второго полуприема при КП. Зрительную трубу поворачивают вокруг горизонтальной оси вращения, меняя местами окуляр и объектив. Такое действие носит название перевода трубы через зенит. Открепляют алидаду и при неподвижном лимбе последовательно визируют при КП на заднюю точку **А** и переднюю точку **В**. Взятые отсчеты (4) и (5) заносят в журнал измерений и вычисляют значение угла из второго полуприема при КП: (5) — (4) = (6) = $R_{кп}$.

Если расхождение значений $p_{кл}$ и $p_{кп}$ из полуприемов не превышает двойной точности отсчетного устройства (для теодолита ТЗО — 2'), вычисляют значение угла из полного приема как среднее арифметическое:

$$P = (P_{кл} + P_{кп})/2.$$

Пример записи и обработки результатов измерения левого по ходу угла двумя полными приемами приведен в табл. 3. Цифры в круглых скобках означают порядок отсчитывания и вычислений на станции. Если необходимо измерить угол n приемами, то при переходе к следующему приему лимб переставляют на величину $180^\circ/n$ и все действия в приеме повторяют. За окончательное значение угла принимают среднее арифметическое из результатов в отдельных приемах — позиция (15).

Если требуется получить правый по ходу угол X , то его вычисляют по правилу «отсчет на заднюю точку минус отсчет на переднюю», т. е. угол X вычисляют как разность отсчетов (1) — (2), (4) — (5), (8) — (9), (10) — (12).

Для защиты теодолита во время измерений от прямых лучей солнца или от атмосферных осадков применяют топографический зонт.

§ 30. Измерение вертикального угла

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов. Началом счета этих углов является горизонтальная линия, проходящая через центр вертикального круга (горизонтальный диаметр).

Лимб вертикального круга теодолита наглухо скреплен со зрительной трубой и расположен так, что его центр лежит на горизонтальной оси **НИ** теодолита (см. рис. 23). Нулевой диаметр лимба ($0—180^\circ$) должен быть параллелен визирной оси трубы. Алидада вертикального круга несет на себе отсчетное устройство, причем нулевой диаметр его должен быть горизонтален. Если это требование не выполнено, то при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы отсчет по вертикальному кругу будет отличен от нуля. Такой отсчет называется местом нуля вертикального круга (МО).

Измерение вертикального угла теодолитом сводится к отсчитыванию по вертикальному кругу при визировании на наблюдаемую точку при КЛ и К.П. Для вычисления угла наклона у вначале определяют значение МО по формуле (для теодолита ТЗО)

$$M_0 = (KЛ + КП + 180^\circ)/2, \tag{27}$$

а затем вычисляют угол наклона по формулам:

$$r = \text{КЛ} - \text{МО}; \quad (28)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} - 180^\circ; \quad (29)$$

$$r = (\text{КЛ} - \text{КП} - 180^\circ)/2. \quad (30)$$

К отсчетам по вертикальному кругу и МО, меньшим 90° , при вычислениях прибавляют 360° .

Пример 1. КЛ = $8^\circ 33'$; КП = $171^\circ 3\text{Г}$. $\text{МО} = [(8^\circ 33' + 360^\circ) + 17^\circ 3\text{Г} + 180^\circ]/2 = 720^\circ 0472 = 360^\circ 02'$, или $\text{МО} = 0^\circ 02'$ после вычитания 360° .

$$V = 8^\circ 33' - 0^\circ 02' = + 8^\circ 3\text{Г};$$

$$V = (0^\circ 02' + 360^\circ) - 17^\circ 3\text{Г} - 180^\circ = + 8^\circ 3\text{Г};$$

$$V = [(8^\circ 33' + 360^\circ) - 17^\circ 3\text{Г} - 180^\circ]/2 = 17^\circ 0272 = + 8^\circ 31'.$$

Пример 2. КЛ = $356^\circ 44'$; КП = $183^\circ 12'$. $\text{МО} = (356^\circ 44' + 183^\circ 12' + 180^\circ)/2 = 719^\circ 5672 = 359^\circ 58'$.

$$V = 356^\circ 44' - 359^\circ 58' = - 3^\circ 14';$$

$$r = 359^\circ 58' - 183^\circ 12' - 180^\circ = - 3^\circ 14';$$

$$r = (356^\circ 44' - 183^\circ 12' - 180^\circ)/2 = -6^\circ 2872 = -3^\circ 14'.$$

Формула (30) показывает, что угол наклона V можно получить и не вычисляя МО. Однако на практике МО необходимо всегда вычислять, так как МО является надежным средством контроля измерений и вычислений вертикальных углов. Если одним и тем же теодолитом на станции измеряют несколько вертикальных углов на различные точки, то МО должно оставаться постоянным в установленных пределах для данных условий измерений (для ТЗО $\pm \text{Г}, 5$). При работе значение угла наклона вычисляют дважды по формулам (28) и (29). Это делается для контроля вычислений МО и углов наклона.

§ 31. Основные источники погрешностей и точность измерения теодолитом горизонтального и вертикального углов

Основными источниками ошибок при измерении углов теодолитом являются: погрешности самого прибора, погрешности центрирования, установки визирных целей над визируемыми точками (погрешности за редукцию визирных целей), визирования зрительной трубой и отсчитывания по кругам теодолита.

Уменьшение влияния погрешностей самого теодолита достигается соответствующей методикой измерений. Например, измерение одного и того же угла при КЛ и КП исключает влияние коллимационной погрешности, оставшейся после проверок тео-

долита. Одновременно исключается и влияние неперпендикулярности горизонтальной оси **НН** вращения зрительной трубы к вертикальной оси **ТТ** вращения теодолита.

Неточность нанесения штрихов на лимбах влияет на измеряемый угол незначительно, так как при современном способе нанесения их наибольшая погрешность не превышает 1—2".

Погрешности от неперпендикулярности плоскости горизонтального круга к вертикальной оси теодолита также малы. Расчеты показывают, что при уклонении лимба от горизонтального положения даже на 10' (при отвесном положении вертикальной оси) погрешность в измерении горизонтального угла не превышает 1", что при работе с теодолитом ТЗО не имеет практического значения.

Следовательно, при измерении углов теодолитом ТЗО погрешностями самого прибора можно пренебречь.

Существенно влияют на точность измерения углов погрешности центрирования прибора и отклонения визирных целей (вех, марок) от отвесного положения на наблюдаемых точках (погрешности редукции визирных целей). Расчеты показывают, что при центрировании прибора с погрешностью порядка 2 см и при длине стороны угла около 20 м погрешность за центрирование достигает 7'. Так же велико и влияние редукции визирных целей, особенно если длины сторон измеряемого угла невелики. Можно подсчитать, что при длине линии визирования 20 м необходимо выполнять центрирование и установку вех на точках с погрешностью не более 4—5 мм. При этом влияние таких погрешностей на величину измеряемого угла не будет превосходить **У**.

Отсюда следует важность тщательного центрирования прибора и аккуратной установки вех на визируемых точках. При работе следует избегать, по возможности, визирования на короткие расстояния.

Погрешность визирования зрительной трубой теодолита зависит главным образом от увеличения трубы. У теодолитов ТЗО труба имеет увеличение около 20^x и погрешность визирования составляет около 3", что можно не принимать во внимание.

Что касается погрешности отсчитывания по лимбам, то для теодолитов типа ТЗО она составляет **У**. Значение угла из одного полуприема получается как разность двух отсчетов **Б** — **а**. Считая, что в каждом из отсчетов имеется погрешность Γ , угол из одного полуприема будет иметь погрешность $\sqrt{2} \cdot \Gamma$. Но так как угол измеряют двумя полуприемами, получают дважды и берут среднее арифметическое, то можно считать, что угол из целого приема в $1/\sqrt{2}$ раз точнее, чем из каждого полуприема в отдельности. Таким образом погрешность измерения угла одним полным приемом определяется величиной по-

рядка *И*. Предельно допустимая погрешность в измерении угла составляет $2'$.

Следовательно, из всех источников погрешностей измерения углов теодолитом ТЗО наиболее значительными являются погрешности отсчитывания по кругам, а также погрешности центрирования и редукции визирных целей.

ГЛАВА 6

ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 32. Общие сведения о линейных измерениях

Применяемые в настоящее время в геодезии приборы для измерения длин линий можно разделить на три группы: механические, оптические и электромагнитные, предназначенные для измерения расстояний от нескольких метров до десятков километров.

К механическим мерным приборам относятся рулетки, мерные ленты, мерные проволоки. Точность измерений линий этими приборами характеризуется погрешностями, которые в зависимости от того, какой прибор применяется, составляют от $1/1000$ (для рулеток) до $1/1\ 000\ 000$ (для проволоки) части измеряемой длины. Этими приборами линии измеряют непосредственным методом, т. е. прямым сравнением длины измеряемой линии с длиной мерного прибора.

Измерение линий оптическими и электромагнитными (световыми и радиодальномерами) дальномерами производится косвенным (посредственным) путем. Оптическими дальномерами вначале измеряют угол или сторону так называемого параллактического треугольника, а затем по соответствующим формулам вычисляют длину искомой линии. Точность измерений линий оптическими дальномерами составляет от $1/300$ до $1/5000$ длины линии. Измерение линий электромагнитными дальномерами сводится к определению времени прохождения световыми или радиоволнами измеряемого расстояния. Такими дальномерами возможно измерение очень больших линий с точностью от $1/10000$ до $1/1\ 000\ 000$.

В зависимости от назначения и вида геодезических работ, а также от требуемой точности применяются те или другие приборы для измерения расстояний.

§ 33. Мерные приборы для непосредственного измерения линий

В геодезии широко используются стальные 20-метровые мерные ленты (рис. 28,а,в), представляющие собой стальные полосы шириной 15—20 мм и толщиной 0,3—0,4 мм. Раз-

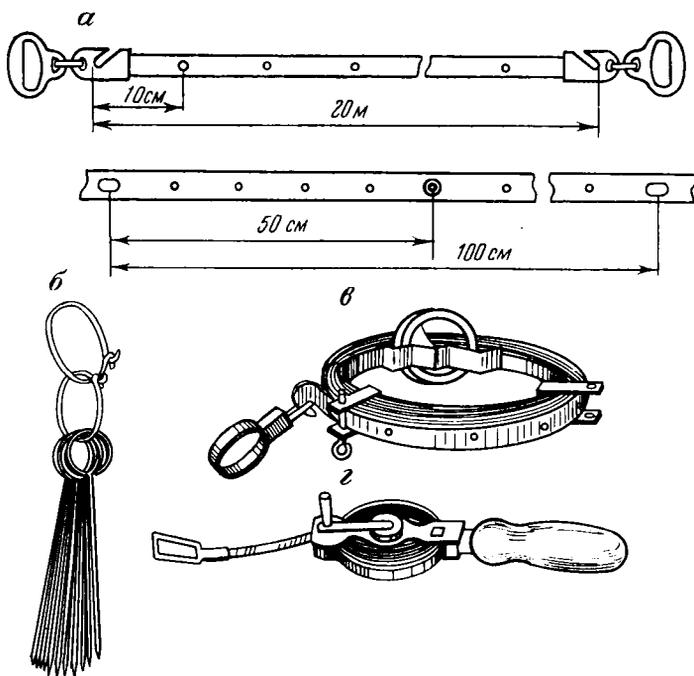


Рис. 28. Механические приборы для измерения линий:

a — мерная лента; *б* — комплект шпилек; *в* — мерная лента в собранном виде; *г* — металлическая рулетка

личают ленты штриховые и шкаловые. На штриховых лентах целые метры пронумерованы, полуметры отмечены латунными заклепками, а дециметры — круглыми отверстиями диаметром 2—3 мм. Шкаловые ленты одинаковы по конструкции со штриховыми, но на концах лент вместо штрихов имеются миллиметровые шкалы для более точного отсчитывания расстояний.

Положение конечных штрихов ленты на местности отмечают при помощи специальных металлических шпилек (рис. 28, б). В комплект мерной ленты обычно входит 11 шпилек. Шпильки вставляют в косые прорезы на концах ленты для фиксирования ее положения на местности в процессе измерений.

Сравнительно небольшие отрезки линий измеряют стальными или тесьмяными рулетками (рис. 28, г) длиной 5, 10, 20, 30 и 50 м, причем тесьмяные рулетки используют для вспомогательных измерений сравнительно невысокой точности.

Для более точных линейных измерений применяют мерные проволоки, изготовленные из специального сплава — инвара (64% железа и 36% никеля), имеющего малый коэф-

коэффициент температурного линейного расширения. На концах проволок имеются миллиметровые шкалы. Обычная длина мерных проволок 24 м.

Перед измерениями определяют фактическую длину мерной ленты или рулетки, которая обычно несколько отличается от номинальной, т. е. задуманной при изготовлении. Для этого мерный прибор, или рабочую меру, сравнивают с другим аналогичным мерным прибором, длина которого точно известна, — нормальной (или образцовой) мерой. Для измерения расстояний нормальные меры не применяют, их используют только для контроля рабочих мер и бережно хранят.

Процесс сравнения длины рабочей меры с нормальной называется компарированием, которое в полевых условиях можно осуществить следующим простейшим образом. На ровном участке местности забивают в землю на расстоянии 20 м два прочных деревянных кола. Забивают в один из них гвоздь, надевают на гвоздь конец нормальной ленты и растягивают ее с силой в 10 кг при помощи динамометра в направлении другого кола. Отмечают на втором колу положение конечного штриха нормальной ленты. Полученное таким образом и зафиксированное на местности расстояние представляет собой простейший компаратор. Рабочую ленту аналогичным образом растягивают на компараторе и миллиметровой линейкой измеряют несовпадение AI вторых концов нормальной и рабочей лент. Величина AI носит название поправки за компарирование. Если рабочая лента длиннее нормальной, то поправка DI считается положительной; если короче — то отрицательной. Следовательно, длина рабочей ленты l_p будет равна $l_p = l_n + AI$, где l_n — длина нормальной ленты.

Поправку за компарирование 20-метровой ленты обычно не учитывают, если она не превышает ± 2 мм. Если поправка получилась больше, то длину O измеренной линии определяют

$$O = O' + AI \cdot n, \quad (31)$$

где O' — длина, полученная рабочей лентой; n — число отложенных лент.

Пример. Линия измерена 20-метровой рабочей лентой и получен результат $l = 128,35$ м. Поправка за компарирование $DI = -0,009$ м. Исправленная за компарирование длина линии $l = 128,35 + (-0,009) \cdot 128 : 20 = 128,29$ м.

Для точного компарирования рабочих мер применяют лабораторные компараторы сложной конструкции, оборудованные в специальных помещениях с постоянной температурой. Поправка за компарирование указана в паспорте мерного прибора.

Простейший полевой компаратор представляет собой отрезок прямой линии длиной 120 м, расположенный на ровном

участке местности и разделенный на участки в 20, 40, 60, 80 и 100 м. Концы отрезков закрепляют деревянными кольями или металлическими штырями. Такой компаратор используют для компарирования рулеток, мерных лент и оптических дальнометров.

§ 34. Вешение линий

Концы линий, которые необходимо измерить, предварительно закрепляют на местности деревянными кольями круглого или квадратного сечения длиной 30—40 см и толщиной около 5 см. В верхние торцы этих кольев забивают гвозди. Перед измерением на концах линии устанавливают специальные вехи — шести круглого сечения диаметром 4—6 см и длиной 2—3 м.

Если длина линии превышает 150—200 м, то ее необходимо обозначить на местности несколькими дополнительными точками и установить на них дополнительные вехи. Эти вехи должны располагаться в створе измеряемой линии, т. е. в вертикальной плоскости, проходящей через концы линии. Процесс установки дополнительных вех называют вешением линии. Число дополнительных вех зависит от длины линии и характера рельефа. На равнинных участках их ставят через 100—150 м, на пересеченных — чаще, чтобы обеспечить надежную взаимную видимость между соседними вехами. Вешение может проводиться при помощи теодолита или на глаз.

В зависимости от характера местности возможны следующие случаи вешения линий.

1. Если местность ровная и открытая, то после установки вех на концах линии *A* и *B* (рис. 29, а), один из наблюдателей встает за точкой *A* в створ линии (в точку *C*) и смотрит в сторону точки *B*. Второй наблюдатель по сигналам первого устанавливает дополнительную веху *I* так, чтобы она закрывала собой веху *B*. Двигаясь далее к точке *A*, второй наблюдатель аналогично устанавливает вехи *2*, *3*, *4* и т. д. Такой порядок работ называют вешением «на себя». Вешение в противоположном направлении менее точно, так как ближние вехи будут закрывать дальние и вешение осложнится.

2. Если между точками *A* и *B* нет взаимной видимости (рис. 29, б), то установку дополнительных вех *C* и *I*) выполняют в таком порядке. Вначале вблизи линии ставят одну веху в точке *A*, провешивают линию *A'O₁* и ставят вторую веху в точку *C₁*. Провешивая полученную линию *C₁B'*, перемещают первую веху из точки *O*) в точку *B₂*. Далее провешивают линию *Л'-Ог*, перемещая веху *C₁* в точку *C₂*. Последовательно меняя положение вех *C'* и *I*)', добиваются такого положения, когда ни одну из вех нельзя переместить,

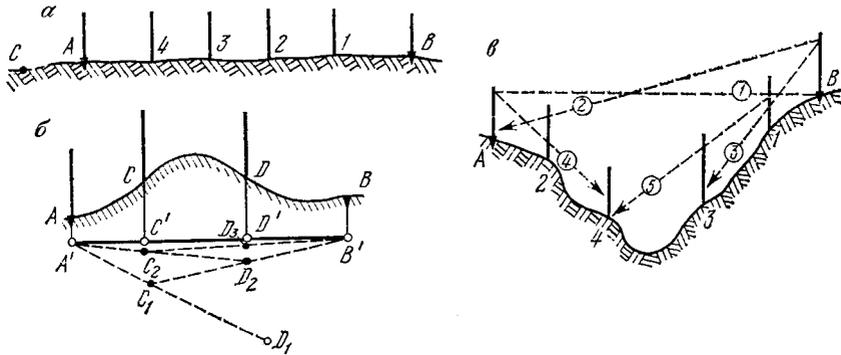


Рис. 29. Схемы способов вешения линий:
 а — «на себя»; б — при отсутствии видимости; в — через овраг

Аналогичным образом поступают в тех случаях, когда точки **A** и **B** хорошо видны, но недоступны (башни, столбы, трубы и т. п.).

3. Если точки **A** и **B** расположены на противоположных склонах оврага или ложины (рис. 29, в), то вешение линии выполняют в следующем порядке. Вначале устанавливают вежу **1** в створе линии **AB**, затем вежу **2** в створе обратной линии **BA**. Следующую вежу **3** устанавливают в створе линии **B — 1**, вежу **4** — в створе **A — 2** и контролируют ее установку по створу **B — 3**. На рис. 29, в порядок работы и направления, по которым устанавливают вежи, показаны пронумерованными пунктирными линиями со стрелками.

§ 35. Измерение линий мерной лентой и приведение их к горизонту

Измерение линии на местности штриховой мерной лентой или рулеткой производится двумя мерщиками. Передний мерщик вытягивает ленту в направлении линии. Задний точно совмещает свой конец ленты с начальной точкой и направляет переднего мерщика в створ линии, ориентируясь на впереди стоящую вежу. По команде заднего мерщика передний встряхивает ленту, чтобы она легла ровно по линии, натягивает ее и через вырез в конце ленты втыкает в грунт одну из шпилек. Далее снимают ленту со шпилек и переносят ее вдоль линии для последующего укладывания. Переносить ленту следует натянутой на весу, чтобы она не терлась о землю.

По ходу измерения задний мерщик забирает с собой все шпильки, воткнутые в землю передним мерщиком. При измерении линий длиной свыше 200 м пользуются И шпильками.

Когда передний мерщик использует все шпильки, у заднего в руках должно оказаться 10 шпилек, а одна остается воткнутой в землю. Переднему мерщику передают все 10 шпилек и в полевом журнале фиксируют факт передачи. Каждая передача шпилек свидетельствует о прохождении 200-метрового расстояния.

Общую длину линии подсчитывают по формуле $D = 200 p + 20 m + cI$, где p — число передач шпилек; m — число шпилек, оказавшихся в руках заднего мерщика; \dot{y} — остаток, меньший 20 м, который измеряется той же лентой или рулеткой меньшей длины.

Если для ленты известна поправка за компарирование, то она вводится пропорционально числу уложений лент $n = 10p + t$ по формуле (31).

Для контроля каждая линия измеряется дважды, в прямом и обратном направлениях. Допустимые расхождения между результатами двух измерений определяются принятыми нормами точности.

Нужно быть внимательным и аккуратным в обращении с мерными лентами и рулетками. Нельзя допускать скручивания ленты, образования петель и «восьмерок». После измерения ленту перед намоткой на барабан следует очистить от земли, протереть насухо и смазать машинным маслом.

При помощи мерной ленты или рулетки можно определить также и расстояния, недоступные для непосредственного измерения. Если, например, две точки Л и В располагаются на противоположных берегах реки, то на одном из берегов выбирают дополнительную точку С и измеряют расстояние АС (или ВС) непосредственно мерной лентой. В образовавшемся треугольнике АВС измеряют горизонтальные углы при точках С и Л (или В). Из решения треугольника по формулам тригонометрии определяют длину искомой стороны АВ.

Мерной лентой или рулеткой непосредственно на местности измеряют наклонные расстояния \dot{y} , а для составления планов требуется знать горизонтальные проложения 5. Возникает поэтому необходимость приведения к горизонту расстояний, измеренных лентой или рулеткой. Для решения этой задачи применяют формулу (1) или вводят поправку Дя в измеренное расстояние \dot{y} . Эту поправку находят следующим образом. Поскольку горизонтальное проложение в всегда меньше наклонного расстояния \dot{y} , то можно написать $D\dot{y} = c! - 5$, а с учетом формулы (1) $D\dot{y} = e? - c! \cos \dot{y} = c! (\dot{y} - \cos \dot{y})$. Из тригонометрии известно, что $1 - \cos \dot{y} = 2 \sin^2(\dot{y}/2)$, тогда

$$\Delta \dot{y} = 2c! \sin^2(\dot{y}/2). \quad (32)$$

Обычно поправку $\Delta \dot{y}$ выбирают из таблиц поправок за наклон линий (табл. 4), которая составлена по формуле (32).

Поправки за наклон линий (в мм)

Угол наклона ν	Расстояние L , м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1°30'	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
2 00	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2 30	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3 00	14	27	41	55	69	82	96	110	124	137
3 30	19	37	56	75	94	112	131	149	168	187
4 00	24	49	73	98	112	146	171	195	220	244
4 30	31	62	92	123	154	185	216	246	277	308
5 00	38	76	114	152	190	229	267	305	343	381

Пример. Пусть наклонное расстояние $\zeta=127,46$ м и угол наклона $\nu=+3^{\circ}00'$. Вычислим горизонтальное проложение линии при помощи таблицы поправок (табл. 4). Подсчитаем поправку Δ для:

Расстояние, м 100; 30; 7; 0,46; 2 = 137,46
 Поправка за наклон, мм 137; 41; 10; 1; 2 = 189

Поправка равна 0,19 м, поэтому горизонтальное проложение $v = c / \cos \nu = 137,46 / \cos 3^{\circ} = 137,27$ м.

Если по условиям местности измеряемая линия имеет несколько участков с различными углами наклона, то горизонтальное проложение такой линии определяют как сумму горизонтальных проложений отдельных ее частей. Каждая часть вычисляется по формуле (1) или при помощи табл. 4. Для линий, измеренных мерной лентой или рулеткой, считают, что поправка $\Delta x = 0$, если угол наклона менее 2° .

Углы наклона измеряют теодолитом или другими угломерными приборами, в том числе и простейшими: различными угломерами, эклиметрами и т. п.

§ 36. Принципы измерения расстояний оптическими дальномерами

В основе конструкции всех известных в настоящее время оптических дальномеров лежит решение очень вытянутого равнобедренного треугольника AMK (рис. 30,а), высоту которого $AB = B$ вычисляют по формуле

$$0 = \frac{B}{\cos \alpha} - \frac{L}{\sin \alpha}, \tag{33}$$

Рис. 30. Принципиальные схемы измерения расстояний оптическими дальномерами:

a — общая схема для оптических дальномеров; *б* — для дальномеров с постоянным углом и переменной базой; *в* — для дальномеров с постоянной базой и переменным углом

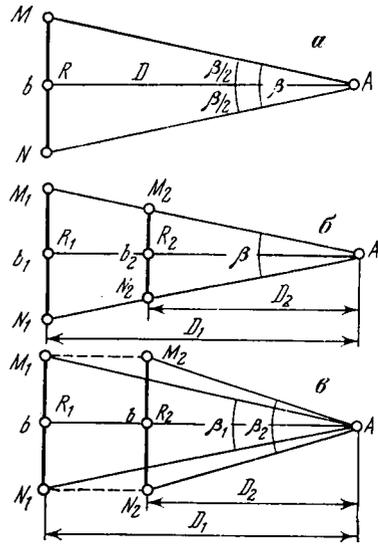
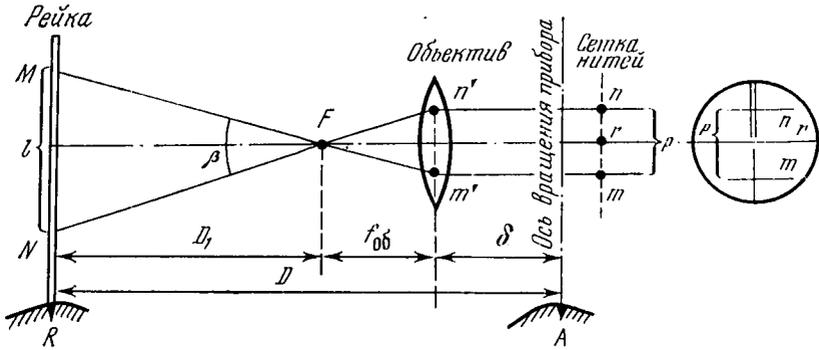


Рис. 31. Оптическая схема нитяного дальномера



где **Б** — сторона *MN* треугольника *АМБ*, называемая базой (базисом), а противолежащий угол θ — параллактическим углом, величина которого обычно невелика.

Оптические дальномеры по конструкции разделяются на дальномеры с постоянным углом и переменной базой (рис. 30, б) и дальномеры с постоянной базой и переменным углом (рис. 30, в). Для первой группы дальномеров формулу (33) можно представить в виде

$$\theta = KБ, \tag{34}$$

где $K = \frac{1}{\sin(0/2)}$ — постоянная величина, называемая коэффициентом дальномера.

Для второй группы дальномеров формулу (33) запишем в виде

$$O = \frac{C}{2(p/2)}. \quad (35)$$

Так как угол p очень мал, то $\text{tg}(p/2) \sim p/(2p)$, где p — радиан, выраженный в угл. с. Следовательно,

$$O = \frac{C}{(2P)/(2p) P p} = -\frac{C}{P} = -\frac{C}{P}, \quad (36)$$

где $C = Bp$ — коэффициент дальномера.

Наиболее простым и очень распространенным оптическим дальномером является нитяной дальномер, представляющий собой две дополнительные горизонтальные нити *нит* сетки (рис. 31), симметричные относительно средней нити z . Нити *нит* называют дальномерными нитями или штрихами. Расстояние p равно *нит* постоянно, им определяется величина параллактического угла p . Таким образом, нитяной дальномер относится к оптическим дальномерам с постоянным углом. В качестве переменной базы служит разность отсчетов / по вертикальной рейке в точках *N* и *M*, на которые проектируются дальномерные штрихи. Разность отсчетов *I* называют дальномерным отсчетом.

Оптическая схема нитяного дальномера представлена на рис. 31, из которого видно, что расстояние *I* от прибора до рейки

$$I = f + \frac{f}{\omega} + b, \quad (37)$$

где f — расстояние от рейки до переднего фокуса *F* объектива зрительной трубы; f/ω — фокусное расстояние объектива; b — расстояние от центра объектива до оси вращения прибора. Треугольники *МЫБ* и *Рn'm'* подобны, поэтому *МЫ*: *m'n'* = f/ω , и далее согласно рисунку

$$= \frac{f}{\omega} \frac{MY}{m'n'} = I = \frac{f}{\omega} \frac{f}{p} \quad (38)$$

Для конкретной зрительной трубы величина $f/\omega + b$ из формулы (37) есть величина практически постоянная, называемая постоянным слагаемым дальномера. Отношение $f/\omega p$ в формуле (38), называемое коэффициентом дальномера *K*, также величина постоянная. С учетом этого формула (37) принимает вид

$$I = KI + c. \quad (39)$$

Коэффициент *K* — отвлеченное число, значение его зависит от величины параллактического угла p (обычно коэффициент стараются сделать равным 100). Постоянное слагаемое c —

именованное число, выражающееся в десятых долях метра (как правило, не более 0,3 м, а в современных теодолитах практически равно нулю). Дальномерный отсчет по рейке выражается в сантиметрах.

Нитяный дальномер прост по конструкции, при помощи его расстояния измеряются быстро и удобно. Однако точность его невысока из-за большой погрешности в дальномерном отсчете по рейке.

Влияние этой погрешности существенно уменьшено в оптических дальномерях двойного изображения. Идея таких дальномеров состоит в том, что через одну и ту же зрительную трубу одновременно получают два изображения наблюдаемой рейки. Перед объективом зрительной трубы помещают оптический клин, перекрывающий половину поля зрения. Оптический клин отклоняет лучи на постоянный угол $p/2$, вследствие чего в поле зрения получается два изображения рейки. Одно — при помощи лучей, идущих через свободную часть объектива без отклонений, второе — при помощи лучей, проходящих через оптический клин с отклонением на угол $p/2$. Взаимное смещение двух изображений является дальномерным отсчетом I и его величина тем больше, чем больше измеряемое расстояние.

Описанная конструкция дальмера работает по принципу дальмера с постоянным углом и переменной базой. Расстояние O определяется по формуле, аналогичной формуле (34). Оптические дальмеры бывают трех типов.

Дальномер Д-2 — самостоятельный прибор для измерения расстояний от 40 до 400 м с переменным параллактическим углом и постоянной базой. Может работать как с горизонтальной, так и с вертикальной рейками.

Редуцированный дальномер ДНР-5 выполнен в виде насадки на зрительную трубу геодезического прибора. Предназначен для измерения расстояний от 20 до 120 м. Относится к дальномерам с постоянным параллактическим углом. Измерения проводятся по вертикальной рейке. Особенностью дальмера ДНР-5 является возможность непосредственного отсчета по рейке горизонтального (редуцированного на горизонтальную плоскость) расстояния при углах наклона до $\pm 10^\circ$. Это достигается при помощи специального редуцирующего устройства, автоматически вводящего поправку за наклон измеряемого расстояния.

Дальномерная насадка ДН-8 относится к типу дальномеров с переменным параллактическим углом. Предназначена для измерения наклонных расстояний от 50 до 700 м по специальной горизонтальной дальномерной рейке. Расстояния вычисляют по формуле (36), измерив параллактический угол p .

Опыт применения оптических дальномеров двойного изображения показывает, что их применение выгодно в тех случаях,

когда использование мерной ленты или рулетки затруднительно или ведет к большой потере точности. Такие дальномеры используют при измерениях на неровной кочковатой и каменистой поверхности, на болотах, в городских условиях, на площадках шахт, рудников и т. д.

§ 37. Общие сведения о свето- и радиодальномерных измерениях

В настоящее время в практике линейных измерений на местности широкое распространение получили электромагнитные дальномеры (свето- и радиодальномеры). Физический принцип электромагнитного дальномера основан на определении времени прохождения измеряемого расстояния электромагнитными волнами. На одном конце измеряемой линии устанавливают дальномер (приемопередатчик), на другом конце — отражатель (ретранслятор). Электромагнитные волны, посылаемые приемопередатчиком, после отражения возвращаются обратно, т. е. проходят измеряемое расстояние дважды — в прямом и обратном направлениях. Следовательно, искомое расстояние B может быть получено по формуле

(40)

где V — скорость распространения электромагнитных волн в воздухе; t — время их прохождения. Скорость V распространения электромагнитных волн в атмосфере определяется по формуле

$$v = c/n, \quad (41)$$

где скорость распространения электромагнитных волн в вакууме $c = 299\,792,5$ км/с; n — показатель преломления воздушной среды, зависящий от метеорологических условий (давления, температуры, влажности, запыленности воздуха и т. п.).

Наиболее подходящими для измерения расстояний являются электромагнитные волны оптического диапазона, используемые в светодальномерах, и радиоволны ультракоротковолнового (сантиметрового) диапазона, применяемые в радиодальномерах. Световые волны (красные и инфракрасные) легко концентрируются в узконаправленный пучок, однако сильно рассеиваются туманом, дымкой и требуют прямой видимости между концами измеряемой линии. Применение радиоволн не требует прямой видимости между точками, но радиоволны не удается сконцентрировать в узкий пучок, к тому же им присущи и другие серьезные недостатки. В радиодальномерах используют радиоволны УК-Диапазона с длиной волны 3 и 10 см.

Существует два основных метода измерения времени распространения электромагнитных волн: импульсный и фазовый. Импульсный метод состоит в непосредственном измере-

нии времени t прохождения электромагнитных импульсов по измеряемой линии. В настоящее время он еще не нашел широкого применения вследствие технических трудностей высокоточного измерения коротких промежутков времени. Наиболее широкое распространение в маркшейдерско-геодезических дальномерам получил фазовый метод измерения времени. При этом методе промежутки времени определяют косвенным путем из измерения разности фаз двух колебаний: посланных по измеряемой линии и вернувшихся после прохождения линии прямо;—обратно. В качестве источника излучения в современных светодальномерам используют полупроводниковые лазеры, изготовленные на основе кристалла арсенида галлия с длиной волны излучения 0,9 мкм.

В настоящее время разработаны различные конструкции электромагнитных дальномеров, позволяющие с высокой точностью измерять расстояния от нескольких метров до нескольких десятков километров.

§ 38. Погрешности измерения линейных величин

Всякие линейные измерения сопровождаются неизбежными погрешностями, источники которых различные в зависимости от того, какие приборы и методики применяются для измерения расстояний.

В результаты измерения мерной лентой или рулеткой входят погрешности, основными причинами которых являются: неточное фиксирование концов каждой ленты на местности; уклонение ленты от створа линии; неравномерное натяжение ленты; неровности местности, по которой укладывается лента и др. Наиболее существенными источниками погрешностей являются неровности местности. Если линия проходит по ровной открытой местности, то опыт показывает, что относительная погрешность измерения линий лентой характеризуется величиной порядка $1/2000—1/3000$. Если местность среднепересеченная, с мягким грунтом, редким кустарником и нерезко изменяющимся рельефом, то относительная погрешность измерения равна примерно $1/1500$. В сильно пересеченной местности с рыхлым грунтом, на кочковатой поверхности погрешности измерения линий лентой доходят до $1/1000$.

Высокую точность измерений достигают при использовании мерных проволок. Используя специальную методику измерений и тщательно выполняя работу, можно достигнуть наивысшей точности результатов, характеризующихся погрешностью $1/1\ 000\ 000$.

Основными источниками погрешностей измерения линий нитяным дальномером являются: погрешности отсчитывания по рейке из-за толщины штрихов сетки и неодновременности отсче-

тов по нижней и верхней нитям; невертикальность рейки; влияющие рефракции световых лучей и др. Опыт работы с нитяным дальномером показал, что точность измерения им расстояний характеризуется относительной погрешностью в среднем $1/300$, а при неблагоприятных условиях $1/200$ и даже $1/100$. Нитяным дальномером не рекомендуется измерять линии длиннее 200 м.

Более высокую точность дают оптические дальномеры двойного изображения. Дальномером Д-2 можно измерять расстояния до 400 м с относительной погрешностью не более $1/5000$. При помощи дальномерной насадки ДНР-5 измеряют расстояния до 120 м с относительной погрешностью порядка $1/2000$, а насадка ДН-8 дает относительную погрешность около $1/1200$.

Современные свето- и радиодальномеры позволяют измерять расстояния от нескольких метров до 50—60 км с различной точностью в зависимости от конструкции и назначения дальномеров. Например, маркшейдерский светодальномер СМ-02М (МСД1М) позволяет измерять расстояния до 500 м с погрешностью не более 2—3 мм. Светодальномером 2СМ-2 измеряют расстояния от 2 до 2000 м с погрешностью не более 2 см. Для измерения очень длинных расстояний используют большой высокоточный дальномер СД-6, который дает погрешность порядка 6 см на 50 км.

Из радиодальномеров, разработанных в СССР, применяются приборы РДГ, РДГВ и «Луч» для измерения расстояний до 30—40 км с погрешностью порядка 10—15 см. Основным источником погрешностей в электромагнитных дальномерах является неточное знание скорости распространения электромагнитных волн по измеряемой линии, которая зависит от метеоусловий.

ГЛАВА 7

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 39. Сущность теодолитной съемки

Процесс составления контурного плана местности при помощи теодолита и мерной ленты называется теодолитной съемкой. Вместо мерной ленты возможно использование рулетки или различных дальномеров, обеспечивающих необходимую точность.

Теодолитную съемку применяют обычно на небольших по площади участках равнинной местности, когда рельеф не играет существенной роли и углы наклона линий невелики. Контурные планы составляют в масштабах не мельче $1/5000$.

Съемочную сеть при теодолитной съемке создают обычно путем проложения на местности теодолитных ходов. Теодо-

литный ход — ломаная линия, точки поворота которой закреплены на местности, а горизонтальные углы и линии измерены. Теодолитные ходы могут быть замкнутыми, т. е. начинающимися и заканчивающимися на одной и той же исходной точке, или разомкнутыми. Для съемки малых участков съемочная сеть состоит чаще всего из одного замкнутого или разомкнутого хода. Теодолитные ходы часто служат геодезической основой при выполнении различных видов инженерно-геодезических работ.

Теодолитный ход должен быть привязан к пунктам геодезической сети, т. е. координаты точек хода должны быть получены в принятой для данного объекта (шахты, рудника, карьера и т. п.) системе координат, обычно условной.

§ 40. Производство теодолитной съемки

Теодолитная съемка включает в себя следующие основные этапы: подготовительные работы; рекогносцировку участка съемки и уточнение плана работы; закрепление точек съемочного обоснования; полевые измерения; камеральные работы.

Подготовительные работы состоят в изучении материалов прежних съемок, составлении предварительного проекта производства работ и порядка его выполнения. Исполнитель должен определить, какие из имеющихся на местности геодезические пункты необходимо использовать, какие приборы и оборудование необходимо применить. В процессе подготовительных работ выполняют поверки и юстировки приборов.

Рекогносцировка проводится на местности в целях уточнения предварительного проекта производства работ. В процессе рекогносцировки отыскивают геодезические пункты прежних съемок, уточняют места закладки новых пунктов и положение точек запроектированного теодолитного хода, окончательно определяют объемы и порядок выполнения работ.

Закрепление пунктов. В соответствии с уточненным проектом работ намечают и закладывают на местности временные или долговременные пункты съемочной сети. Стороны теодолитного хода длиной не менее 40 и не более 350 м располагают по ровным, удобным для измерения лентой линиям местности.

Полевые измерения включают проложение теодолитного хода и съемку подробностей. При прокладке теодолитного хода измеряют на местности теодолитом все горизонтальные (левые или правые) углы между смежными линиями хода. Если ход замкнутый, то измеряют обычно внутренние углы. Измерение углов выполняют одним полным приемом по способу измерения отдельного угла (по способу приемов). Углы наклона линий до 5° измеряют упрощенными способами, а свыше 5° —при помощи вертикального круга теодолита. Линии хода измеряют в прямом

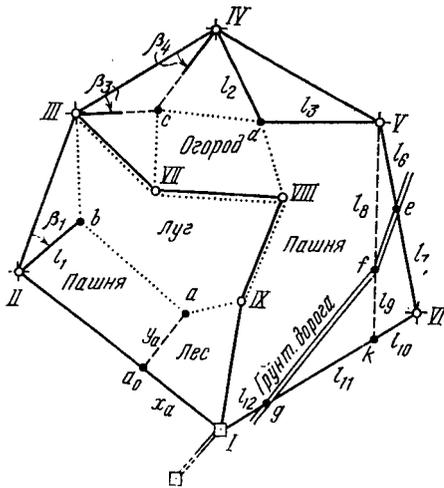


Рис. 32. Абрис теодолитной съемки

выми данными, графическими построениями и пояснительными записями, позволяющими изобразить в дальнейшем на плане каждую характерную точку местности (рис. 32).

Съемку подробностей осуществляют различными способами: перпендикуляров, полярных координат, угловых и линейных засечек, створа и др.

Способ перпендикуляров состоит в том, что положение снимаемой точки *a* (см. рис. 32) относительно линии хода *I—II* определяют, измерив два расстояния: длину перпендикуляра y_a , опущенного на сторону хода *I—II*, а также расстояние x_a от точки хода *I* до основания *ao* этого перпендикуляра.

Способ полярных координат. Для определения положения точки *b* встают с теодолитом на точку *II* и измеряют горизонтальный угол β_1 между стороной хода *II—III* и направлением на точку *B*. Измеряют расстояние l_1 между точкой *II* хода и определяемой точкой *B*.

Способ угловых засечек состоит в том, что положение точки *c* относительно линии хода *III—IV* определяют, измеряя теодолитом два горизонтальных угла β_3 и β_4 между линией хода и направлениями на заданную точку. При построении плана точку *c* находят как пересечение двух направлений *III—c* и *IV—c*, получаемых на плане при помощи транспорта.

Способ линейных засечек заключается в измерении двух расстояний l_2 и l_3 от заданной точки *d* до точек хода *IV* и *V*. При построении на плане точки *d* откладывают в масштабе при помощи циркуля расстояния *IV—d* и *V—d* в виде дуг, в пересечении которых и находят искомую точку *d*.

и обратном направлениях. Точность угловых и линейных измерений регламентируется соответствующими инструкциями.

После проложения теодолитного хода приступают к съемке подробностей, которую осуществляют с точек и линий хода. Съемка подробностей состоит в определении положения объектов местности относительно точек и линий хода.

При съемке подробностей ведется абрис — схематический чертеж участка съемки, на котором фиксируются все результаты полевых измерений с цифро-

Способ створов используют, когда стороны теодолитного хода пересекают какой-либо контур. Так, точки *e* и *й* получают, измеряя по сторонам хода отрезки l_6 и l_7 , l_{10} и l_4 . Точку *l* контура определяют при помощи вспомогательного створа *V* — l_7 , измерив расстояния l_8 и l_9 .

Съемка подробностей требует от исполнителя тщательности, внимания и аккуратности при проведении измерений и записей в полевых журналах. Наиболее внимательно следует составлять абрис, так как он является основным съемочным документом. Когда это возможно, необходимо контролировать получаемые результаты проведением повторных измерений.

§ 41. Вычислительная обработка результатов полевых измерений

Вычислительная обработка является одним из этапов камеральных работ и имеет целью определение координат точек теодолитного хода. Рассмотрим порядок вычислений на примере замкнутого теодолитного хода $1 (B), 2, 3, 4, \dots, n-1, n, 1 (B)$ (рис. 33), опирающегося на геодезический пункт $1 (B)$ с известными координатами. В ходе измерены: примычный угол $\beta_{\text{прим}}$ между начальным дирекционным направлением *AB* и первой стороной хода $1 (B) \rightarrow 2$; все внутренние горизонтальные углы $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{n-1}$, горизонтальные проложения сторон хода s_2, s_3, \dots, s_{n-1} .

Увязка горизонтальных углов хода. Результаты угловых измерений должны согласовываться с геометрическими требованиями. Так, например, в плоском треугольнике сумма всех внутренних углов должна быть равна 180° , в четырехугольнике — 360° и т. д. Однако на практике из-за неизбежных погрешностей сумма измеренных углов немного отличается от теоретической. Поэтому в измеренные углы должны быть введены некоторые поправки с таким расчетом, чтобы сумма исправленных углов точно равнялась теоретической сумме. Такой процесс исправления измеренных углов называется увязкой углов.

Сумма измеренных углов замкнутого хода (см. рис. 33)

$$\beta_{14} \sim \beta_1 + \beta_2 + \dots +$$

$$+ \beta_{n-1} \sim \beta_{\text{прим}} + \beta_{\text{изм}} \quad (42)$$

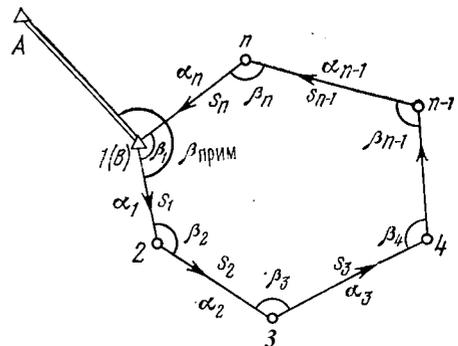


Рис. 33. Схема замкнутого теодолитного хода

Из геометрии известно, что теоретическая сумма внутренних углов плоского многоугольника с числом углов n

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 180^\circ (n - 2). \quad (43)$$

Из-за неизбежных погрешностей измерений сумма измеренных углов не равна теоретической и разность их

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i - 2R_{\text{теор}} = f_{\text{угл}} \quad (44)$$

носит название угловой невязки хода.

Угловая невязка не должна быть больше некоторой предельной величины $f_{\text{пред}}$, установленной для данных условий измерений, т. е.

$$|f_{\text{угл}}| \leq f_{\text{пред}} \quad (45)$$

Предельная или допустимая невязка определяется техническими требованиями на производство данных геодезических работ. Для теодолитных ходов предельная угловая невязка рассчитывается по формуле

$$f_{\text{пред}} = 1' \sqrt{n}, \quad (46)$$

где n — число измеренных в ходе углов.

Если вычисленная по формуле (44) угловая невязка меньше или равна предельной, то качество угловых измерений считается приемлемым. В противном случае угловые измерения должны быть выполнены заново.

Угловую невязку $f_{\text{угл}}$ распределяют в виде поправок с обратным знаком поровну на все измеренные углы. Поправки рассчитывают по формуле

$$v_i = -\frac{f_{\text{угл}}}{n} \quad (47)$$

При увязке углов необходимо строго соблюдать требование, чтобы сумма поправок была точно равна угловой невязке с обратным знаком, т. е.

$$\sum_{i=1}^n v_i = -f_{\text{угл}} \quad (48)$$

В процессе вычислений обязательно проверяют сумму исправленных углов ($\sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{i=1}^n v_i$). Она должна быть точно равной теоретической сумме

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{i=1}^n v_i = 180^\circ (n - 2) \quad (49)$$

Вычисление дирекционных углов сторон хода. После увязки измеренных углов и получения исправленных углов приступают к вычислению дирекционных углов сторон хода. Вначале вычисляют дирекционный угол первой стороны $1(B) \rightarrow 2$ (см. рис. 33) по формуле (10)

$$\alpha_{12} = \alpha_{нач} \pm 180^\circ + \beta_{прим}, \quad (50)$$

где $\alpha_{нач}$ — начальный дирекционный угол исходной стороны AB ; $\beta_{прим}$ — горизонтальный примычный угол в первой точке хода $1(B)$ между исходной стороной и первой $1 \rightarrow 2$ стороной хода. Далее последовательно вычисляют дирекционные углы всех сторон хода по формуле (10)

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ + \beta_2;$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 \pm 180^\circ + \beta_3;$$

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} \pm 180^\circ + \beta_n, \quad (51)$$

Контролем вычисления дирекционных углов сторон замкнутого теодолитного хода является вторичное получение дирекционного угла первой стороны:

$$\alpha_n^* = \alpha_n \pm 180^\circ - (-\beta_1). \quad (52)$$

Если в ходе измерены правые по ходу углы, то вычисление дирекционных углов проводится в той же последовательности, но с использованием формулы (11).

В случае разомкнутого хода порядок увязки углов остается прежним за исключением того, что теоретическую сумму углов вычисляют по формуле

$$\sum_{i=1}^n \beta_{теор} = 0 \text{С}_{\text{кон}} - \alpha_{нач} \pm 180^\circ (M+1) \quad (53)$$

для случая измеренных левых углов, или по формуле

$$\sum_{i=1}^{n-1} \beta'_{теор} = \alpha_{нач} - \alpha_{кон} \pm 180^\circ (n-1), \quad (54)$$

справедливой для правых измеренных углов. В формулах (53) и (54) $\alpha_{нач}$ и $\alpha_{кон}$ соответственно дирекционные углы конечной и начальной сторон хода между исходными точками с известными координатами; n — число сторон разомкнутого хода, откуда $(n+1)$ — число измеренных углов.

Вычисление прямоугольных координат точек теодолитного хода. Прямоугольные координаты точек теодолитного хода вычисляют путем последовательного решения прямых геодезических задач (см. § 10) по всем сторонам хода в соответствии

с формулами (12) — (14). В замкнутом ходе начинают с исходного пункта $I (B)$ и возвращаются к нему же:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 (B) + DX_{12}; Y_2 = Y_{KB} + AY_1 \\ X_3 &= X_2 + DX_{23}; Y_3 = Y_2 + DY_{23}, \\ X_4 &= X_3 - AX_{34}; Y_4 = Y_3 + AY_{34} \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} X_n &= X_{n-1} - f_n DX_{n-1n}; Y_n = Y_{n-1} - f_n AY_{n-1n} \\ \Delta_{KB} &= -\Delta_{n-1} + AX_{n-1n}; Y_n < B = Y_n + DY_{n-1n} \end{aligned}$$

где в соответствии с формулами (13) $AX_{ij} = s_{ij} \cos \alpha_{ij}$; $DY_{ij} = s_{ij} \sin \alpha_{ij}$.

Сложив левые и правые части равенства (55), получим

$$\sum_{i=1}^n AX_{i,i+1} - 0; \sum_{i=1}^n AY_{i,i+1} - 0, \quad (56)$$

т. е. в замкнутом ходе суммы приращений координат по осям X и Y должны равняться нулю.

Однако на практике из-за неизбежных погрешностей в результатах угловых и линейных измерений суммы вычисленных приращений координат по замкнутому ходу обычно отличаются от нуля и равны некоторым величинам f_x, f_y , которые называются невязками приращений координат, или

$$f_x = \sum_{i=1}^n DX_{i,i+1}; f_y = \sum_{i=1}^n AY_{i,i+1} \quad (57)$$

Таким образом, замкнутый ход не замкнется на величину абсолютной линейной невязки

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (58)$$

являясь гипотенузой прямоугольного треугольника с катетами

f_x и f_y .

Для характеристики точности измерений по ходу вычисляют относительную линейную невязку как отношение абсолютной невязки к сумме всех сторон (периметру) хода P . Относительная невязка представляет собой простую дробь с числителем единица

$$1/N = f_s / P = 1 / (P / f_s). \quad (59)$$

В теодолитных ходах первого разряда относительная невязка не должна превышать $1/2000$, а в ходах второго разряда — $1/1000$.

Если полученная линейная невязка оказалась недопустимой, то необходимо выяснить причину ее появления, проверив все вычисления, полевые журналы с результатами измерений или повторив полевые измерения.

При допустимой линейной невязке выполняют уравнивание приращений координат. Невязки по осям координат i_x и i_y распределяют в виде поправок v_{x_i} и v_{y_i} ко всем вычисленным приращениям со знаками, обратными знакам невязок. Поправки вычисляют пропорционально длинам сторон хода, т. е. чем длиннее линия, тем большие поправки должны быть введены в соответствующие приращения:

$$v_i = -f \cdot l_i / P. \quad (60)$$

Суммы вычисленных поправок должны строго равняться невязкам с обратными знаками, т. е.

$$\sum v_{x_i} = -i_x; \quad \sum v_{y_i} = -i_y. \quad (61)$$

Затем вычисляют исправленные приращения координат:

$$\begin{aligned} \Delta X_{i, \text{испр}} &= \Delta X_{i, \text{выч}} + v_{x_i}; \\ \Delta Y_{i, \text{испр}} &= \Delta Y_{i, \text{выч}} + v_{y_i}. \end{aligned} \quad (62)$$

Контролируют вычисление исправленных приращений. Их сумма в замкнутом ходе должна равняться теоретической сумме, или нулю:

$$\sum_{i=1}^n \Delta X_{\text{испр}} = \sum_{i=1}^n \Delta X_{\text{теор}} = 0; \quad \sum_{i=1}^n v_{x_i} + \sum_{i=1}^n v_{y_i} = 0. \quad (63)$$

С исправленными приращениями последовательно вычисляют прямоугольные координаты пунктов хода по формулам вида (55). Контролем служит получение точных координат начальной точки I (B) замкнутого хода.

Порядок вычислительной обработки замкнутого теодолитного хода и образец оформления ее представлен в табл. 5.

В разомкнутом теодолитном ходе порядок вычислительной обработки такой же. Отличие состоит в том, что суммы теоретических приращений координат вычисляют по формулам:

Таблица 5

Ведомость вычисления координат точек замкнутого теодолитного хода

к п а б ж	Угол поворота (левые)		Дирекцион- ный угол a	Румб ε	СОБ Г з!п г	Горизон- тальное проложе- ние стороны 5, м
	измеренные $\wedge_{\text{изм}}$	исправ- ленные $\wedge_{\text{испр}}$				
1	2	3	4	5	6	7
№ 46						
1	0 з' 162°49 0'	162°48,7'	122°33,6'	ЮВ 47°26,4'	-0,53818 +0,84283	73,89
2	-0,3 149 03,0	149 02,7	105 22,3	ЮВ 74 37,7	-0,26508 +0,96423	172,26
3	-0,4 55 01,0	55 00,6	74 25,0	СВ 74 25,0	+0,26864 +0,96324	94,92
4	-0,3 167 20,5	167 20,2	309 25,6	СЗ 50 34,4	+0,63509 -0,77244	123,98
5	-0,3 104 31,0	104 30,7	296 45,8	СЗ 63 14,2	+0,45031 -0,89287	160,87
№ 46	-0,4 81 17,5	81 17,1	221 16,5	ЮЗ 41 16,5	-0,75155 -0,65967	121,52
1			122 33,6			
$\wedge_{\text{Ризм}} = 720^\circ 02,0'$		720°00,0'	2.9 = 747,24			
$\wedge_{\text{Ргеор}} = 720^\circ 00,0'$						
Л» = +2,0'						

/р, доп — 1' Vñ — ±2,4'

n = 6

Приращения координат, м								Координаты, м		Номер точки
вычисленные				исправленные				X	y	
±	дх	±	ДУ	±	дх	±	ДУ			
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	+0,01 39,77	+	-0,04 62,28		39,76	+	62,24	1415,48	2041,62	№46
	+0,02 45,66	+	-0,04 166,10		45,64	+	166,06	1375,72	2103,86	1
	+0,01 25,50	+	-0,04 91,43	+	25,51	+	91,39	1330,08	2269,92	2
	+0,01 78,74		-0,04 95,77		78,75		95,81	1355,59	2361,31	3
	+0,02 72,44		-0,04 143,64	+	72,46		143,68	1434,34	2265,50	4
	+0,01 91,33		-0,04 80,16		91,32		80,20	1506,80	2121,82	5
								1415,48	2041,62	№9 46
	+ 176,68 176,76	+	319,81 319,57	+	176,72 176,72	+	319,69 319,69			
	$u = -0,08$		$v = +0,24$		$2\Delta X = 0,00$		$2\Delta Y = 0,00$			

$$B = \sqrt{u^2 + v^2} = \sqrt{0,08^2 + 0,24^2} = 0,25 \text{ м}$$

$$1 \text{ 0,25} \quad 1 \wedge 1$$

$$N \sim 747,24 \sim 3000 \text{ 2000}$$

ГДС $\Delta_{\text{кон}}$ Укон И $X_{\text{нач}}$, $Y_{\text{нач}}$ — соответственно координаты конечной и начальной точек хода. Невязки в приращениях координат разомкнутого хода вычисляют как разности сумм вычисленных и теоретических приращений координат:

$$\Delta X = \sum_{i=1}^n \Delta X_{\text{выч}} - \Delta X_{\text{теор}}$$

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \Delta Y_{\text{выч}} - \Delta Y_{\text{теор}} \quad (65)$$

Закончив вычислительную обработку хода и получив прямоугольные координаты его точек, приступают к построению плана участка теодолитной съемки.

§ 42. Построение плана участка теодолитной съемки

Построение плана начинают с построения на листе чертежной бумаги координатной сетки. Согласно требованиям Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 (Москва, Недра, 1985 г.) размеры рамок планов должны быть 50x50 см для масштабов 1:500—1 : 2000 и размером 40x40 см для масштаба 1 : 5000.

Координатная сетка строится в виде сетки квадратов со стороной 10 см. От точности ее построения зависит точность будущего плана, поэтому сетку следует строить особенно тщательно.

Координатную сетку можно построить различными способами, но наиболее распространенным является построение при помощи специальной линейки Дробышева. Технология построения координатной сетки линейкой Дробышева подробно описывается в руководствах по топографической съемке и в учебниках по геодезии.

В крупных производственных подразделениях для построения координатных сеток применяют специальные приборы — координатографы полевого или стационарного типа.

Точность построения квадратов сетки контролируют сравнением длин диагоналей полученных квадратов при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба. Недопустимым расхождением считается неравенство диагоналей более 0,2 мм.

Построенную и проверенную сетку квадратов оцифровывают в соответствии с координатами пунктов теодолитного хода. Оцифровку проводят так, чтобы теодолитный ход после его построения оказался примерно в середине чертежа.

Затем приступают к нанесению по координатам точек хода с использованием циркуля-измерителя и масштабной линейки. На координатографах нанесение точек хода проводят одновременно с построением координатной сетки. После нанесения

первых двух смежных точек хода в обязательном порядке контролируют их положение. Измеряют по плану полученную длину первой стороны хода. Она должна равняться длине стороны, записанной в ведомости вычисления координат (см. табл. 5, графу 7). Расхождения более 0,3 мм в масштабе плана не допускаются. Нанесение точек хода контролируют также по дирекционным углам сторон (графа 4) и углам поворота (графа 3).

После того, как все точки теодолитного хода нанесены и надежно проконтролированы, их соединяют на плане тонкими карандашными линиями. Составление плана участка теодолитной съемки заключается в нанесении на план заснятой в поле ситуации.

Ситуация наносится теми же способами, которыми выполнена съемка всех характерных точек. Основным документом при нанесении ситуации служит абрис съемки (см. рис. 32). Расстояния на плане откладывают при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба, измеренные горизонтальные углы — топографическим транспортиром, прямые углы — при помощи выверенного прямоугольного треугольника.

Все построения и надписи вначале выполняют в карандаше. Дальнейшее оформление производят в туши с соблюдением общепринятых обязательных условных знаков.

Справа под южной рамкой плана указывают фамилию исполнителя съемки и составителя плана, а также сроки выполнения работ.

ГЛАВА 8

НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 43. Методы определения высот

Совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения превышений между точками физической поверхности Земли или их высот относительно принятой отсчетной поверхности, называется **нивелированием**.

В зависимости от используемых приборов и принципов различают следующие методы нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, физическое (барометрическое, гидростатическое, гидромеханическое), механическое (или автоматическое) и стереофотограмметрическое.

Геометрическое нивелирование основано на использовании горизонтальной линии визирования прибора, называемого нивелиром. Разность высот точек определяют из отсчетов по рей-

кам, вертикально установленным в двух точках. Этот метод является наиболее совершенным и обеспечивает погрешность определения превышения от 0,5 до 50 мм на 1 км хода.

Тригонометрическое нивелирование выполняют наклонным визирным лучом. При этом измеряют угол наклона линии визирования и горизонтальное (или наклонное) расстояние между точками. Превышения получают из вычислений по тригонометрическим формулам. Точность тригонометрического нивелирования характеризуется погрешностью порядка 4 см на 100 м расстояния.

Барометрическое нивелирование основано на использовании зависимости значения атмосферного давления от высоты места над уровнем моря. На малых и равнинных участках высоты точек определяют с погрешностью 0,2—0,3 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости устанавливаться на одинаковых уровнях в сообщающихся между собой сосудах. Фиксируют высоты столбов жидкости в сообщающихся сосудах, установленных в точках с разной высотой, и вычисляют превышение

$$h = (L_1 - L_2) - (C_1 - C_2),$$

где L_1 и L_2 — высоты сосудов; C_1 и C_2 — расстояние от верха соответствующего сосуда до уровня жидкости в нем.

Гидромеханическое нивелирование состоит в измерении давления столба жидкости в гидростатической системе, расположенной между нивелируемыми точками. Превышение определяют как функцию избыточного давления или вакуума, создаваемого столбом жидкости в гидростатической системе.

Механическое нивелирование осуществляют, используя принципы маятника, стремящегося сохранить отвесное положение. Относительно него определяют наклон транспортирующих устройств (тележки, автомашины) при передвижении на местности. Профиль пути автоматически вычерчивается на поверхности вращающегося цилиндра или записывается на фотопленке. Этот способ обеспечивает погрешность в несколько сантиметров на 1 км пути.

Стереофотограмметрическое нивелирование основано на измерении превышений по стереоскопической модели местности, получаемой с помощью специальных стереоприборов по двум перекрывающимся фотоснимкам одного и того же участка местности. Погрешности определения высот точек при наземной стереофото съемке составляют 0,1—0,3 м, при аэрофото съемке — 1/1500 высоты фотографирования.

Из всех рассмотренных методов наиболее широко используют методы геометрического и тригонометрического нивелирования.

§ 44. Принцип и способы геометрического нивелирования

Принцип, на котором основано геометрическое нивелирование, достаточно прост. Для определения превышения между точками A и B местности (рис. 34, а) на точках устанавливают вертикально одинаковые рейки, а в середине между ними нивелир.

Нивелирная рейка представляет собой деревянный брусок, на котором нанесены сантиметровые деления с началом отсчета от нижнего основания рейки.

Геодезический прибор нивелир представляет собой зрительную трубу с закрепленным на ней цилиндрическим уровнем (или компенсатором), по которому устанавливают горизонтально визирную ось. Горизонтальный луч пересекает рейки в точках A' и B' . Разность длин AA' и BB' , заключенных между горизонтальным лучом и точками A и B , равна превышению /ив, т. е. $h_{AB} = AA' - BB'$.

Поскольку отсчеты по рейкам a и b равны соответствующим длинам AA' и BB' , то превышение можно выразить формулой

$$h_{AB} = a - b.$$

Точку A , относительно которой определяют превышение, называют задней, точку B — передней. Таким образом, превышение между точками равно отсчету по задней рейке минус отсчет по передней рейке. Этот способ нивелирования называется нивелированием из середины.

Кроме этого способа существует способ нивелирования вперед (рис. 34, б). Нивелир устанавливают в начальной точке L , а в точке B ставят вертикальную рейку.

Рулеткой или рейкой измеряют расстояние l от верха колышка до центра окуляра горизонтально установленной зрительной трубы, называемое высотой прибора, и берут отсчет b по рейке. Вычисляют превышение $h_{AB} = l - b$, т. е. превы-

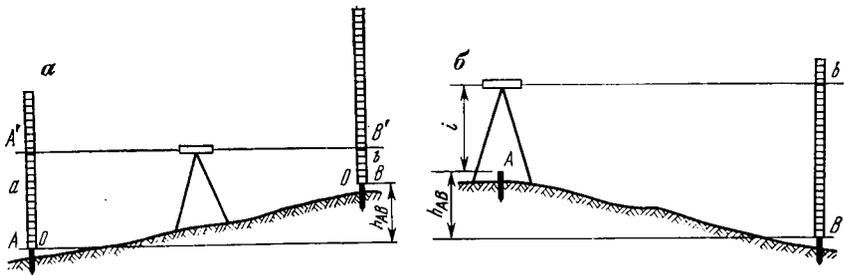


Рис. 34. Схемы способов нивелирования:

а — нивелирование из середины; б — нивелирование вперед

шение между двумя точками, определяемое по способу нивелирования вперед, равно высоте прибора I минус отсчет по передней рейке.

Способ нивелирования вперед используют редко из-за низкой точности и производительности.

Если превышение между двумя точками определяют в результате одной установки нивелира, называемой станцией, то такое нивелирование называется простым. Если для решения этой же задачи организуют несколько станций, образующих нивелирный ход, то такое нивелирование называется сложным. Точки нивелирного хода, общие для двух смежных станций, носят название связующих.

При этом превышение конечной точки B нивелирного хода над начальной A равно сумме превышений между связующими точками, т. е.

$$B-A = \sum_{i=1}^n h_i$$

Если известна высота H_A начальной точки A , то высоту точки B определяют по формуле

$$H_B = H_A + \sum h_i$$

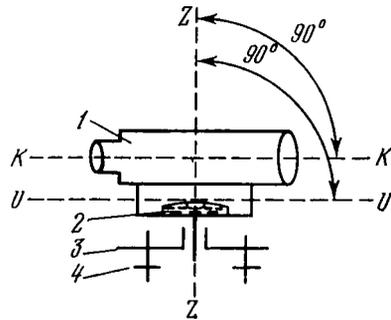
Сложное геометрическое нивелирование, выполняемое с целью определения высот точек, расположенных на оси сооружений линейного типа (автодорог, линий электропередач и т. д.), высот пунктов нивелирных, полигонометрических, теодолитных ходов, называется продольным нивелированием. Геометрическое нивелирование точек, расположенных с заданной плотностью в пределах участка местности, называется нивелированием поверхности. Передачу высот на пункты сетей сгущения и съемочных сетей осуществляют с помощью технического нивелирования, предельная невязка которого (в мм) не должна превышать $50\sqrt{L}$, где L — число километров в ходе.

§ 45. Устройство, поверки и юстировки нивелиров

Нивелир — геодезический прибор, предназначенный для определения разности высот двух точек при помощи горизонтального луча и нивелирных реек, вертикально установленных в этих точках.

В современных нивелирах визирная ось прибора устанавливается в горизонтальное положение либо при помощи цилиндрического уровня, либо автоматически, посредством специальных устройств, называемых компенсаторами. В связи с этим нивелиры первого типа называются нивелирами с уров-

Рис. 35. Принципиальная схема нивелира с уровнем при зрительной трубе



нем при трубе, а второго — с самоустанавливающейся линией визирования.

Нивелиры с уровнем при зрительной трубе (рис. 35). Главным геометрическим условием нивелира является соблюдение параллельности оси *VII* цилиндрического уровня 2 (касательной к дуге продольного сечения ампулы уровня в нуль-пункте) и визирной оси *KK* (линии, соединяющей оптический центр объектива зрительной трубы 1 с перекрестием сетки нитей). Горизонтальную подставку 3, соединенную со штативом закрепительным винтом, обычно приводят в горизонтальное положение посредством круглого уровня, действуя подъемными винтами 4. В верхней вращающейся части у ряда нивелиров устанавливают элевационные винты, служащие для малого изменения угла наклона зрительной трубы относительно подставки 3. Для удобства работы нивелиры снабжают наводящими и закрепительными устройствами.

Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. В этих нивелирах используют компенсаторы для автоматического удержания визирной оси в горизонтальном положении. При наклоне зрительной трубы на некоторый малый угол компенсатор стабилизирует положение визирной линии, т. е. возвращает ее в горизонтальное положение.

В современных нивелирах диапазон работы компенсатора составляет от 5 до 30'.

По классу точности ГОСТ 10528—76 устанавливает три типа нивелиров (Н-05, Н-3, Н-10) и требования к качеству их изготовления. Цифры в шифрах нивелиров обозначают средние квадратические погрешности нивелирования в миллиметрах на 1 км двойного хода.

В шифрах специализированных нивелиров вводят дополнительные буквы *К* и *Л* для указания наличия в приборе компенсатора и лимба соответственно, например, Н-10КЛ.

Нивелиры с характеристиками показателей, соответствующими нивелиру Н-05, относятся к высокоточным прибо-

рамы предназначены для производства нивелирования I и II классов, для наблюдений за осадками и деформациями зданий и сооружений. Погрешность нивелирования на 1 км двойного хода не более 0,5 мм.

К точным нивелирам относятся приборы, по своим характеристикам соответствующие нивелиру Н-3 и обеспечивающие среднюю квадратическую погрешность не более 3 мм на 1 км двойного хода. Они предназначены для нивелирования III класса.

Нивелир Н-3 (рис. 36, а) снабжен системой, позволяющей совмещать изображение противоположных концов пузырька уровня (контактный уровень). Концы пузырька уровня, изображение которых передается в поле зрения зрительной трубы (рис. 36,б), совмещают элевационным винтом, после чего берут отсчет по рейке по средней нити.

Большую группу составляют нивелиры типа Н-10. Эти нивелиры по своим характеристикам технические. Их используют для выполнения технического нивелирования и геодезических работ в строительстве. Они обеспечивают погрешность не более 10 мм на 1 км двойного хода.

Технический нивелир Н-10КЛ (рис. 37) снабжен переставляющимся горизонтальным кругом, установленным на подставке. Верхняя часть прибора содержит зрительную трубу, компенсатор углов наклона, установочный круглый уровень, по которому нивелир приводят в рабочее положение. Нивелир Н-10КЛ наводят на рейку «от руки», так как он не имеет закрепительного и наводящего устройств.

К каждому нивелиру прилагается комплект из двух одинаковых реек. На обеих сторонах рейки имеются шкалы, причем на одной стороне (черной) нанесены черные и белые сантиметровые деления, а на другой (красной) — красные и белые. Нижний торец рейки окован металлической пластиной, называемой пяткой, с которой совмещен нуль шкалы черной стороны.

На красной стороне счет делений начинают от некоторого произвольного числа, например 4786.

Разность отсчетов по двум сторонам рейки остается постоянной и служит для контроля правильности отсчетов.

При взятии отсчета по рейке определяют длину отрезка рейки, заключенного между пяткой и горизонтальным лучом визирования нивелира, секущим рейку. Для удобства работы пять делений рейки объединяют. Длина одного деления называется ценой деления рейки. Для получения отсчета по рейке: определяют число полных дециметров между пяткой и средней нитью сетки; подсчитывают число полных сантиметровых делений между последним дециметровым штрихом и средней нитью сетки; оценивают на глаз с точностью до миллиметра долю последнего неполного сантиметра между последним сан-

Рис. 36. Нивелир Н-3 (а) и поле зрения его трубы (б):

1 — корпус зрительной трубы; 2 — объектив; 3 — закрепительный винт трубы; 4 — наводящий винт трубы; 5 — подъемный винт; 6 — котировочный винт установочного (круглого) уровня; 7 — элевационный винт; 8 — установочный (круглый) уровень; 9 — головка механизма перефокусировки

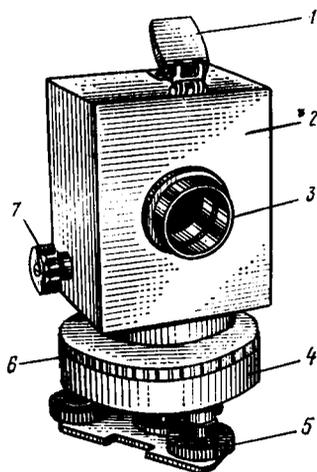


Рис. 37. Нивелир Н-10КЛ:

1 — крышка зеркала; 2 — кожух; 3 — объектив; 4 — подставка; 5 — подъемный винт; 6 — горизонтальный круг; 7 — головка механизма перефокусировки

тиметровым штрихом и средней горизонтальной нитью сетки. В результате получают окончательный отсчет в мм в виде четырехзначного числа.

В процессе нивелирования рейка пяткой устанавливается на нивелируемую точку. На промежуточных точках обычно используют башмаки или костыли. Башмак представляет собой массивную чугунную площадку с выпуклой головкой, на которую устанавливают рейку. Костыль — металлический стержень с заостренным концом.

Нивелирные рейки в соответствии с ГОСТ 11158—83 делятся на три типа: РН-05, РН-03 и РН-10.

Рейки РН-05 предназначены для нивелирования I и II классов со средней квадратической погрешностью 0,5 мм на 1 км хода. Рейки РН-3 двухсторонние используются для нивелирования III и IV классов и инженерно-геодезических работ со средней квадратической погрешностью 3 мм на 1 км хода. Рейки РН-10 используются для технического нивелирования и при строительных работах. Рейки типа РН-3 могут быть цельными или складными. При использовании нивелиров с прямым изображением добавляется буква П, если она складная — буква С. Например, РН-ЗП-ЗОООС — рейка для нивелира с прямым изображением, длиной 3 м, складная.

Перед началом полевых работ производят поверки нивелира, чтобы проверить правильность взаимного расположения осей и работу основных частей прибора. В случае каких-либо отклонений проводят работы по их исправлению, т. е. юстировку прибора.

Поверки нивелиров с уровнем при трубе.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора.*

Под осью круглого уровня понимают радиус шаровой поверхности, проходящей через нуль-пункт. Для проверки правильности установки круглого уровня при помощи подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт. При повороте нивелира на 180° пузырек уровня должен оставаться в центре. Если он отклоняется, то выполняют юстировку уровня исправительными винтами. Действуя ими, смещают пузырек на половину дуги отклонения в направлении к центру. Затем подъемными винтами устанавливают его в нуль-пункт. Эти операции повторяют до тех пор, пока пузырек уровня не будет оставаться в нуль-пункте при любом положении подставки нивелира.

2. *Горизонтальная нить сетки нитей после приведения нивелира в рабочее положение должна быть горизонтальной.* Нивелир приводят в рабочее положение. Выбирают хорошо видимую точку в 20—30 м от нивелира, изображение которой попадает на горизонтальную нить сетки. Вращая наводящим винтом трубу нивелира, следят за изображением точки, которое не должно смещаться относительно нити. В противном случае проводят юстировку поворотом сетки нитей за счет люфта в отверстиях для винтов, крепящих оправу сетки в корпусе трубы.

Поверка может быть выполнена путем совмещения вертикальной нити сетки со шнуром отвеса, подвешенного в 10—15 м от нивелира.

3. *Проекция оси цилиндрического уровня и визирной оси зрительной трубы на горизонтальную плоскость должны быть параллельны.*

На расстоянии 50—75 м от нивелира в направлении одного из подъемных винтов устанавливают рейку. Приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение при помощи круглого уровня. Визируют на рейку, приводят элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт и фиксируют отсчет по рейке. Поворотом подъемных винтов (на 2—3 оборота), расположенных слева и справа от зрительной трубы (т. е. находящихся на линии, перпендикулярной к направлению визирования), наклоняют нивелир, при этом следят за постоянством отсчета по рейке. Затем нивелир наклоняют в другую сторону, вращая те же подъемные винты в противоположных направлениях.

Если при этом концы пузырька уровня не расходятся, то оси цилиндрического уровня и зрительной трубы лежат в параллельных отвесных плоскостях, т. е. условие выполнено.

Если концы пузырька уровня при наклонах нивелира в противоположные стороны расходятся в разные стороны более чем на одно деление, исправляют установку цилиндрического уровня его боковыми котиловочными винтами, постепенно вывинчивая один и заворачивая другой.

4. *Проекции оси цилиндрического уровня и визирной оси зрительной трубы на вертикальную плоскость должны быть параллельны.*

Это условие является главным условием нивелира. Проверку выполняют двойным нивелированием вперед одной и той же линии *AB*. На пологой местности закрепляют колышками с гвоздями две точки *Л* и *В* на расстоянии 70—80 м друг от друга. Установив нивелир над точкой *А*, а рейку на точке *В*, измеряют его высоту i_A с помощью металлической рулетки или нивелирной рейки. Затем визируют на рейку, приводят элевационным винтом пузырек уровня в нуль-пункт и берут отсчет a_B средней нитью по рейке.

Меняют местами нивелир и рейку, измеряют высоту прибора i_B на точке *В* и берут отсчет по рейке a_A , установленной на точке *А*.

Погрешность x , обусловленная наклоном визирной оси к горизонту, будет равна

$$x = \frac{a_A - a_B}{M} +$$

Данная формула получена из следующих соображений. Превышение *Л* точки *В* над точкой *А* с учетом отклонения визирной оси от горизонтальной линии будет ошибочно на величину*, т. е.

$$\Delta_{AB} \sim \Delta A - i - a_B -$$

Во втором случае превышение H , с учетом сохранения наклона визирной оси, будет равно

$$LAB - a_A - 'x.$$

Совместное решение этих двух уравнений дает формулу определения погрешности x .

Если вычисленное значение x не превышает 4 мм, то условие выполнено. В противном случае производят юстировку прибора вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня. При помощи элевационного винта устанавливают горизонтальный штрих сетки нитей на отсчет по рейке

$$a_A = a_A - x.$$

При этом изображения концов пузырька уровня разойдутся. Юстировочными винтами цилиндрического уровня добиваются контакта изображений концов пузырька. Затем закрепляют винты и для контроля повторяют поверку.

Поверки и юстировки нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения прибора.* Поверку проводят так же, как и у нивелиров с уровнем при трубе.

2. *Горизонтальная нить сетки нитей после приведения нивелира в рабочее положение должна быть горизонтальной.* Эту поверку и юстировку выполняют так же, как и у нивелиров с уровнем при трубе.

3. *Линия визирования должна быть горизонтальной.* Поверку производят двойным нивелированием, аналогично поверке главного условия нивелиров с уровнем при трубе.

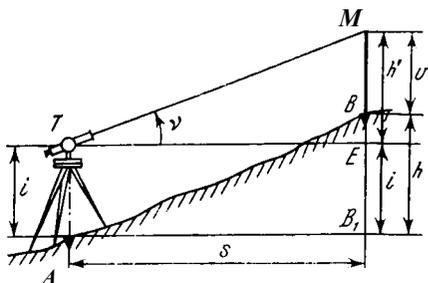
Юстировку положения линии визирования осуществляют вертикальными юстировочными винтами сетки нитей. Вращая их, устанавливают среднюю нить на отсчет a_A' , соответствующий горизонтальному положению линии визирования.

§ 46. Теоретические основы метода и способы тригонометрического нивелирования

Тригонометрическое нивелирование — это нивелирование наклонным визирным лучом.

Для определения превышения k точки B над точкой A (рис. 38) на последней устанавливают теодолит, а на точке B — вертикально веху. Наводят зрительную трубу теодолита на точку M . Измеряют вертикальное расстояние рулеткой от точки A до горизонтальной оси вращения трубы T , т. е. высоту прибора g , а также высоту визирования V — вертикальное расстояние от точки B до точки визирования M .

Рис. 38. Схема тригонометрического нивелирования



Измерив рулеткой наклонное расстояние TM , можно получить горизонтальное положение s по формуле

$$s = TM \cdot \cos v,$$

где v — угол наклона линии визирования TM к горизонту.

Из рис. 38 следует, что $ME + i = v + h$. Обозначив отрезок ME через h' , запишем равенство

$$h = h' - i - v.$$

Из треугольника TME $tg v = \frac{ME}{s}$, тогда формула для превышения h принимает вид

$$h = s \cdot \operatorname{tg} v - i - v.$$

Если расстояние до точки B определяется при помощи нитяного дальномера и рейки, то горизонтальное положение

$$s = D' \cos^2 v,$$

где D' — наклонное расстояние, измеренное нитяным дальномером.

Подставив в формулу превышения значение горизонтального положения, получим

$$h = D' \cos^2 v \operatorname{tg} v - i - v = D' \cos v \sin v + i - v,$$

или окончательно

$$h = \frac{D' \sin 2v}{2} + i - v.$$

Полученные формулы упрощаются, если при измерении угла наклона визировать на верху или рейку так, чтобы высота визирования V была равна высоте прибора. Тогда $i - v = 0$ и формулы принимают вид:

$$h = s \operatorname{tg} v; \tag{66}$$

$$h = \frac{D' \sin 2v}{2}. \tag{67}$$

Этими формулами пользуются при расстояниях между точками не более 300 м. При больших расстояниях необходимо учитывать поправку / за кривизну Земли и влияние рефракции (явление преломления световых лучей при прохождении их через атмосферные слои различной плотности). С учетом этого формулы тригонометрического нивелирования имеют окончательный вид:

$$h = stgv ->_2 i - v + f \blacksquare, \quad (68)$$

$$H = \frac{1}{2} (2v + i - v - f)$$

Эти формулы называются полными или общими формулами тригонометрического нивелирования, а формулы (66) и (67) рабочими или сокращенными.

Превышение при тригонометрическом нивелировании определяют дважды — в прямом и обратном направлениях. При этом расхождение в вычисленных превышениях допустимо, если оно не превышает 4 см на каждые 100 м расстояния между нивелируемыми точками.

По рабочим формулам составлены тахеометрические таблицы. По формулам удобно вычислять превышения на программируемых микрокалькуляторах. Точность тригонометрического нивелирования значительно ниже точности геометрического нивелирования, но важным преимуществом первого является высокая производительность труда.

§ 47. Погрешности определения высот точек

При техническом нивелировании, когда используются нивелир и рейки, точность определения превышения зависит от ряда погрешностей. Погрешность горизонтальной установки визирной оси,

P

где 5 — расстояние между пикетами; $t_{ур}=0,1$ т (т — цена деления уровня).

Отсчет по рейке также включает в себя погрешность m_p . При $5=100$ м, увеличении трубы и $= 30^x$ и цене деления рейки 10 мм $m_p = 1$ мм.

Влияние оказывает и разрешающая способность трубы, которая приводит к погрешности

ср

Существует погрешность дециметровых делений рейки $t_d = 0,5$ мм. Обычно полагают, что эти погрешности действуют не-

зависимо и, поэтому среднюю квадратическую погрешность отсчета по каждой рейке получают из выражения

$$m_a = m_b \pm \sqrt{m_l^2 + m_{\%}^2 + m_l + m}$$

Средняя квадратическая погрешность превышения при нивелировании из середины ($h = a - b$) определяется формулой

$m_h = \sqrt{m_a^2 + m_l^2}$, т. е. равна корню квадратному из суммы квадратов погрешностей отсчетов на станции. Для нивелирного хода из n станций погрешность его будет равна $t_{\text{хода}} = m_h \sqrt{n}$. Предельно допустимая невязка хода при этом $f > 1 = 3t_{\text{хода}}$.

Точность тригонометрического нивелирования зависит от погрешности определения расстояний (s — горизонтального положения или D' — наклонного расстояния), а также от погрешности измерения угла наклона v . С увеличением расстояния и угла наклона погрешность определения превышений возрастает.

ГЛАВА 9

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

§ 48. Сущность тахеометрической съемки

Одновременная съемка контуров и рельефа местности, при которой пространственное положение точек местности определяют со станций полярным способом, измеряя при помощи топографического прибора тахеометра (или теодолита) горизонтальные углы, расстояния и превышения, называется тахеометрической¹.

Горизонтальные углы измеряют между исходной линией, по которой ориентируется нуль лимба тахеометра, и направлениями на точки местности. Расстояния определяют оптическим дальномером. Превышение снимаемой точки над станцией находят методом тригонометрического нивелирования.

Тахеометрическая съемка выполняется по принципу от общего к частному, т. е. первоначально создают планово-высотную основу, а затем ведут съемку рельефа и подробностей, по результатам которой в камеральных условиях составляется топографический план.

В качестве исходной плановой и высотной основ для тахеометрической съемки используют пункты государственной геодезической сети, теодолитных и нивелирных ходов, прокладываемые

¹ Термин тахеометрия происходит от слияния греческих слов *tachy* — быстрое и *metreo* — измерение.

мых между пунктами геодезических сетей. Точки съемочного обоснования определяют проложением тахеометрических ходов. Одновременно ведут съемку ситуации и рельефа местности с точек (станций) тахеометрических ходов, составляя параллельно абрис (т. е. схематический план с изображением ситуации, характерных точек и линий рельефа).

Достоинство тахеометрической съемки заключается в возможности выполнения полевых работ в короткие сроки и при погодных условиях, неблагоприятных для других методов съемок. Полевые и камеральные работы выполняются параллельно разными бригадами, что исключает возможность своевременного сличения плана с местностью. Это является недостатком, так как приводит к пропускам отдельных объектов съемки, некоторым искажениям в изображении рельефа местности.

Тахеометрическую съемку рекомендуется проводить для составления топографических планов небольших участков, узких полос местности и в тех случаях, когда применение других методов экономически невыгодно либо технически невозможно. На горных предприятиях тахеометрическая съемка широко используется при выполнении различных специальных маркшейдерских работ при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

§ 49. Выполнение тахеометрической съемки

Имеющаяся на местности геодезическая основа, как правило, имеет недостаточную густоту, поэтому ее нужно довести до соответствующей плотности, обеспечивающей возможность проложения тахеометрических ходов, отвечающих необходимым техническим требованиям.

Рекогносцировку тахеометрических ходов, закрепление точек и привязку выполняют так же, как и при проложении теодолитных ходов. Точки (станции) следует выбирать так, чтобы они обеспечивали наилучшие условия при съемке подробностей. Тахеометрические ходы прокладывают в виде замкнутых ходов с опорой на пункты геодезической сети более высокого разряда. Они должны отвечать требованиям, приведенным в табл. 6.

При проложении тахеометрического хода на каждой станции действуют следующим образом.

1. Устанавливают прибор, т. е. центрируют тахеометр над вершиной измеряемого угла, горизонтируют прибор и подготавливают зрительную трубу для наблюдений. Погрешность центрирования должна быть в пределах 3 мм. Однако чем короче стороны тахеометрических ходов, тем точнее следует выполнять центрирование.

Таблица 6

Характеристика тахеометрических ходов

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина стороны, м	Максимальное число сторон хода
1 : 5000	1200	300	6
1 : 2000	600	200	5
1 : 1000	300	150	3
1 : 500*	200	100	2

*При съемке в масштабе 1 : 500 линии в тахеометрических ходах измеряют лентой.

2. Измеряют высоту прибора.

3. Наводят зрительную трубу на рейку, установленную на задней точке хода, и выполняют отсчеты по дальномерным нитям. При этом рекомендуется установить меньший отсчет по дальномерной нити, равный целому числу метров (например, 1000 мм). Разность отсчетов по дальномерным нитям, умноженная на коэффициент дальномера, даст значение длины линии. Для контроля сторону хода измеряют вторично по красной стороне рейки.

4. Визируют на низ задней рейки и отсчитывают по горизонтальному кругу.

5. Наводят зрительную трубу на верх рейки, приводят пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт и отсчитывают по вертикальному кругу.

Далее операции 3, 4, 5 повторяют, установив рейку на передней точке тахеометрического хода. Комплекс выполненных таким образом операций составляет полуприем. При этом будет измерен левый по ходу угол. После перевода зрительной трубы через зенит выполняют второй полуприем.

Расхождения между значениями горизонтального угла из двух полуприемов не должны превышать 30" при измерении угла оптическими приборами и Г — при измерении угла 30-секундным теодолитом. Контролем измерения углов наклона является постоянство места нуля вертикального круга в пределах удвоения точности отсчитывания по нему.

Вычисление горизонтальных проложений сторон тахеометрического хода и превышения выполняют в поле параллельно с проложением тахеометрического хода, используя электронный микрокалькулятор.

Горизонтальные проложения s наклонных расстояний D , измеренных дальномером, вычисляют по формуле

где B определяют по формуле (39), угол наклона V линии визирования находят по вертикальному кругу теодолита.

Определение превышений изложено в § 46. Правильность измерений и вычислений горизонтальных проложений и превышений контролируют сравнением соответствующих результатов, полученных в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение при измерении линий должно быть в пределах $1/400$, а при определении превышений — не более 4 см на каждые 100 мм расстояния.

Получив по результатам полевых измерений прямоугольные координаты и высоты точек съемочного обоснования, приступают непосредственно к съемке ситуации и рельефа местности, т. е. определяют пространственное положение точек местности, называемых пикетами (или реечными точками), по которым в дальнейшем составляют топографический план.

Таким образом, основной задачей съемки ситуации и рельефа является определение необходимого и достаточного числа точек местности, служащих для изображения на плане контуров (или объектов) относительно линий съемочной сети, и отображения горизонталями форм рельефа. До начала съемочных работ осматривают местность и выбирают контурные и высотные точки с таким расчетом, чтобы они равномерно покрывали территорию съемки и между станциями не оставалось неснятых участков.

Тахеометрическую съемку выполняют с точек съемочной сети (станций) при одном положении вертикального круга в следующем порядке.

1. Устанавливают прибор на станции и измеряют его высоту.

2. Определяют место нуля вертикального круга, визируя на какую-либо четко видимую точку местности. Если место нуля не требует исправлений, то приступают к выполнению последующих операций.

3. Ориентируют лимб по одной из прилежащих к станции сторон тахеометрического хода. Для этого на горизонтальном круге устанавливают отсчет $0^{\circ}00'$. Закрепляют алидаду и, открепив лимб, наводят на точку съемочной сети, выбранную в качестве ориентирной. После чего лимб закрепляют и не меняют его положения до окончания съемки на станции.

4. Открепив алидаду, визируют на рейку, установленную на снимаемой точке. Пикеты следует выбирать на структурных линиях рельефа — водоразделах, водосливных линиях и в местах перегибов профиля местности (рис. 39, *а*). Частота установки рейки должна быть такой, чтобы точнее отобразить характерные особенности снимаемого участка местности. Необходимо, по возможности, стремиться совмещать контурные точки (рис. 39, *б*) с рельефными для уменьшения общего числа пике-

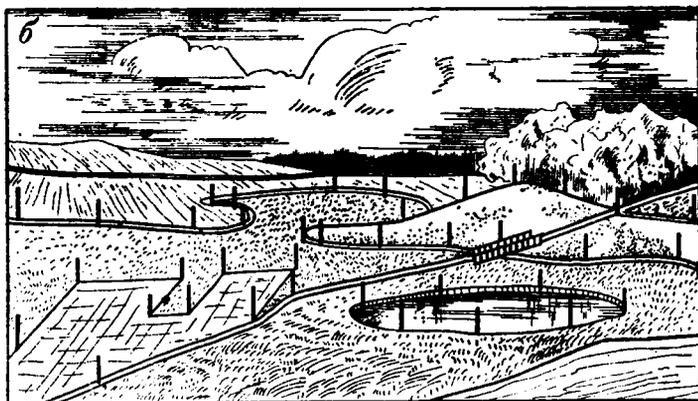
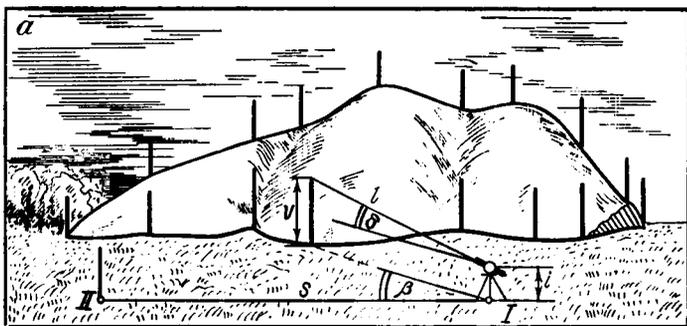


Рис. 39. Топографическая съемка рельефа (а) и ситуации (б)

тов и повышения производительности труда. В целях контроля на каждой станции следует определять несколько пикетов, полученных с соседних станций.

5. Измеряют расстояние до пикета, выполняя отсчеты по дальномерным нитям. Расстояния от прибора до пикетов и между пикетами не должны превышать величин, указанных в табл. 7.

6. Устанавливают средний штрих сетки нитей на отсчет, равный целому числу метров рейки или на отсчет, равный высоте прибора. Приводят уровень при вертикальном круге в нуль-пункт и отсчитывают по вертикальному кругу.

7. Отсчитывают по горизонтальному кругу.

Аналогичным образом определяют положение всех пикетов вокруг станции. Работу заканчивают повторным наведением зрительной трубы на начальную ориентирную точку. Изменение ориентирования на станции за период съемки допускается не более $1,5'$. В противном случае все измерения повторяют.

Предельные расстояния от прибора до рейки при съемке контуров и рельефа

Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м	Максимальное расстояние, м		
		между пикетами	при съемке рельефа	при съемке контуров
1 : 5000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
1 : 2000	0,5	120	350	150
	1,0	40	200	100
	2,0	40	250	100
1 : 1000	0,5	50	250	100
	1,0	20	150	80
	2,0	30	200	80
1 : 500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Таблица 8

Журнал тахеометрической съемки

Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу	Дальнейшее расстояние h , м	Отсчет по вертикальному кругу при КД	Угол наклона V	Γ горизонтальное положение h , м, $\text{coe}^* V$	Превышение h , м	Высота H , м	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>I</i>	342°30'	126,6	358°38'	—1°2Г	126,6	—2,98	147,7	Тропинка
2	334 45	91,2	356 06	—3 53	90,8	—6,08	144,6	Ручей у моста
3	356 10	75,9	355 37	—4 22	75,5	—5,73	145,0	Ручей
4	24 30	94,4	358 13	—1 46	94,4	—2,90	147,8	
5	48 50	116,0	359 30	—0 29	116,0	—0,93	149,8	
6	43 10	91,4	358 21	—1 38	91,4	—2,59	148,1	Группа кустов
9	79 50	117,4	358 11	—1 48	117,4	—3,69	147,0	То же
10	90 25	72,0	357 36	—2 23	71,9	—2,99	147,7	»
11	132 10	57,5	356 34	—3 25	57,3	—3,42	147,3	»
12	208 05	58,4	356 20	—3 39	58,2	—3,70	147,0	
13	266 30	85,5	357 19	—2 40	85,3	—3,96	146,7	Тропинка
14	312 20	40,0	357 15	—2 44	39,9	—1,90	148,8	
15	115 20	20,8	358 30	—1 29	20,8	—0,54	150,2	
16	310 00	120,0	356 34	—3 25	119,5	—7,11	143,6	Ручей
17	54 05	30,2	354 39	—5 20	29,9	—2,76	147,9	
<i>II</i>	0 01							Контроль ориентировки лимба

Съемку ситуации и рельефа местности выполняют при одном положении вертикального круга. Результаты измерений на станции заносят в журнал тахеометрической съемки (табл. 8). Вычисляют горизонтальные проложения, превышения и высоты точек. В дальнейшем выполненные в поле вычисления контролируют.

На каждой станции, одновременно с определением положений пикетов, составляют от руки в произвольном масштабе абрис, содержащий информацию о характере снимаемой местности. На абрисе указывают направление ориентирования лимба, стрелками обозначают направления скатов между пикетами, показывают «скелет» рельефа (положение линий водоразделов, тальвегов и т. д.), проводят схематично основные горизонталы, выражающие неровности местности. Обычно каждую станцию размещают на отдельных листах, ориентированных по ходу. Элементы ситуации сопровождают пояснительными надписями (или соответствующими условными знаками). Реечные точки, как правило, обозначают арабскими цифрами, периодически сверяя нумерацию пикетов в полевом журнале и на абрисе. Составление абриса является одной из наиболее ответственных частей тахеометрической съемки, поскольку его используют для вычерчивания топографического плана в камеральных условиях.

§ 50. Камеральные работы при тахеометрической съемке

Выполнение полевых измерений при тахеометрической съемке следует сочетать с незамедлительной их камеральной обработкой. Поэтому в первую очередь проверяют записи в полевом журнале, приводят в порядок абрис, контролируют правильность вычислений горизонтальных и вертикальных углов, горизонтальных проложений линий, прямоугольных координат и высот точек съемочной сети, координат и высот пикетов.

Данные, полученные при съемке, незамедлительно наносят на план, что позволяет в случае обнаружения каких-либо ошибок или неясностей уточнять их в поле.

Процесс составления топографических планов по результатам тахеометрической съемки включает следующие виды работ.

1. Построение координатной сетки на листе плотной бумаги, наклеенной на алюминиевую (или фанерную) основу. Порядок действия при этом аналогичен порядку составления плана участка теодолитной съемки.

2. Вычисление координат и высот точек съемочного обоснования и нанесение их на план.

Координаты и высоты точек тахеометрического хода целесообразно вычислять на ЭВМ. Процедура уравнивания тахеометрического хода подобна уравниванию теодолитного хода (§41).

Допустимые угловую и линейную \wedge невязки в тахеометрическом ходе определяют по следующим формулам:

$$f_{\text{пред}} = 1'' \sqrt{n}$$

где n — число станций в ходе;

$$f = \frac{P}{5'' \text{ на } 400 \text{ м/л}}$$

где P — длина хода, м; N — число измеренных линий в ходе.

Для вычисления высот точек хода тригонометрического нивелирования выполняют его уравнивание. Высотную невязку f_u определяют по формуле

$$f_u = \sum \Delta h_{\text{пр}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}})$$

где $\sum \Delta h_{\text{пр}}$ — алгебраическая сумма средних значений превышений для каждой линии; $H_{\text{нач}}$, $H_{\text{кон}}$ — известные высоты начальной и конечной точек хода.

Предельную невязку (в см) оценивают по формуле

$$f_{\text{пред}} = 0,04P/\sqrt{M} \text{ при углах наклона до } 6^\circ$$

и

$$f_{\text{пред}} = 0,06P/\sqrt{M} \text{ при углах наклона свыше } 6^\circ.$$

В случае допустимой высотной невязки ее распределяют между средними значениями превышений с обратным знаком и пропорционально длинам сторон. Прибавляя к высоте исходной точки исправленные превышения, последовательно получают высоты точек тахеометрического хода.

По вычисленным координатам точек съемочного обоснования их наносят на план и подписывают высоты.

Построенная съемочная сеть является как бы каркасом для нанесения пикетов относительно ее линий.

3. Нанесение реечных точек производят по данным журнала тахеометрической съемки и абриса. Положения пикетов определяют графически по полярным координатам. Направления от станции на реечные точки строят при помощи транспортира. Для этого от линии, по которой был ориентирован лимб при съемке, по ходу часовой стрелки откладывают горизонтальные углы. Вдоль полученных от станции направлений откладывают в масштабе плана горизонтальные проложения. Полученные точки определяют положение пикетов на плане, подписываемые в виде дроби: номер — в числителе, высота — в знаменателе. В соответствии с абрисом на плане вычерчивают ситуацию.

4. Изображение горизонталями рельефа местности. Перед рисовкой рельефа на плане намечают в соответствии с абрисом структурные линии рельефа местности (водоразделы, тальвеги). Затем на линиях с равномерными скатами (помечаемых на аб-

рисе стрелками) интерполированием высот находят промежуточные точки, высоты которых кратны принятой высоте сечения рельефа. Соединяя плавными линиями точки с одинаковыми высотами, получают горизонтали, выражающие определенную форму рельефа. Не следует проводить горизонтали через изображения строений, карьеров, скал, рек, дорог и т. п. Для облегчения восприятия рельефа и определения высот точек на плане проводят утолщенные горизонтали. Для отражения характерных особенностей рельефа проводят полугоризонтали. В разрывах горизонталей подписывают их высоты, ориентируя их так, чтобы основания цифр были обращены в сторону понижения ската. В местах, где могут возникнуть затруднения в чтении рельефа, ставят бергштрихи.

При составлении топографического плана на значительную территорию на стыках рамок двух смежных планшетов делают сводку изображения ситуации и рельефа. Вычерченные в карандаше планы сличают с местностью.

Откорректированный топографический план вычерчивают тушью согласно действующим условным знакам для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.

ГЛАВА 10

МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

§ 51. Основы мензальной съемки

Совместная съемка контуров и рельефа местности, при которой топографический план составляется графическим путем непосредственно в поле, называется *мензальной*¹.

Наблюдатель при помощи визирного прибора — кипрегеля 5 (рис. 40) строит топографический план на планшете 6, прикрепляемом к квадратной доске 1, называемой мензальной и устанавливаемой на штативе.

Для производства мензальной съемки необходимо знать на местности длину хотя бы одной линии. Такой линией может быть, например, измеренный базис или сторона геодезической сети. В заданном масштабе съемки эту линию строят на плане; длины всех других линий, определяемых графическими построениями, получают в том же масштабе.

Для графического построения на станции *A* горизонтальной проекции угла между направлениями *AB* и *AC* на местности необходимо выполнить следующие операции.

¹ Название мензальная съемка происходит от латинского слова *mén-sula*, что означает столик.

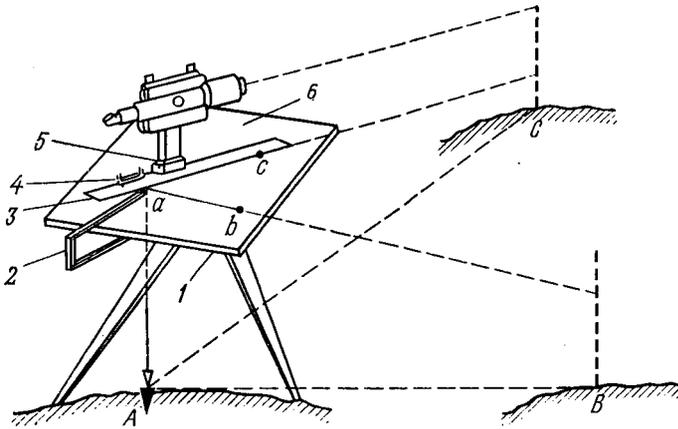


Рис. 40. Принципиальная схема построения горизонтального угла на мензульном планшете

1. Мензульную доску при помощи центрировочной вилки 2 (см. рис. 40) разместить так, чтобы вершина A измеряемого на местности угла BAC и вершина a того же угла на планшете располагались на одной отвесной линии. Эта операция называется центрированием планшета.

2. Привести мензульную доску посредством уровня 4 в горизонтальное положение, так как на топографическом плане должны быть получены ортогональные проекции Ba и ca сторон BA и CA угла BAC на горизонтальную плоскость. Приведение верхней поверхности планшета в горизонтальное положение носит название горизонтирование планшета.

3. Развернуть планшет таким образом, чтобы линии, прочерченные на планшете, стали параллельными горизонтальным проекциям соответствующих линий местности. Выполняемые при этом действия называют ориентированием планшета. Если после ориентирования планшета его центрирование окажется неудовлетворительным, то следует заново повторить все три операции.

4. При помощи линейки 3 кипрегеля провести на планшете линии, являющиеся сторонами угла, т. е. следами от пересечения с горизонтальной плоскостью планшета вертикальных (коллимационных) плоскостей, проходящих через линии местности.

Высотное положение точек местности определяют методом тригонометрического или геометрического нивелирования.

К достоинствам мензульной съемки следует отнести простоту ее исполнения, наглядность, небольшой объем математической обработки измерений, одновременность выполнения из-

мерений и составления плана, что обеспечивает возможность контроля результатов съемочных работ на месте. Но мензульная съемка имеет и ряд недостатков, таких как зависимость от погодных условий, громоздкость используемых приборов и т. п.

В настоящее время мензульная съемка используется при проведении различного рода инженерных работ и является довольно эффективной при составлении планов холмистых и горных районов. В работе маркшейдера ее целесообразно применять при крупномасштабной съемке небольших участков, привязке скважин, горных выработок и т. д.

§ 52. Подготовительные работы

Прежде чем приступить к мензульной съемке выполняют подготовительные работы, включающие поверки и юстировки кипрегеля с его принадлежностями, подготовку планшета к съемке. Цель поверки кипрегеля и мензулы — установить их пригодность к работе: система «мензульная доска — мензульная подставка — штатив» должна быть устойчива; верхняя поверхность мензульной доски должна быть плоскостью; верхняя плоскость мензульной доски должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения мензулы.

В настоящее время мензульную съемку выполняют с использованием так называемых номограммных (или редуccionных) кипрегелей.

Номограммным кипрегелем называют такой прибор, который позволяет отсчитывать горизонтальные расстояния и превышения непосредственно по рейке при помощи соответствующих номограмм, видимых в поле зрения трубы. К подобным приборам относится разработанный в нашей стране оптический кипрегель К.Н с номограммами по всему полю зрительной трубы.

Конструкция кипрегеля КН должна удовлетворять следующим основным условиям:

скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямолинейным, а нижняя поверхность линейки — плоскостью;

устройство для установки дополнительной линейки должно обеспечивать параллельность скошенных ребер основной и дополнительной линеек;

ось цилиндрического уровня, установленного на линейке кипрегеля, должна быть параллельна нижней плоскости линейки;

визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы;

ось вращения зрительной трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля;

место нуля вертикального круга должно быть неизменным и близким к 0°. Колебания места нуля не должны превышать 2'.

Определяют место нуля из многократных наблюдений какого-либо объекта при двух кругах по формуле

$$M_0 = (КП+КЛ)/2,$$

где КП, КЛ — отсчеты по вертикальному кругу при круге право и лево.

Подготовка планшета к съемке заключается в наклеивке чертежной бумаги на жесткую основу (лист алюминия или фанеры), построении координатной сетки, нанесении пунктов геодезической основы, зарамочном оформлении, прикреплении планшета к мензуральной доске и натяжении поверх него «рубашки» (листа бумаги, предохраняющего планшет от загрязнения).

§ 53. Создание обоснования мензуральной съемки

После завершения подготовительного этапа переходят к выполнению полевых работ, включающих рекогносцировку, сгущение съемочного обоснования, съемку ситуации и рельефа местности. Цель рекогносцировки — выбрать оптимальные положения пунктов съемочного обоснования.

Мензуральная съемка, как правило, производится на основе пунктов государственной геодезической сети и пунктов геодезических сетей сгущения.

Число точек съемочной сети в зависимости от масштаба съемки должно быть достаточным для выполнения технических требований, предъявляемых к мензуральным ходам (табл. 9).

При создании съемочного обоснования комплекс работ на местности складывается из установки планшета на станции и действий по определению положения пункта съемочной сети на планшете, а также его высоты.

Установка планшета на станции предполагает правильное его расположение для выполнения полевых работ, т. е. планшет должен быть центрирован, горизонтирован и ориентирован.

Таблица 9

Характеристика мензуральных ходов

Масштаб съемки	Предельная длина хода, м	Максимальная длина стороны хода, м	Максимальное число линий в ходе
1 : 5000	1000	250	5
1 : 2000	500	200	5
1 : 1000	250	100	3
1 : 500	200	100	2

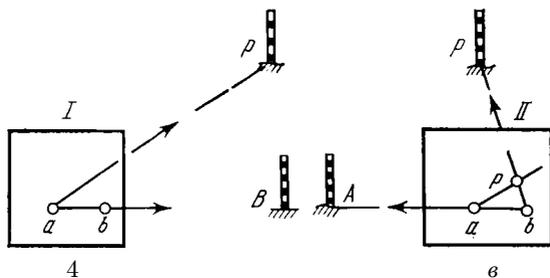


Рис. 41. Схема прямой засечки

При мензульной съемке применяют различные графические способы определения точек съемочной сети.

Прямая засечка. Нахождение планового положения точки P (рис. 41) прямым визированием на нее с исходных геодезических пунктов A и B называют прямой засечкой. Пересечение направлений ar и br на планшете определяет положение точки p . Оно тем точнее, чем ближе угол пересечения направлений к прямому. Поэтому он не должен быть менее 30° и более 150° . Для контроля каждую точку обязательно засекают по крайней мере с трех пунктов. Все прочерченные направления, пересекаясь, образуют, как правило, треугольник погрешностей. Если стороны треугольника менее $0,4$ мм, то окончательное положение определяемой точки накальвают в его центре.

Обратная засечка (рис. 42). Определение положения точки P по трем исходным пунктам A , B и C без установки на них мензулы называется обратной засечкой (задачей Потенота). Существует несколько способов ее графического решения. Приведем простейший из них—способ Болотова.

На планшете закрепляют кусок кальки (см. рис. 42). Из произвольной точки p прочерчивают на ней направления pa , pb и pc , визируя соответственно на пункты A , B и C местности. Полученные на кальке углы равны одноименным углам на местности. Далее, открещают кальку и перемещают ее таким образом, чтобы прочерченные на кальке линии проходили через соответствующие точки a , b и c на планшете. При этом положении кальки перекальвают на планшет точку p , являющуюся искомой точкой.

Комбинированная засечка. Если на одной из точек, например, в точке B (рис. 43) съемочной сети встать нельзя, то для определения положения точки p на планшете применяется способ комбинированной (боковой) засечки. С исходной точки A визируют на определяемую точку P . Затем переходят на точку P , ориентируют планшет по линии pa и определяют положение искомой точки p на планшете визированием на вторую исход-

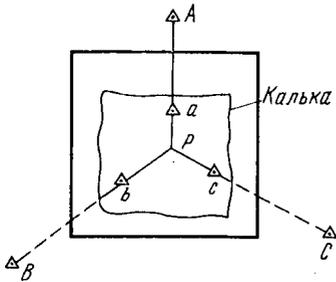


Рис. 42. Схема обратной засечки по способу Болотова

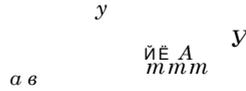


Рис. 43. Схема комбинированной засечки

ную точку B . Напомним, что во всех случаях определений каждая искомая точка должна для контроля засекаться не менее чем с трех пунктов.

Высоты точек сгущения съемочной сети определяют с помощью геометрического или тригонометрического нивелирования: при высоте сечения менее 2 м — из геометрического нивелирования, а свыше 2 м — из тригонометрического.

Мензуральный ход. Одним из распространенных графических приемов создания съемочного обоснования является проложение мензурального хода между пунктами геодезической сети с известными координатами.

Для проложения мензурального хода между исходными пунктами A и B (рис. 44, а) планшет устанавливают на начальной точке A , ориентируя его по какому-либо известному направлению, например, ab . Визируют на рейку, установленную в точке 1 , и прочерчивают через точку a станции линию $a-1$. Измеряют расстояние $A-1$ и превышение k_A . Затем переходят на точку 1 и ориентируют планшет по прочерченной линии $1-a$. Вторично измеряют расстояние $1-A$ и превышение $B_{гА}$. При удовлетворительных результатах ¹ вычисляют среднее расстояние и среднее превышение. Отложив от точки a среднее расстояние $a-1$ на прочерченной линии, накальвают точку 1 на планшете. После этого визируют на точку 2 , прочерчивают ориентировочную линию $1-2$, определяют горизонтальное положение $1-2$ и превышение. На каждой последующей точке аналогичные операции повторяют: планшет ориентируют по предыдущей станции и прочерчивают направление на последующую точку мензурального хода, выполняют необходимые измерения.

¹ Расхождение линий, определенных в прямом и обратном направлениях, не должно превышать $1/200$ длины линий; расхождения в превышениях — 4 см на 100 м расстояния.

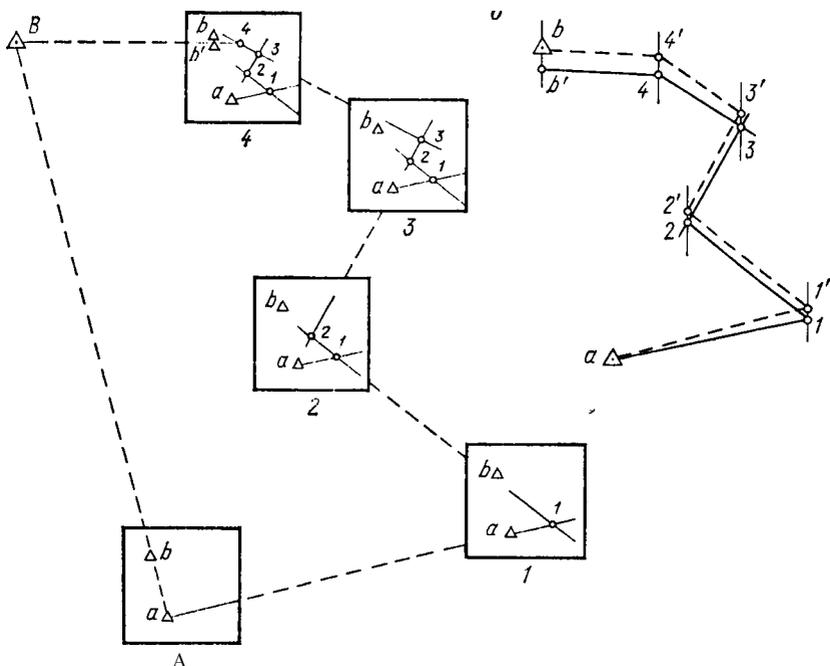


Рис. 44. Схема мензурного хода (а) и его графическое уравнение (б)

В результате погрешностей измерений и графических построений в конце хода, как правило, приходят в точку B' , несовпадающую с точкой B . Линейное смещение BB' носит название невязки мензурного хода. Если ее относительная погрешность не превышает $1/200$ длины хода, то невязку распределяют по способу параллельных линий. Через полученные точки хода проводят линии, параллельные BB' (рис. 44,б), вдоль которых в соответствующем направлении смещают точки хода пропорционально расстоянию от начала, т. е.

$$= \frac{bb'}{P} S_i,$$

где l_i — поправка в положение i -й точки хода; P — общая длина хода; S_i — расстояние от начальной i -й точки хода.

Высоты точек мензурного хода определяют методом тригонометрического нивелирования при двух положениях круга кипрегеля. При работе номограммным кипрегелем визируют дважды при круге лево на разные части рейки.

Допустимая высотная невязка в мензультном ходе не должна превышать следующих пределов:

Сечение рельефа, м	0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0
Допустимая невязка, м.....	0,08; 0,15; 0,20; 0,50; 1,0

Высотную невязку распределяют с обратным знаком на каждое превышение пропорционально длинам сторон.

§ 54. Съёмка ситуации и рельефа

Съёмку ситуации и рельефа местности выполняют одновременно с точек созданной съёмочной сети главным образом полярным способом. Последовательность работ на станции при этом следующая.

1. Устанавливают планшет на станции, т. е. центрируют, горизонтируют и ориентируют его. Измеряют высоту прибора.

2. Направляют реечник на характерные точки местности, подлежащие съёмке.

3. Поворотом кипрегеля относительно станции *a* на планшете добиваются совмещения в поле зрения трубы вертикальной нити сетки с объектом визирования. Придерживая левой рукой основную линейку, правой рукой параллельно перемещают дополнительную линейку до тех пор, пока ее скошенный край не пройдет через точку *a* станции. В этом положении от точки *a* в масштабе плана откладывают измеренное горизонтальное проложение, накалывая искомую точку на планшете (не прочерчивая линии).

4. Вычисляют высоту точки и подписывают ее на планшете. По точкам ситуации проводят контур объекта, интерполируя высоты точек, вычерчивают горизонтали.

Выполнив съёмку на одной станции, переходят на другую.

В полевых условиях на съёмочные планшеты составляют на кальке две копии, называемые калькой контуров и калькой высот. В ходе съёмки на кальку контуров ежедневно наносят снятые контуры и отдельные предметы местности, а на кальку высот — номера и высоты всех пикетов и опорных точек. Обе кальки используют при окончательном вычерчивании плана. Они также являются основными отчетными документами.

Камеральные работы при мензультной съёмке сводятся к окончательному оформлению плана. После составления топографических планов делают сводку по рамкам смежных планшетов.

Изображения ситуации и рельефа на стыках смежных планшетов приводят к их среднему положению. Откорректированные планы вычерчивают тушью в соответствии с действующими условными знаками.

ГЛАВА 11

ПОНЯТИЕ О ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ

§ 55. Общие сведения

Фототопограф, и ческий метод создания планов и карт основан на использовании фотоснимков, полученных при фотографировании местности специальными фотоаппаратами.

План местности является ортогональной проекцией на горизонтальную плоскость, а фотографический снимок представляет собой центральную проекцию, при которой все проектирующие лучи проходят через объектив фотоаппарата, называемый центром проекции.

Преобразование центральной проекции фотоснимка в ортогональную проекцию сфотографированного объекта является основной задачей научной дисциплины, которая называется фотограмметрией. Наибольшее развитие фотограмметрия получила в связи с картографированием земной поверхности. Раздел фотограмметрии, занимающийся разработкой методов составления планов и карт по фотоснимкам, называется фототопографией.

При фототопографических съемках основной объем работы по созданию топографических планов и карт перенесен в камеральные условия. Отсюда следует высокая производительность фототопографической съемки и поэтому фототопографический метод стал основным для картографирования обширных территорий СССР.

При фототопографической съемке выполняют четыре основных вида работ, которые тесно связаны друг с другом: фотосъемочные, фотографические, геодезические и фотограмметрические.

Задачей фотосъемочных работ является получение фотографических снимков местности, соответствующих заранее заданным требованиям. В задачу фотографических работ входят фотолабораторная обработка и размножение полученных в результате фотосъемки изображений местности. Геодезические работы предусматривают получение геодезических координат отдельных точек местности, изображенных на снимках и определенным образом расположенных на местности. В процессе фотограмметрических работ производится комплекс измерений снимков, в результате которых составляют планы и карты.

В зависимости от применяемых при фотографировании технических средств и технологии обработки фотоснимков разли-

чают четыре вида фототопографической съемки: наземную фототопографическую, аэрофототопографическую, комбинированную и космическую.

Наземная фототопографическая (фототеодолитная) съемка основана на фотографировании местности с точек земной поверхности специальной фотокамерой — фототеодолитом.

Аэрофототопографическая съемка предусматривает фотографирование земной поверхности с самолета или вертолета аэрофотоаппаратом.

Комбинированная фототопографическая съемка представляет собой сочетание аэрофототопографической и фототеодолитной съемок. Местность фотографируется дважды: фототеодолитом с земли для развития геодезической съемочной сети и аэрофотоаппаратом с самолета для составления топографической карты.

При космической съемке снимки получают с искусственных спутников и космических летательных аппаратов.

§ 56. Сущность наземной фототопографической съемки

Идея наземной фототопографической съемки состоит в составлении плана участка местности по двум взаимно перекрывающимся фотоснимкам, полученным с некоторого наземного базиса фотографирования. Такая пара снимков одного и того же участка местности называется стереоскопической парой или сокращенно стереопарой. Рассматривая оба снимка стереопары одновременно, но левым глазом только левый снимок, а правым — только правый, получают стереоскопический эффект (стереоэффект). При этом два плоских изображения (фотоснимка) сливаются в одно объемное изображение — стереоскопическую модель или стереомодель. По стереомодели наблюдатель имеет возможность оценить относительное расположение элементов местности в пространстве.

Полученную стереомодель измеряют на высокоточных обрабатывающих стереоприборах и получают топографический план местности.

В основе метода наземной фототопографической съемки лежат геометрические соотношения между положением определяемых точек на местности и их фотографическими изображениями на фотоснимках стереопары.

Для выполнения полевых работ при наземной фототопографической съемке применяют приборы, называемые фототеодолитами. Каждый фототеодолит состоит из специальной фотокамеры и угломерного прибора. Одним из типичных фототеодолитов является фототеодолитный комплект Фотео 19/1318

производства Народного предприятия «Карл Цейс, Йена» (ГДР). В комплект входят: фотокамера, теодолит, набор фотокассет, двухметровая базисная дальномерная рейка, штативы, трегеры, визирные марки, отвесы.

Фотокамера, дающая фотоснимки размером 13X18 см на фотопластинках, имеет ориентирующее устройство. Оно позволяет ориентировать фотокамеру относительно базиса фотографирования в заданном положении. Фокусное расстояние жестко встроенного объектива фотокамеры составляет около 19 см.

Теодолит предназначен для измерения длины базиса при помощи горизонтальной базисной рейки, а также для геодезических измерений по привязке базиса к геодезической сети.

Полевые работы при наземной фототопографической съемке включают рекогносцировку местности, закрепление точек базисов фотографирования, геодезические привязочные работы, измерение базисов фотографирования, фотосъемку местности.

Камеральные работы состоят из фотолабораторной обработки экспонированных фотопластинок, вычислительной обработки полевых геодезических измерений, камеральных фотограмметрических работ по составлению топографического плана.

Фотограмметрическая обработка наземных снимков заключается в высокоточном измерении стереомодели местности по стереопаре снимков на специальных стереофотограмметрических приборах. В результате фотограмметрических работ составляют оригинал топографического плана на заданный участок местности.

Производительность и особенно качество работ при фототопографической съемке значительно выше, чем при тахеометрической или мензульной. Существенно уменьшается объем полевых работ. План составляется по снимкам полностью в камеральных условиях.

Наземная фототопографическая съемка широко применяется для картографирования в крупных масштабах сравнительно небольших участков местности, в том числе при маркшейдерских съемках открытых горных разработок. При картографировании значительных территорий она уступает по производительности аэрофототопографической съемке.

§ 57. Сущность аэрофототопографической съемки

При аэрофототопографической съемке фотоснимки местности получают при помощи аэрофотографического аппарата (АФА), установленного на самолете в определенном положении. Процесс получения фотоснимков местности с самолета, называется аэрофотосъемкой.

Аэрофотоаппарат представляет собой автоматизированную фотосъемочную систему. При аэросъемке применяют высокочувствительную аэрофотопленку. Управление работой АФА (перематка пленки, прижим ее к фокальной плоскости фотокамеры, экспонирование и т. д.) осуществляется дистанционно и автоматически.

АФА устанавливают на самолете с таким расчетом, чтобы оптическая ось объектива была направлена отвесно вниз. За счет неустойчивого положения самолета в воздухе оптическая ось АФА отклоняется на тот или иной угол относительно вертикали. Если углы наклона снимков в момент фотографирования не превышают 3° , то такая аэрофотосъемка называется плановой, а фотоснимки — плановыми аэрофотоснимками.

Для съемки больших по площади участков местности производят последовательное фотографирование с летящего самолета через определенные интервалы времени с таким расчетом, чтобы каждый последующий снимок перекрывал предыдущий не менее чем на 60% — на величину продольного перекрытия. Если площадь участка настолько велика, что с одного прямолинейного полета (маршрута) всю ее сфотографировать нельзя, то съемку выполняют с нескольких параллельных маршрутов. Между снимками смежных маршрутов также должно выдерживаться перекрытие (поперечное) не менее, чем на 35—40%.

Полученные аэроснимки должны быть привязаны к местности. Это означает, что должны быть выполнены полевые геодезические работы, в результате которых определяют координаты некоторого числа точек местности, четко опознающихся на снимках. Такие точки называются опознаками. Число и расположение их зависит от масштаба составляемого плана, последующего способа фотограмметрической обработки аэроснимков, физико-географических условий местности и т. п.

Полученные аэрофотоснимки и пространственные координаты опознаков поступают в камеральное производство для фотограмметрической обработки. По аэрофотоснимкам путем специальных измерений строят триангуляционные сети (фототриангуляцию) с целью сгущения сети опознаков до необходимой плотности. Связь точек стереопары снимков и точек местности решается при помощи ЭВМ или сложных универсальных стереофотограмметрических приборов.

Для составления по аэрофотоснимкам оригинала топографического плана используют такие универсальные стереоприборы, как стереопроекторы проф. Г. В. Романовского, стереографы проф. Ф. В. Дробышева, а также аналогичные зарубежные приборы. На этих приборах строят стереомодель

местности, а затем ее измеряют, определяя пространственные координаты отдельных точек и зарисовывая рельеф горизонталями, т. е. составляют оригинал плана или карты.

В настоящее время метод аэрофототопографической съемки является основным для составления топографических планов и карт различных масштабов.

§ 58. Сущность космической фотограмметрической съемки

Запуск первого в мире советского искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. и первый космический полет летчика-космонавта Ю. А. Гагарина положили начало исследованиям Земли и планет Солнечной системы из космического пространства.

По своим свойствам космические снимки, т. е. снимки, полученные со спутников, существенно отличаются от обычных топографических аэрофотоснимков при аэрофототопографической съемке. Космические снимки мелкомасштабны, причем масштаб от снимка к снимку может значительно меняться. Они охватывают гораздо большую площадь поверхности планеты, чем аэрофотоснимки. Следовательно, при создании карт необходимо учитывать кривизну поверхности картографируемой планеты.

Особенности космических снимков привели к разработке особых методов фотограмметрической обработки их с целью создания карт.

Советские ученые-фотограмметристы успешно решают эти задачи. По материалам космической съемки, выполненной с космического летательного аппарата «Зонд-6», впервые в мире была составлена карта обратной стороны Луны. Космические снимки Марса позволили построить на поверхности планеты опорную сеть и составить карты сфотографированных участков ее поверхности.

В наши дни космические снимки Земли, получаемые с искусственных спутников, и результаты их фотограмметрической обработки широко применяются для решения практических задач в различных областях народного хозяйства и в научных исследованиях. Геология, океанология, метеорология, сельское и лесное хозяйство, охрана природной среды — вот далеко не полный перечень областей применения снимков Земли из космоса в нашей стране.

Большое значение в развитии космической фотограмметрической съемки имеют совместные исследования, выполняемые на международной основе Советским Союзом с социалистическими странами, а также с США, Францией, Индией и другими странами.

ГЛАВА 12

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНА (КАРТЫ) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

§ 59. Решение задач, связанных с определением планового положения точек

Наличие плана (карты) позволяет получить большое количество информации о местности и использовать ее для решения различных инженерных задач.

Северная и южная линии внутренней рамки листа карты (рис. 45, а) являются параллелями, а западная и восточная — меридианами. На листе карты имеются географические координаты углов рамки. Каждая сторона ее разбита на целые минуты по долготе и широте, что представляет собой минутную рамку. Для удобства пользования отрезки этой рамки через один залиты черным цветом. Отрезки aB и Bc соответствуют одной минуте долготы, а отрезки $йe$ и $e/$ — одной минуте широты.

Кроме этого, на карте (плане) имеется сетка прямоугольных координат. На рис. 45 приведена километровая сетка, т. е. расстояние между линиями по осям X и Y равно 1 км. На краях карты прямоугольная сетка оцифрована с внутренней стороны рамки. Наличие на карте системы прямоугольных координат позволяет получить значения координат любой точки на карте (плане). Пусть имеется на карте точка C . Ближайшая юго-западная точка пересечения координатной сетки имеет координаты $X'=6065$ км, $Y'=4311$ км. Опустив перпендикуляры из точки C на ближайшие координатные линии, получим приращения координат AX_C и $ДУ_C$. Тогда прямоугольные координаты точки C :

$$X_C = X' + AX_C$$

$$Y_C = Y' + AY_C$$

Для получения значений AX_C и $ДУ_C$ измеряют циркулем-измерителем эти отрезки и, пользуясь поперечным или линейным масштабом, определяют их значения в метрах. В примере $AX_C = 750$ м, $ДУ_C = 370$ м. Тогда искомые координаты точки C будут

$$X_C = 6065000 \text{ м} + 750 \text{ м} = 6065750 \text{ м};$$

$$Y_C = 4311000 \text{ м} + 370 \text{ м} = 4311370 \text{ м}.$$

Таким образом, точка C удалена на расстояние 6 065 750 м от плоскости экватора и находится в четвертой зоне на расстоянии 311 370 м от начала системы координат этой зоны, или с учетом сдвига начала координат на 500 км на запад будет

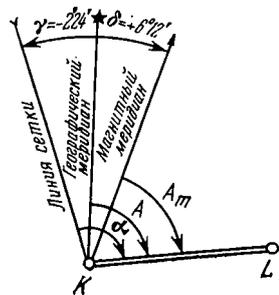
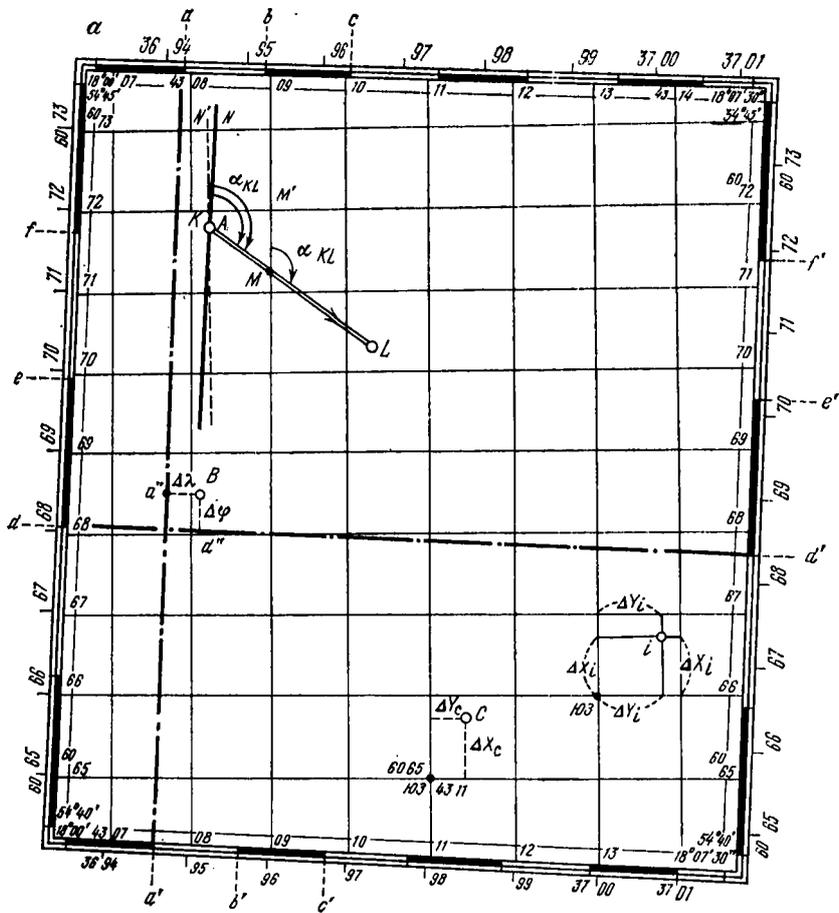


Рис. 45 Определение координат точек на карте (а) и схема ориентирования (б)

находиться на расстоянии 311370—500 000 м =—188 630 м к западу от осевого меридиана 4-й зоны.

Решение обратной задачи — нанесения на план или карту точки с заданными прямоугольными координатами осуществляется в обратном порядке. По заданным значениям координат устанавливают координаты юго-западного угла того квадрата, где должна находиться точка. Полученные разности между координатами этого угла квадрата и координатами точки будут представлять собой приращения координат ΔX_i и ΔY_i ; которые откладывают с учетом масштаба по соответствующим осям координат и накалывают точку I (см. рис. 45,а). В ряде случаев возникает необходимость определить географические координаты точки, например, B. Относительно рамки проводят ближайшие к точке B западный меридиан и южную параллель (показаны штрих-пунктирной линией). Из точки B опускают перпендикуляры на меридиан в точку a'' и на параллель в точку $c1''$. Широта ϕ_B и долгота $\Delta \lambda_B$ точки B могут быть получены из выражений:

$$\phi_B = \phi_{ю} + \Delta \phi_B;$$

$$\Delta \lambda_B = \Delta \lambda_3 - \Delta \lambda_{\Delta B},$$

где $\phi_{ю}$ — широта южной параллели (в данном случае $\phi_{ю} = 54^{\circ}42'00''$), $\Delta \lambda_3$ — долгота западного меридиана ($\Delta \lambda_3 = 18^{\circ}0'00''$).

Значения $\Delta \phi_B$ (в угл. с) определяют из отношения отрезка $Bc1''$ к отрезку $e\ddot{e}$, умноженному на $60''$:

$$\Delta \phi_B = \frac{Bc1''}{e\ddot{e}} \cdot 60'' = \frac{20,0 \text{ мм}}{74,5 \text{ мм}} \cdot 60'' = 16''.$$

Аналогично получают

$$\Delta \lambda_B = \frac{Ba''}{aB} \cdot 60'' = \frac{16,5 \text{ мм}}{43,2 \text{ мм}} \cdot 60'' = 23''.$$

Таким образом, широта точки B $\phi_B = 54^{\circ}42'00'' + 16'' = 54^{\circ}42'16''$, а долгота точки B $\Delta \lambda_B = 18^{\circ}0'00'' + 23'' = 18^{\circ}0'23''$.

Нанесение точки на карту по ее географическим координатам производится в обратном порядке. При этом формулы для определения $\Delta \phi$ и $\Delta \lambda$, преобразуются для вычисления длины отрезков $B\ddot{y}''$ и $a''B$, которые откладывают на карте от соответствующих параллелей и меридианов, получая на пересечении их искомую точку.

Непосредственно по карте или плану могут быть измерены длины линий (расстояния между точками) циркулем-измерителем с помощью линейного или поперечного масштаба. Измере-

ния повторяют дважды и расхождение между полученными значениями не должно превышать 0,2 мм в масштабе карты или плана.

Длины криволинейных линий между какими-либо точками удобно измерять с помощью курвиметра или циркулем-измерителем, разделив эту кривую на небольшие отрезки в зависимости от ее извилистости.

Ориентирование какой-либо линии относительно северного направления решается непосредственно по карте или плану.

На топографических картах помещают в южной части рамки схему ориентирования (рис. 45,6), которая показывает взаимное расположение географического, осевого и магнитного меридианов для средней точки изображенного на карте участка местности с указанием величин сближения меридианов u и склонения магнитной стрелки b . В этом случае для линии KB (см. рис. 45, а) достаточно измерить транспортиром один из ориентирующих углов (дирекционный угол, географический или магнитный азимут) и получить другие углы по формулам:

географический азимут $A_{KI} = a_{KI} - (-u)$;

магнитный азимут (см. рис. 45,6) $A_m = a - (\pm b) + (\pm u)$.

При этом дирекционный угол измеряется транспортиром от северного направления оси X координатной сетки по ходу часовой стрелки до данного направления, например, KB .

§ 60. Решение задач по определению высотного положения точек

Точка, высоту которой следует определить (рис. 46,а), может лежать на горизонтали (точка A), между горизонталями (точка B) или внутри замкнутой горизонтали (точка C). Высота точки A , лежащей на горизонтали, будет равна высоте горизонтали, т. е. $H_A = 260$ м. Чтобы найти высоту точки B , расположенной между горизонталями, необходимо определить заложение ската p^{\wedge} и заложение Bd , соответствующее превышению точки B над ближайшей горизонталью (в данном случае 250 м). Определение высоты точки B по известным значениям высот ближайших горизонталей называется **интерполированием**.

Высота сечения горизонталей указана на плане ($1\text{г} = 10$ м). Построив профиль ската (рис. 46,б) по линии $p < 7$, получим треугольник $p < 7Po$. Превышение BoB точки B над горизонталью 250 м находится из подобия треугольников BBo_d и $PoP < 7$.

$$BBo^{\wedge} = PoP,$$

$$\text{или } BBo_0 = PoP,$$

Таким образом, высота точки B будет равна $250 \text{ м} + BBo_0$.

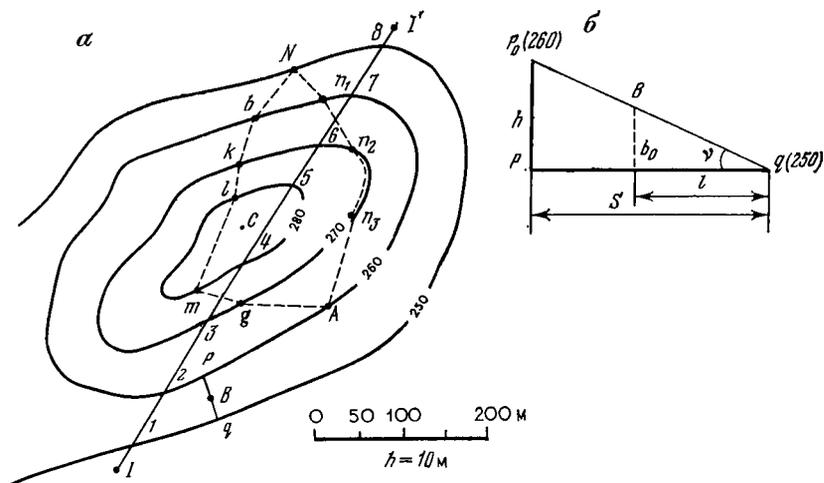


Рис. 46. Схемы для определения высот точек по горизонталям: а — положение точек относительно горизонталей; б — профиль ската

Высота точки *C* на вершине горы будет равна $280 \text{ м} + 0,5/1 = 280 \text{ м} + 0,5 \cdot 10 \text{ м} = 285 \text{ м}$.

По горизонталям рельефа местности можно определить и величины, характеризующие крутизну ската и уклоны линий.

Крутизна ската характеризуется углом наклона V линии наибольшего ската в данной точке. Из прямоугольного треугольника $l?Po < 7$ (см. рис. 46, б) получим

$$\text{tg } V = l/e,$$

где k (в м) — высота сечения рельефа горизонталями; l (в м) — заложение, измеренное на плане.

Крутизна ската V будет тем больше, чем меньше заложение l , и, наоборот, чем больше расстояние между горизонталями на плане, тем меньше крутизна ската.

При проектировании и строительстве инженерных сооружений обычно используют тангенсы углов наклона v , которые называются у к л о н а м и и обозначаются буквой

$$i = \text{tg } V = l/e.$$

Если принять в равной единице, то $i = l/g$. Это означает, что уклон представляет собой превышение на единицу длины. Так при $i = 0,10$ на 1 м длины превышение составит 10 см, а на 100 м будет равно 10 м.

При малых углах наклона уклоны выражают в тысячных долях (промилле ‰) и их записывают в виде целых чисел.

Рис. 47. График заложений:

a — для углов наклона; b —для уклонов

Например, уклон $i=0,012$ записывают $i=12\text{ ‰}$. Большие уклоны могут выражаться в %.

Для более удобного определения углов наклона и уклонов обычно пользуются специальными номограммами, которые называют графиками заложений. График заложений для углов наклона (рис. 47, а) строят следующим образом. Проводят горизонтальную линию и делят ее на равные отрезки длиной 1—1,5 см. У концов этих отрезков подписывают значения углов наклона V от $30'$ до 15° . Интервал значений углов выбирают в зависимости от крутизны скатов местности, изображенной на плане. Вычисляют величины заложений, соответствующие заданной высоте сечения рельефа L для каждого подпункта значения угла наклона v , по формуле $s = h/tgv$. Полученные значения заложений выражают в масштабе данного плана и откладывают их на перпендикулярах, восстановленных в точках соответствующих углов наклона. Концы отложенных заложений соединяют плавной кривой, которая является графиком заложений для углов наклона.

Для определения крутизны скатов, например, по линиям и берут с плана нужное заложение в раствор циркуля-измерителя и переносят его на график заложений. Перемещают одну ножку циркуля-измерителя по прямой углов наклона до тех пор, пока острая вторая ножка не совпадет с кривой графика заложений по перпендикуляру к горизонтальной прямой. У первой ножки циркуля на глаз берут отсчет угла наклона, соответствующий взятому заложению. На рис. 47, а заложениям $p < 7$ и $p > 71$ соответствуют углы наклона $1^\circ 42'$ и $0^\circ 52'$.

Графики заложений для уклонов (рис. 47, б) строят аналогично. На горизонтальной оси графика подписывают значения уклонов. Заложения вычисляют по формуле $s = h/i$. Величины заложений откладывают по перпендикуляру от соответствующих значений уклонов на горизонтальной линии в масштабе плана. Пользуются этим графиком так же, как и графиком заложений для углов наклона.

При проектировании дорог, других коммуникаций одним из основных требований является сохранение уклонов в заданных пределах при минимальной длине сооружений.

Пусть требуется наметить трассу дороги от точки N до точки A (см. рис. 46, а) на плане масштаба $1 : 5000$ с предельным уклоном $i=0,05$. При высоте сечения рельефа горизонталями 10 м, определяют заложение $я$, соответствующее предельному уклону:

$$\begin{array}{l} A \quad \quad 10000 \text{ мм} \quad \quad \blacksquare \quad 40 \text{ мм}, \\ \text{III} \quad \quad 0,05 \times 5000 \end{array}$$

где M — знаменатель численного масштаба плана.

Вычисленную величину заложения ($я = 40$ мм) берут в расвор циркуля-измерителя и, начиная движение от точки V , делают засечку точки B , расположенной на соседней горизонтали (260 м). От точки B далее делают засечку следующей точки $к$. Отрезки заложений откладывают между горизонталями до тех пор, пока не дойдут до конечной точки трассы. Обычно бывает несколько вариантов решения (V, n_1, n_2, n_3, A или $NbklmgA$).

Часто возникает необходимость в построении профиля местности по заданному направлению (рис. 48).

Для этого на плане прочерчивают линию $I-I'$ и отмечают на ней точки ее пересечения $1, 2, \dots, 8$ с горизонталями плана. Высоты точек пересечения равны высотам горизонталей. Высоты точек пересечения линии $I-I'$ с характерными точками и линиями рельефа (вершинами, водоразделами и т. д.) определяются так же, как описано в начале этого параграфа.

Определив высоты всех необходимых точек на линии $I-I'$ строят профиль участка местности. Для этого на листе бумаги проводят прямую и на ней в заданном горизонтальном масштабе откладывают отрезок заложения $I-I'$, расстояние между точками $1, 2, \dots, 8$, а также отмечают точки на перегибах рельефа. В каждой из полученных точек восставляют перпендикуляры к прямой $I-I'$, которой придается высота какого-либо условного горизонта, например 220 м. На каждом перпендикуляре откладывают в принятом вертикальном масштабе разность между высотами нанесенной точки и условного горизонта. Для наглядности вертикальный масштаб обычно выбирают в 10 раз крупнее горизонтального.

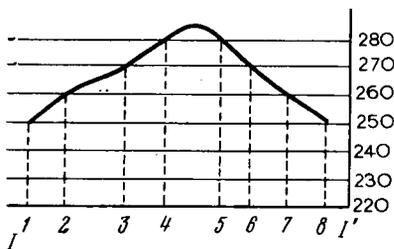


Рис. 48. Схема построения профиля местности по заданному направлению

Значение высоты условного горизонта выбирают такое, чтобы на профиле самая низкая точка местности отстояла от линии горизонта не менее чем на 3—5 см, для удобства дальнейшей работы с профилем в процессе проектирования на нем инженерного сооружения.

§61. Понятие о вычислении площадей

В зависимости от конфигурации участков, заданной точно-сти, наличия измерительных средств определение площадей по плану или карте может быть выполнено аналитическим, гра-фическим или механическим способом.

Аналитический способ целесообразно использовать, когда измеряемая площадь имеет вид многоугольника и известны прямоугольные координаты всех его вершин.

В этом случае аналитический способ является наиболее точ-ным, поскольку не требует никаких дополнительных измере-ний на плане.

Допустим, что необходимо определить площадь четырех-угольника 1234 (рис. 49), вершины которого имеют прямоуголь-ные координаты X_i и y_i . Площадь этой фигуры можно пред-ставить как алгебраическую сумму площадей трапеций

$$S = 5122 \cdot 1 + 2332 \cdot 2 - 4334 \cdot 3 - 8144 \cdot 4$$

Основания всех трапеций есть абсциссы точек, и они парал-лельны оси x . Высотами являются разности ординат. Удвоен-ная площадь трапеции есть произведение суммы оснований на высоту. Учитывая это, можно записать: $2S = (X_1 + X_2)(y_2 - y_1) +$
 $+ (X_2 + X_3)(y_3 - y_2) + (X_3 + X_4)(y_4 - y_3) - (X_4 + X_1)(y_1 - y_4)$ После преобразования получим $2S = x_1(y_2 - y_1) + x_2(y_3 - y_2) + x_3(y_4 - y_3) - x_4(y_1 - y_4)$ или в общем виде для любого n -угольника

И

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} x_i (y_{i+1} - y_i)$$

Таким образом, удвоенная площадь участка равна сумме произведений абсцисс каждой точки на разность ординат по-следующей и предыдущей точек. Этот способ определения пло-щадей весьма эффективен при использовании ЭВМ.

Если определяемые площади ограничены ломаными или криволинейными линиями, то для вычисления площадей может быть использован *графический способ*.

В первом случае участок, изображенный на плане, разби-вают на простейшие геометрические фигуры—треугольники, прямоугольники, трапеции. В каждой фигуре на плане тща-тельно измеряют основание и высоту (для треугольников), два основания и высоту (для трапеций) и две стороны (для прямо-угольника). По этим данным вычисляют площади каждой фи-гуры и, суммируя их, получают общую площадь участка. Раз-бивку участка осуществляют дважды, расхождение между

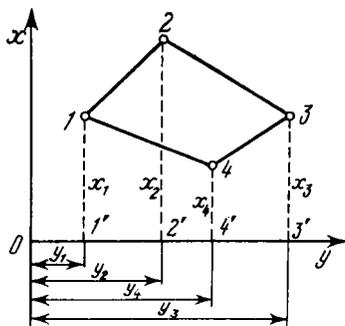
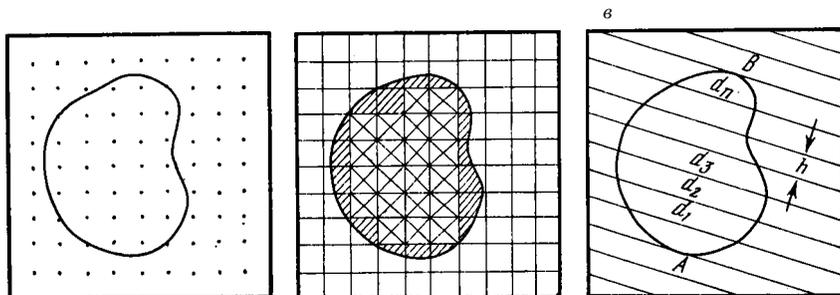


Рис. 49. Аналитический способ определения площадей

Рис. 50. Определение площадей с помощью палеток:

a — точечной; *б* — прямоугольной; *в* — параллельной



двумя определениями площадей не должно превышать 1/200 величины площади участка.

Определение площадей небольших участков с криволинейными границами осуществляют с помощью квадратной точечной или параллельной палеток.

Точечные и квадратные палетки (рис. 50, а, б) наносят на прозрачный материал (плексиглас, восковку и т. д.). Площадь определяется подсчетом точек или клеток палетки, наложенной на изображение участка на плане. Площадь участка при этом равна числу целых точек или квадратов палетки, уместившихся в пределах границы участка, плюс половина клеток, рассеченных контуром, умноженных на площадь одного квадрата в масштабе плана. Определение площади выполняют два — три раза для контроля.

Параллельная палетка (рис. 50, в) представляет собой лист прозрачного материала, на котором нанесены параллельные линии, проведенные на расстоянии 0,5—2 см друг от друга. При наложении ее на контур можно считать, что площадь участка разбивается палеткой на ряд трапеций с основаниями $\dot{e}_2, \dots, (I_n$. Крайние части с точками Л и В можно рассматривать как трапеции, у которых одно из оснований (\dot{e}_0 или \dot{e}_n) равно нулю.

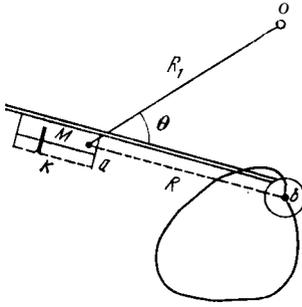


Рис. 51. Схема полярного планиметра:

О — полюс; а — ось вращения рычагов;
 — полюсный рычаг; В — обводный индекс; аВ* — ось обводного рычага; Я — длина обводного рычага; М — счетный механизм; к — плоскость счетного ролика; 0 — угол между рычагами

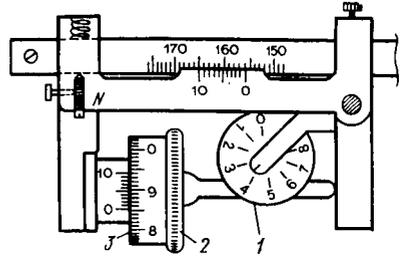


Рис. 52. Схема счетного механизма планиметра:

1 — циферблат; 2 — ободок ролика с рифельными штрихами; 3 — барабан с делениями; N — котировочный винт

Общая площадь участка 5 будет равна сумме площадей трапеций, каждая из которых имеет высоту k , равную расстоянию между линиями палетки:

$$s = \sum_{j=1}^n J_{s \pm} J_{h \pm} dl \pm d_{\pm h} + .4n + a_{n+1} \Delta$$

или окончательно после преобразований

$$v = k (\dot{u}x - | - + \dots + \Delta \Pi) -$$

Длины отрезков палетки определяют с помощью циркуля-измерителя или курвиметра.

Большие площади криволинейных участков измеряют *механическим способом* с помощью прибора — *планиметра*.

Схема полярного планиметра показана на рис. 51. Площади участков до 400 см² измеряют с установкой полюса планиметра О вне фигуры путем обвода индексом В по ее контуру.

На металлическом ободке счетного ролика 2 (рис. 52) нанесены рифельные штрихи для фрикционного сцепления с поверхностью плана. Поэтому при обводе фигуры счетный ролик вращается и проходит путь, который измеряют в специальных единицах длины t , называемых делением планиметра и равных 1/1000 длины ободка ролика.

Перед началом обвода индекс В (см. рис. 51) устанавливают в исходной точке контура и берут отсчет $1/\Delta$ по счетному механизму. Удерживая индекс В на линии контура, обводят фигуру по ходу часовой стрелки до исходной точки и берут отсчет u_2 после обвода. Полученная разность отсчетов $\Delta 0 = = u_2 -$ показывает число делений t , соответствующее

площади обведенной фигуры. Если последующий отсчет после обвода фигуры по ходу часовой стрелки оказался меньше предыдущего, то для вычисления разности $АН$ к последующему отсчету прибавляют 10 000 делений, а затем вычитают предыдущий отсчет.

Для повышения точности измерений и контроля обвода выполняют не менее двух раз. При этом расхождение разностей $\&u$ между двумя обводами не должно превышать 3 делений для площади фигуры до 200 см² на плане и 4 делений для площади более 200 см². Если расхождение допустимо, то из двух результатов вычисляют среднее значение $АII_{cp}$.

При обводе фигур необходимо соблюдать следующие требования:

поверхность бумаги плана должна быть гладкой без повреждений и расположена на ровной поверхности;

место для полюса планиметра нужно выбирать так, чтобы во время обвода фигуры углы между рычагами не были меньше 30° и больше 150°;

исходную точку при обводе площади следует выбирать в таком месте контура, где вращение счетного ролика будет самым медленным;

обвод фигуры должен выполняться плавно.

Площадь, определяемую обводами планиметра с установкой полюса вне фигуры, вычисляют по формуле

$$P = pA.u_{cp},$$

где p — цена деления планиметра.

Цена деления планиметра p — это площадь, соответствующая одному делению т. Значение p зависит от длины обводного рычага, которая может устанавливаться с помощью нониуса по шкале, нанесенной на металлической штанге планиметра.

Цену деления планиметра определяют многократным обводом фигуры с известной площадью P_0 при фиксированной длине рычага l (см. рис. 51). Обычно выбирают три или четыре квадрата координатной сетки. Каждую фигуру обводят дважды при положении полюса справа от обводного рычага, если смотреть вдоль него в направлении от счетного механизма к обводному индексу, и дважды при положении полюса слева. При перемещении положения обводного рычага точку полюса оставляют прежней. Результаты измерений записывают в журнал (табл. 10).

Точность определения площадей планиметром характеризуется относительной погрешностью $1/200$ – $1/400$ от величины измеряемой площади.

Таблица 10

Определение цены деления планиметра

Планиметр ПП-М № 1213; $l = 1555,9$; $P_0 = 40\ 000\ \text{м}^2$

Отсчет по ролику u	Разность отсчетов $D u$	Средняя разность $D\bar{u}_{n-}$	Число делений DC'_0	Цена деления $p = P_0 / DC'_0, \text{м}^2$
3228	3994	Полюс справа		
7222				
1212	3990			
7640				
1631	3991	Полюс слева	3991	10,02
5619				
	3988	3990		

§ 62. Понятие о вычислении объемов

Необходимо спланировать площадку, проектная высота которой 270 м, на участке, изображенном на рис. 46. Линией пересечения поверхности земли с заданной горизонтальной плоскостью будет горизонталь с высотой 270 м. Эта горизонталь будет являться границей выемки и насыпи.

Объем тела, изображенного горизонталями, можно получить как сумму объемов слоев, заключенных между соседними горизонтальными плоскостями, т. е. между горизонталями. Объем каждого такого слоя приблизительно может быть вычислен как объем цилиндра с площадью, равной среднему арифметическому из площадей, образованных верхней и нижней горизонталями слоя, и высотой k , равной высоте сечения рельефа местности, по формуле

$$V_{\text{я+}} = \frac{S_{\text{с+}} + S_{\text{н+}}}{2} \cdot D$$

Если самый верхний слой имеет вид конуса, то его объем вычисляют по формуле

$$V_{\text{я+}} = \frac{1}{3} S_{\text{н+}} A';$$

если он имеет вид купола, то используют формулу

$$V_{\text{я+}} = \frac{1}{6} S_{\text{н+}} A'.$$

В этих формулах — площадь, которую ограничивает на плане самая верхняя горизонталь; A' — превышение самой верх-

ней точки рельефа над верхней горизонталью. Общий объем тела подсчитывают как сумму объемов отдельных слоев: $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$

ГЛАВА 13 ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗЫСКАНИЙ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 63. Стадии проектирования сооружений и виды изысканий

Разработка специальной документации, предназначенной для проведения строительства какого-либо сооружения называется проектированием. Проект выполняют на основе результатов инженерных изысканий, т. е. комплекса технико-экономических исследований участка строительства. Он содержит графическую, расчетно-текстовую и экономическую части. Различают индивидуальные или типовые проектные решения.

Проект на строительство (или реконструкцию) горного предприятия обычно создают по одному из вариантов, приведенных на рис. 53.

Двухстадийное проектирование выполняют при строительстве крупных и сложных промышленных комплексов. На стадии технического проекта разрабатывают вопросы организации, технологии и экономики производства, выбирают конструктивные решения по возведению сооружения, составляют смету на строительство, устанавливают технико-экономические показатели. При разработке рабочих чертежей уточняют и детализируют решения, предусмотренные техническим проектом по выполнению строительного-монтажных работ.

В одну стадию, как правило, разрабатывают проекты строительства несложных объектов или возводимых по типовым проектам. В технорабочем проекте разработку материалов, обосновывающих принимаемые проектные решения, совмещают с составлением рабочих чертежей.

Для улучшения качества проектирования и повышения производительности труда при составлении проектов следует широко использовать средства оргтехники и ЭВМ. Применение ЭВМ позволяет более эффективно решать различные задачи, возникающие при проектировании, быстро получать проектную документацию, выбирать оптимальный график выполнения строительного-монтажных работ.

В связи с постоянным совершенствованием проектно-сметного дела особое внимание уделяется технико-экономическому обоснованию (ТЭО) целесообразности строительства объектов.

В перспективе предусматривается переход в основном на одностадийное проектирование, поскольку при этом существенно сокращаются сроки проектирования, уменьшаются объемы проектно-сметной документации.

В зарубежных социалистических странах применяется двух- и трехстадийное проектирование с выполнением предпроектной проработки и широким использованием советского опыта организации и планирования проектных работ. Рабочие чертежи часто изготавливают до завершения предыдущей стадии проектирования.

В капиталистических странах проектирование в основном выполняется частными фирмами; при этом стадийность проектирования, как правило, не регламентируется, а сроки работ определяются по согласованию заказчика с исполнителем.

Повышение технического уровня проектов и сокращение сроков их разработки способствует ускорению научно-технического прогресса. Для выбора наиболее экономичного варианта возводимого сооружения и принятия оптимального технического решения его строительства необходимы сведения об условиях района работ: топография участка, его геологическое строение, свойства грунтов, гидрологические и климатические особенности. Данные о природных условиях получают в результате проведения инженерных изысканий, которые так же как и проектирование делятся на стадии. Каждая стадия изысканий обеспечивает необходимой информацией соответствующую стадию проектирования. Поэтому изыскания подразделяют на предварительные, стадии проекта и стадии рабочих чертежей. Структура изысканий приведена на рис. 54.

Экономические изыскания, как правило, предшествуют техническим и проводятся для выявления экономической целесообразности строительства горного предприятия в определенном месте в результате изучения сырьевых и энергетических ресурсов, транспортных связей, производственных сил района.

Технические изыскания проводят с целью изучения природных условий участка работ и всестороннего их учета при проектировании и строительстве. Технические изыскания подразделяют на инженерно-геодезические, инженерно-геологические и гидрологические.

Инженерно-геодезические изыскания выполняют для получения сведений о рельефе и ситуации местности.

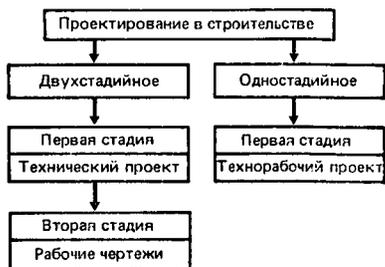


Рис. 53. Блок-схема стадийного проектирования в строительстве

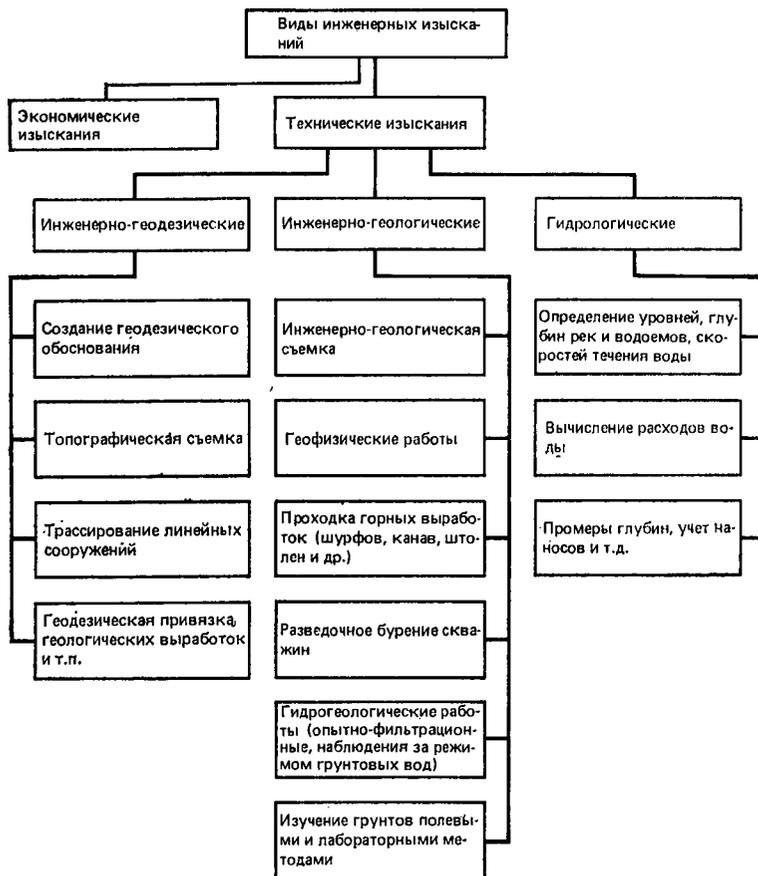


Рис. 54. Структура инженерных изысканий

Они являются основой для проектирования и используются также для проведения других видов изысканий.

Инженерно-геологические изыскания позволяют выявить геологические особенности участка строительства и определить условия строительства.

В процессе гидрологических изысканий получают сведения о водном режиме рек и водоемов в районе будущего строительства.

Состав и объем инженерных изысканий зависят от особенностей проектируемого сооружения, степени изученности природных условий, стадии проектирования. Данные инженерных изысканий позволяют дать обоснованное заключение о воз-

возможности строительства в конкретном месте, получить необходимую информацию для выбора оптимальной конструкции сооружения, определить его сметную стоимость.

§ 64. Понятие об инженерно-геологических изысканиях

Инженерно-геологические изыскания проводят с целью изучения гидрогеологических условий участка строительства, состояния и физико-механических свойств грунтов и ряда других факторов, влияющих на строительство (или эксплуатацию) сооружений. Они обычно выполняются до начала проектирования вместе с другими видами изысканий. В результате таких достаточных исследований на основе полученных материалов составляется программа работ с обоснованием методов, технических средств, стоимости, сроков его реализации.

На стадии технического проекта анализируют различные варианты проектов, выявляя оптимальный с наилучшей компоновкой объектов. В состав полевых работ входят инженерно-геологические съемки, буровые работы, проходка горных выработок, исследование состава и свойств грунтов, геофизические работы.

Основная задача инженерно-геологических изысканий на стадии рабочих чертежей — это геологическое обоснование проекта строительства отдельных объектов и разработка защитных мероприятий от вредного воздействия различных природных явлений. При этом выполняют на ограниченных площадях разведочные инженерно-геологические работы, проводят опробование грунтов для оценки их качества, получая необходимую информацию для расчета оснований и фундаментов сооружения.

Инженерно-геологические изыскания сопровождаются геодезическими работами, необходимыми для создания топографических карт, выноса в натуру и привязки горных выработок как в плане, так и по высоте, для решения других специальных инженерных задач.

§ 65. Геодезическое обеспечение при изысканиях инженерных сооружений линейного типа

При проектировании линейных объектов (автодорог, траншей, линий электропередач, связи и т. д.) возникает необходимость построения продольных профилей по осям этих сооружений.

Если трассу ¹ проектируют по топографическим картам или планам, то трассирование называют камеральным; если поло-

¹ Под трассой понимают ось сооружения линейного типа.

жение трассы выбирают непосредственно на местности, то полевым. Геометрическое нивелирование, выполняемое при этом и предназначенное для решения данных задач, называют техническим нивелированием. Суть его сводится к определению высотного и планового положения точек, расположенных вдоль оси сооружения через определенные интервалы (50—100 м), и дополнительных между ними точек, отражающих особенности рельефа местности.

В состав полевых работ изысканий этих сооружений входят подготовительные, рекогносцировка местности, разбивка пикетажа и съемка ситуации вдоль трассы, разбивка закруглений, вынос пикетов на кривую, нивелирование всех точек трассы.

Подготовительные работы включают поверки, юстировки, исследования геодезических приборов и их принадлежностей.

Рекогносцировка местности проводится с целью выбора окончательного положения трассы. Она по возможности должна иметь минимальную длину, проходить по малопересеченной местности в обход мест, неустойчивых в геологическом отношении.

Разбивка пикетажа. Определив окончательное положение трассы, приступают к разбивке оси сооружения на равные по длине участки, как правило, в 100 м. При углах наклона местности $\nu > 2^\circ$ между пикетами откладывают расстояния $\xi = \frac{V}{\sin \nu}$ ($V = 100$ м). Конечные точки таких участков трассы называют пикетами, поэтому совокупность действий по определению их положений на местности получило название разбивки пикетажа.

Пикеты закрепляют на местности деревянными колышками, вбиваемыми почти вровень с землей. Для их быстрого отыскания и обозначения рядом с пикетами вбивают сторожок — колышек длиной 0,3—0,4 м, на верхней части которого подписывают номер пикета. Пикету, совпадающему с началом трассы, присваивают нулевой номер, следующему через 100 м — номер один и т. д. Такая нумерация удобна тем, что по номеру пикета легко определить расстояние от начала трассы. Например, ПКЗ (пикет № 3) находится в 300 м от начала трассы.

Если трасса представляет собой ломаную линию, то вершины углов закрепляют колышками на местности и теодолитом измеряют углы θ . Угол θ , составленный воображаемым продолжением прямолинейного участка трассы и ее новым направлением, называют углом поворота трассы.

Для более полной характеристики рельефа местности помимо пикетов в местах перегиба земной поверхности вдоль трассы фиксируют дополнительные точки *C*, *E*, *P* (рис. 55), называемые плюсовыми. На сторожке плюсовой точки под-

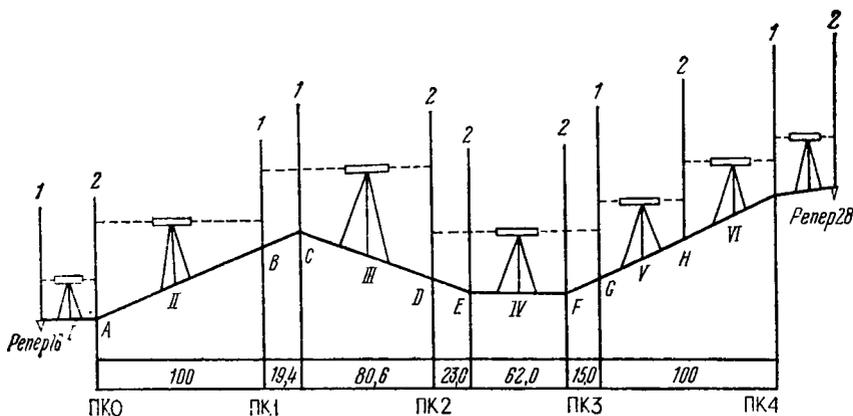


Рис. 55. Схема нивелирования пикетов и промежуточных точек

писывают номер ближайшего заднего пикета и расстояние от него в метрах, например ПКН-19,4.

Закрепление по трассе пикетов и промежуточных точек сопровождается одновременной разбивкой точек, расположенных влево и вправо от трассы по перпендикулярным к ней направлениям, называемым поперечными профилями. Они характеризуют рельеф в поперечном направлении к трассе и их используют для подсчета объемов земляных работ. Для нахождения положения точек поперечного профиля измеряют расстояния в обе стороны от трассы. Длины поперечных профилей и расстояния между ними могут быть различными в зависимости от назначения профиля, характера местности и точности работ.

Чтобы иметь информацию о ситуации местности, непосредственно прилегающей к трассе, в процессе разбивки пикетажа проводится съемка узкой полосы с помощью прибора или глазомерная съемка в пределах 25—50 м влево и вправо от оси. Результаты разбивочных и съемочных работ отражают в пикетажной книжке, страницы которой разграфлены на квадраты. Центральную линию на странице пикетажной книжки принимают за ось сооружения, а влево и вправо от нее в принятом масштабе съемки показывают ситуацию местности. Трасса независимо от наличия поворотов изображается в пикетажной книжке в виде прямой линии. Углы поворота показывают условно в виде стрелки с указанием нового направления трассы. Рядом на полях пикетажной книжки вписывают значение угла поворота и азимут (или румб) нового направления. Поскольку ось сооружения линейного типа в пикетажной книжке представлена прямой линией, то реальное положение

ситуации местности сохраняется только относительно каждого прямолинейного участка трассы. По данным пикетажной книжки вычерчивают план местности на продольном профиле.

Таким образом, передвигаясь по прямолинейному участку трассы, одновременно выполняют разбивку пикетажа и поперечных профилей, фиксируют положение промежуточных точек и ведут съемку ситуации. Дойдя до вершины первого угла поворота, и определив его пикетажное значение, разбивочные работы временно приостанавливают, поскольку в месте поворота трассы необходимо вставить между прямолинейными участками сопрягающую кривую, называемую закруглением. Поскольку длину трассы необходимо знать по сопрягающей кривой, а не по ломаной линии, то возникает задача разбивки кривой.

Разбивка закруглений. Существуют сопрягающие кривые между прямолинейными участками различных видов. На практике чаще используют наиболее простой вид кривой, являющейся дугой окружности и называемый круговой кривой. Начало кривой (НК), ее середина (СК) и конец (КК) определяют главные точки кривой. Для их нахождения необходимо знать следующие элементы круговой кривой: θ —угол поворота трассы; R — радиус кривой; L — длину касательной, называемую тангенсом; K — длину кривой; B — биссектрису кривой; D — домер, представляющий собой разность длин между ломаной $2T$ и дугой K .

Если угол поворота трассы θ измерен на местности, а значение радиуса R выбрано с учетом местности и класса сооружения, то остальные элементы круговой кривой можно вычислить.

Из прямоугольного треугольника OAB (рис. 56)

$$t = R \cdot \tan \frac{\theta}{2}$$

Длину кривой K определяют по формуле

$$K = \frac{2R \cdot \theta}{360^\circ} = \frac{2R \cdot \theta}{180^\circ}$$

Биссектриса кривой

$$B = OB - R = R \cdot \tan \frac{\theta}{2} - R = R (\tan \frac{\theta}{2} - 1)$$

По найденным значениям тангенса T и кривой K вычисляют домер

$$D = 2T - K.$$

Зная элементы круговой кривой, находят ее главные точки на местности. Начало (НК) и конец (КК) круговой кривой по-

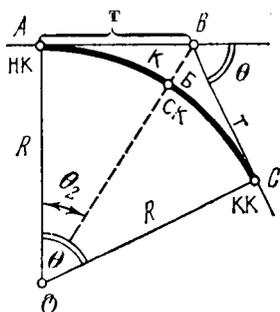


Рис. 56. Элементы круговой кривой

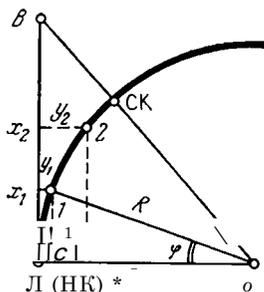


Рис. 57. Схема способа прямоугольных координат

лучают, откладывая значения тангенсов от вершины угла поворота против и по ходу трассы.

Для отыскания середины кривой (СК.) устанавливают теодолит в вершине угла, находят на местности направление биссектрисы BO , вдоль которой откладывают ее значение B и фиксируют точку, являющуюся серединой кривой.

Пикетажное значение главных точек круговой кривой определяют по формулам:

$$HK = BV - T;$$

$$СК = НК + (1/2) K;$$

$$KK = НК + K.$$

Контроль:

$$KK = BV + T - D,$$

где BV — пикетажное значение вершины угла поворота.

Закрепив кольшками главные точки круговой кривой, продолжают разбивку пикетажа следующего прямолинейного участка. Чтобы получить положение пикета, находящегося за концом круговой кривой по ходу трассы, откладывают расстояние, дополняющее пикетажное значение конца кривой до ближайшей сотни метров. Далее разбивку пикетажа выполняют в том же порядке.

При производстве строительных работ главных точек округлений оказывается недостаточно, поэтому прибегают к детальной разбивке кривой, т. е. к обозначению на местности круговой кривой дополнительными точками через определенные и равные промежутки.

Рассмотрим один из наиболее распространенных способов детальной разбивки кривой.

Способ прямоугольных координат (рис. 57). Сущность способа заключается в определении положения точек $1, 2, \dots, n,$

расположенных на круговой кривой через некоторые равные интервалы l , при помощи прямоугольных координат x_i, y_j . Разбивку ведут от начала и конца кривой к ее середине. Ось абсцисс является линия тангенсов, а началом координат — начало или конец круговой кривой. Для вычисления координат X_i, y_j предварительно находят центральный угол φ , соответствующий дуге l ,

$$\Phi = \frac{l}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{l}{R} \quad (69)$$

Далее, решая прямоугольный треугольник OC_i , получают $x_i = R \sin \varphi$. (70)

Значение y_j находят из прямоугольного треугольника OC_j . $y_j = R - OC_j = R - l \cos \varphi = R(1 - \cos \varphi)$, (71)

или

$$y_x = 2R \sin^2 (\varphi/2).$$

Координаты всех точек, расположенных на первой половине кривой на расстоянии l друг от друга, вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} x_i &= R \sin \varphi; \\ y_j &= 2R \sin^2 (\varphi/2). \end{aligned}$$

Вторая половина кривой разбивается в направлении от ее конца к середине. Так как разбивочные точки располагаются симметрично относительно середины кривой, то новых вычислений при разбивке второй половины кривой не делают, а пользуются результатами уже выполненных вычислений.

В способе прямоугольных координат разбивочные точки получают независимо одна от другой, следовательно, накапливания погрешностей не происходит. В этом заключается основное достоинство способа. Его целесообразно применять при разбивке кривых на открытой и ровной местности, удобной для линейных измерений.

Вынос пикетов на кривую. Поскольку разбивка пикетажа ведется по прямолинейным направлениям, а продольный профиль составляется по оси будущего сооружения, то пикеты, попавшие на тангенсы, должны быть перенесены на ось сооружения. Эта процедура носит название выноса пикета на кривую.

Эту задачу решают по описанному выше способу прямоугольных координат. Прямоугольные координаты каждого выносимого пикета вычисляют по формулам (70), (71) с учетом соотношения (69), в котором l — удаление выносимого пикета

от начала кривой (для первой ее половины) либо от конца кривой (для второй ее половины).

Для нахождения пикета на кривой откладывают с помощью рулетки расстояние X' (см. рис. 57) от начала кривой (НК), принятой за начало координат, в направлении вершины угла поворота. Из полученной точки восстанавливают перпендикуляр, откладывают в этом направлении значение y' . Найденную точку / закрепляют на местности и т. д.

Нивелирование трассы. При техническом нивелировании все точки, зафиксированные на местности по оси сооружения, делят на связующие и промежуточные. Связующие точки являются общими для двух смежных станций и служат для передачи высот по ходу. Все остальные точки нивелирного хода называют промежуточными. Для передачи абсолютной высоты от ближайшего репера на нулевой пикет прокладывают нивелирный ход. Такие действия называют привязкой нивелирного хода к государственной сети. Нивелирование связующих точек, как правило, выполняют из середины.

При нивелировании трассы необходимо выполнять следующие условия:

контролировать неравенство (в пределах 10 м) расстояний от нивелира до задней и передней реек на станции;

не допускать удаления реек от станции свыше 100 м (или 150 м при увеличении трубы свыше 30^х);

следить, чтобы высота визирного луча над поверхностью земли была не менее 0,2 м;

контролировать полученное на станции превышение между связующими точками повторным измерением. При работе с двухсторонними рейками отсчеты выполняют по обоим сторонам рейки. Расхождение двух превышений, вычисленных на станции, не должно превышать 5 мм;

нивелировать промежуточные точки один раз (без контроля) по черным сторонам реек. При этом допускается неравенство расстояний от прибора до реек.

Порядок работы на станции. Нивелирование трассы ведут от нулевого пикета. Полевые работы на станции выполняют в следующей последовательности.

1. Устанавливают нивелир на станции /, примерно равноотстоящий от реек 1 и 2 (см. рис. 55).

2. Приводят при помощи круглого уровня ось вращения прибора в отвесное положение.

3. Визируют на заднюю рейку 1, установленную в точке Реп. 16, приводят элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня на середину, делают отсчеты по средней нити по черной и красной сторонам рейки. Результаты измерений записывают в нивелирный журнал. При работе нивелиром с само-

устанавливаемой линией визирования это действие не выполняют.

4. Аналогичным образом получают отсчеты по средней нити по черной и красной сторонам передней рейки 2, установленной в точке А. Результаты фиксируют в нивелирном журнале.

5. На каждой станции вычисляют превышения, определенные по черным и красным сторонам реек.

При допустимых (менее 5 мм) расхождениях в превышениях вычисляют среднее превышение, округленное до целых миллиметров. При невыполнении указанного допуска измерения на станции повторяют.

Если между связующими точками станции промежуточные точки отсутствуют, то наблюдатель с прибором переходит на следующую станцию, а задний реечник — на переднюю точку новой станции.

При наличии промежуточных точек на станции их нивелирование выполняют лишь после завершения нивелирования связующих точек. Отсчеты берут по черной стороне рейки, последовательно устанавливаемой задним реечником на всех промежуточных точках. Точки поперечного профиля также нивелируют как промежуточные.

Следует отметить, что промежуточная точка может быть использована и в качестве связующей (например, точка Н, см. рис. 55), а пикеты могут быть пронивелированы как промежуточные точки.

При нивелировании на крутых равномерных склонах, когда при одной установке прибора оказывается невозможным определить превышение между соседними точками, между ними закрепляют дополнительные точки, выполняющие роль связующих. Поскольку выбранные точки располагаются на участках местности с равномерным уклоном, то нет надобности наносить их на профиль и измерять до них расстояния от пикетов. Такие дополнительные связующие точки носят название и к с о в ы х.

После нивелирования всех пикетов и промежуточных точек, расположенных на трассе и поперечных профилях, делают привязку нивелирного хода к реперу. В этом случае обеспечивается надежный контроль качества полевых измерений. При отсутствии такого репера прокладывают двойной нивелирный ход, т. е. нивелируют трассу в прямом и обратном направлениях.

Камеральная обработка результатов технического нивелирования состоит в обработке журнала нивелирования, включающего проверку правильности записей и полевых вычислений, выполнение уравнивания нивелирного хода, вычисление высот нивелируемых точек, а также в составлении продольного и поперечных профилей трассы.

Обработка нивелирного журнала (табл. 11). Контроль результатов полевых измерений проводят отдельно для каждой страницы журнала либо в поле, либо в камеральных условиях и называют постраничным контролем. Он заключается в подсчете и записи в нижней части страницы журнала соответствующих суммарных результатов.

Вычисления, аналогичные постраничным, выполняют и для всего хода.

В случае правильности вычислений приступают к приближенному уравниванию нивелирного хода, т. е. к нахождению наиболее надежных значений высот связующих точек. Приближенное уравнивание разомкнутого или замкнутого нивелирного хода сводится к распределению высотной невязки на все превышения пропорционально расстояниям между связующими точками.

Высотную невязку хода, возникающую вследствие неизбежных погрешностей измерений, вычисляют по формуле

$$f_{\text{л}} = 2/\gamma_{\text{изм}} - 2/\gamma_{\text{теор}}, \quad (72)$$

где $2L_{\text{изм}}$ — сумма измеренных превышений в нивелирном ходе; $2L_{\text{теор}}$ — теоретическая сумма превышений в нивелирном ходе.

Теоретическая сумма превышений разомкнутого хода, проложенного между реперами с известными высотами,

$$2L_{\text{теор}} \sim H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}},$$

где $H_{\text{кон}}$, $H_{\text{нач}}$ — известные абсолютные высоты конечной и начальной точек хода. В замкнутом нивелирном ходе $2L_{\text{теор}} = 0$.

Невязки $f_{\text{л}}$, нивелирных ходов или замкнутых полигонов, определенные по формуле (72), сравнивают с предельной невязкой хода, допускаемой при техническом нивелировании и вычисляемой по формуле

$$f_{\text{л пред}} = 50л/B,$$

где B — число км в ходе (полигоне).

Если $f_{\text{л}}$ не превышает $f_{\text{л пред}}$, то невязку распределяют пропорционально расстояниям между связующими пикетами. В ходе технического нивелирования эти расстояния, как правило, примерно одинаковы, поэтому во все превышения вводят одинаковые поправки (т. е. невязку распределяют поровну во все превышения). Поправки $v_{\text{л}}$, вычисляют с точностью до 1 мм и вводят в превышения со знаком, обратным знаку невязки $f_{\text{л}}$.

Для контроля находят сумму поправок $\sum_{i=1}^n v_{\text{л}}$, (n — числостан-

ций), которая должна быть равна $-f_{\text{л}}$.

Начиная с исходного пункта, прибавляют последовательно к высоте предыдущей точки исправленное превышение между

Таблица 11
Журнал нивелирования

Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейкам		
		задний	передний	промежуточный
1	2	3	4	5
<i>I</i>	Реп. 16 пко	1441 (1) 6126(2)	1567 (3) 6251 (4)	
<i>II</i>	пко ПК1 Поперечный профиль пр. ПК1 + 12,5 пр. ПКР + 25,0 лев. ПК1 + 12,5 лев. ПК1 + 25,0	2590 (8) 7276(11)	0455 (9) 5143 (10)	1617 (12) 0873 (13) 0381 (14) 0310 (15)
<i>III</i>	ПК1 ПК2 ПК1 + 19,4	1294 5978	2416 7104	0782
<i>IV</i>	ПК2 пкз ПК2 + 23,0 ПК2 + 85,0	2455 7140	0213 4899	2980 2018
<i>V</i>	пкз ПК*	2107 6792	0563 5248	
<i>VI</i>	ПКх ПК4	2142 6828	0247 4930	
<i>VII</i>	ПК4 Реп. 28	1305 5990	1104 5796	
		59 464 (19) 45 931 (20) —13 533 (42)	45 931 (20)	

Превышения, м				Горизонт прибора	Условная высота	Абсолютная высота, м
наблюденные		средние				
+	-	+	-			
6	7	8	9			
	126 (5) 125 (6)		-1 126 (7)			145,286 145,159
2135 (16) 2133 (17)		-2 2134 (18)		147,635		145,159 147,291 146,018 146,762 147,254 147,325
	1122 1126		-2 1124	148,478		147,291 146,195 147,696
2242 2241		2242 2242		148,717		146,195 148,405 145,737 146,699
1544 1544		-2 1544				148,405 149,947
1895 1898		-2 1896				149,947 151,841
201 199		-2 200				151,841 152,039
		8016 (21) 1250 6766 (23)	1250 (22)			

2Лизм----- Б6766

²Лгеорп_г_6233

/й" +13; /пред = 50^Ь = 50 д/0,4 « 32 мм

связующими точками h_i ; $h_{i+1} = h_i + \Delta h_i$; h_n получают высоту последующей точки хода, т. е.

$$h_{i+1} = h_i + \Delta h_i$$

Контролем правильности выполненных действий служит точное совпадение вычисленного и известного значений высоты конечного пункта.

После определения высот связующих точек нивелирного хода приступают к нахождению высот промежуточных точек (рис. 58). Для этого используют горизонт прибора на станции, под которым понимают абсолютную высоту $H_{г.п.}$ визирной оси прибора. Горизонт прибора равен высоте заднего (или переднего) пикета плюс отсчет по рейке, установленной на нем:

$$H_{г.п.} = H_{ПК1} + a$$

$$H_{м.п.} = H_{ПК2} + b$$

Высоту любой промежуточной точки $h_{м.п.}$ получают как разность горизонта прибора $H_{г.п.}$ и отсчета по рейке, установленной в этой точке, т. е. $h_{м.п.} = H_{г.п.} - c$.

Построение продольного профиля трассы. Техническое нивелирование завершают составлением продольного и поперечного профилей трассы, которые строят на основании вычисленных высот. Обычно профиль вычерчивают на миллиметровой бумаге, принимая для большей выразительности рельефа масштаб по вертикали в 10 раз крупнее, чем по горизонтали.

В средней части листа проводят горизонтальную линию (рис. 59), являющуюся линией условного горизонта. Ниже этой линии строят профильную сетку, содержащую ряд полос. Их длины определяются протяженностью трассы в принятом горизонтальном масштабе. В полосе 7 вертикальной чертой отмечают и подписывают номера пикетов и плюсовых точек. Влево и вправо от них отмечают расстояния до ближайших пикетов или плюсовых точек. В полосе 8 вычерчивают трассу, развернутую в одном направлении. Круговые кривые на ней показывают условно дугами. При повороте трассы направо дугу обращают своей выпуклостью вверх, а при повороте налево — вниз. Начало и конец круговой кривой наносят по результатам расчета главных точек кривой. В полосе 6 выписывают (черным цветом) из журнала нивелирования высоты связующих и промежуточных точек (округленные до 1 см), называемые фактическими отметками. В полосе 2 располагают посередине ось сооружения линейного типа и от нее строят в условных обозначениях план местности согласно данным пикетажной книжки. Повороты трассы показывают условно стрелками. В полосе 1 записывают сведения о грунте местности. Затем

Рис. 58. Схема определения высот промежуточных точек с использованием горизонта дрибора

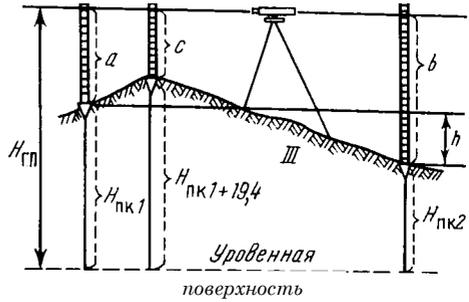
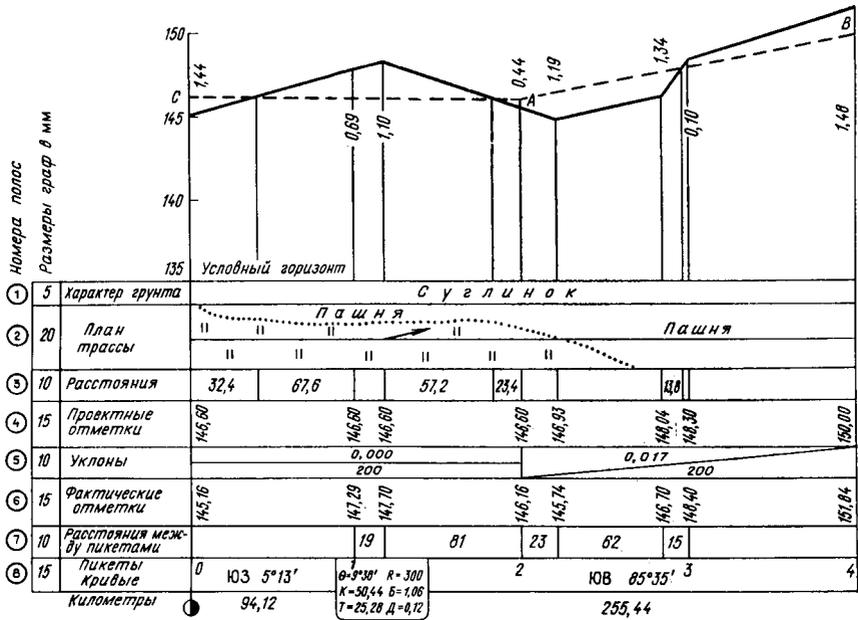


Рис. 59. Продольный профиль трассы



выше линии условного горизонта строят продольный профиль трассы. Высоту этой исходной линии выбирают условно с таким расчетом, чтобы самая низкая точка профиля располагалась от линии условного горизонта не ближе 6—10 см. Далее от линии условного горизонта на вертикальных линиях, проходящих через все пикеты и плюсовые точки, откладывают в заданном масштабе высоты точек. Последовательно соединяя

прямыми линиями (черным цветом) найденные точки, получают продольный профиль трассы.

Проведение проектной линии. Для выполнения работ по планировке участка местности вдоль трассы на профиль необходимо нанести ее проектную линию, представляющую собой профильную линию, соответствующую положению будущего сооружения и удовлетворяющую следующим условиям: объем земляных работ при постройке сооружения должен быть минимальным; проектная линия не должна иметь уклон, превышающий допустимый; объемы земляных работ по насыпям и выемкам должны быть примерно равны, т. е. чтобы землю из выемок можно было использовать для соседних насыпей; для улучшения эксплуатационных качеств трассы проектная линия от подъема к спуску и наоборот должна по возможности проходить через горизонтальную площадку.

Для упрощения расчетов при построении проектной линии рекомендуется совмещать ее точки перегиба с пикетами или промежуточными точками. В полосе 5 профиля (см. рис. 59) показывают уклоны всех его участков, прочерчивая условно диагонали в прямоугольниках в соответствии со знаком уклона; горизонтальные линии проводят посередине для прямолинейных участков. Над чертой записывают значение уклона (в тысячных долях), а под ней — горизонтальное проложение линии, имеющей данный уклон.

Уклон I вычисляют по формуле $g = \text{tg} v = H/s$, где H — превышение одного конца проектной линии над другим, определяемое графически по профилю.

Для каждой пикетной или промежуточной точки профиля находят соответствующие отметки проектной линии. Поскольку H_i — отметка любой i -й точки проектной линии AB , $H_i = H_A + \sum_{a=1}^i \alpha_a$ а превышение $H_m = H_A + \sum_{a=1}^m \alpha_a = H_A + \sum_{a=1}^m \alpha_a$, то, следовательно, $H_i^* = H_A + H_i \cdot I$, где H_A — проектная отметка начальной точки A линии AB .

Таким образом, отметка любой точки проектной линии равна отметке начальной точки этой линии плюс произведение уклона на горизонтальное проложение между начальной и определяемой точками.

Вычисленные отметки точек проектной линии, называемые проектными, заносят в полосу 4 профиля красным цветом.

Для определения объема земляных работ находят рабочие отметки, представляющие собой разности между проектными и фактическими отметками одноименных точек. Рабочие отметки показывают высоты насыпей или выемок в различных точках трассы. При насыпи их выписывают на профиле выше, а при выемках — ниже проектной линии.

Точки, в которых проектная линия пересекает продольный профиль, т. е. встречается с линией земной поверхности, назы-

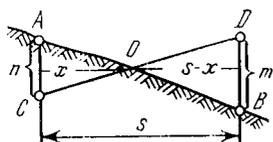
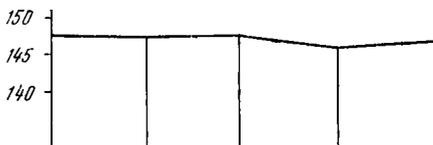


Рис. 60. Схема определения положения точки нулевых работ

Рис. 61. Поперечный профиль трассы



Фактические отметки	№ пикета		
Расстояния			

л 25,0 А/2, СИК1 н/2,5 н25,0

вают точками нулевых земляных работ (рис. 60), поскольку рабочие отметки в этих точках равны нулю.

Если AB — линия фактического профиля местности, а CD — проектная линия между этими же точками, то искомое горизонтальное проложение x линии AO находят из подобия треугольников COA и BOD :

$$x/n = (s-x)/m,$$

откуда

$$x = ns/(m+n),$$

где n и m — значения рабочих отметок точек A и B ; s — горизонтальное проложение линии AB .

Из точек нулевых работ опускают перпендикуляры на линию условного горизонта. После чего их проецируют в полосу 3 (см. рис. 59), помечая расстояния до ближайших пикетов (с округлением до 0,1 м).

Абсолютные отметки точек нулевых работ вычисляют по формуле

$$H_{\text{син}} = H_{\text{пр}} \sin i,$$

где $H_{\text{пр}}$ — проектная отметка заднего пикета, ближайшего от точки нулевых работ; i — уклон проектной линии на заданном участке.

Проектные отметки записывают в полосу 4. Отметки точек нулевых работ, их проекции и расстояния до ближайших пикетов показывают синим цветом.

Построение поперечного профиля аналогично построениям продольного, но выполняется более просто, поскольку профильная сетка обычно состоит из двух полос (рис. 61): одна для расстояний между нивелируемыми точками, а другая — для фактических отметок. Поперечные профили вычерчивают на миллиметровой бумаге в одном и том же масштабе для горизонтальных и вертикальных расстояний, так как результаты построений используют для подсчета объемов земляных работ.

§ 66. Изыскательские и геодезические работы на промстройплощадке

Площадка, предназначенная для строительства горного предприятия, должна соответствовать определенным техническим требованиям. В результате сравнения и оценки нескольких вариантов размещения стройплощадки устанавливают оптимальный. Затем на выбранной площадке и на предполагаемых трассах сооружений линейного типа проводят инженерно-геодезические изыскания. В их состав входят:

сбор и анализ материалов топографо-геодезической изученности и данных, полученных в процессе изысканий при выборе площадки строительства;

создание планово-высотного обоснования на территории строительства, необходимого для решения инженерных задач; предварительное трассирование коммуникаций;

геодезическое обеспечение различных видов изысканий.

В результате инженерно-геодезических изысканий получают: ситуационный план территории строительства в масштабе 1 : 10 000 с нанесенными на нем контурами площадок горного предприятия; генеральный план промплощадки в масштабе 1 : 500 (или 1 : 1000) с отражением элементов шахтной поверхности (породных отвалов, устьев шахтных стволов, скважин, штолен и т. п.); проектный план расположения оборудования; генеральный план размещения коммуникаций.

Топографическая съемка может быть выполнена как геодезическими, так и фотограмметрическими методами. Однако независимо от выбранного метода съемки рельеф площадки на плане должен быть изображен без искажений; для углов зданий и сооружений, мест пересечения коммуникаций и других характерных точек местности необходимо получить координаты, а для люков колодез, полов зданий и т. п. их высотные положения.

ГЛАВА 14

ОСНОВЫ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

§ 67. Общие сведения о разбивочных работах

Комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для определения пространственного положения осей сооружения и его элементов в соответствии с рабочими чертежами проекта, называется разбивкой или перенесением проекта в натуру.

При подготовке рабочих чертежей элементы сооружения размещают относительно прямых линий, называемых разби-

вочными осями. По предназначению они подразделяются на главные, основные и вспомогательные.

-В

Главными осями называют прямые линии I—I' и II—II' (рис. 62), относительно которых здание располагается симметрично. Для линейных сооружений ими являются их продольные оси. Обычно главные оси показывают для строительных объектов, имеющих сложную конфигурацию.

I-

-Е

5-

-В

А-

-А

/ 1 3

Рис. 62. Разбивочные оси сооружения

Оси А—А, В—В, 1—1 и 4—4, определяющие габаритные размеры здания, называют основными.

Вспомогательные оси (Б—Б, 2—2, 3—3) показывают местоположение и определяют размеры различных элементов сооружения.

На разбивочных чертежах показывают размеры между осями и частями здания, необходимые для выполнения геодезических разбивочных работ. Это позволяет определить взаимное положение элементов строящегося объекта и выполнить перенос проектных размеров в натуру.

Разбивочные работы на строительной площадке проводят по принципу перехода от общего к частному в следующей последовательности:

с пунктов геодезической сети разбивают и закрепляют на местности главные оси сооружения;

от главных осей определяют положение основных осей;

от основных осей выполняют детальную разбивку здания, под которой понимают вынесение в натуру и закрепление вспомогательных осей.

Вспомогательные оси необходимы для установки строительных конструкций и технологического оборудования внутри здания. При вынесении проекта в натуру не ограничиваются только плановой разбивкой осей. Необходимо также обеспечить расположение элементов здания на заданной проектной высоте.

Точность геодезических разбивочных работ как в плане, так и по высоте зависит от назначения и особенностей сооружения. Общие требования к точности разбивочных работ изложены в строительных нормах и правилах СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве. Правила производства и приемки работ». Они должны обязательно выполняться. В противном случае возможны либо аварийные ситуации, либо дорогостоящие переделки работ.

Разбивку осей сооружения завершают составлением исполнительной схемы с указанием числовых данных о фактическом положении осей.

§ 68. Основные элементы разбивочных работ

Разбивочные работы включают определенные геодезические операции, которые принято называть элементами. Наиболее распространенными элементами разбивочных работ являются: построение проектного горизонтального угла, отложение проектных расстояний, вынесение в натуру проектных отметок точек и уклонов линий.

Построение проектного угла (рис. 63). При вынесении проектного горизонтального угла в натуру должно быть известно положение его вершины и направление одной из сторон. Таким образом, задача сводится к определению на местности направления второй стороны заданного угла.

Для построения проектного угла теодолит устанавливают над точкой A (рис. 63, а) и приводят его в рабочее положение. Визируют на точку B и берут отсчет по горизонтальному кругу. Затем к полученному отсчету прибавляют значение проектного угла и при закрепленном лимбе, поворачивая алидаду, устанавливают отсчет, равный суммарному результату. Закрепив алидаду, в створе визирной оси прибора фиксируют на местности вторую сторону AC проектного угла. Для исключения влияния приборных погрешностей такое же построение выполняют при другом положении вертикального круга, получают второе направление AC_2 . За окончательное положение второй стороны проектного угла принимают биссектрису AC .

При необходимости выноса в натуру проектного угла с большей точностью (рис. 63,б) измеряют угол BAC несколькими приемами. Полученное среднее арифметическое значение угла $R_{изм}$ сравнивают с проектным $r_{пр}$ и находят поправку $\Delta p = R_{пр} - R_{изм}$. Угловую поправку переводят в линейную: $\Delta l = l \Delta p / p$, где l — расстояние AC , p — число секунд в радиане; Δl откладывают перпендикулярно к стороне AC . Для контроля

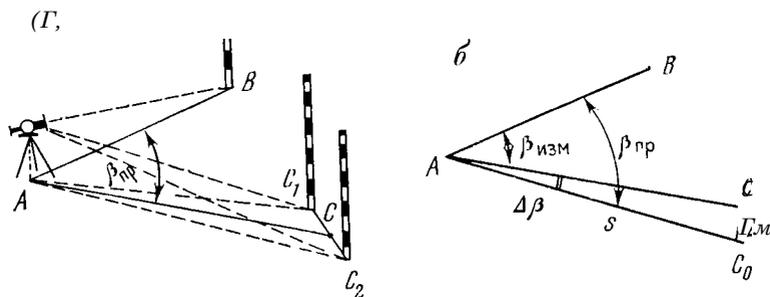


Рис. 63. Построение проектного угла:

а — схема выноса угла в натуру; б — схема высокоточного выноса угла в натуру

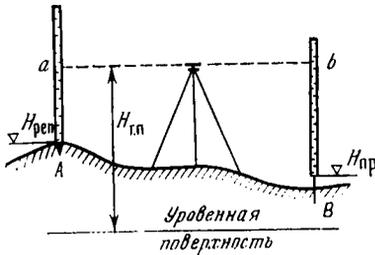


Рис. 64. Схема выноса в натуру проектной отметки

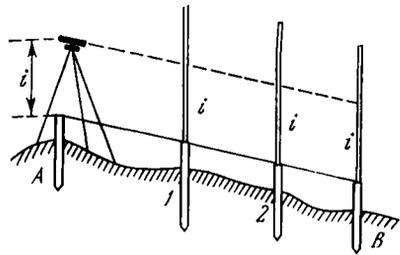


Рис. 65. Схема выноса в натуру линий заданного уклона

построенный проектный угол BAC измеряют одним полным приемом.

Перенесение проектного расстояния. Последовательность выноса в натуру проектного расстояния следующая. От начальной точки A в заданном направлении откладывают с необходимой точностью расстояние, близкое к проектному. Измерения выполняют компарированными мерными приборами или точными дальномерами. Конечную точку B отложенной линии закрепляют временным знаком. Затем определяют точное значение $l_{ав}$ длины линии AB с учетом поправок за компарирование $\Delta_{к.}$, температуру $\Delta_{т.}$ и наклон местности $\Delta_{н.}$. Сравнивая его с проектным расстоянием $l_{пр.}$, вычисляют линейную поправку $\Delta l = l_{пр.} - l_{ав}$ и откладывают ее согласно знаку от конечной точки B . После выноса в натуру проектного расстояния производят его контрольное измерение.

Вынос в натуру проектных отметок (рис. 64). Наиболее часто проектные отметки точек выносят в натуру методом геометрического нивелирования от ближайшего репера высотного обоснования. Последовательность работ при этом следующая.

Нивелир размещают приблизительно на одинаковом удалении от репера A и точки B и подготавливают его к работе. На репере устанавливают рейку и берут по ней отсчет a по черной стороне. Далее вычисляют горизонт прибора

$$H_{г.п.} = H_{реп. A} + a$$

Вычитая из горизонта прибора значение проектной отметки, получают отсчет B , который должен быть по рейке в тот момент, когда ее пятка окажется на уровне проектной отметки (см. рис. 64): $B = H_{г.п.} - H_{пр.}$

В месте вынесения проектной отметки рейку перемещают вверх или вниз до тех пор, пока горизонтальный штрих сетки нитей не совпадет с отсчетом B . Затем на уровне пятки рейки наносят риску (черту), соответствующую проектной высоте. Вынесенную отметку контролируют от какого-либо другого репера.

Вынос в натуру линии заданного уклона (рис. 65). Для построения на местности линии AB заданного уклона нивелир устанавливают в начальной точке A так, чтобы два подъемных винта расположились примерно в створе этой линии. Затем выносят в натуру проектную отметку точки B , действуя в вышеизложенной последовательности. Измерив высоту ξ прибора, и, вращая двумя подъемными винтами, находящимися в створе линии AB , наводят средний штрих сетки нитей на такую же высоту рейки, установленной в точке B . В результате подобных действий визирная линия будет параллельна проектной линии AB заданного уклона. Следовательно, в любом месте створа AB можно достаточно быстро получить точку, лежащую на проектной линии. Для этого рейку перемещают по вертикали (вверх или вниз) до совпадения среднего штриха рейки с отсчетом, равным высоте прибора. На уровне пятки рейки забивают колышек и т. д. Прямая, проходящая через торцы колышков $A, 1, 2, \dots, B$, и будет определять линию заданного уклона на местности.

§ 69. Основные способы разбивки инженерных сооружений на местности

Различные сочетания элементов разбивочных работ определяют способы разбивки инженерных сооружений на местности. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Способ полярных координат (рис. 66,а). Положение точки P сооружения на местности находят от пункта A геодезической сети по расстоянию l до нее и полярному углу ρ , образованному направлениями на пункт B геодезической основы и разбиваемую точку.

В точке A при помощи теодолита выносят от исходного направления AB в натуру проектный угол ρ . По направлению AP мерным прибором откладывают проектное расстояние l , получают положение точки P .

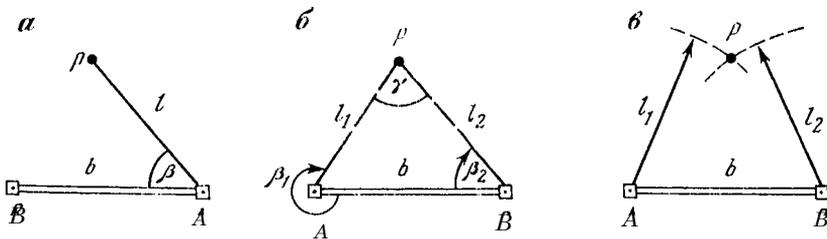


Рис. 66. Схемы способов разбивки инженерных сооружений:

а — полярных координат; б — прямой угловой засечки; в — линейной засечки

Точность разбивки точки P способом полярных координат будет зависеть от ряда факторов. Наиболее существенными из них являются погрешности m_{γ} и m_l , вызванные неточностью отложения проектного угла и проектного расстояния. Следовательно, средняя квадратическая погрешность m_p выноса в натуре точки P без учета погрешностей исходных данных

$$m_p = \sqrt{(\text{Пу}_\Gamma + m)^2 + m^2}$$

где l_p и m_l — соответственно средние квадратические погрешности отложения проектного угла и расстояния.

Способ полярных координат рекомендуется при выполнении разбивочных работ на открытой местности и удобной для линейных измерений.

Способ прямой угловой засечки (рис. 66,6). Суть способа заключается в одновременном отложении теодолитами, установленными на пунктах A и B геодезической сети, значений проектных углов β_1 и β_2 при двух положениях вертикального круга. На пересечении направлений AP и BP получают проектную точку P . Такая засечка называется прямой. Базис засечки B и дирекционные углы сторон проектных углов получают из решения обратной геодезической задачи, пользуясь проектными координатами точки P и известными координатами пунктов A и B . Разбивочные углы β_1 и β_2 вычисляют как разность соответствующих дирекционных углов сторон.

На местности визирную цель перемещают в искомую точку по командам, подаваемым поочередно первым и вторым наблюдателями.

Средняя квадратическая погрешность m_p выноса в натуре точки P способом прямой угловой засечки

$$m_p = \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{l_1^2 + l_2^2}, \quad (73)$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность построения разбивочных углов на исходных пунктах; l_1, l_2 — соответствующие расстояния от исходных пунктов до определяемого; γ — угол засечки.

Как следует из формулы (73), точность угловой засечки существенно зависит от ее формы. При углах засечки γ , близких к 90° , плановое положение точки P определяется с наибольшей точностью, а при значениях γ , близких к 0 или 180° — с наименьшей.

Способ прямой угловой засечки широко применяется при разбивке точек сооружений, удаленных от исходных пунктов, а также когда непосредственное измерение расстояний затруднительно либо невозможно.

Способ линейной засечки (рис. 66, в). В этом способе положение выносимой в натуру точки P определяется пересечением проектных расстояний l_1 и h , откладываемых от исходных пунктов A и B .

Средняя квадратическая погрешность m_P определения положения точки P способом линейной засечки может быть определена по формуле

$$m_P = \frac{\sqrt{m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2}}{\sin \gamma},$$

где m_{l_1} , m_{l_2} — средние квадратические погрешности отложения длин линий.

В данном способе так же, как и в способе прямой угловой засечки, наиболее благоприятным является случай, когда значение угла у засечки близко к 90° .

Способ линейной засечки применяют на ровной и открытой местности, благоприятной для линейных измерений. Способ эффективен, если расстояния l_1 и h не превышают длины мерного прибора.

§ 70. Способы детальных геодезических разбивок

Детальную разбивку выполняют от главных и основных осей или от пунктов плановой сети, закрепленных на местности. При этом широко используют различные координатные способы: прямоугольных координат, створных засечек, створно-линейных координат, полярно-прямоугольных координат.

Способ прямоугольных координат (рис. 67, а). Существо способа состоит в том, что при наличии на площадке плановой геодезической основы, стороны которой параллельны осям сооружений, откладывают от центра знака A приращение ординат Δy , затем в полученной точке C теодолитом (при двух положениях вертикального круга) строят прямой угол и по полу-

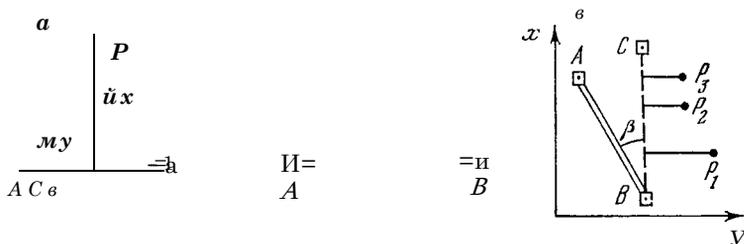


Рис. 67. Схемы способов детальных геодезических разбивок:

a — прямоугольных координат; $б$ — створно-линейных координат; $в$ — полярно-прямоугольных координат

ченному направлению откладывают приращение абсцисс Лл: и получают искомую точку P .

Средняя квадратическая погрешность m_P в положении точки P , разбиваемой способом прямоугольных координат,

$$m_P = \sqrt{m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 \frac{m_B^2}{\rho^2}} \Delta x^2,$$

где $m_{\Delta x}$ и $m_{\Delta y}$ —средние квадратические погрешности отложения приращений координат; m_B —средняя квадратическая погрешность построения прямого угла.

Способ прямоугольных координат эффективен в тех случаях, когда разбивочные точки сооружения расположены вблизи прямых, соединяющих пункты геодезического обоснования.

Способ створно-линейных координат (рис. 67,6). Если определяемая точка P лежит в створе исходных пунктов A и B на удалении от них соответственно l_1 и l_2 , то задача по выносу в натуру точки P сводится к следующему. В пункте A устанавливают теодолит, а в пункте B визирную цель. Наводят зрительную трубу на пункт Вив заданном направлении AB откладывают расстояние l_1 . Находят положение точки P . Для контроля выполняют измерение отрезка l_2 .

Точность разбивки в данном случае будет в основном определяться точностью линейных измерений.

Способ створно-линейных координат обычно применяют при детальной разбивке осей сооружений.

Способ полярно-прямоугольных координат (рис. 67, в) является комбинацией способов полярных и прямоугольных координат. При произвольном расположении исходных пунктов A и B на строительной площадке разбивку точек P_1, P_2, P_3 целесообразно выполнять в следующем порядке.

Первоначально выносят на местность вспомогательную линию BC , параллельную оси абсцисс, определяя положение точки C полярным способом. При этом достаточно отложить в натуре полярный угол ρ и зафиксировать створ BC . Затем способом прямоугольных координат отыскивают положения искомым точек. Разбивочные элементы (приращения абсцисс и ординат) вычисляют, пользуясь значениями координат точки B и проектных координат точек. Точность выноса в натуру точек сооружения способом полярно-прямоугольных координат будет зависеть от погрешностей разбивочных работ обоими способами.

Способ полярно-прямоугольных координат в основном используют при детальных разбивках в тех случаях, когда стороны геодезической сети не параллельны осям принятой системы координат.

ГЛАВА 15

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫНОСА ПРОЕКТА НА МЕСТНОСТЬ

§ 71. Подготовка данных для выноса проекта в натуру. Разбивочная документация

Строительство сооружения ведется согласно рабочему проекту. Для выноса сооружения с плана на местность необходима геодезическая подготовка, включающая:

- геодезический расчет проекта;
- привязку проекта к пунктам геодезической сети;
- разработку проекта производства геодезических работ.

Основной задачей *геодезического расчета проекта* является определение координат и отметок разбивочных точек (или осей), длин линий, по которым сооружение будет вынесено в натуру. Эти данные могут быть получены графическим, аналитическим или графо-аналитическим способом.

Графический способ заключается в определении разбивочных элементов, необходимых для выноса проекта в натуру, непосредственно по топографическим планам (или картам). Точность разбивочных работ зависит главным образом от графической точности плана.

При аналитическом способе геодезической подготовки все необходимые данные находят из математических вычислений, решая обычно прямую и обратную геодезическую задачи, определяя координаты точек по заданному створу или пересечению двух прямых и т. д. Аналитический способ является одним из наиболее точных. Кроме того проект можно выносить на местность отдельными, не зависящими друг от друга, участками. Применяют аналитический способ в основном при реконструкции и расширении предприятий.

Графо-аналитический способ представляет собой сочетание графического и аналитического способов. Часть исходных данных по определению положения сооружения на местности получают графическим путем топографического плана, а другую часть, связанную с определением разбивочных элементов для выноса в натуру проектируемых сооружений либо объектов, жестко связанных между собой,— аналитически.

Графо-аналитический способ определения данных для разбивки сооружений эффективен при составлении генеральных планов реконструируемых промышленных предприятий.

Привязка проекта к пунктам геодезической сети входит в состав геодезической подготовки проекта и предусматривает выполнение расчетов, необходимых прежде всего для разбивки главных осей сооружений на местности.

Вынос в натуру точек главных осей выполняют от пунктов геодезического обоснования способами полярных или прямо-угольных координат либо при помощи угловой засечки.

Разработка проекта производства геодезических работ (ППГР) ведется на основе генерального плана и разбивочных чертежей и является составной частью проекта производства строительно-монтажных работ. В ППГР излагают основную технологию проведения геодезических работ в процессе реализации проекта, включающую:

организацию геодезических работ на строительной площадке;

создание геодезической сети;

геодезические разбивочные работы;

выверку правильности установки конструкций и технологического оборудования геодезическими методами;

наблюдения за деформациями сооружения и его частей.

Таким образом, ППГР предназначается для обеспечения геодезическими данными комплекса строительных работ и монтажа технологического оборудования.

§ 72. Основные геодезические разбивочные работы

Задачей основных геодезических разбивочных работ на стройплощадке, выполняемых, как правило, в подготовительный период строительства, является вынос в натуру и закрепление на местности осей сооружения. Разбивка главных и основных осей необходима для размещения объекта в пространстве в соответствии с проектом. Вынос в натуру вспомогательных осей позволяет определить геометрические параметры сооружения и его конструктивных элементов.

Разбивку осей выполняют различными способами в зависимости от вида плано-высотной геодезической основы, созданной в районе строительства. Плано-высотное обоснование может быть построено методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их комбинациями либо в виде строительной сетки, представляющей собой систему пунктов, расположенных в вершинах квадратов (или других геометрических фигур) со сторонами от 50 до 400 м. Стороны квадратов строительной сетки ориентируют параллельно главным осям сооружения. При наличии строительной сетки точки пересечения осей находят способом прямоугольных координат. При отсутствии строительной сетки, но при достаточно густой сети геодезических пунктов разбивку обычно выполняют полярным способом. При малом числе исходных пунктов сгущают плано-высотное обоснование, стараясь располагать определяемые пункты вблизи точек пересечения осей, выносимых в натуру. Высотная основа создается

проложением нивелирных ходов между пунктами нивелирования более высокого класса.

Точки пересечения основных осей закрепляют на местности временными знаками, поскольку большая их часть уничтожается в процессе рытья котлованов или траншей при возведении фундамента сооружения.

Завершающим этапом основных геодезических разбивочных работ являются контрольные измерения. При этом проверяют взаимную перпендикулярность осей, расстояния между ними, створность точек, находящихся на одной оси. После установки правильности выноса в натуру главных и основных осей проектные точки осей закрепляют постоянными знаками, вынося их на продолжение соответствующих осей на безопасное расстояние. Продолжения осей закрепляют створными знаками различной конструкции (забетонированными трубками, скобами с рисками, реперами, изготовленными из уголковой стали, метками-марками, вынесенными на стены имеющихся строений и т. п.), по крайней мере, двумя с каждой стороны сооружения. Створы помечают на головке знака либо крестообразной насечкой, либо просверленным углублением.

После закрепления створных знаков проводят дополнительную съемку вынесенных в натуру осей сооружения и в случае необходимости устраняют выявленные ошибки. В заключение составляют исполнительную схему окончательного положения осей сооружения, которая используется в дальнейшем на различных этапах строительства для восстановления главных и основных осей.

Поскольку вынос осей сооружения в натуру должен выполняться с довольно высокой точностью (1—2 мм), для обеспечения надлежащего качества и высокой производительности труда разбивочных работ устраивают строительную обноску, обычно представляющую собой деревянное ограждение, устанавливаемое параллельно основным осям сооружения.

Обноска может быть сплошной, несплошной или створной. При использовании сплошной обноски по всему периметру сооружения, удаленному от его основных осей на 3—5 м, вкапывают примерно через 3 м столбы высотой 0,5—1 м, к которым прикрепляют доски, обеспечивая горизонтальность их верхних кромок. Такая обноска создает благоприятные условия для линейных и угловых измерений, для закрепления на ней осей сооружения.

Несплошная обноска устраивается только по углам периметра сооружения и может быть рекомендована при строительстве сооружений, имеющих простую конфигурацию.

При выполнении основных геодезических разбивочных работ нередко практикуют установку створной обноски, состоящей из отдельно стоящих столбов, установленных на одной и

той же высоте вне зоны земляных работ в местах пересечений створов с осями.

Створная обноска имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами обносок:

обладает большей устойчивостью;

легко контролируется неизменность ее плано-высотного положения;

практически не мешает проведению механизированных строительных работ на площадке;

эффективна с экономической точки зрения.

На готовую обноску при помощи теодолита (при двух положениях вертикального круга) переносят сначала главные и основные оси. Среднее (из двух — при КП и К.Л) положение оси закрепляют на верхней кромке обноски гвоздем, выступающим на 10—20 мм над доской. Расстояния между вынесенными осями контролируют, выполняя соответствующие промеры рулеткой по обноске. Допустимые отклонения (в пределах от 5 до 20 мм) определяются строительными нормами и правилами и зависят от типа сооружения и применяемого способа строительства. Зафиксировав окончательное положение осей, с внутренней стороны обноски подписывают номер оси и наносят масляной краской вертикальный штрих.

Далее, действуя аналогичным образом, разбивают и закрепляют различные вспомогательные оси. При этом используют следы вынесенных главных и основных осей, от которых линейными промерами находят положение вспомогательных осей.

После закрепления осей в необходимых местах сплошной обноску делают проемы для проезда транспорта.

При необходимости получения контура сооружения между одноименными точками на противоположных сторонах обноски натягивают шнур (или монтажную проволоку) так, чтобы он не провисал. В местах пересечений шнуров вывешивают отвесы, при помощи которых восстанавливают на местности контур сооружения или его частей. При детальной разбивке элементов сооружения отвесы передвигают вдоль шнура.

Наличие обноски на площадке позволяет строителям вести работы без геодезиста.

§ 73. Геодезические разбивочные работы при нулевом цикле строительства

Строительство промышленного сооружения обычно начинают с рытья котлована, т. е. с выемки грунта для устройства основания и фундамента. Фундамент представляет собой подземную часть сооружения, воспринимающую нагрузки (от веса строительных конструкций, технологического оборудования

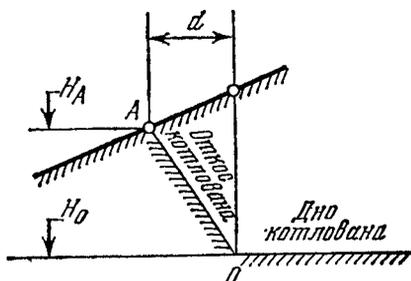


Рис. 68. Схема для расчета контуров котлована

и т. д.) и передающую их на основание.

В задачу геодезического обеспечения при устройстве котлована входит: разбивка котлована и траншей для производства земляных работ; разбивка осей для возведения оснований и фундаментов; определение глубины разработки грунта и зачисткой дна котлована.

Характер работ по разбивке котлована зависит в основном от формы и способа разработки.

Для разбивки сплошного котлована необходимо первоначально установить его границы. Эту задачу решают с помощью топографического плана, на который наносят оси проектируемого сооружения и контур дна котлована. Часто котлованы устраивают с наклонными стенками во избежание их обрушения. В подобных случаях для нахождения внешнего контура котлована на плане (рис. 68) от границ его дна следует отложить расстояние y , определяемое по формуле

$$y = (H_A - H_0) / g,$$

где g — уклон откоса котлована, задаваемый при проектировании (зависит от физико-механических свойств грунта и т. п.).

Затем на обноску выносят бровки и основание котлована. После чего от натянутой через одноименные точки обноски монтажной проволоки при помощи отвесов переносят необходимые контуры на земную поверхность и закрепляют их кольшками.

При разбивке свайного поля оси рядов закрепляют на обноске, а места погружения свай определяют промерами рулеткой вдоль монтажной проволоки. При кустовом расположении свай сначала находят центры кустов. Местоположение каждой сваи в кусте получают промерами рулеткой в направлениях осей здания.

В процессе производства земляных работ необходим систематический контроль за углублением дна котлована, поскольку фундамент должен быть уложен на нетронутый массив грунта. В связи с этим перебор грунта при рытье котлованов не допускается. При помощи механизмов котлован сначала выбирают вчерне, т. е. с недобором грунта на 10—15 см до проектной отметки. Зачистку дна котлована до проектной отметки выполняют непосредственно перед закладкой фундамента, так как

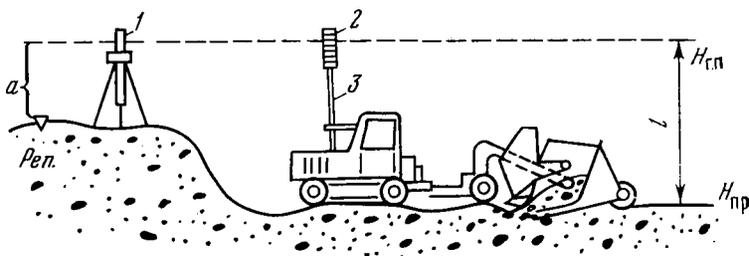


Рис. 69. Схема выполнения контроля за глубиной выемки котлована

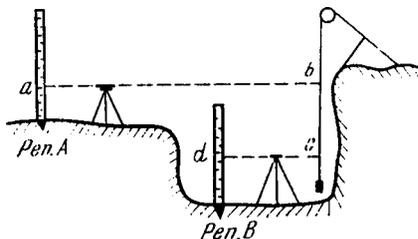


Рис. 70. Схема передачи высоты репера на дно кот-

в период между рытьем котлована и закладкой фундамента грунт может изменить свои свойства (например, размокнуть от дождя).

Для контроля глубины выемки котлована (рис. 69) эффективно применение разработанной в СССР и выпускаемой серийно лазерной системы контроля планировки (СКП-1). Основными ее элементами являются: лазерный датчик 1, фотоприемное устройство 2, закрепляемое на вертикальной штанге 3, и индикатор положения, установленный в машине.

Датчик состоит из вертикального лазера, коллиматора¹ и пентапризмы (пятигранной призмы), поворачивающей луч лазера на 90°. Электродвигатель, вращая пентапризму, разворачивает пучок лазера в оптическую плоскость. Таким образом лазерный датчик создает опорную плоскость, параллельную проектной. Фотоприемное устройство регистрирует сигнал и направляет его в индикаторное устройство со шкалой, фиксирующей положение землеройной машины в пределах ± 10 см от опорной плоскости.

В процессе работы датчик размещают на штативе вблизи нивелирного репера с известной высотой $H_{\text{реп}}$ и определяют высоту Яг.п горизонта прибора, выполняя по световой линии отсчет a по рейке, установленной на репере. Таким образом, $H_{\text{р.п}} = H_{\text{реп}} + a$. Для установки фотоприемника на нужную

¹ Коллиматор — устройство, формирующее узкий параллельный световой пучок.

высоту / находят разность $Я_{г. п} - Я_{пр} = l$, где $Я_{пр}$ — проектная отметка дна котлована.

Далее, перемещая фотоприемник по вертикальной штанге 3 (см. рис. 69), закрепляют его на расчетной высоте l . Конструкция фотоприемника позволяет фиксировать световой поток при любом направлении движения машины. Система контроля планировки обеспечивает надежную работу землеройных машин в радиусе 500 м с погрешностью по высоте до 30 мм.

Когда котлован вчерне готов, то для контроля его проектной глубины и высотных разбивок на дно котлована необходимо передать высоту (рис. 70) от рабочего репера, находящегося на поверхности земли. Если откосы пологие, то такую передачу выполняют, прокладывая ход геометрического нивелирования. При невозможности решения задачи таким путем действуют следующим образом. На бровке котлована прикрепляют к кронштейну нулевой конец рулетки с подвешенным грузом (обычно 10 кг) и опускают ее на дно.

Высота репера B , закрепленного на дне котлована,

$$Я_{рп. в} - Я_{рп. А} = a - (c - B) - cI,$$

где a , (l — отсчеты по верхней и нижней рейкам; B , c — верхний и нижний отсчеты по рулетке.

Для контроля высоту передают от другого репера. При выполнении земляных работ точность передачи высот точек на дно котлована составляет около 1 см. При необходимости высотной передачи повышенной точности в длину отрезка cB следует ввести поправки за компарирование и температуру, а также тщательно соблюдать равенство плеч на верхней и нижней станциях нивелирования.

Используя вынесенную на дно котлована точку в качестве рабочего репера, находят в натуре проектные высоты точек дна котлована для его окончательной зачистки.

После завершения разработки котлована выполняют исполнительную съемку. От продольной и поперечной осей, переданных в котлован, промеряют расстояния до оснований откосов, проводят геометрическое нивелирование дна котлована по сетке квадратов (со сторонами в 5—10 м) и составляют исполнительный чертеж котлована. Отклонения высот точек дна котлована от проекта допускают до 3 см. Отклонения от проектных размеров должны быть в пределах 5 см.

После окончательной зачистки дна котлована под сооружение приступают к устройству фундамента.

Монолитные бетонные и железобетонные фундаменты изготовляют непосредственно на основании при помощи опалубки, т. е. временного сооружения из дощатых (или металлических) щитов для придания бетону нужной формы. При разбивке опалубки смещения осей фундамента не допускаются более 5—

10 мм. В высотном отношении основные плоскости опалубки должны быть установлены в проектное положение с точностью порядка 5 мм.

В массовом строительстве часто применяют сборные фундаменты из готовых железобетонных блоков. Монтаж таких фундаментов начинают с укладки угловых, а затем и промежуточных блоков, пользуясь монтажной проволокой, натянутой через соответствующие точки на обноске, и отвесами. Горизонтальность укладки блоков контролируют геометрическим нивелированием. При укладке блоков в сборном фундаменте необходимо оставить отверстия для подвода подземных коммуникаций.

При строительстве сооружений, имеющих несущие стены, делают ленточные фундаменты обычно из трапецеидальных блоков, лежащих в основании, и блоков стен подвалов. Положение ленточных фундаментов определяют посредством натянутых монтажных проволок, с которых отвесами сносят контур фундамента на дно котлована.

При устройстве свайных фундаментов в процессе забивки свай контролируют их плановое смещение, вертикальность и глубину погружения. Отклонения центров свай от их проектного положения не должно превышать 0,2—0,4 диаметра свай.

В заключение составляют исполнительный чертеж построенных фундаментов, на котором показывают оси сооружения, фактические и проектные положения элементов фундамента в плане и по высоте. В процессе исполнительной съемки на фундаменты также выносят оси, помечаемые краской в виде тонкой черты.

§ 74. Разбивка коммуникаций

Строительство (или реконструкция) горного предприятия непременно требует прокладки различных коммуникаций (трубопроводов, сетей теплоснабжения, электрокабелей, коллекторов, туннелей и т. д.). Коммуникации промышленных площадок строят большей частью подземными, реже — наземными и надземными (на столбах, эстакадах и т. п.).

Перед началом строительства трассу коммуникации выносят в натуру согласно проекту от имеющихся пунктов обоснования (или строительной сетки) и закрепляют на местности, разбивая одновременно колодцы и переходы. Все вынесенные в натуру точки крепят временными знаками, размещая их вне зоны земляных работ (примерно на 5 м в обе стороны от оси).

Для производства земляных работ выполняют детальную разбивку траншеи. Если для рытья траншеи используется одноковшовый экскаватор, то на местности от оси коммуникации намечают обе бровки траншеи (через 10—20 м на прямоли-

Рис. 71. Схема выполнения контроля за укладкой труб в траншее

нейных и примерно в три раза чаще на криволинейных участках). Указывают также глубину выемки грунта с недобором до проектных отметок на 10—15 см для последующей зачистки дна траншеи.

При рытье траншеи канавокопателем (многоковшовым экскаватором) на местности разбивают линию, параллельную оси трубопровода, отстоящую от трассы на половину просвета между внутренними гребнями гусениц канавокопателя. Линию закрепляют кольями. Экскаваторщик, направляя грань соответствующей гусеницы вдоль линии кольев, перемещается по трассе коммуникации. Глубину выемки грунта получают из нивелирования знаков, закрепленных по границе траншеи, а также точек дна траншеи.

Для окончательной зачистки дна, строительных смотровых колодцев и т. д. на пикетах и на колодцах строят перпендикулярно оси трубопровода обноски в виде двух столбов 1 (рис. 71) по обе стороны траншеи и прибитой горизонтально к ним доски 2. На углах поворота трассы обноску устраивают по биссектрисе угла.

Для выверки правильности укладки трубопровода на обноску выносят ось траншеи, закрепляют ее гвоздями, между которыми натягивают проволоку 5, и при помощи отвеса 6 с проволоки контролируют ее плановое положение.

Высоты точек дна траншеи определяют с использованием

трех Т-образных визирок одинаковой длины. Две из них 3 крепят постоянно на обносках и одну, называемую ходовой 4, переносят. Длину ходовой визирки подбирают такой, чтобы верхние грани постоянных визирок были на высоте, удобной для работы (около 1 м над поверхностью земли). Поскольку высоты постоянных визирок одинаковы, то линия, проходящая через их верхние грани, будет параллельна проектной линии дна траншеи. Визируя невооруженным глазом поверх постоянных визирок проверяют при помощи ходовой визирки достигнутый при выемке грунта уровень дна траншеи по трассе, перемещая ее через 3—5 м. Отметка дна будет соответствовать проектной, если верхняя грань ходовой визирки окажется на линии визирования, проходящей через постоянные визирки. На участках, имеющих перегиб профиля, проектные отметки по дну траншеи определяют из геометрического нивелирования, поскольку способ визирок в подобных случаях не может быть использован.

Требования к точности разбивок определяются проектным уклоном коммуникации. Обычно считают, что погрешность высотной разбивки не должна превышать 10 % разности высот концов прямолинейного участка определенной длины.

После укладки трубопровода выполняют исполнительную съемку с указанием на чертежах фактических отметок дна траншеи, верха трубопровода, насыпи, верха смотровых колодцев и т. д. На плане также показывают все отклонения от проекта, допущенные в процессе строительства коммуникации.

ГЛАВА 16

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ УСТАНОВКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 75. Геодезическая подготовка к монтажным работам

После закладки фундамента приступают к монтажным работам по установке строительных конструкций и технологического оборудования в проектное положение.

Геодезическая подготовка к монтажным работам предусматривает выверку планово-высотного положения фундаментов, окончательное приведение опорных плоскостей закладных частей (т. е. анкерных болтов, плит) в проектное положение, разбивку и закрепление осей для установки конструктивных элементов и оборудования, развитие сети рабочих реперов.

Для съемки планового положения фундамента на его верхнюю плоскость выносят продольные и поперечные оси от

существующей обноски, которые затем маркируют. Далее, линейными промерами рулеткой относительно помеченных осей находят положение граней фундамента, анкерных устройств, углов поворота и т. д. Высотное положение различных точек фундамента получают из геометрического нивелирования.

В результате проведения исполнительной съемки фундамента выявляют и устраняют недопустимые его отклонения в плане и по высоте от проектного положения. После этого фундамент подготовлен для проведения монтажа конструкций.

Для облегчения работ по установке конструкций и оборудования в проектное положение, а также для периодической выверки их состояния в процессе эксплуатации целесообразно оси, называемые монтажными, совмещать с некоторыми линиями (или плоскостями) оборудования, сохраняя при этом параллельность строительным разбивочным осям. В тех случаях, когда монтажные оси не совпадают с разбивочными осями фундамента, их положение определяют промерами от закрепленных точек разбивочных осей.

В зависимости от точности установки и выверки строительных конструкций и промышленного оборудования монтажные оси закрепляют либо фундаментальными реперами, глубина закладки которых доходит до коренных пород, либо металлическими знаками различной конструкции с установкой их в теле фундамента.

После закрепления монтажных осей определяют их окончательное положение, выполняя соответствующие угловые и линейные измерения. Угловые измерения проводят для проверки взаимной перпендикулярности осей, а линейные — для контроля расстояний между осями. В случае необходимости положение осей исправляют, смещая точки на знаках крепления.

Для установки конструкций и оборудования в проектное высотное положение создают нивелирные сети, представляющие собой систему устойчивых реперов, устанавливаемых в фундаментах на колоннах, перекрытиях. Высоты таких рабочих реперов периодически контролируют, включая их в нивелирные ходы, прокладываемые между фундаментальными реперами.

§ 76. Понятие о способах плановой установки и выверки конструкций

Строительные конструкции и технологическое оборудование выставляют в проектное положение относительно монтажных осей, которые реализуют либо струной (проволокой), либо оптическим прибором, либо осью светового луча (или пучка лазерного излучения). В связи с этим различают струнный, оптический и лучевой способы выноса в натуру осей.

В струнном способе между двумя закрепленными точками монтажной оси натягивают струну диаметром 0,3—0,5 мм. Ось струны сносят на строительные конструкции или осевые точки оборудования при помощи нитяных отвесов, прикрепляемых к струне в необходимых местах.

Основными источниками погрешностей этого способа являются колебание струны во время работы и ее проектирование посредством отвесов на точки оборудования.

В закрытых помещениях струнный способ обеспечивает точность монтажа порядка 2 мм при длине створа до 100 м.

К достоинствам использования струны в качестве монтажной оси следует отнести отсутствие погрешностей в монтажных работах, обусловленных влиянием внешней среды (рефракции, колебания изображения).

Кроме того, не требуется прямой видимости по створу, следовательно, монтаж оборудования можно вести одновременно в различных местах створа. Струнный способ целесообразно применять в закрытых помещениях при отсутствии ветра.

Точность монтажных работ при использовании струнного способа может быть существенно повышена, если нитяные отвесы заменить оптическими приборами вертикального проецирования или отсчетными микроскопами с вертикальным расположением визирных осей. Такой способ установки оборудования в проектное положение получил название струнно-оптического.

Наиболее существенными погрешностями этого способа являются: колебания струны при монтаже оборудования, влияние внешней среды, проектирование струны оптическим прибором.

При работе в закрытых помещениях, когда колебания струны незначительны, струнно-оптический способ позволяет выполнить работы по монтажу оборудования с погрешностью 0,1—0,2 мм.

Довольно широкое распространение получил способ монтажа и выверки конструкций, в котором применяется оптическое построение створа с использованием зрительной трубы и визирных марок. В этом случае роль монтажной оси выполняет визирная линия, задаваемая теодолитом или специальным визирным прибором, называемым алиниомером. Последний имеет зрительную трубу большого увеличения (60^x и более) и точный накладной уровень. Горизонтальный и вертикальный круги в алиниомере отсутствуют, однако имеется окулярный или оптический микрометр для измерения малых отклонений от створа. Трубу прибора можно наклонять до 30°. Алиниомер также снабжен устройством для «принудительного» центрирования на знаках.

В оптическом способе прямого визирования на одном из кон-

цов монтажной оси устанавливают теодолит (или алиниометр), а на другом — визирную марку. Зрительную трубу прибора наводят на марку и в створ визирной линии на определяемых точках последовательно вводят передвижные марки, диапазон перемещений которых около 100 мм. Передвижные марки фиксируют проектное положение конструкций и оборудования. При работе по способу передвижных марок отсчеты по шкале визирной цели и запись результатов выполняют непосредственно у наблюдаемой точки.

Согласование действий между наблюдателем и помощником, находящимся у марки, осуществляют посредством выбранной системы связи (по радиации или в соответствии с условленной сигнализацией).

К наиболее существенным погрешностям оптического способа прямого визирования следует отнести погрешности, возникающие при ориентировании зрительной трубы по створу, введении передвижной марки в створ, п[^]рефокусировании трубы, а также за счет влияния внешних условий.

Точность монтажа оптическим способом при благоприятных внешних условиях составляет 0,3—0,5 мм при длинах створов около 100 м.

Оптический способ обычно применяют при монтажных работах на открытых, не защищенных от ветра строительных площадках.

Приборные погрешности оптического способа могут быть уменьшены при использовании перспективного лучевого способа. По лучу лазера легко осуществляется непрерывный контроль плано-высотного положения строительных конструкций и оборудования в процессе монтажных работ.

§ 77. Высотная установка инженерных конструкций

Требования к точности взаимного расположения элементов сооружения и монтажа оборудования в высотном отношении так же высоки, как и в плановом. Обычно установку строительных конструкций и оборудования на проектные отметки, выверку их высотного положения выполняют геометрическим нивелированием, микронивелированием, гидростатическим нивелированием.

Наибольшее распространение в практике строительных работ при установке инженерных конструкций на проектную высоту получил способ геометрического нивелирования при коротких (до 25 м) плечах. Наблюдения при этом выполняют строго из середины.

В зависимости от требуемой точности монтажных работ применяют точное или высокоточное нивелирование, позволяющее передавать высоты точек на станции соответственно со сред-

ними квадратическими погрешностями 2—3 мм и 0,1—0,2 мм. Для высокоточного нивелирования используют приборы Н-05 и инварные штриховые рейки.

Для приведения в горизонтальное положение плоскостей с большей точностью применяют особые приборы — микронивелиры, представляющие собой накладные уровни с ценой деления 5".

Точность определения превышения микронивелиром на станции составляет 0,008—0,010 мм.

Высокоточную передачу высот точек и выверку оборудования проводят также методом гидростатического нивелирования. Он прост в исполнении и позволяет избавиться от ряда погрешностей, присущих геометрическому нивелированию (например, приборных, влияния рефракции и др.). В закрытых помещениях и при благоприятных условиях (при постоянстве температурного режима и давления воздуха) метод гидростатического нивелирования обеспечивает точность определения превышения со средней квадратической погрешностью 0,01—0,05 мм.

§ 78. Основные способы установки и выверки конструкций по вертикали

От точности установки колонн, стеновых панелей, осей технологического оборудования в вертикальное положение во многом зависит прочность и долговечность сооружения. Такая установка в зависимости от требуемой точности может быть выполнена различными способами: по нитяному отвесу, при помощи проектирования наклонным лучом теодолита, боковым нивелированием, вертикальным проецированием точек.

Нитяный отвес целесообразно применять для предварительного монтажа конструкций. В строительной практике для уменьшения амплитуды колебаний обычно используют тяжелые отвесы (массой более 0,4 кг) для уменьшения воздействия воздушных потоков. Нить отвеса укрепляют на небольшой консоли (длиной около 10 см), устанавливаемой в верхней части колонны. По разности расстояний от грани колонны до нити отвеса, измеряемых сверху и у ее основания, определяют линейное отклонение конструкции от вертикали. Точность вертикальной установки таким способом составляет примерно 0,001 высоты конструкции.

Установку и выверку строительных конструкций довольно часто выполняют способом наклонного проецирования при помощи теодолита. До начала монтажа на гранях конструкции (например, колонны) в верхней и нижней ее частях наносят монтажные риски, совпадающие с ее геометрической осью. Для установки конструкции в вертикальное положение прибор размещают на расстоянии от колонны, несколько большем ее

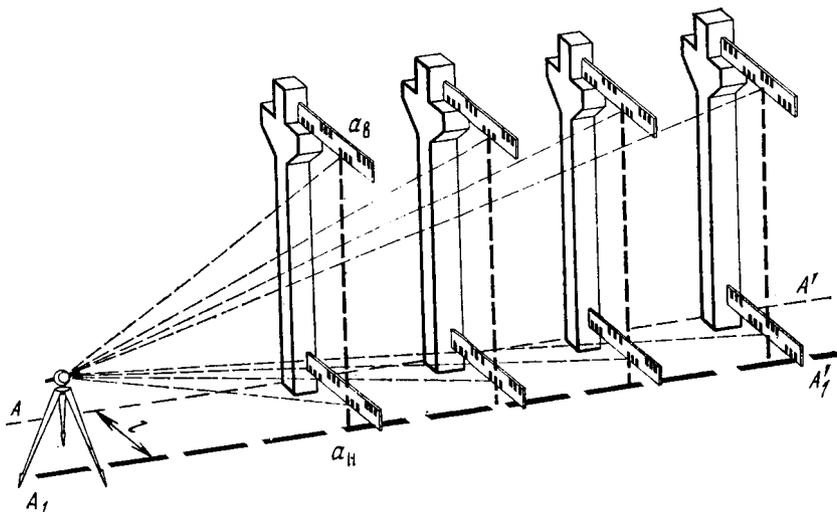


Рис. 72. Схема способа бокового нивелирования

высоты, и приводят его в рабочее положение. Затем наводят на нижнюю осевую метку и, наклоняя зрительную трубу, отмечают на уровне монтажной риски точку в верхней части колонны. Проецирование выполняют при двух положениях вертикального круга. Средняя точка линии, соединяющей проекции нижней риски при двух кругах, определяет след коллимационной плоскости в верхней части колонны. Расстояние D' ; от полученной точки до верхней монтажной риски будет характеризовать отклонение оси колонны от ее проектного положения. Наклон γ колонны в угловой мере может быть получен по формуле

$$y = A[p/k,$$

где H — высота колонны.

Основное требование к прибору при выверке конструкций изложенным способом — соблюдение горизонтальности оси вращения трубы. Применение специального накладного уровня позволяет существенно повысить точность выверки конструкций по вертикали.

Одним из эффективных способов выверки вертикальности конструкции является способ бокового нивелирования (рис. 72). Способ сводится к следующему. На расстоянии $l = 0,5\text{--}M$ м от оси AA' выверяемых конструкций разбивают и закрепляют знаками параллельную ось A/A' . На одном из знаков устанавливают теодолит, а на другом — визирную марку. Зрительную трубу наводят на марку и, поднимая (или опуская) ее, выполняют отсчеты по переносной реечке, последова-

тельно прикладываемой перпендикулярно к граням колонн в их верхней и нижней частях. В верхней части колонн реечки могут быть установлены при помощи облегченных сборных шестов.

Разность отсчетов по нижней и верхней рейкам

$$D_{\text{в}} = a_{\text{в}} - a_{\text{н}}, \quad (74)$$

определяет поперечный наклон колонны в линейной мере. Отклонения $A_{ac} = l - a_{\text{н}}$ характеризуют точность плановой установки оснований колонн в проектное положение.

Выверка рассмотренным способом вертикальности конструкций высотой до 20 м при удалении от прибора до 100 м обеспечивается точностью порядка 1,5—3 мм.

Способы наклонного проектирования точек достаточно просты в исполнении, но в то же время обладают рядом недостатков. Например, необходимо большое свободное пространство для установки прибора и обеспечение видимости по линии визирования; точность измерений падает с увеличением высоты конструкции и удалением ее от прибора; с одной установки теодолита выявляется наклон конструкции только в одной плоскости и т. д.

При строительстве высоких сооружений и при выверке вертикальности конструкций большая часть указанных недостатков устраняется при использовании оптического способа вертикального проецирования точек посредством оптических центриров. В настоящее время на практике применяются их различные конструкции, позволяющие визировать вертикально либо вверх, либо вниз. Такие оптические центриры получили соответствующие названия: зенит-приборов и надир-приборов. Существуют оптические центриры вертикального визирования как вверх, так и вниз.

Для передачи оси по вертикали зенит-прибор центрируют над исходной точкой нижнего горизонта. На верхнем горизонте на отвесной линии над зенит-прибором устанавливают специальную палетку, обычно изготавливаемую из прозрачного оргстекла с нанесенной на ней координатной сеткой с оцифрованными делениями (от 2 до 10 мм). Расположив сетку нитей зенит-прибора параллельно координатным линиям палетки отсчитывают по ней положение центра сетки нитей. Для повышения точности выноса вертикали измерения по палетке выполняют при четырех положениях прибора: 0 и 180°, затем 90° и 270°. Средние значения из попарно выполненных отсчетов определяют на палетке координаты искомой точки. Далее, от вынесенной по вертикали точки проводят вертикальную установку и выверку конструкций.

Из экспериментальных данных установлено, что при высотах сооружений от 10 до 100 м средние квадратические погрешности построения вертикалей составляют от 1,5 до 2,5 мм.

§ 79. Понятие об исполнительных съемках. Геодезическая исполнительная документация

Совокупность геодезических измерений, выполняемых на различных этапах строительства с целью получения фактического плано-высотного положения сооружения, его элементов и технологического оборудования, называют исполнительной съемкой. Различают текущую и окончательную исполнительные съемки.

Исполнительные съемки, выполняемые периодически в процессе строительства по мере завершения отдельных этапов строительно-монтажных работ (рытья котлованов, возведения фундаментов, установки в проектные положения стеновых конструкций, перекрытий, оборудования и т. п.), называют текущими. Основными задачами текущей исполнительной съемки являются:

установление точности выноса проекта в натуру и выявление всех отступлений от проекта, допущенных при строительстве;

определение фактического положения элементов сооружения на очередной завершенной стадии строительства;

систематический подсчет объемов выполненных строительно-монтажных работ.

Особое внимание следует уделять съемкам объектов, элементы которых после завершения строительства становятся недоступными, например, фундаменты и подземные коммуникации. Съемку таких сооружений необходимо завершить до засыпки котлованов и траншей землей.

Таким образом, чертежи текущей исполнительной съемки являются основными техническими документами, характеризующими качество строительства.

Исполнительная съемка, выполняемая после завершения строительства сооружения, носит название окончательной. Она проводится с целью получения полной и окончательной информации о плано-высотном положении возведенного объекта и размерах его отдельных элементов. При окончательной съемке используют материалы текущих исполнительных съемок, выполняя также и дополнительные геодезические измерения. Материалы окончательной исполнительной съемки необходимы для решения различных вопросов, связанных с эксплуатацией, реконструкцией и расширением горного предприятия.

Плановой геодезической основой исполнительных съемок за пределами строительной площадки служат пункты геодезического обоснования, созданного в процессе изысканий, на строительной площадке — пункты разбивочной сети, а в пределах

отдельных зданий — закрепленные оси фундаментов. Высотной основой на строительной площадке является сеть рабочих реперов.

Исполнительная съемка выполняется с пунктов геодезической основы известными аналитическими способами (полярным, прямоугольных координат, засечек и т. д.). Высоты точек определяют методом геометрического нивелирования.

Точность исполнительных съемок регламентируется допусками D (т. е. отклонениями от проекта), установленными строительными нормами и правилами.

Средняя квадратическая погрешность определения положения строительной конструкции при исполнительной съемке поддается по формуле $m = 0,2D$.

При строительстве промышленных предприятий исполнительные съемки ведут в масштабах 1 : 500 или 1 : 1000, а съемки сложных подземных коммуникаций выполняют в более крупном масштабе.

§ 80. Понятие об исполнительных генеральных планах

Перед сдачей промышленного предприятия в эксплуатацию по материалам исполнительных съемок составляют исполнительный генеральный план объекта, отражающий фактическое положение всего комплекса наземных, воздушных и подземных сооружений на местности.

Исполнительные генеральные планы принято подразделять на текущие (оперативные) и окончательные.

Текущий исполнительный генеральный план ведут постоянно в течение всего периода возведения объекта. Он дает необходимую информацию о ходе строительства, отражая фактическое состояние планировки территории, застройки, проложения сетей коммуникаций. Текущий исполнительный генеральный план служит основой для решения различных инженерно-технических задач, возникающих при строительстве, уточнения принятых проектных решений. Материалами для таких генпланов являются планы топографических съемок местности, разбивочные чертежи с отражением результатов исполнительных съемок завершенных объектов.

На основании текущего исполнительного генплана и дополнительных съемок составляют дежурный план, позволяющий получить сведения о состоянии строительства на определенную дату. На нем штриховкой и раскраской помечают завершенные на отдельных объектах стадии строительных работ.

Окончательный исполнительный генеральный план составляют после возведения сооружения с отображением на нем всех постоянных объектов. Исполнительный генеральный план является одним из основных документов, необходимых при эксплуа-

тации промышленного предприятия. Он также служит основой для реконструкции, расширения предприятия и решения многочисленных инженерных задач.

При составлении генплана используют результаты исполнительной съемки. Все здания наносят по исполнительным координатам углов. Отдельные вспомогательные постройки могут быть перенесены на генплан по материалам топографической съемки. Дороги вычерчивают по исполнительным координатам углов поворота, пересечений и примыканий, а коммуникации — по координатам углов поворота и колодцев. Все построения увязывают между точками, нанесенными на генплан по координатам. Кроме изображения ситуации исполнительный генеральный план содержит также информационный материал: отметки пола и цоколя зданий, высоты опор, диаметры труб и т. п. Исполнительный генеральный план на территорию строительства обычно составляют в масштабе 1 :500.

К исполнительному генеральному плану прилагают каталог координат и высот пунктов геодезической основы; полевую документацию, полученную в процессе строительства; материалы исполнительных съемок, систематизированные по отдельным объектам, и пояснительную записку по выполненным геодезическим работам.

ЧАСТЬ II

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

ГЛАВА 18

СОДЕРЖАНИЕ, ЗАДАЧИ И ЗНАЧЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

§ 81. Краткие сведения из истории развития маркшейдерского дела

Маркшейдерское дело зародилось в глубокой древности вместе с возникновением горного дела как выражение объективной необходимости ориентироваться в подземных выработках и изображать их на планах.

Первое описание способов съемки подземных горных выработок принадлежит Герону Александрийскому (I в. до н. э.).

В 1556 г. был опубликован труд выдающегося немецкого ученого Г. Агриколы, который он посвятил вопросам съемки подземных горных выработок с помощью компаса и решению некоторых геометрических задач, возникающих при разработке месторождений полезных ископаемых.

Во второй половине XVI в. в Германии из среды горняков стали выделяться лица, которые занимались съемкой горных выработок и перенесением с поверхности в шахту границ участков. Таких специалистов стали называть маркшейдерами (от немецкого слова *mark* — граница, *scheiden* — устанавливать, отделять), а круг вопросов горного дела ими решаемых, — маркшейдерским искусством.

В России первые сведения о подземных съемках появились во времена Петра I. В проекте горнозаводского устава, составленного В. Н. Татишевым и изданным в 1734 г., четко определены задачи и обязанности маркшейдера.

Первой в России работой по маркшейдерскому делу явился труд М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных тел», изданный в 1763 г. В пятой главе этого труда «О измерении рудников» М. В. Ломоносов излагает производство съемок с помощью висячей буссоли, квадранта, мерных жезлов, а также методику составления планов горных работ и решения основных геометрических задач, возникающих в горном деле.

В истории развития маркшейдерского дела, начиная с XIX в., можно наметить следующие рубежи качественных из-

менений в методике и технике производства маркшейдерских работ.

Середина XIX в.— переход от буссоли к теодолиту, начало применения математических методов при обработке и оценке результатов измерений, в частности, способа наименьших квадратов.

20-е годы нашего столетия — широкое внедрение в маркшейдерскую практику пространственной системы координат и геометрических методов изучения месторождений полезных ископаемых как объективной необходимости выявлять закономерности пространственного размещения основных показателей месторождения, геометрически их выразить для решения практических задач.

60-е годы нашего века — применение современной математики, физики, ЭВМ, новых приборов, механизация и автоматизация процессов производства маркшейдерских работ, широкое внедрение методов геометрии и геометризации недр при изучении формы, свойств массива горных пород и полезных ископаемых, условий их залегания и процессов, происходящих в недрах и на земной поверхности в связи с механизацией и автоматизированной системой управления ведением горных работ. Новые задачи и содержание маркшейдерского дела определяются научным и техническим прогрессом горной промышленности.

Крупнейшим событием в истории маркшейдерского дела явилось внедрение теодолита для подземных съемок, принципов аналитической геометрии и наименьших квадратов Гаусса при обработке результатов измерений. В книге «Маркшейдерское искусство», изданной в 1847 г., П. А. Олышев (1817—1896) впервые описал свою конструкцию горного теодолита с эксцентричной трубкой и методику подземной теодолитной съемки. Вскоре появились труды немецких ученых Ю. Вейсбаха «Новое маркшейдерское искусство» (1851 г.) и Борхерса «Практическое маркшейдерское искусство» (1869 г.), в которых приводятся методы подземных теодолитных съемок и их ориентирования через одну вертикальную шахту с примыканием к двум отвесам соединительным треугольником с помощью теодолита.

Весьма ясное и обстоятельное изложение состояния маркшейдерского искусства приведено в книге О. Братгуна «Практическое руководство маркшейдерского искусства», изданной в 1884 г. в Германии и выдержавшей несколько последующих изданий как в Германии, так и в России (2-е издание на русском языке в 1903 г.).

В конце XIX и первой половине XX в. крупный вклад в развитие маркшейдерского дела внесли русские ученые проф. Г. А. Тиме (1831—1910), В. И. Бауман (1867—1923), П. М. Лентовский (1871—1921), И. М. Бахурин (1880—1940), П. К. Соколовский (1868—1949).

Профессор Петербургского горного института Г. А. Тиме на страницах Горного журнала опубликовал ряд содержательных статей, в которых обратил внимание на необходимость производства съемок отдельных рудников в единой системе координат и на организацию контроля за состоянием маркшейдерской службы частных горных предприятий.

В. И. Бауман — профессор Петербургского горного института известен не только как автор трехтомного «Курса маркшейдерского искусства», но и как инициатор ряда мероприятий по коренному улучшению маркшейдерского дела в России.

П. М. Леонтовский — профессор Екатеринославского (Днепропетровского) горного института совместно с В. И. Бауманом провел большую организаторскую работу по улучшению маркшейдерского дела, был автором многих работ по различным вопросам маркшейдерии, особенно по сдвигению горных пород и геометрии разрывных нарушений. Своими изобретениями, в частности, нивелира-автомата, он впервые в мире осуществил принцип автоматизации маркшейдерских съемок.

И. М. Бахурин — профессор Ленинградского горного института, член-корреспондент Академии наук СССР, ближайший ученик и последователь В. И. Баумана. В 1932 г. был издан учебник И. М. Бахурин «Курс маркшейдерского искусства», а в 1946 г. посмертно был издан его труд «Сдвигение горных пород под влиянием горных разработок», который отличается глубиной рассмотрения важнейшего вопроса горного дела. И. М. Бахурин был одним из главных организаторов Всесоюзного маркшейдерского съезда (1932 г.) и Всесоюзного научно-исследовательского маркшейдерского института (ВНИМИ), в развитие которого большой вклад внесли С. Г. Авершин, Г. Н. Кузнецов, А. Н. Омельченко, Н. Г. Келль, Б. И. Никифоров, Г. Л. Фисенко, А. Н. Медянцеv, Н. А. Филатов и др.

Профессор П. К. Соболевский в 1904 г. впервые в России организовал в Томском технологическом институте подготовку горных инженеров по маркшейдерской специальности. На Урале он организовал школу маркшейдеров — горных геометров, осуществивших геометризацию многих месторождений полезных ископаемых, разработал теоретические основы новой научной дисциплины «Геометрия недр» с широким использованием математической статистики и метода изолиний, ввел в практику маркшейдерских работ третью координату z , изобрел зеркальную систему при геометрическом ориентировании подземных съемок, объемную палетку для подсчета запасов, деформатограф для изучения процесса сдвигения горных пород.

В послевоенное время, во второй половине нашего столетия интенсивно разрабатываются новые приборы и методы маркшейдерских съемок, основанные на достижениях физики — оптики, акустики, электроники и вычислительной техники.

Существенный вклад в развитие маркшейдерской науки, методики и техники производства маркшейдерских и горногеометрических работ своими трудами внесли советские ученые Д. Н. Оглоблин, А. А. Игошин, Д. А. Казаковский, М. Л. Рудаков, П. А. Рыжов, И. Н. Ушаков, Г. И. Вилесов, А. Н. Трофимов и другие, а также ученые социалистических стран — Б. Стоянов, И. Христов (НРБ), К. Нойберт, Г. Майкснер (ГДР), Х. Лехель (ВНР), К. Несет, О. Гайкр (ЧССР), С. Шпетковский (ПНР) и другие.

В целях обмена научными достижениями и опытом производства маркшейдерских работ в условиях научно-технического прогресса регулярно через два — три года поочередно в каждой стране готовится к печати и издается книга «Маркшейдерское дело в социалистических странах».

Состояние маркшейдерского дела, его роль, значение, цели и задачи, стоящие перед ним, направление развития, подготовка кадров служат объектами обсуждения на международных маркшейдерских конгрессах, которые начиная с 1969 г. проводятся в разных странах через каждые три года.

Перед горным инженером стоят задачи проведения горных выработок, извлечения полезных ископаемых из недр наиболее экономичными и эффективными методами с наименьшими затратами энергии, потерями полезного ископаемого при безопасном ведении горных работ и с соблюдением условий по охране сооружений и природных объектов. Для этого ему необходимо знать основы геодезии и маркшейдерского дела. Эти знания дают возможность специалисту-технологу читать по маркшейдерской горной графической документации весь производственный процесс, состояние объекта разработки — полезного ископаемого и горного массива, пространственные соотношения между горными выработками и элементами земной поверхности и своевременно принимать необходимые решения.

§ 82. Основные задачи маркшейдерской службы в техническом прогрессе горной промышленности

Технический прогресс в горной промышленности определяет серьезные задачи маркшейдерской службы. Она является одним из важнейших самостоятельных подразделений в комплексе служб горнодобывающих и горностроительных предприятий. Задачи маркшейдерской службы постепенно расширяются и усложняются. Главными задачами маркшейдерской службы являются:

своевременное и высококачественное осуществление геодезических, маркшейдерских и горногеометрических работ при разведке месторождений, проектировании, строительстве, эксплуатации и ликвидации горных предприятий для обеспечения наибо-

лее полного и комплексного использования месторождений полезных ископаемых, эффективного и безопасного ведения горных работ и охраны недр;

осуществление ведомственного контроля за полнотой обработки месторождений полезных ископаемых, правильным и безопасным ведением горных работ согласно проекту и соблюдением требований по охране недр и окружающей среды.

При разведке месторождений маркшейдерская служба в заданном районе производит дополнительную съемку земной поверхности, естественных обнажений горных пород и других объектов геологических наблюдений, в результате чего составляют геологические карты (планы). На их основе проектируют геологоразведочные работы. Маркшейдер производит согласно проекту разбивочные работы, т. е. указывает в натуре места заложения различных разведочных выработок. По мере проведения выработок маркшейдер производит их съемку, наносит полученные данные на план. Совместно с геологом строит необходимые графические документы, характеризующие форму залежи, условия залегания и размещение в залежи компонентов, участвует в подсчете запасов разведанного месторождения.

При проектировании горных предприятий (или реконструкции их) маркшейдерская служба участвует в проектно-изыскательских работах, оформлении горных и земельных отводов; размещении вновь строящихся зданий и сооружений на территории горного предприятия; разрабатывает мероприятия по охране проектируемых сооружений от влияния горных разработок; производит совместно с геологом подсчет запасов полезного ископаемого по блокам, категориям и этапам освоения; участвует в составлении календарных планов горных работ; производит расчеты объемов земляных работ по рекультивации земель на горных предприятиях; составляет проекты развития опорной и съемочной сетей на территории предприятия.

При строительстве горных предприятий к маркшейдерским работам относится проверка проектных чертежей всех основных сооружений и капитальных горных выработок для установления правильности взаимосвязи между их геометрическими элементами; производство работ по сгущению опорной и разбивочной маркшейдерской сети на поверхности; перенос геометрических элементов зданий и сооружений, включая подземный комплекс, с проекта в натуру; задание направлений горным выработкам; производство исполнительной съемки строительных и горных работ, контроль, правильность их проведения согласно проекту; подсчет объемов выполненных земляных и горных работ; составление маркшейдерской документации к сдаче объекта в эксплуатацию.

При разработке месторождений содержание маркшейдерских работ весьма разнообразно. Оно зависит от геологического

строения, формы залежей полезного ископаемого, схемы вскрытия и системы разработки месторождения. Наиболее важными и общими работами маркшейдерской службы горных предприятий являются: создание на поверхности в пределах горного отвода данного предприятия планово-высотной маркшейдерской опорной геодезической и съемочной сетей; подземной маркшейдерской опорной и съемочной сетей в горных выработках; производство съемочных работ горных выработок и составление комплекта маркшейдерской графической документации, которая по мере ведения горных работ систематически пополняется; перенесение геометрических элементов горных выработок и технических сооружений с проекта в натуру; задание направлений горным выработкам, осуществление контроля за соблюдением проектных направлений, уклонов и размеров их сечений; ведение ежемесячного контроля учета добычи полезного ископаемого, объема выполненных горных работ, маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ; ведение систематического учета движения балансовых, вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов, потерь и разубоживания руды, а также участие в разработке мероприятий по их сокращению; определение границ безопасного ведения горных работ, охранных целиков, перенесение этих границ в натуру и осуществление контроля за их соблюдением; осуществление контроля за охраной недр и полнотой отработки месторождений полезных ископаемых; изучение (совместно с геологом) структуры и формы залежей, свойств полезного ископаемого и составление различных горно-геометрических графиков; ведение наблюдений с помощью приборов и инструментов за сдвижением земной поверхности и толщи горных пород под влиянием подземных горных выработок, а также за устойчивостью бортов и отвалов карьеров и разработка мероприятий по охране зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ; прогнозирование горно-геологических условий и участие в составлении месячных, квартальных, годовых и перспективных планов ведения горных работ; составление обменных маркшейдерских планов.

При ликвидации или консервации горного предприятия маркшейдерская служба определяет полноту извлечения полезного ископаемого, пополняет маркшейдерскую документацию и определяет ее в архив вышестоящей организации на хранение, участвует в работе по определению возможности использования отработанных горных выработок в народном хозяйстве.

Без правильной постановки маркшейдерской службы невозможно технически правильное и безопасное ведение горных работ. Горные инженеры должны быть знакомы с основными принципами и методами производства геодезических и маркшейдерских съемок, составления маркшейдерской графической документации; знать права и обязанности маркшейдерской

службы. Маркшейдерская служба может забраковать горные выработки, неправильно пройденные по направлению, профилю и габаритам, запретить горные работы, вызывающие потери и разубоживание более нормативных и т. п. О выявленных несоответствиях или недопустимых отклонениях от проекта маркшейдер ставит в известность главного инженера предприятия и главного маркшейдера вышестоящей организации и делает запись в Книге маркшейдерских указаний.

Горные инженеры должны уметь свободно читать и пользоваться при решении производственных задач горной графической документацией — маркшейдерскими планами, разрезами и проекциями на вертикальную и наклонную плоскости.

Маркшейдерская графическая документация представляет собой важнейший технический и юридический документ, отражающий фактическое состояние земной поверхности и горных работ. Роль маркшейдерской службы возрастает с повышением уровня механизации горных работ. Применение высокопроизводительной техники — проходческих комбайнов, выемочных агрегатов и передвижных механизированных крепей требует постоянного маркшейдерского контроля, а также прогнозирования условий залегания полезного ископаемого впереди очистных работ.

В Советском Союзе маркшейдерская служба организуется согласно Типовому положению о ведомственной маркшейдерской службе, утвержденному постановлением Совета Министров СССР в 1981 г., по отраслевому принципу в министерствах и ведомствах, на предприятиях, в организациях и учреждениях горного профиля. Маркшейдерская служба в отрасли возглавляется маркшейдерским подразделением соответствующего министерства, ведомства. Маркшейдерские работы выполняются маркшейдерской службой горных предприятий или специализированными организациями.

На предприятиях, в организациях и учреждениях горного профиля маркшейдерская служба представляется в виде маркшейдерского отдела (бюро, лаборатории, группы и т. п.), возглавляемого главным (старшим) маркшейдером, который подчиняется непосредственно руководителю или главному инженеру предприятия.

Специализированные маркшейдерские организации по договорам выполняют капитальные маркшейдерские и топографо-геодезические работы, требующие применения специальных методов и технических средств, научные исследования; разрабатывают новые методы, приборы и оборудование для производства маркшейдерских работ.

ГЛАВА 19

ГОРНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

§ 83. Виды документации

Каждое горное предприятие свою нормальную работу может осуществлять лишь при наличии необходимого комплекта первичной, вычислительной и горной графической документации, составляемой по результатам топографической, маркшейдерской и геологической съемок.

Первичные документы создаются в процессе производства полевых работ. Состав их зависит от видов геодезических, маркшейдерских и геологических работ на различных этапах освоения месторождения. Они представлены полевыми книжками, журналами стандартных размеров, в которые заносят эскизы, зарисовки геологических объектов и результаты измерений угловых и линейных величин.

Вычислительные документы состоят из журналов камеральной обработки на ЭВМ полевых измерений с оценкой их точности. В их состав, в частности, входят журналы: учета горных работ; продвижения забоев; объемов горных выработок; добытого полезного ископаемого; выработанного пространства; объемов полезного ископаемого на складах; учета движения запасов, потерь и разубоживания; подсчета объемов земляных и строительных работ при строительстве и т. д.; вычисления и уравнивания опорных и съемочных сетей; каталоги координат и высот пунктов, реперов и марок опорных и съемочных сетей на поверхности и в горных выработках.

Горную графическую документацию по способу изготовления разделяют на исходную, составляемую на планшетах непосредственно по результатам съемки, и производную, составляемую путем репродукции исходной документации или с помощью ЭВМ и графопостроителя. По назначению ее разделяют на маркшейдерско-геологическую и эксплуатационно-технологическую. К особой группе относится обменная графическая документация.

Исходные чертежи являются важнейшими техническими и юридическими документами.

Маркшейдерско-геологические документы отражают: ситуацию и рельеф земной поверхности территории экономической заинтересованности горного предприятия; пространственное расположение и конфигурацию горных и геологоразведочных выработок; горнотехнические процессы горного производства во времени и в пространстве; форму, условия залегания залежей полезного ископаемого; структурно-тектонические и структурно-качественные особенности разрабатываемого месторождения; пункты маркшейдерско-геодезической опорной сети на поверхности и в горных выработках и пр.

Графическая документация может быть представлена в виде карт, планов, чертежей проекции на вертикальную или наклонную плоскости, вертикальных и горизонтальных разрезов, профилей, наглядных чертежей в афинных, аксонометрических и других проекциях.

Эксплуатационно-технологическими документами называют документы, отражающие ведение горных работ; состояние проветривания горных выработок и пылегазового режима, рудничного транспорта и подъема, электротехнического хозяйства, рудничного освещения; предупреждение и тушение рудничных пожаров; предотвращение затоплений действующих выработок, внезапных выбросов угля и газа, горных ударов; санитарные правила и т. п.

Состав комплекта и содержание документов по отдельным отраслям горного производства различны и зависят от целей, задач и условий проведения горных выработок, особенностей залегания полезных ископаемых в недрах, способа вскрытия и системы разработки.

Ответственность за полноту, достоверность и качество документов, за своевременное их составление, пополнение и корректуру несут главный инженер, главный маркшейдер и главный геолог горного предприятия.

Состав обменной графической документации определяется вышестоящей организацией. Комплект обменной документации включает несколько производных чертежей, отражающих современное состояние горных разработок.

Комплекты такой документации отправляют в производственное объединение, в министерство, в горноспасательную часть. Через определенное время (от одного до шести месяцев) маркшейдерская служба предприятия отправляет в указанные организации пополненный комплект обменной документации, а устаревший возвращают на предприятие для пополнения. Описанную челночную операцию повторяют периодически.

Отличительной особенностью горной графической документации является постоянное изменение информации во времени, пространстве, вызываемое динамичностью горного производства, изменением геологических условий и другими причинами.

Чертежи горной графической документации используют при проектировании, строительстве и производственной деятельности горнодобывающих и других предприятий, связанных с ведением горных работ. Они необходимы при проектировании геологоразведочных и горных работ, наземных и подземных сооружений; составлении планов водоотлива, энергоснабжения, проветривания, транспортирования грузов в горных выработках и на поверхности; решении вопросов охраны зданий, сооружений и природных объектов от влияния горных работ, а также

учета движения запасов, добычи, потерь, безопасности и других задач в горном деле.

Наличие документов контролируют с помощью инвентарной книги не реже одного раза в год. Ответственным за учет документов является главный маркшейдер предприятия.

Хранение маркшейдерско-геологической документации организуют непосредственно на горном предприятии в специальной комнате для работы с документацией. Указанная комната должна быть сухой и светлой. Ее оборудуют специальными сейфами и негоряемыми шкафами, столами для чертежников, световыми столами, графопостроителем, подсоединенным к ЭВМ.

Исходные чертежи хранят в горизонтальном или вертикальном положении на ребре в кассетах негоряемых шкафов (сейфов).

Производные чертежи свертывают в рулоны или складывают по формату 210x297 мм так, чтобы названия их находились сверху.

Пользоваться исходными чертежами можно только в пределах маркшейдерского отдела.

Сроки хранения чертежей различного назначения различны и определяются инструкцией. Исходные чертежи после ликвидации или консервации горного предприятия передаются по акту в вышестоящую организацию.

§ 84. Содержание горной графической документации

При открытой разработке основными чертежами являются планы горных работ по горизонтам или уступам (рис. 73) и вертикальные разрезы (профили горных работ) по направлениям, приуроченным к разведочным линиям. Планы горных работ по горизонтам составляют в масштабах $1 : 1000$ или $1 : 2000$ в зависимости от размеров карьеров и сложности разрабатываемого месторождения. На планы наносят: координатную сетку, пункты рабочего обоснования, контуры верхней и нижней бровок уступа, разведочные скважины, границы площадей отработки, разведочные линии, геологическую и гидрогеологическую информации, транспортные и энергетические коммуникации, границы поля данного горизонта. Вертикальные разрезы, на которых отражают форму залежи и динамику продвижения горных работ, составляют в масштабе, принятом для основных погоризонтных планов по линиям вкрест простирания месторождения. Составляют и пополняют также сводный план карьера, на который наносят всю ту же информацию, что и на планы по горизонтам.

При подземной разработке основными маркшейдерскими чертежами являются планы горных работ, проекции на вертикальную или наклонную плоскость, вертикальные разрезы и

Рис. 73. Фрагмент плана горных выработок горизонтов (уступов) карьера

профили горных выработок. Планы горных работ (рис. 74) составляют по каждому пласту, пластообразной залежи, слою, жиле, горизонту в масштабах 1 :500—1 :5000 в зависимости от размеров шахтного поля, формы залежи и способа разработки.

На планы горных работ наносят: координатную сетку, пункты планового и высотного обоснования съемок по всем выработкам; все горные выработки с указанием положения забоев подготовительных и очистных выработок на первое число каждого месяца; разведочные и технические скважины; контуры очистных выработок с указанием способа отбойки и управления кровлей; углы падения, кливаж, мощность и структуру залежи; тектонические нарушения, границы целиков и т. д.

Кроме планов горных выработок по пластам составляют планы основных горных выработок по горизонтам (рис. 75), совмещенные и обзорные планы в масштабе 1 :5000 и мельче, планы околоствольных выработок в масштабе 1 :200 или 1 :500. Планы должны соответствовать графической точности согласно принятому масштабу.

Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее 0,2 мм на плане, называют графической точностью плана данного масштаба. Так для планов масштаба 1 : 2000 графическая точность равна 0,4 мм, масштаба 1 : 5000— 1,0 мм. Графическая

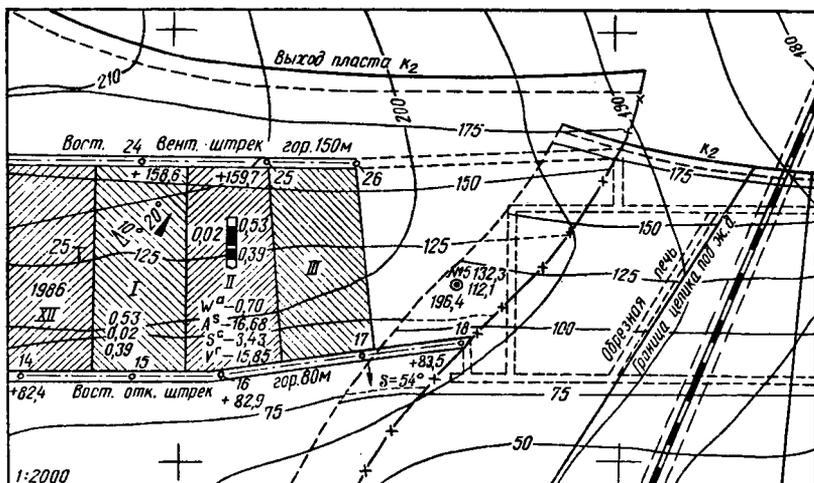


Рис. 74. Фрагмент плана горных работ по пласту K2

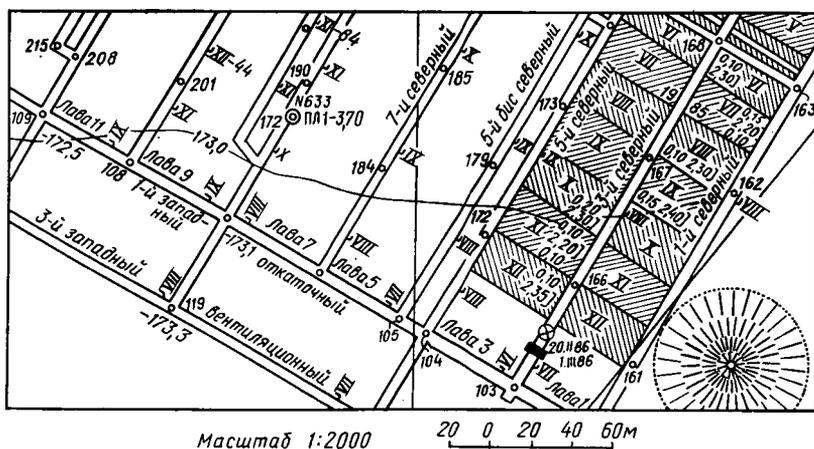


Рис. 75. Фрагмент плана горных выработок основного откаточного горизонта

точность указывает, какую наименьшую длину объекта можно отложить на плане, и наоборот, с какой точностью можно определить длину проекции отрезка по плану данного масштаба.

Графическая точность обуславливает выбор масштаба плана при решении встречающихся на практике задач.

Пример. В каком масштабе необходимо строить разрез, чтобы по нему можно было определить мощность залежей с точностью 25 см?

$$M = aid = 0,2 \text{ мм} : 25 \text{ см} = 1/1250,$$

где a — графическая точность (0,2 мм); l — длина наименьшего отрезка в натуре. Знаменатель масштаба M чертежа принимают ближайший более крупный стандартный (в данном случае 1 : 1000).

§ 85. Системы координат, масштабы и номенклатура маркшейдерских чертежей

Все топографические и маркшейдерские планы на территории СССР составляют в единой плоской прямоугольной системе координат и Балтийской системе высот.

Если планы составляют в условной системе координат, то она должна иметь определенную связь с общегосударственной системой координат.

Маркшейдерские чертежи в зависимости от их содержания и назначения составляют в масштабах 1 : 200; 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000; 1 : 5000. Для специальных планов и разрезов применяют более крупные масштабы—1:100; 1:50; 1:20; 1:10 и 1:5 и более мелкие масштабы— 1 : 10 000, 1 : 25 000.

Топографические планы земной поверхности и маркшейдерские планы открытых и подземных горных выработок, создаваемые на территориях площадью менее 20 км² в масштабе 1 : 5000 и крупнее, составляют в разграфке квадратных планшетов. Для пользования такими планами требуется знать их номенклатуру. Номенклатура позволяет определить местоположение данного планшета на земной поверхности и быстро совмещать на стыках планшеты друг с другом, получая единый план в пределах всей разрабатываемой залежи или месторождения полезного ископаемого.

В основу номенклатуры принят планшет масштаба 1 : 5000.

Общая схема разграфки планшетов для разных масштабов приведена в § 15.

§ 86. Изображение на маркшейдерском плане точки, прямой, плоскости и поверхности

Объекты маркшейдерских съемок и изображений на планах и других графиках характеризуются точками, прямыми, плоскостями и поверхностями. Ниже рассмотрены методы изображения этих элементов на горизонтальной плоскости проекции (плане) и определения взаимного положения между ними. Эти методы лежат в основе решения многих задач на маркшейдерских планах.

Ортогональная проекция точки есть точка. В проекциях с числовыми отметками по двум координатам на плоскость наносят ортогональную проекцию данной точки, а ее третью координату подписывают в виде числовой отметки.

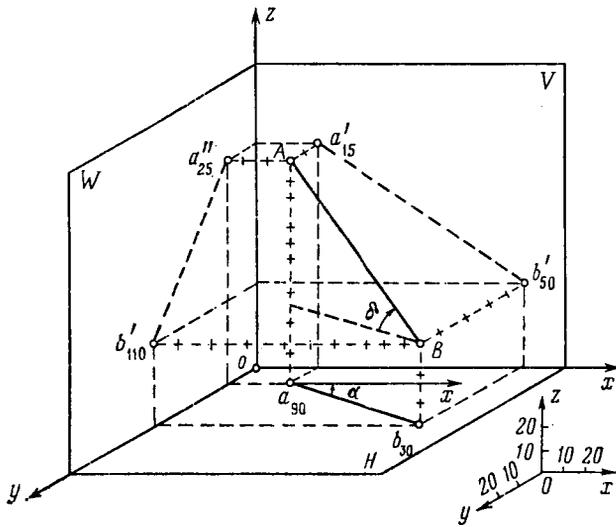


Рис. 76. Схема проецирования прямой AB на горизонтальную и вертикальные плоскости проекции

Ортогональная проекция прямой линии есть прямая.

Прямые, нормальные к плоскости проекции, изображаются точками. Так, например, вертикальные скважины или вертикальные горные выработки на планах изображаются точками или условными знаками (для удобства чтения плана). Прямые, параллельные плоскости проекции, проецируются на нее в масштабе чертежа без искажения.

Данная в натуре прямая AB (рис. 76) имеет вполне определенное положение в пространстве и может быть изображена в проекциях с числовыми отметками, если известны координаты двух точек прямой $A(x_a, y_a, z_a)$, $B(x_b, y_b, z_b)$ или координаты одной точки $A(x_a, y_a, z_a)$ и направление прямой — дирекционный угол (азимут) a в сторону падения прямой и угол наклона b прямой к горизонту.

Прямая AB представлена на рис. 76 в пространстве относительно координатных осей координатами двух ее точек: $A(25, 15, 90)$ и $B(110, 50, 30)$.

Здесь же показана проекция этой прямой на горизонтальную плоскость $хоу$ и на вертикальные плоскости $хоz$ и $уoz$.

Наклон прямой к плоскости проекции может быть выражен углом ее наклона или в градуированных отметках.

Градуированием прямой называют нахождение на проекции прямой точек с целочисленными отметками, кратными выбранной высоте сечения.

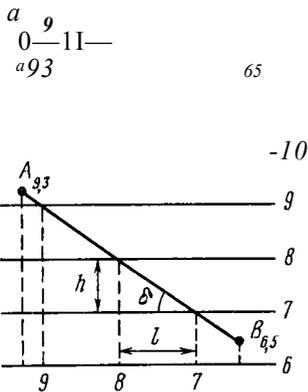


Рис. 77. Градуирование прямой $L_{9,3}B_{615}$ с помощью профиля:
а — план; б — профиль

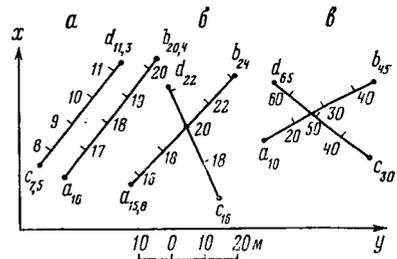


Рис. 78. Взаимное положение прямых:
а — параллельных; б — пересекающихся;
в — скрещивающихся

За высоту сечения k обычно принимают величины: 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 25; 50; 100.

Заложением прямой l называют расстояние между проекциями двух точек прямой, разность числовых отметок которых равна высоте сечения.

Уклоном i прямой называют тангенс угла ее падения. Между высотой сечения, заложением и уклоном имеется зависимость (рис. 77):

$$i = igB = h/l. \quad (75)$$

Наиболее распространенные способы градуирования прямых — на глаз, с помощью трафарета, профиля и аналитический. Если прямая задана одной точкой и направлением, то градуирование производят с помощью заложения, определяемого по профилю или аналитически.

Взаимное положение прямой и точки. Точка лежит на прямой, если проекция точки совпадает с проекцией прямой и имеет одну общую с точкой прямой отметку.

Точка не лежит на прямой, если:

проекция точки не совпадает с проекцией прямой;

проекция точки совпадает с проекцией прямой, но данная точка и совпадающая с ней точка на прямой имеют разные отметки.

Если проекция точки совпадает с проекцией прямой, то непосредственно по плану можно определить лишь расстояние по вертикали между точкой и прямой, которое равно разности отметок данной точки и соответствующей ей точки на прямой. Другие величины определяются дополнительными построениями.

Взаимное положение прямых. Прямые параллельны между

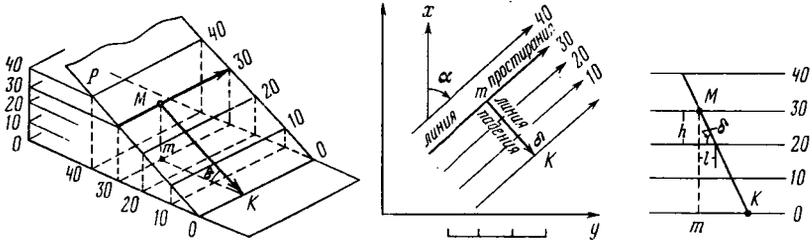


Рис. 79. Изображение плоскости P в проекциях с числовыми отметками:

a — наглядная проекция; b — план; c — профиль по линии наибольшего ската

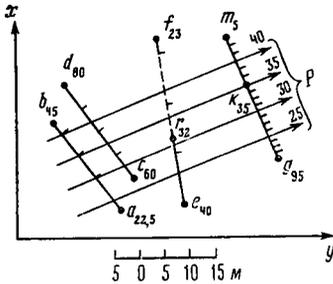


Рис. 80. Взаимное положение точек и прямых с плоскостью

собой, если параллельны их проекции, заложения равны, числовые отметки возрастают в одну сторону (рис. 78,а).

Прямые пересекаются, если пересекаются их проекции, а точка пересечения для обоих прямых имеет одну и ту же числовую отметку (рис. 78,б).

Прямые скрещиваются, если проекции прямых пересекаются, но в точке пересечения имеют разные отметки (рис. 78,в);

Плоскость и ее изображение. Положение плоскости в пространстве и ее изображение на плане вполне определяются следующими элементами:

- три точки, не лежащими на одной прямой;
- прямой линией и точкой, не лежащей на этой прямой;
- двумя пересекающимися прямыми;
- двумя параллельными прямыми;
- прямой линией, являющейся линией наибольшего ската данной плоскости (линия MK на рис. 79).

В проекциях с числовыми отметками плоскость изображают горизонталями — параллельными и равноотстоящими друг от друга прямыми.

Линия наибольшего ската или линия падения плоскости перпендикулярна горизонталям плоскости как в натуре, так и на плане.

Тангенс угла наклона плоскости называется уклоном i плоскости.

Между уклоном i , заложением l и сечением h имеется зависимость, выражаемая формулой (75).

Горизонтальная линия на плоскости (как и всякая горизонталь) имеет направление. Условились за направление горизонтали или направление линии простираения плоскости принимать такое, относительно которого падение плоскости направлено вправо.

Задаваемая плоскость ориентируется относительно стран света или относительно осей координат данного плана азимутом или дирекционным углом α направления линии простираения (горизонтали) плоскости.

Взаимное положение точки и плоскости (рис. 80). Данная точка лежит на плоскости P , если у проекции этой точки плоскость имеет одинаковую с точкой отметку (точка ζ_{35}).

Данная точка не лежит на плоскости, если у проекции этой точки плоскость имеет иную отметку, чем отметка данной точки (например, точка $se\ o$).

Взаимное положение прямой и плоскости. Прямая лежит в плоскости, если две любые точки прямой лежат в этой плоскости. Прямая $\zeta_{22,5645}$ параллельна плоскости P (см. рис. 80).

Прямая $Csodso$ параллельна плоскости P , так как на плоскости имеется прямая $a_{2,5\&45}$, параллельная данной прямой, т. е. имеет одинаковое с ней заложение и возрастание отметок в одну сторону.

Прямая $640/23$ пересекает плоскость P , так как она имеет только одну точку ζ_{32} , лежащую в данной плоскости.

Прямая $gg5m_5$ перпендикулярна плоскости P , если ее проекция перпендикулярна горизонталям плоскости, направление ее падения обратно направлению падения плоскости и имеется зависимость $li = h^2/l_2$, где U и l_2 — заложения прямой и плоскости; h — высота сечения.

Угол между прямой и плоскостью лежит в плоскости, проходящей через эту прямую и перпендикуляр к данной плоскости в точке пересечения прямой с плоскостью.

Взаимное положение плоскостей. Плоскости параллельны, если проекции горизонталей обеих плоскостей параллельны, направления горизонталей одинаковы и заложения равны.

Плоскости пересекаются, если:

горизонтали плоскостей пересекаются, линия пересечения в этом случае определяется точками пересечения одноименных горизонталей;

горизонтали плоскостей параллельны, одного направления, но с разными заложениями;

горизонтали плоскостей параллельны, но с противоположными направлениями. —

Проекции линии пересечения плоскостей во втором и третьем случаях определяют при помощи профиля по линии наибольшего ската плоскостей.

Плоскости взаимно перпендикулярны, если двугранный угол между ними равен 90° . Двугранный угол лежит в плоскости, перпендикулярной к линии пересечения данных плоскостей.

Метод совмещения плоскостей. Под совмещением плоскостей понимают приведение данной наклонной плоскости в положение, параллельное плоскости проекции. Совмещение плоскостей применяют для графического определения истинного значения длин и углов, лежащих в наклонной плоскости. Совмещение с горизонтальной плоскостью проекции производят путем вращения данной плоскости вокруг одной из ее горизонталей до положения, параллельного плоскости проекции.

Сущность метода рассмотрим на следующем примере.

На плане (рис. 81) даны три точки a_{80} и b_{40} пересечения скважин с поверхностью почвы залежи. Требуется определить истинные расстояния между точками и истинные значения внутренних углов образовавшегося треугольника.

Через три данные точки проводят плоскость. Для этого соединяют проекции точек прямыми, задавшись сечением через 10 м, градуируют их. Через точки с одноименными отметками проводят горизонталь плоскости. Чтобы определить истинные значения углов и сторон треугольника вращают плоскость вокруг любой из ее горизонталей, например, с отметкой 20.

Чтобы найти совмещенное положение точки a_{80} на плане, из данной точки опускают перпендикуляр $a_{80}a$ на ось вращения (горизонталь 20) и на продолжении перпендикуляра от оси вращения откладывают отрезок, равный гипотенузе aA прямоугольного треугольника, у которого один катет aa_{80} — расстояние в плане данной точки от оси вращения, а другой $a_{80}A$ — отрезок, равный разности отметок данной точки и оси вращения в масштабе плана ($80 - 20 = 60$ м). Точка a_{20} является совмещенным положением точки a_{80} относительно оси вращения с отметкой 20.

Аналогично находят точку b_{20} . Точка b_{40} , лежащая на оси вращения, останется на месте.

Соединяя прямыми точки a_{20} , b_{20} и c_{20} , получают истинный треугольник, у которого углы измеряют непосредственно, а стороны — по плану в масштабе.

Поверхность и ее изображение.

На маркшейдерских планах изображают разные по своей физической сущности поверхности. Их разделяют на три рода: реально существующие поверхности (земная поверхность, поверхность кровли и почвы залежи, поверхность разрывного нарушения и т. п.); производные от реальных (изомощности за-

Рис. 81. Схема определения истинных элементов треугольника $a\%b_2c_0$ методом совмещения

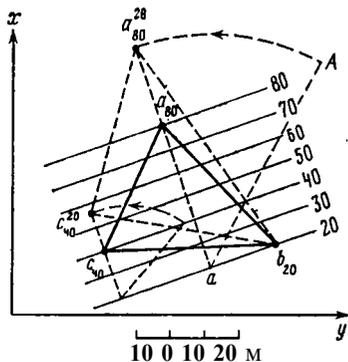
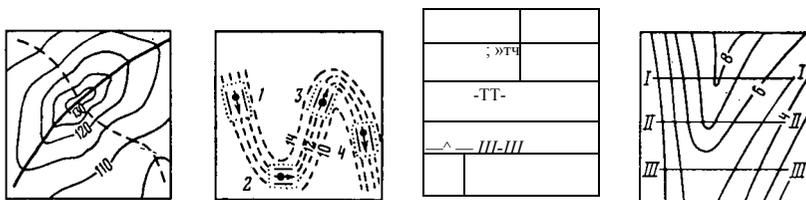


Рис. 82. Построение поверхности в изолиниях:

a — метод инвариантных линий; $б$ — метод многогранника; $в$ — по профилям $I-I$, $II-II$, $III-III$; $г$ — план в изолиниях по профилям



лежи, изоглубины залегания, изонаклоны и пр.); условные (изолинии содержания компонентов, изолинии интенсивности трещиноватости и др.).

Все поверхности, как и земную, на плане изображают в изолиниях. В отличие от земной поверхности, при съемке которой характерные точки для построения горизонталей набирают по принципу «необходимо и достаточно», для скрытых, невидимых или условных поверхностей построение изолиний по точкам, которые случайны и не всегда являются характерными для объекта, является не простой задачей. Чтобы изолинии правильно отражали конкретную поверхность, требуется при их построении учитывать геологические и другие факторы, принимать во внимание соподчиненность в залегании горных пород и пр.

В зависимости от исходных данных, их расположения и характера изучаемой поверхности построение изолиний производят методами инвариантных линий, многогранника, профилей, а также косвенными методами как вручную, так и с помощью ЭВМ и графопостроителя.

Метод инвариантных линий (рис. 82, а) заключается в анализе числовых отметок точек, нанесенных на план по их координатам, и проведении сначала линий водораздела (сплошная линия) и линий водосбора (пунктирная линия), а затем после интерполирования отметок — изолиний поверхности.

Метод многогранника (рис. 82,б) применяют в том случае,

когда в точках наблюдений 1, 2, 3, 4 с известными координатами замерены простирание и падение изображаемой плоскости. По элементам залегания плоскости в окрестностях точек строят в изолиниях плоскости. Затем по изолиниям с одинаковыми отметками проводят плавные кривые — изолинии изображаемой поверхности.

Методом профилей (рис. 82, в) пользуются при разведке месторождений по разведочным линиям. По каждой разведочной линии I—I, II—II и т. д. по данным скважин строят профили поверхности залежи. Затем с профилей по разведочным линиям на плане наносят целочисленные отметки поверхности. Соединяя плавной кривой точки с одинаковыми отметками, получают план поверхности в изолиниях (рис. 82, г).

Для поверхностей 1-го рода сечение изолиний определяют по формуле Г. И. Вилесова

$$K^{\gamma} = \frac{aM}{1000} \cdot \frac{1}{\sin \beta},$$

где a — минимальное расстояние между изолиниями ($a = 5$ — 10 мм); M — знаменатель численного масштаба плана; β — средний угол наклона поверхности.

Для поверхностей 2 и 3-го рода применяют формулу П. К. Соболевского

$$1/\gamma = 6 m_a,$$

где m_a — средняя погрешность арифметической середины показателя, определяемая по данным хорошо изученного участка.

Положение точки, прямой, плоскости и поверхности относительно другой поверхности. Точка лежит на поверхности, если ее отметка совпадает с отметкой поверхности у этой точки. В противном случае точка лежит выше или ниже поверхности на расстоянии по вертикали, равном разности отметок данной точки и поверхности у проекции точки.

Прямая с поверхностью пересекается в точках с отметками, общими для прямой и поверхности. Кривая линия лежит на поверхности, если все точки кривой лежат на поверхности.

Если линия на поверхности проходит по нормали к изолиниям, то она называется линией наибольшего ската.

Линия пересечения горизонтальной плоскости с поверхностью на плане является горизонтальной поверхностью, имеющей отметку, равную отметке горизонтальной плоскости. Линия пересечения вертикальной (или нормальной к плоскости проекции) плоскости с поверхностью называется профилем. На плане линия профиля и проекция секущей плоскости сливаются в прямую.

Наклонная плоскость пересекается с поверхностью по линии, которая проходит через точки пересечения одноименных

изолиний поверхности и плоскости. Две поверхности могут быть параллельными или пересекаться. Линия пересечения двух поверхностей проходит через точки пересечения одноименных изолиний. У параллельных поверхностей — изолинии параллельны.

§ 87. Условные знаки для маркшейдерских планов, проекций и разрезов

Для горной графической документации согласно ГОСТ 2.853—75 применяют масштабные, разномасштабные, безмасштабные и пояснительные условные обозначения.

Масштабные условные обозначения применяют, когда объект может быть изображен в масштабе чертежа. Разномасштабные — для вытянутых объектов, размер которых по ширине не может быть выражен в масштабе чертежа. Безмасштабные условные обозначения применяют на планах масштаба 1 :2000 и мельче, когда размеры объекта в масштабе чертежа равны или меньше размеров безмасштабных условных обозначений этих объектов. Наносят их так, чтобы их центры на чертеже соответствовали центрам изображаемых объектов. Пояснительные условные обозначения применяют как дополнительные к масштабным, разномасштабным и безмасштабным условным обозначениям при изображении геометрических элементов (осей, стрелок направлений и др.).

На рис. 83 приведены условные обозначения некоторых объектов подземных выработок.

§ 88. Решение задач на маркшейдерских планах

Фрагмент плана горных работ по пласту &₂ в масштабе 1:2000 представлен на рис. 74. На плане нанесены горизонтали рельефа земной поверхности сечением через 5 м, линия выхода и изогипсы поверхности почвы пласта сечением через 25 м, горные выработки с маркшейдерскими точками и уходом лавы по месяцам с указанием структуры и вынимаемой мощности пласта, разведочная скважина № 5, разрывное нарушение и границы целика под железную дорогу, проект подготовительных горных выработок на смещенную часть пласта.

Уклон откаточного штрека определяют по формуле (см. рис. 74)

$$i = \frac{H_{16} - H_{14}}{18} \cdot 100\%$$

где H_{16} , H_{14} — отметки в соответствующих точках; /16-14 — расстояние между точками, измеряемое по плану в масштабе чертежа.

№ Табл. № Знака	Название изображаемого объекта	Условный знак		Цвет знака по табл. 2
		масштабный	внемасштабный	
$\frac{7}{76}$	Подземный репер в почве горной выработки			Синий
$\frac{7}{11}$	Пункт опорной сети в подземной горной выработке			Синий
$\frac{10}{9}$	Целик барьерный, предохранительный, профилактический			Красн. Лимон.
$\frac{11}{2}$	Устье шурфа, встретившего полезное ископаемое прямоугольного сечения			Цвет, принятый для материала крепь, для полезного ископаемого, и синий
$\frac{11}{15}$	Устье вертикальной скважины, встретившей полезное ископаемое			Цвет, принятый для полезного ископаемого, и синий
$\frac{11}{17}$	Устье наклонной скважины в проходке			Черный Синий
$\frac{16}{1}$	Устье ствола вертикальной шахты круглого сечения, скиповой			Черный Синий
$\frac{16}{9}$	Устье наклонной штольни прямоугольного сечения			Цвет, принятый для материала крепь
$\frac{17}{1}$	Выработка в плане			Черный
$\frac{21}{40}$	Указание запасного выхода			Черный
$\frac{46}{9}$	Комбайн проходческий			Черный

Рис. 83. Условные обозначения горной графической документации

Угол наклона лавы β определяют геометрически путем построения профиля лавы по линии, например, 16—25, или аналитически — аналогично вышеприведенной формуле.

Истинную длину лавы L определяют графически по профилю вкрест простирания лавы или аналитически по формуле $L = l \sec \beta$, где l — длина проекции лавы, измеряемая до плану между штреками в масштабе чертежа. Расстояние по вертикали между разорванными крыльями пласта, а также глубину их залегания определяют по разности соответствующих отметок.

Для определения простирания и падения плоскости разрыва (сместителя) проводят вначале ее изогипсы через точки пересечения одноименных горизонталей висячего и лежащего крыльев с соответствующей линией обреза пласта. Угол, который составляет положительное направление изогипсы сместителя с осью абсцисс плана, равен дирекционному углу. Угол падения сместителя определяют графически по профилю между двумя смежными изогипсами или аналитически.

Вынутые запасы определяют за каждый месяц по формуле

$$Q = S \sec \beta m y,$$

где S — площадь вынутого угля за месяц, измеряемая по плану, м^2 ; β — средний угол падения пласта на данном участке, град; m — нормальная мощность пласта, м ; y — объемная масса угольного пласта, $\text{т}/\text{м}^3$.

ГЛАВА 20

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 89. Общие сведения о геометрии недр и геометризации месторождений

Геометрия недр — это научно-техническая дисциплина, в которой изучают формы залежей минерального сырья, их пространственное положение в недрах и условия залегания, размещение в них полезных и вредных компонентов, процессы изменения формы и свойства во времени.

Форма, условия залегания и размещение в недрах компонентов твердых полезных ископаемых имеют весьма разнообразную, иногда очень сложную, но вполне определенную геометрию. Выявление и выражение этой геометрии, т. е. аппроксимация ее с определенной степенью точности является одной из главных задач геометрии недр, которая осуществляется при их геометризации.

В физико-математических дисциплинах под геометризацией понимают методику геометрического выражения изучаемых объектов или явлений.

Геометризацией месторождения полезного ископаемого называется методика и техника изучения и изображения на чертежах (картах, планах, разрезах и других графиках) геологических форм и условий их залегания, свойств вещества, заполняющих эти формы, и процессов, происходящих в недрах.

Геометризации могут подвергаться любые показатели залежи и массива горных пород (высотные отметки, мощность, глубина залегания, содержание компонента и др.), если они в различных точках могут быть непосредственно или косвенно измерены и выражены числом.

Основными методами геометризации недр являются метод изолиний, метод геологических разрезов (сечений) и профилей.

При изучении сложных залежей дополнительно используют метод объемных наглядных графиков и метод моделирования.

В каждом из перечисленных методов применяют ЭВМ и графопостроители.

Метод изолиний заключается в построении на плане изолиний по числовым значениям любого показателя месторождения, аналогично тому, как по высотам строят изогипсы земной поверхности. При геометризации месторождений чаще всего строят следующие изолинии:

и з о г и п с ы п о в е р х н о с т и — линии, соединяющие точки поверхности почвы П (кровли К, разрыва Т) залежи с одинаковыми высотами (рис. 84, а);

и з о м о щ н о с т и — линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями нормальной к плоскости проекции мощности m залежи (рис. 84, б);

и з о г л у б и н ы — линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями глубины k залегания залежи;

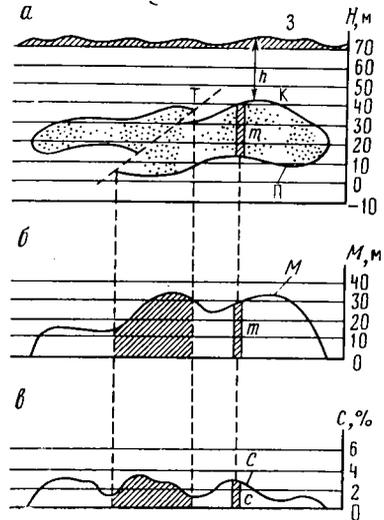
и з о с о д е р ж а н и я — линии, соединяющие точки с одинаковыми средними значениями содержания c полезного или вредного компонента (рис. 84, в).

Изолинии поверхностей строят в проекциях не только на горизонтальную, но и на вертикальную и наклонную плоскости. Поэтому построение изолиний поверхностей при геометризации несравненно сложнее построения изогипс земной поверхности.

Метод изолиний имеет свои недостатки. В частности, при изображении формы залежей возникает трудность одновременного изображения и литологии пород, окружающих полезное ископаемое. Трудно, а иногда и невозможно в изолиниях изображать тела трубообразной, штокверковой форм, а также горизонтально или вертикально залегающие формы.

Рис. 84. Профили поверхностей:

a — реальных — земной $З$, почвы $П$, кровли $К$ залежи, разрывного нарушения T ; *б* — производных от реальных — осадочной залежи M (изомощности ш); *в* — осадочного слитка C металла (изосодержания средних значений компонента c)



Метод геологических разрезов позволяет отображать форму тела полезного ископаемого и представлять его положение среди вмещающих пород в данном сечении — вертикальном, горизонтальном или наклонном.

При горизонтальном или вертикальном залегании пластовых залежей с выдержанной мощностью система взаимноувязанных геологических разрезов (вертикальных и горизонтальных) является основной графической документацией, отображающей морфологию и условия залегания месторождения.

С помощью одних разрезов без изолиний трудно, а иногда невозможно представить на чертеже характер изменения содержания компонента, изменения физико-технических и горногеологических свойств залежи и боковых пород.

Поэтому при геометризации используют и метод изолиний, и геологические разрезы. Оба метода дополняют друг друга, обеспечивая наглядность и полноту изображения, а также облегчают взаимное построение и построение других горногеометрических графиков (и моделей). Геометризация недр не исключает геологического их изучения. Она является научной математической, геометрической базой комплексного изучения недр.

В зависимости от конкретных задач геометризации и масштабов планов и карт различают геометризацию региональную, детально-разведочную и эксплуатационную.

Региональную геометризацию производят в мелких масштабах (от 1:50 000 до 1:500 000). Региональные структурно-геометрические карты составляют по данным

геологической съемки, по отметкам кровли или почвы соответствующих слоев в естественных выходах, в глубоких колодцах или по редкой сети структурных буровых скважин. Региональные структурные карты позволяют делать широкие геологические обобщения и общие научные прогнозы.

Детально-разведочную геометризацию производят в масштабах от 1 : 5000 до 1 : 50 000 на основе геологической и структурно-геологической съемок с использованием данных детальной разведки, горноподготовительных и очистных выработок.

Составляемые при этом графики используют при проектировании горных выработок и обосновании доразведки месторождения.

При эксплуатационной геометризации составляют планы и другие графики, которые служат основой для прогнозирования на соседние участки, проектирования и развития подготовительных и очистных работ, а также для определения направления эксплуатационной разведки. Планы отличаются детальностью изображаемых элементов структурного и качественного характера. Горногеометрические графики составляют в масштабах от 1 : 100 до 1 : 10 000.

Различают также общую и частную, конкретную методики геометризации месторождений полезных ископаемых. В частных конкретных методиках геометризации месторождений рассматриваются особенности геометризации отдельных типов месторождений полезных ископаемых.

Общая схема геометризации месторождений может быть представлена в следующем виде: сбор исходных данных разведки, получаемых при геолого-маркшейдерских съемках, опробовании, геофизических измерениях; предварительная обработка, систематизация, оценка точности измерений; построение геолого-математической и геометрической моделей залежи с последующей оценкой ее точности; использование геометрической модели при освоении недр — последующей разведке и рациональной разработке месторождения.

§ 90. Теоретические основы геометризации недр. Геометрический анализ геохимического поля

Теоретические основы геометрии и геометризации недр разработал проф. П. К. Соболевский. Они опираются на геометрический анализ геохимического поля, функции топографического порядка и математические действия с ними, вероятностно-статистические методы обработки измерений, учение о проекциях.

Любое месторождение полезного ископаемого с точки зрения геометризации представляет собой геологическое поле как

совокупность полей размещения химических, физических и других свойств тел полезных ископаемых в недрах. Структура поля размещения каждого показателя, как и структура любого физического поля,— слоисто-струйчатая. Приближенно ее можно сравнить со структурой луковицы, состоящей из системы непересекающихся слоев. Структура же геологического поля представляется совокупностью пронизывающих друг друга и пересекающихся полей отдельных свойств.

Поля могут быть общие, охватывающие все месторождение, и частные — в пределах одной залежи или ее части; скалярные и векторные; стационарные и динамические.

Если рассечь геохимическое поле плоскостью горизонтальной, вертикальной или наклонной, то легко убедиться, что в сечении поле представляется системой замкнутых непересекающихся кривых линий.

К этому выводу можно прийти из анализа уравнения $P = f(\lg, y, z, t)$, выражающего зависимость некоторого свойства недр от координаты точки и времени. В самом деле, если из уравнения исключить время считая, что за период изучения свойство объекта практически не изменится, то для некоторого плоского сечения P_z , имеющего постоянную отметку z , численные значения функции будут зависеть от изменения аргументов x и y и выражаться функцией $P_z = P(x, y)$, т. е. поверхностью топографического порядка.

Таким образом, любое свойство геохимического поля в любом плоском сечении (слое) геометрически отображается системой непересекающихся изолиний, так же как системой изолиний (горизонталей) на плане изображают поверхность кровли, почвы залежи, топографическую поверхность рельефа местности.

§ 91. Математические действия с функциями топографического порядка

С графическими выражениями топофункций можно производить арифметические и алгебраические действия.

Топофункции, над которыми необходимо производить математические действия, должны быть изображены в одной и той же системе координат, на одной и той же плоскости проекции (но не обязательно на одном листе бумаги), в одном и том же масштабе.

При сложении и вычитании топофункций желательно, чтобы изолинии были проведены через одно и то же сечение, тогда изолинии искомой функции получаются с тем же сечением.

Вычитание топофункций. Пусть на плане в изолиниях даны две топофункции $P = f(x, y)$ и $T = f(p(x, y))$, удовлетворяющие

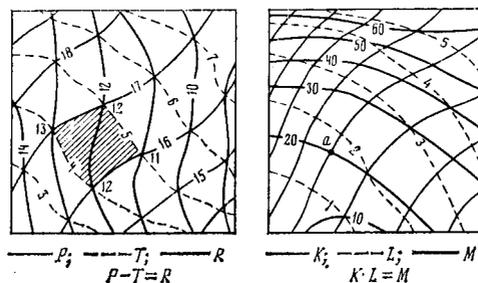


Рис. 85. Схемы, иллюстрирующие вычитание (а) и умножение (б) топоповерхностей

условию конечности, однозначности, непрерывности и плавности (КОНП).

Для любой точки с координатами x, y плана разность двух данных функций имеет только одно конечное значение $Я = P - T$. Отсюда очевидно, что $H = P(x, y)$ также обладает свойствами КОНП и выражается функцией топографического порядка.

Чтобы построить изолинии разности топофункций, на совмещенном плане двух топофункций берут какой-нибудь изолинейный четырехугольник (рис. 85, а). В вершинах его — точках пересечения изолиний — по их отметкам находят значения разностей.

Одинаковые значения разностей двух противоположных точек четырехугольника соединяют диагональю — элементом изолинии искомой топофункции. Остальные изолинии проводят последовательно по диагоналям изолинейных четырехугольников.

Вычитание функций топографического порядка применяют при построении плана изоглубин залегания полезного ископаемого и нахождении линии выхода залежи на поверхность (вычитание из поверхности рельефа местности поверхности кровли залежи). При построении плана изомощностей залежи, разведанной сочетанием вертикальных, наклонных и искривленных скважин (вычитание из поверхности кровли залежи поверхности почвы залежи).

Сложение топофункций. При сложении, так же как и при вычитании, в вершинах какого-нибудь одного произвольного изолинейного четырехугольника определяют значения сумм. Через точки с одинаковыми отметками проводят диагональ и продолжают ее по диагоналям смежных четырехугольников. Руководствуясь направлением диагонали, определяют отметки последующих изолиний искомой функции, при этом сечение получаемой функции равно сечению исходных.

Если изолинии двух поверхностей на плане не пересекаются, то в произвольных точках плана находят разность или сумму отметок поверхностей и с учетом полученных значений проводят изолинии искомой поверхности.

Сложение функций топографического порядка практически применяют: при одновременном подсчете запасов нескольких залегающих друг над другом залежей по их изомощностям; при решении задачи о выборе места заложения ствола шахты, когда необходимо учитывать ряд факторов, изменения каждого из которых изображается функцией топографического порядка; при решении задачи нахождения точки своза грузов из многих пунктов при минимальных транспортных расходах и т. п.

Умножение функций топографического порядка (рис. 85, б). Произведение двух топофункций в общем виде:

$$M = K \cdot L = f(x, y) \cdot \phi(x, y) = F(x, y).$$

При умножении двух функций сначала определяют сечение искомой функции. Для этого устанавливают в пределах плана минимальное и максимальное значения произведения перемножаемых функций, а также число изолиний, которым представлена на плане каждая функция. Разность между максимальным и минимальным значениями произведения делят на среднее число изолиний. Частное от деления, округленное до ближайшей цифры, оканчивающейся на ноль или пять, и определяет высоту сечения искомой функции M (см. рис. 85, б):

$$h_i = \frac{\max - \min}{V_2(n_1 + n_2)} \cdot \frac{70 - 10}{V_2(8 + 5)} \cdot 10.$$

Среди точек пересечения изолиний находят такие, произведения в которых кратны по величине выбранному сечению (10, 20, 30, 40, 50, 60). Затем на каждой изолинии одной функции находят точки (например, a), произведение в которых кратно сечению. Они определяются, если взять отметку, кратную сечению 20, разделить на отметку данной изолинии 11 и на ней найти точку a с отметкой для второй функции, равной полученному частному (20: 11 = 1,8).

Найденные таким образом точки соединяют плавными кривыми, которые и будут изолиниями искомой функции.

Умножение топофункций применяют при решении многих горногеометрических задач. Перемножая изолинии мощности залежи на изолинии средних содержаний металла, получают новые изолинии, перемножив которые на среднее значение плотности руды, получают поверхность, представляющую размещение запасов металла в залежи.

Деление функций топографического порядка. Частное от деления двух топофункций M и L , не равное нулю, графически

представляется также функцией K , обладающей теми же свойствами КОНП, как и исходные:

$$K = M/L = F(x, y)/y(x, y) - f(x, y).$$

Графическое деление топофункций производят аналогично способу умножения, но с обратным действием.

Делением топофункций решают такие вопросы как определение среднего содержания компонента в месторождении, выявление соотношения между различными показателями залежи, определение изолиний коэффициента вскрыши при открытой разработке месторождений путем деления изомощностей насосов (изоглубин залегания) на изомощности залежи.

Возведение в степень или извлечения корня из функции, представленной на плане в изолиниях, производят путем возведения в степень или извлечения корня из отметки каждой изолинии.

Затем по разноступенчатым отметкам проводят изолинии с отметками, кратными выбранному сечению.

Дифференцирование топоповерхности приводит к построению на плане векторов-градиентов в выбранном масштабе. Они численно равны тангенсу угла наклона поверхности в данной точке и направлены в сторону восстания.

Интегрирование производят тогда, когда на плане изображено векторно-градиентное поле. В результате интегрирования получают скалярную топофункцию в изолиниях.

Графическое дифференцирование топофункций и интегрирование векторно-градиентного поля применяют при изучении процессов, например, деформации пород и земной поверхности под влиянием горных выработок, когда деформируемая поверхность в разных точках изменяется по-разному за один и тот же момент времени и характер этих изменений может быть выражен векторами, а также при изучении потока подземных вод и т. п.

§ 92. Вероятностно-статистические методы обработки результатов измерений

Местоположение разведочных скважин, задаваемых с земной поверхности, точек измерения или массового опробования показателей залежи в горных выработках, как правило, является случайным относительно действительного размещения изучаемых показателей залежи. К тому же измерения сопровождаются ошибками. Таким образом, результаты измерений можно рассматривать как случайную выборку (реализацию) из генеральной совокупности, которой представляется любое свойство залежи.

Статистические методы исследований недр позволяют вскрывать в кажущемся хаосе данных наблюдений порядок, статистическую связь и тем самым объективно познавать изучаемое явление в целом и геометризировать его.

Методами математической статистики определяют по выборочной совокупности средние значения показателей генеральной совокупности и дают оценки их точности, определяют характеристику отклонений измеренных значений показателя от его среднего, устанавливают виды и законы статистического распределения свойств и признаков залежи, устанавливают отсутствие или наличие корреляции между различными показателями залежи, определяют необходимый объем выборки — число измерений, наблюдений для получения статистических характеристик всей генеральной совокупности с заданной степенью точности и в заданных доверительных границах.

Пусть некоторый показатель X залежи в результате измерений получает различные значения x_i с вероятностями p_i (при этом $\sum_{i=1}^n p_i = 1$). Связь между возможными значениями случайной величины и вероятностями их появления устанавливает закон распределения.

Простейшей формой задания такого закона является таблица значений X_i и p_i или ряд распределений. Графически он изображается полигоном распределения: по горизонтальной оси откладывают значения случайной величины, а по вертикальной — вероятности этих значений. Распределения описываются разными законами. Чаще на практике встречается закон нормального распределения (закон Гаусса), который имеет симметричный, колоколообразный вид и описывается функцией плотности распределения

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

где μ — математическое ожидание; σ^2 — дисперсия случайной величины x .

В ряде случаев достаточно знать не законы распределения, а основные числовые характеристики распределения:

- среднее арифметическое значение величин $X = \sum_{i=1}^n x_i p_i$;
- среднее взвешенное его значение $X = \sum_{i=1}^n x_i p_i$;
- математическое ожидание

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

где x_i — отдельные значения признака; p_i — частоты; $\sum_{i=1}^n p_i = 1$;
 P_x — частость.

Дисперсия, характеризующая рассеивание значений случайной величины около ее среднего значения:

$$\sigma^2 = O_x = M[(X - m_x)^2]$$

$$\sigma^2 = 2 \sum (x_i - X)^2 / n,$$

или

$$\sigma^2 = 2 \sum (x_i - X)^2 / n;$$

среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}.$$

Ошибка среднего арифметического значения

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$$

где σ — коэффициент вероятности.

Коэффициент вариации $V = \sigma / \bar{x} \cdot 100\%$.

Погрешность коэффициента вариации

$$m_v = V \cdot 0,5 + (0,01)^2 / V$$

Коэффициент корреляции (соотношения или соответствия), характеризующий меру статистической зависимости (силу связи) между показателями:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}.$$

Различают четыре категории связи: $0,75 < r < 1$ — очень тесная; $0,50 < r < 0,75$ — тесная; $0,25 < r < 0,50$ — слабая и $r < 0,25$ — очень слабая.

Средняя квадратическая погрешность коэффициента корреляции

$$\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{n}.$$

При $|r| > 3\sigma_r$ связь считается реальной. При $|r| < 3\sigma_r$ связь не существует.

На рис. 86 приведены статистические зависимости двух случайных величин X и Y .

Прямолинейная корреляция между двумя показателями может быть выражена уравнением регрессии

$$Y - \bar{Y} = r_{y/x}(x - \bar{x}),$$

где $r_{y/x}$ — коэффициент регрессии.

Установление корреляции между показателями зависит от

Рис. 86. Графики статистических зависимостей двух случайных величин x, y : a — тесная прямолинейная; b — тесная криволинейная; o — слабая; z, d, e — отсутствие связи

воляет по замерам одного и незначительным контрольным замерам другого определить значения другого показателя.

По всем приведенным формулам имеются стандартные программы для вычисления на ЭВМ.

§ 93. Исходные данные для геометризации недр

Геологическое изучение обнажения сопровождается геометрическими измерениями элементов залегания — величин, по которым можно представить и геометрически (математически) выразить пространственное положение и форму залежи.

К элементам залегания в некоторой точке с координатами x, y, z относятся (рис. 87):

простираение — дирекционный угол a (или азимут) направления линии простираения боковых поверхностей залежи;

падение — угол наклона b линии наибольшего ската боковых поверхностей залежи;

мощность залежи m — кратчайшее расстояние между боковыми поверхностями залежи;

глубина залегания l — расстояние по вертикали от земной поверхности до поверхности кровли залежи.

Элементы залегания определяют непосредственными измерениями по обнажениям залежи на земной поверхности или в горных выработках и косвенно по данным разведочных скважин и геофизических измерений.

Координаты x, y, z обнажений на земной поверхности и в горных выработках определяют путем съемки или привязки обнажений к геодезическим или маркшейдерским пунктам с точностью до 0,1 м.

В буровых наклонных и искривленных разведочных выработках координаты точек пересечения скважины с залежью

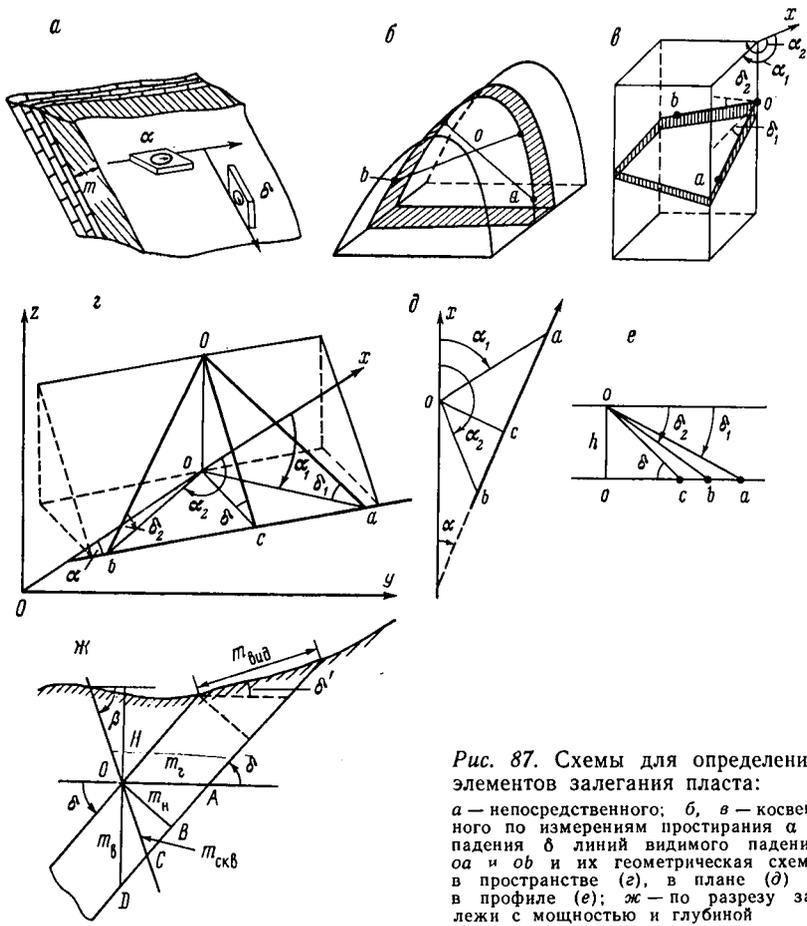


Рис. 87. Схемы для определения элементов залегания пласта:
 а — непосредственного; б, в — косвенного по измерениям простирания а и падения б линий видимого падения оа и об и их геометрическая схема в пространстве (z), в плане (d) и в профиле (e); ж — по разрезу залежи с мощностью и глубиной

x_{BX}, y_{BX}, z_{BX} (точки входа и выхода) определяют путем измерений азимутальных a и зенитных θ углов оси скважины через определенные интервалы $L = 25-50$ м, начиная от устья, с помощью опускаемых в скважину на кабеле специальных приборов — инклинометров.

Вычисление координат производят по формулам:

$$X_{BX} = x_0 + Y \sum_{i=1}^n L_i \sin \theta_i \cos a_i;$$

$$Y_{BX} = y_0 + Y \sum_{i=1}^n L_i \sin \theta_i \sin a_i;$$

$$Z_{BX} = z_0 + \sum_{i=1}^n L_i \cos \theta_i$$

где $X_0, i_0, 2_0$ — координаты устья скважины; L — интервалы между точками измерений; θ и α — зенитные и азимутальные углы; n — число интервалов измерений.

Погрешность определения координат точек в плане по инклинометрическим измерениям колеблется от 1/50 до 1/200 от глубины измерения в скважине.

Простирание и падение залежи в обнажениях измеряют непосредственно горным компасом с точностью 1—2° (рис. 87, а) или висячей буссолью и полукругом с точностью 0,5°. В присутствии магнитных масс элементы залегания измеряют гиротрещиномером.

Если непосредственное измерение невозможно, то на двух смежных стенках измеряют азимуты α_1, α_2 и углы падения β_1, β_2 видимого следа залежи oa, ob — кровли или почвы (рис. 87, б, в) или элементы залегания двух линий видимого падения Oa и Ob (рис. 87, г).

Искомое простирание α и падение β залежи определяют по формулам

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\operatorname{ctg} \beta_1 \cos \alpha_1 - \operatorname{ctg} \beta_2 \cos \alpha_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 \sin \alpha_1 - \operatorname{ctg} \beta_2 \sin \alpha_2}.$$

$$\operatorname{ctg} \beta = \operatorname{ctg} \beta_x \sin (\alpha_x - \alpha);$$

$$\operatorname{ctg} \beta = \operatorname{ctg} \beta_2 \sin (\alpha_2 - \alpha)$$

или графически. Для этого на листе проводят вертикально ось x (рис. 87, д). Из произвольной точки o оси под азимутами α_1, α_2 проводят линии, на которых от исходной точки откладывают отрезки oa и ob , равные горизонтальным проложениям при некоторой произвольной высоте сечения h в масштабе графика (рис. 87, е).

Соединив концы отрезков прямой, получают линию простирания Ya (см. рис. 87, д), азимут которой α измеряют транспортиром. Опустив из точки o на эту линию перпендикуляр oc по его длине в масштабе графика, определяют угол падения β залежи (см. рис. 87, г, е).

Простирание и падение залежи по керну определяют с помощью кернометра. Поднятый из скважины керн, предварительно ориентированный в пространстве с помощью инклинометра и кернорвателя, устанавливают в кернометре так, как он располагался в недрах. По плоскостям напластования измеряют простирание и падение залежи.

Мощность залежи измеряют непосредственно рулеткой в обнажениях с точностью до 1 см, по вынимаемому из разведочной скважины и сохранившемуся керну — до 1 мм. Если непосредственное измерение мощности невозможно, ее определяют косвенно, например, по разности отметок точки входа и выхода скважины в залежь, или по графикам — раз-

резам, планам, каротажным диаграммам. По последним мощность залежи определяют с погрешностью ± 10 — 20 см.

Глубину залегания измеряют непосредственно от земной поверхности до кровли залежи в вертикальных горных выработках. В остальных случаях ее определяют по разности высот земной поверхности и кровли залежи в точках с одинаковыми координатами x и y .

При производстве измерений все наиболее характерные естественные и искусственные обнажения горных пород и залежей полезных ископаемых документируют и описывают.

Документацию составляют путем маркшейдерских съемок и зарисовок в полевых книжках, а также по материалам фотографической съемки с последующим дешифрированием снимков.

Качественную характеристику месторождения, физические и химические свойства полезного ископаемого, а также количественное размещение в нем полезных и вредных компонентов определяют путем непосредственных или косвенных измерений, опробования и химических анализов проб с последующей статистической обработкой и графическим изображением результатов. Комплексное изучение свойств залежи производят на всех стадиях геологоразведочных и эксплуатационных работ наряду с выявлением ее формы и условий залегания.

Опробование полезного ископаемого производят в массиве— в целике и рудной массе; опробуются также продукты и отходы переработки сырья.

В зависимости от геологических особенностей, вида горной выработки и задач опробования отбор проб в массиве производят бороздовым, задирковым, точечным, шпуровым, валовым или горстевым способом.

Если полезное ископаемое при его разработке по мощности полностью вскрывается забоем подготовительной или очистной выработки, то опробование производят на всю мощность залежи.

Если залежь имеет большую мощность и отрабатывается слоями (горизонтами), то полезное ископаемое опробуется в подготовительных и очистных выработках по каждому слою (горизонту) и качественная характеристика залежи слагается из характеристик по ее отдельным слоям (горизонтам).

Для определения вещественного состава и физико-химических свойств полезного ископаемого все больше применяют геофизические методы.

Все данные измерений, опробования регистрируют в специальных журналах. Места измерений по координатам наносят на маркшейдерские планы в виде точек или условных знаков с указанием их номера и численного значения показателя.

§ 94. Геометризация формы месторождений полезных ископаемых

Геометризация горизонтальных, трубообразных и ряда других месторождений осуществляется взаимно увязанными геологическими разрезами по различным, но характерным направлениям. На геологических разрезах наносят контуры и строение всех литологических разновидностей, попавших в плоскость разреза.

Форма залежи определяется серией горизонтальных или вертикальных, а иногда и тех и других взаимно увязанных разрезов, выполненных в определенном масштабе.

Геометризацию формы месторождения с наклонным и крутым залеганием производят путем построения гипсометрических планов. Их строят или непосредственно по отметкам скважин, или косвенно, используя геологические разрезы по разведочным линиям.

С геологических разрезов или профилей (рис. 88, а) точки пересечения линий высотной сетки с профилем поверхности залежи переносят на план по соответствующим разведочным линиям (I—Г).

Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными кривыми, проводят горизонтали поверхности залежи (рис. 88, б). Сплошными изолиниями изображена поверхность кровли, а пунктирными— поверхность почвы залежи. Контур, составленный изолиниями кровли и почвы с одинаковыми отметками, представляет на плане горизонтальное сечение залежи на данном горизонте.

Залежи многих полиметаллических метасоматических или россыпных, вкрапленных и других месторождений постепенно переходят в боковые безрудные породы. Граница раздела при этом часто визуально не определяется, а устанавливается по результатам опробования. Она представляется поверхностями почвы и кровли залежи с определенным по кондиции содержанием основного компонента. Такие поверхности называются изопографическими. Изогипсы изопографических поверхностей раздела на плане дают полное представление о форме залежи и ее положении в пространстве.

Практическое значение гипсометрических планов. Гипсометрические планы необходимы как для производства последующей детальной разведки, так и для разработки месторождения.

По гипсометрическому плану читают элементы залегания пласта в любой точке, составляют проект вскрытия месторождения, направлений капитальных и подготовительных горных выработок.

По гипсометрическому плану намечают направление главных откаточных штреков, которые проходят так, чтобы выдер-

живался их уклон без подрывки боковых неустойчивых пород.

При разработке угольных пластов складчатой формы залегаия изогипсы почвы пластов предопределяют на плане направление откаточных штреков, идущих по пласту.

Для таких месторождений подсчет запасов по категориям разведанности и изученности производят по гипсометрическим планам пластов.

Объем работ при перспективном и текущем планировании горных работ также определяют по гипсометрическим планам с учетом других показателей залежи.

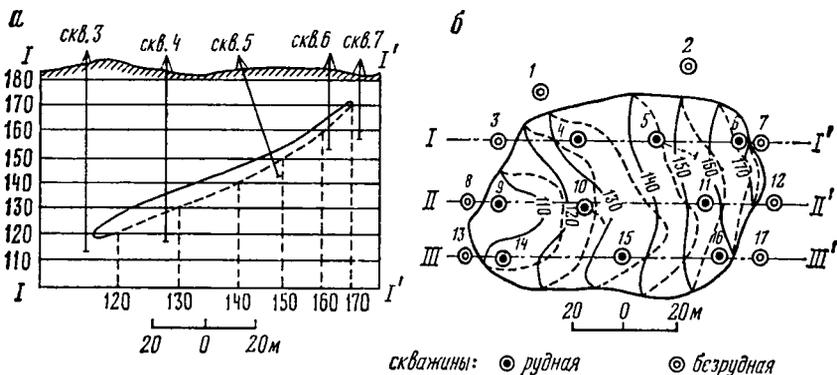


Рис. 88. Схемы построения вертикального разреза (а) и гипсометрического плана (б) залежи

По гипсометрическим планам решают вопросы задания направлений горным и геологоразведочным выработкам до залежи и по полезному ископаемому, о подработке различных объектов и сооружений, расположенных на земной поверхности.

Гипсометрические планы во многих случаях служат объективным материалом для объяснения тектоники месторождения и генезиса образования структурно-тектонических форм. По ним решают вопросы о рациональном направлении и длине выработки на смещенную часть залежи, а также составляют прогнозы распространения нарушения на соседние пласты и нижние горизонты.

Мощность полезного ископаемого и ее изображение (см. рис. 87, ж). В зависимости от направления измерений различают нормальную m_n , вертикальную t_v , горизонтальную t_g ,

видимую мощность залежи $t_{\text{вид}}$ и мощность по скважине $m_{\text{скв}}$. Для пластообразных залежей между этими видами мощности и углом падения β имеются следующие зависимости:

$$m_n = m_c \sin \beta;$$

$$m_n = m_c \cos \beta;$$

$$m_c = m_{\text{СКВ}} \cos [p - (90^\circ - \beta)].$$

Изменения мощности полезного ископаемого по нормали к плоскости проекции отображают на планах в изолиниях — изомощностях.

Система изомощностей на плоскости проекции представляет изображение поверхности топографического порядка. Эта поверхность реально в природе не существует. Геометрически она представляет поверхность, которая образуется, если мысленно всю массу полезного ископаемого осадить на плоскость проекции (см. рис. 84, б).

Изомощности залежи строят непосредственным и косвенным способами.

Непосредственный способ состоит в построении изолиний по отметкам равной мощности на плане. При геометрическом анализе отметок необходимо учитывать наличие зон раздува, размыва, пережима — зон с измененной мощностью, имеющих, как правило, резкие границы. Поэтому нельзя производить интерполяции между скважинами, попавшими в эту зону. Зоны следует предварительно оконтуривать.

Косвенным способом изолиний мощности строят путем вычитания из поверхности всячего бока залежи поверхность лежачего бока. Этот способ является единственным при построении изомощностей, когда залежь сложной формы разведана сочетанием вертикальных, наклонных и искривленных скважин. В этом случае по данным бурения проще построить гипсометрические планы всячего и лежачего боков залежи и через них построить изомощности.

По изолиниям мощности полезного ископаемого устанавливают границы залежи, выделяют контуры ее промышленных участков, определяют запасы полезного ископаемого.

Изомощности залежи используют при планировании горных работ, добычи и потерь при разработке полезного ископаемого и решения других вопросов разработки месторождения.

Изоглубины залегания есть не что иное как изомощности покрывающей залежь толщи пород. Поэтому способы построения изоглубин аналогичны построениям изомощностей.

При косвенном способе изоглубины строят путем вычитания из плана поверхности рельефа план поверхности кровли залежи.

По изоглубинам как изомощностям вскрыши (покрывающей толщи пород) определяют с помощью объемной палетки Соболевского объема вскрышных работ при открытых разработках.

Изоглубины залегания строят для определения коэффициентов вскрыши путем деления изоглубин залегания на изомощности залежи.

Изоглубина с отметкой нуль — есть линия выхода висячего бока залежи на земную поверхность. На плане линия выхода определяется как линия пересечения одноименных горизонталей земной поверхности и висячего бока залежи.

§ 95. Геометризация складчатой, разрывной и трещинной тектоники

Деформация геологических тел, особенно осадочных отложений, под действием тектонических процессов выражается в образовании складок, разрывов и густой сети трещин.

По своим размерам относительно величины шахтного поля складки разделяют на четыре группы: весьма крупные, выявляющиеся на стадии поисковой и предварительной разведки; крупные, выявляющиеся на первых стадиях буровых разведочных работ; средние, выявляющиеся в горноподготовительных выработках; мелкие складки, форма и характер проявления которых выявляются путем изучения в одной очистной выработке. Мелкие складки значительно усложняют ведение очистных работ.

Складка как геометрическое тело имеет следующие элементы (рис. 89): боковые части — крылья /; «замок» — 2; шарнир — 5; осевую плоскость — 5; ось — 4; ядро — 6; угол складки и.

Крылья складки, т. е. поверхности пластов горных пород на боках складки, являются кривыми поверхностями, ось и шарнир — кривыми линиями, осевая плоскость — кривой поверхностью.

Вблизи осевой плоскости породы ядра складки испытывали наибольшие напряжения и находятся в разрушенном, смятом, раздробленном состоянии. Поэтому очень важно знать расположение этой поверхности (зоны) как зоны возможного обрушения или как зоны со сложными условиями проходки горных выработок.

Геометрические элементы складки определяют по гипсометрическому плану в проекциях с числовыми отметками.

Формы складок иногда сравнивают с формой часто встречающихся предметов. Так, например, напоминающие по форме сундук, получили наименование «сундучных», а веер — «веерных» и т. п.

Ниже приводятся формы складок по их геометрическим элементам.

По положению шарнира относительно крыльев различают антиклинальные и синклинальные виды складок.

У первых падение направлено от шарнира, в ядре складки породы более древнего происхождения, чем на периферии. У вторых падение крыльев и осевой плоскости направлено в сторону шарнира, а породы в ядре более молодые, чем на периферии складки.

По форме поверхности замка различают цилиндрические, конические и шарнирные складки.

У шарнирной складки поверхность замка превращается в линию, а ось совпадает с шарниром.

По углу наклона шарнира (оси) складки к горизонту различают горизонтальные, наклонные и вертикальные складки.

По углу наклона осевой плоскости к горизонту различают складки: прямые, косые, опрокинутые, лежащие, перевернутые. По величине угла u (см. рис. 89) различают складки нормальные, изоклинальные и веерообразные.

Основными графиками, которыми отображаются месторождения складчатой формы залегания, являются гипсометрические планы, геологические разрезы и блок-диаграммы.

Разрывными нарушениями или дизъюнктивными дислокациями в залегании горных пород называют тектонические нарушения с образованием трещин, по которым происходил разрыв сплошности горных пород и перемещение образовавшихся блоков (крыльев) относительно друг друга.

Основным элементом дизъюнктива является трещина или сместитель. Разрывы могут быть закрытыми, когда сместитель не выходит на земную поверхность, и открытыми, когда сместитель выходит на земную поверхность.

Часть горных пород, которая прилегает к сместителю со стороны его лежачего бока, называется лежачим крылом, а со стороны висячего бока — висячим крылом разрыва.

Линии пересечения крыльев со сместителем называют линиями скрещения или линиями обреза залежи. Разрывное нарушение (рис. 90) представляется комплексом трех пересекающихся поверхностей, относящихся к почве или кровле крыльев и сместителя. На ограниченных участках эти поверх-

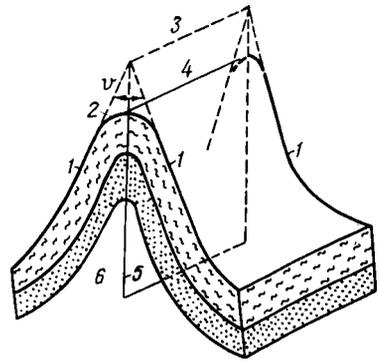


Рис. 89. Геометрические элементы складки

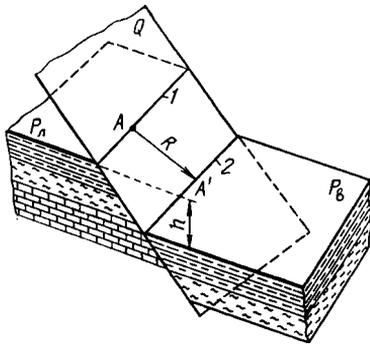
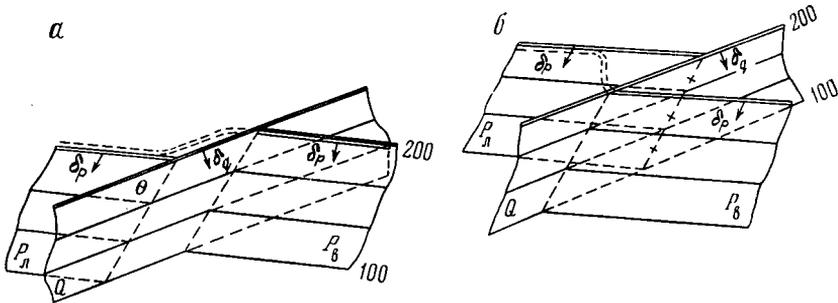


Рис. 90. Геометрические элементы разрывного нарушения:

нии скрещения (пересечения)

Рис. 91. Схемы возможных положений и задания выработки на смещенное крыло P_d при зиянии (а) и перекрытии (б) крыльев



ности принимают за плоскости. Условно считают, что при формировании разрыва перемещалось висячее крыло поступательно, а лежащее крыло находилось в относительном покое. За направление перемещения принимают вектор AA' от лежащего крыла к висячему по нормали к линии скрещения в плоскости сместителя. В зависимости от направления вектора относительного перемещения разрывы называют: сброс, когда вектор направлен по падению сместителя; взброс, когда вектор направлен в сторону восстания сместителя; сдвиг, когда вектор совпадает с направлением линии простираения сместителя; пересдвиг, когда вектор направлен против направления линии простираения сместителя. Диагональные перемещения дают соответствующие сектору названия: сбрососдвиг, взбрососдвиг, взбросоперсдвиг, сбросоперсдвиг.

Расстояние между двумя бывшими ранее смежными точками, измеренное в плоскости сместителя (разрыва), называют полной амплитудой перемещения H .

Различают также амплитуду вертикальную H — расстояние по вертикали между смещенными крыльями или их продолжением; горизонтальную B — расстояние между крыльями по горизонтали плоскости сместителя и кратчайшее горизонтальное расстояние I между крыльями; ст ра-

тиграфическую n — расстояние между крыльями по перпендикуляру к напластованию.

На условия отработки пластовой залежи значительное влияние оказывает форма разрыва, его пространственное положение, сочетание с залежью и величина разрыва.

Взаимное положение крыльев дает зияние (рис. 91, *а*) или перекрытие (рис. 91, *б*) пласта и определяет направление и длину горной выработки, которая должна вскрыть смещенную часть пласта.

Если забой выработки находится в поднятом крыле нарушения, то переход осуществляется, как правило, по породам кровли пласта; если забой находится в опущенном крыле нарушения, то переход осуществляется по породам почвы пласта.

По углу падения β_0 сместителя разделяют разрывы на пологие ($0—45^\circ$) и крутые ($45—90^\circ$). Угол падения сместителя влияет на технологию перехода нарушения и величину эксплуатационных потерь угля. При крутых углах длина выработки, проходимой по породе из одного крыла в другое, существенно уменьшается.

Угол между линией простирания пласта и линией скрещения θ определяет рациональное расположение выемочных столбов, полноту извлечения угля и протяженность отрицательного влияния разрыва на очистные работы.

При уменьшении угла θ между линией простирания пласта и линией скрещения протяженность участка, на котором осуществляется переход нарушения, существенно увеличивается.

Тектонические разрывы по данному признаку разделяют на поперечные ($60—90^\circ$), диагональные ($30—60^\circ$) и продольные ($0—30^\circ$).

По соотношению между направлениями падения пласта и сместителя выделяют разрывы согласные, когда падения сместителя и пласта направлены в одну сторону; и несогласные — падения пласта и сместителя направлены в разные стороны. Несогласнопадающие разрывы сопровождаются более мощной зоной мелких трещин и ослабленных пород, чем согласные.

Величина двугранного угла между плоскостями пласта и сместителя влияет на ширину зоны ослабленных пород и угля вблизи дизъюнктива. Чем меньше угол, тем больше площадь пласта, попадающая в зону нарушения.

Трещина — сместитель может быть представлена плоскостью или чаще искривленной поверхностью, неровной или местами отшлифованной, а также зоной нарушенных (раздробленных) пород, достигающей значительных размеров. Эта зона может быть резервуаром или проводником подземных вод. Она оказывает существенное влияние на безопасность ведения горных работ,

Величину тектонического разрыва достаточно полно характеризуют амплитуда смещения и протяженность (длина) сместителя.

По величине тектонические разрывы разделяют на пять классов в зависимости от стратиграфической амплитуды и длины разрыва:

Очень крупные — с амплитудой более 1000 м, длиной более 100 км;

Крупные — с амплитудой 100—1000 м, длиной от 10 до 100 км;

Средние — с амплитудой 10—100 м, длиной от 1 до 10 км;

Мелкие — с амплитудой 3—10 м, длиной от нескольких сотен метров до 1000 м;

Очень мелкие — с амплитудой до 3 м; длиной до нескольких сотен метров.

Очень крупные и крупные разрывы выявляются геологической съемкой, буровой и геофизической разведкой. К ним приурочивают границы месторождений, шахтных полей.

Средние разрывы выявляются детальной разведкой. К ним приурочиваются границы шахтных полей, блоков, панелей.

Мелкие разрывы выявляются горными выработками и подземной геофизикой. В зависимости от амплитуды разрыва и мощности пласта они могут быть переходимыми или непреходимыми комплексами добычных машин.

Очень мелкие разрывы выявляются подготовительными и очистными горными выработками. Как и мелкие разрывы при определенных условиях они могут быть переходимыми и непреходимыми добычными комплексами. Во всех случаях неожиданная встреча дизъюнктива снижает технико-экономические показатели работы комплексно-механизированной лавы.

Для проектирования и ведения горных работ необходимы четкие представления о характере размещения и ориентирования дизъюнктивов в пределах шахтного поля. Это достигается путем геометризации разрывных нарушений.

Разрывное нарушение имеет начало, конец и участок максимального смещения, от которого амплитуда смещения во все стороны уменьшается и достигает нулевого значения по периферии разрыва.

Все мало- и среднеамплитудные сместители имеют вытянутую в виде эллипса форму. При этом большая ось эллипса является длиной B сместителя, малая — его высотой H .

Между размерами осей и максимальной амплитудой I для отдельных геотектонических районов установлена зависимость $Y : H : I, = \text{const}$.

Для главных сечений эллипса в условиях Донбасса, Кузбасса и Карагандинского угольных бассейнов $B = nY, H = mY$, где коэффициенты n и m , соответственно равны примерно 80 и 20, используются для определения размеров сместителя.

На плане поверхность сместителя с изоамплитудами строят в следующей последовательности (рис. 92).

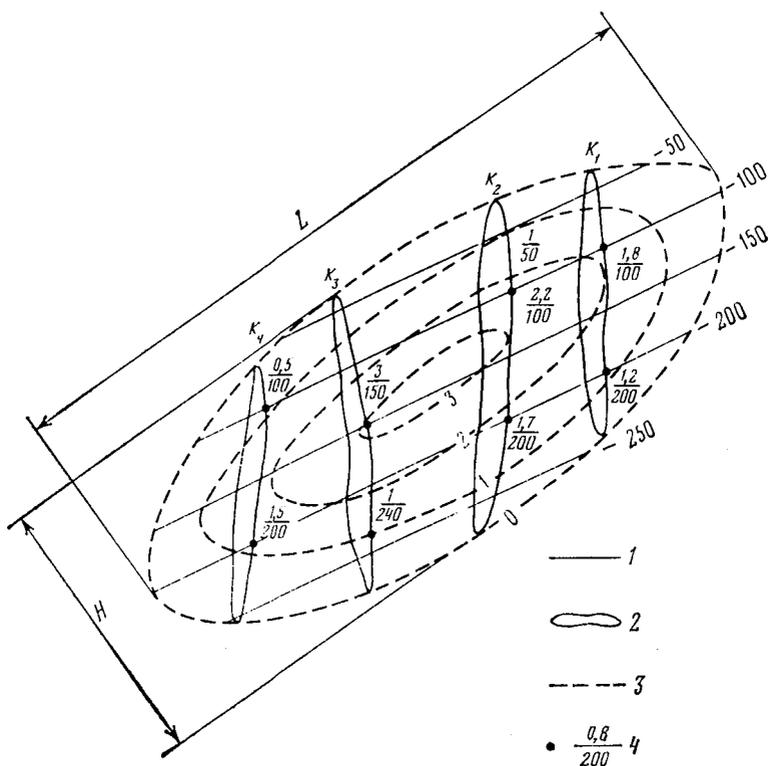


Рис. 92. Построение на плане поверхности сместителя, совмещенной с плоскостью проекции:

1 — изогипсы сместителя; 2 — линии пересечения сместителя с пластами κ_1 , κ_2 , κ_3 , κ^* ; 3 — изоамплитуды сместителя; 4 — точки встречи сместителя горными выработками (в числителе — амплитуда, в знаменателе — высота точки)

На план наносят по координатам точки встречи горными выработками сместителя. Подписывают высотные отметки точек и истинные амплитуды перемещения. Затем строят изогипсы плоскости сместителя. Построенную плоскость совмещают с плоскостью проекций, вращая вокруг одной из ее горизонталей. Далее строят изолинии амплитуд смещения. В результате изолиния с нулевой амплитудой определяет границы сместителя.

Плоскость сместителя возвращают в исходное положение, совмещают с гипсометрическими планами пластов, на которых проводят линии скрещения пластов со сместителем с учетом данных, взятых по изоамплитудам. На рис. 92 эти линии изображены в совмещенном (горизонтальном) положении плоскости сместителя.

При проектировании развития горных работ и учета промышленных запасов необходимо знать не только форму и размеры отдельных дизъюнктивов, но и степень общей дизъюнктивной нарушенности угольных пластов.

Степень нарушенности угольного пласта может быть определена по формулам

$$\Lambda = 2/\Lambda; K\Gamma - ШБ,$$

где $2/\Gamma$ — суммарная протяженность нарушений, м; 5 — площадь анализируемого участка пласта, га; n — число нарушений, встреченных выработкой; B — протяженность выработки, км.

По значениям показателей K_1 и K_2 можно оценить, какая часть шахтного поля пригодна к комплексно-механизированной отработке.

Для проведения горных выработок важно также знать величину зоны ослабленного дизъюнктивом горного массива.

Для тектонически нарушенных угольных месторождений установлено, что ширина зоны нарушенных пород вблизи крупного дизъюнктива в среднем равна одной-двум его амplitудам.

Трещиноватость массива горных пород возникает вместе с горной породой, существует и изменяется в ней на протяжении всей ее истории. Она определяет деформационные, прочностные, фильтрационные и другие свойства массива горных пород. Трещины разнообразны геометрически, по морфологии и генезису. В массиве они образуют пространственную сеть. Множество трещин, примерно параллельных друг другу, образуют систему трещин. Разброс элементов залегания трещин одной системы не превышает 10° по азимуту и 5° по углу падения.

Трещины различных систем, пересекаясь между собой, делят массив горных пород на структурные блоки, форма и размеры которых определяют интенсивность трещиноватости массива. Степень раздробленности массива на данном участке может быть выражена коэффициентом V , равным отношению единицы объема (1 м^3) к объему усредненного структурного блока $U_{\text{ср}}$.

$$N_0 = 1/U_{\text{ср}}.$$

Существуют прямые и косвенные методы определения трещиноватости. При прямом методе горным компасом измеряют на участке обнажения размером 2—5 м² падение и простирание трещин по-системно. Определяют число трещин каждой системы, приходящихся на единицу длины или площади участка по нормали к трещинам. Косвенные геофизические методы основаны на связях параметров трещиноватости с различными физич^н-

скими свойствами массива — изменении скорости прохождения упругих, ультразвуковых, электромагнитных волн, эманационных аномалий и т. д.

Массовые измерения параметров трещин статистически обрабатывают с помощью прямоугольной или стереографической сетки раздельно по генетическим типам трещин. В результате определяют количество и степень выраженности систем трещин, их средние элементы залегания, влияние разрывов на интенсивность проявления той или иной системы трещин.

Трещины оказывают влияние на производство горных работ, эффективность работы добычных комплексов, устойчивость выработки, управление кровлей, сдвигание горных пород, величину угла откоса и устойчивость бортов карьеров, кусковатость взорванной массы и т. п.

§ 96. Геометризация условий залегания полезных ископаемых

К условиям залегания полезного ископаемого относятся горно-геологические, гидрогеологические и тектонические факторы.

Это данные, характеризующие контакты полезного ископаемого с вмещающими породами — резкие контакты или постепенный переход в пустые породы, строение, литологический состав и элементы залегания вмещающих (боковых) пород, устойчивость; крепость пород всяческого бока, способность пород к вспучиванию, наличие ослабленных зон, трещиноватости, карстовых пустот и пещер, тектонических нарушений.

Гидрогеологические условия определяются наличием водоносных и водоупорных горизонтов, уровнем грунтовых вод, происхождением, составом подземных вод, условиями питания и дренажа водоносных горизонтов, ожидаемым притоком вод в горные выработки, замещением водоупорных глин песками и т. п.

Многие из перечисленных факторов изображают в изолиниях, другие — контурами на планах и разрезах, например, такие, как зоны развития карста, зоны фациальных замещений (глин песками, полезного ископаемого пустой породой) и т. п.

§ 97. Геометризация свойств залежи и массива горных пород

Исходными для геометризации свойств залежи и массива горных пород являются данные опробования или геофизических измерений. Непомерно частое опробование приводит к большим затратам, чрезмерно редкая сеть опробования может привести к недопустимо большим отклонениям получаемых качественной и количественной характеристики от действительных. В каждом конкретном случае необходима оптимальная величина интервалов опробования. Практикой установлено расстояние

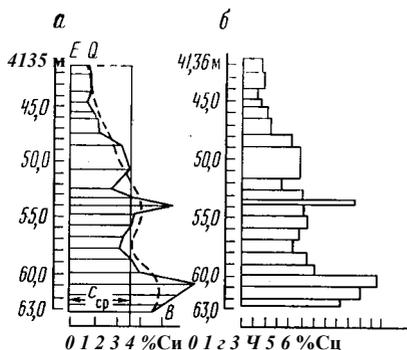


Рис. 93. Графики построения полигональной (а) и ступенчатой (б) кривых размещения компонента по выработке

между пробами для месторождений с равномерным характером размещения компонента (уголь, стройматериалы, сера) 50-ь-60м; с неравномерным характером размещения (месторождения меди, никеля, полиметаллов)—6.4-4 м; с весьма неравномерным размещением (месторождения олова, вольфрама, молибдена)—4,0-=-2,5 м; крайне неравномерным (месторождения редких металлов, золота, платины)—2,5-^2,0 м.

Опробование залежи сопровождается привязкой к маркшейдерским точкам, тщательной геологической документацией — зарисовкой или фотографированием.

Наиболее наглядно изменения содержания компонента по выработке представляют графически в виде полигона (рис. 93, а) или гистограммы (рис. 93, б).

Полигональную кривую строят следующим образом. На листе бумаги проводят вертикальную (или горизонтальную, если выработка горизонтальна) прямую, на которой в выбранном масштабе, например 1 : 100, последовательно откладывают интервалы опробования. Из середин интервалов, а для гистограммы — из концов интервалов восстанавливают перпендикуляры длиной, пропорциональной в принятом масштабе содержанию компонента в данном интервале опробования.

Соединив концы отрезков прямыми, получают изображение изменения содержания компонента по опробованной части полезного ископаемого в виде полигона или гистограммы.

Если значения признака по выработкам (скважинам) сильно варьируют, то проводят сглаживание кривой. Кривая *СВ* (пунктирная) (см. рис. 93, а) получена в результате сглаживания и называется кривой средних значений показателя. Она дает наглядное представление о характере изменения изучаемого свойства по разведочной линии и является необходимой ступенью в построении плана изолиний содержания компонента по всему рудному телу.

Изолинии свойства полезного ископаемого строят или на всю мощность полезного ископаемого, или на тот или иной слой, горизонт, в зависимости от предполагаемой или проводимой системы разработки месторождения.

Построению изолиний физико-химических свойств полезного

ископаемого предшествует геометрическая и статистическая обработка исходных данных.

Если залежь разведана буровыми скважинами, расположенными равномерно по площади разведываемого участка, то на план по координатам наносят точки пересечения скважин с залежью.

Около точек выписывают средние значения содержания показателя по скважине.

Задаваясь сечением, производят интерполирование, а затем через ступенчатые отметки проводят изолинии средних значений компонента на всю мощность полезного ископаемого.

При расположении разведочных выработок по линиям или по горным выработкам, оконтуривающим блоки, вначале по данным опробования каждой выработки строят сглаженные кривые показателя. На этих кривых находят ступенчатые отметки, которые переносят на план по осям выработок. По полученным на плане отметкам с учетом геологических, морфологических и данных по соседним блокам строят изолинии средних содержания показателя (рис. 94).

При разработке жильных месторождений изолинии содержания компонента, проведенные по значениям индивидуальных проб эксплуатационного опробования, дают изображение типа мелкосопочного рельефа и не выявляют общей закономерности

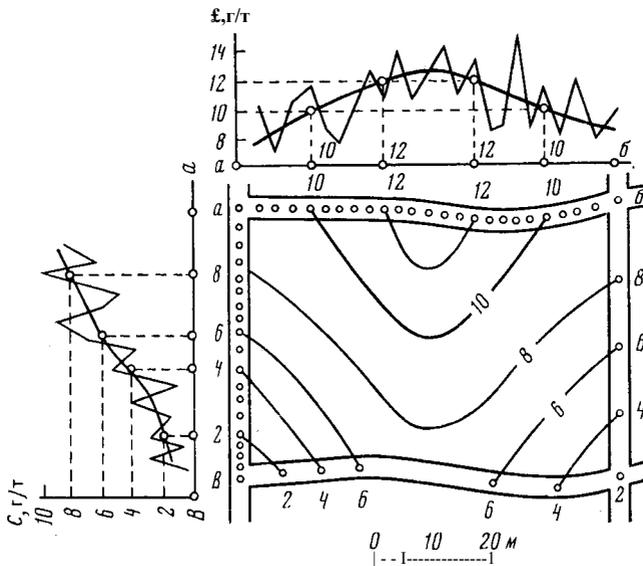


Рис. 94. Построение на плане изолиний средних содержаний по данным опробования оконтуривающих выработок

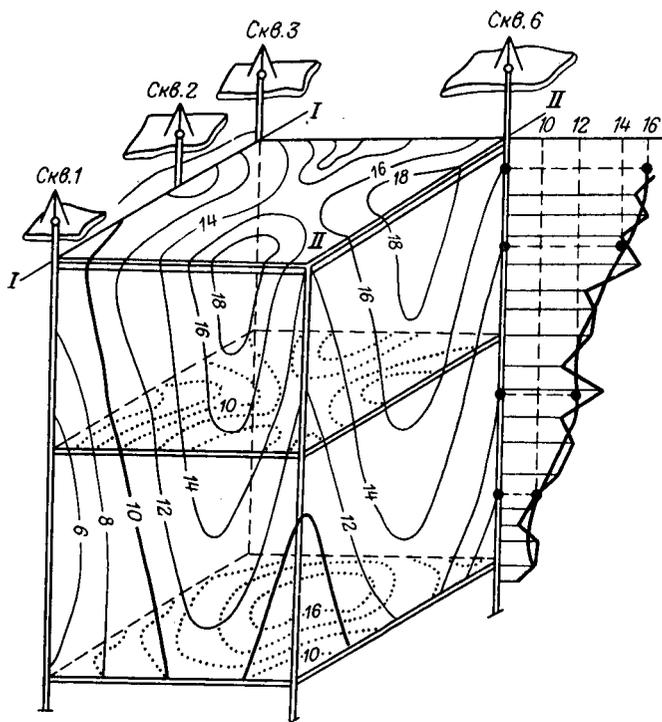


Рис. 95. Блок-диаграмма участка залежи с изолиниями средних содержания в вертикальных и горизонтальных сечениях (слоях)

размещения компонента в рудном теле. Поэтому производят сглаживание или объединение значений индивидуальных проб в пределах некоторой площади. У центров этих площадей выписывают средние значения, по которым строят изолинии.

Построение изолиний свойств полезного ископаемого в сечениях производят аналогично построению для горизонтального слоя.

Блок залежи, заключенный между двумя разведочными линиями $I-I$ и $II-II$ изображен на рис. 95 в аффинной проекции. По скважине № 6 на всю мощность рудного тела построена по данным опробования полигональная кривая содержания компонента. Плавной кривой изображено изменение среднего содержания компонента по этой скважине после сглаживания данных опробования.

По отметкам средних содержаний компонента на профильных сечениях (боковых гранях призмы) построены изолинии содержания компонента. На блок-диаграмме выделены три слоя.

По скважинам в пределах каждого слоя определены средние содержания компонента и по ним построены изолинии.

На блок-диаграмме видна взаимная увязка изосодержаний в профильных сечениях и горизонтальных слоях.

На крутопадающих мощных месторождениях с весьма неравномерным размещением компонентов вскрытие геометрии их размещения производят с помощью объемного сглаживания.

При чтении планов и решении задач по изолиниям средних содержания компонента необходимо помнить, что значение содержания, которое на плане определяется по изолиниям в некоторой точке, относится не к самой точке, а к площади участка, центром которого является эта точка, равной площади «статистического окна», с помощью которого проведено сглаживание данных опробования.

§ 98. Применение ЭВМ и графопостроителей при геометризации месторождений

Технические средства машинной графики представляют собой периферийные устройства ЭВМ различных типов, позволяющие вводить в ЭВМ и выводить из нее информацию в графической форме и производить с их помощью необходимые преобразования изображений. Эти устройства разделяются на пассивные, такие как графопостроители, алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ) и активные — графические дисплеи, которые позволяют горному геометру вести диалог с ЭВМ. Они дают возможность создать в памяти ЭВМ специальный банк данных и при необходимости вывести эти данные на экран дисплея или планшет графопостроителя.

Специальным устройством для выдачи графической информации с соблюдением существующих требований точности является графопостроитель. В настоящее время существуют графопостроители, размер рабочего поля которых составляет 3X X 10 м.

Особое место среди средств машинной графики занимают управляемые ЭВМ графические дисплеи. Эти устройства позволяют визуально отображать алфавитно-цифровую и графическую информации на черно-белом или цветном телеэкране.

При построении графиков в изолиниях дисплей позволяет визуально подобрать оптимальную густоту изолиний и затем перенести изображение на планшет графопостроителя. Особенно полезен дисплей при построении объемных изображений в различных проекциях. С его помощью можно оперативно, изменяя коэффициенты искажения по осям или направлениям проектирования, подобрать наиболее удобный ракурс для изображения с минимальным перекрытием и вырожденностью элементов изображения. При создании объемных изображений сетей горных

выработок каждый горизонт может быть показан своим цветом. При этом важно и то, что информация может оперативно пополняться. Откорректированное на дисплее изображение по команде с пульта может быть выдано на графопостроитель в необходимом масштабе и в соответствующем цветовом исполнении.

§ 99. Значение геометризации при функционировании АСУ горного предприятия, комплексном использовании и охране недр

Наиболее важным направлением в совершенствовании управления перспективного и текущего планирования и проектирования развития горных работ является создание и внедрение автоматизированной системы управления (АСУ).

Особенности горного предприятия исключают возможность прямого заимствования готовых решений в области информационного обеспечения. Особенностью АСУ в горной промышленности является объект управления, важнейшую часть которого представляет месторождение полезного ископаемого, знание характера изменения его формы, условий залегания, размещения свойств, а также положение и состояние проведенных горных выработок на данный момент времени.

Достоверная, полная и своевременная информация об этих факторах служит содержательной основой для принятия организационных, технических и экономических решений. Поэтому эффективность АСУ на конкретном горном предприятии и отрасли в целом во многом зависит от состояния работ по геометризации месторождений как в процессе разведки, так и особенно в процессе его разработки.

Методы моделирования месторождений на ЭВМ и геометризация с использованием графопостроителей широко отражены в научно-технической литературе.

Актуальной является проблема моделирования на ЭВМ состояния горных работ, состояния и движения запасов и сети горных выработок, т. е. создания автоматизированной динамической информационной системы горно-геологических и маркшейдерских данных, позволяющей моделировать топологию сети горных выработок и формировать характеристики элементов сети средствами ЭВМ при условии высокой достоверности исходных данных и минимальных затрат труда на их подготовку.

Постоянное хранение, накопление и поддержание в актуальном состоянии в памяти ЭВМ первичных и производных горно-геометрических и маркшейдерских данных, равно доступных как задачам АСУ, так и работникам аппарата управления предприятия, позволяет повысить уровень, объективность и достоверность информационного обеспечения сферы управления и, в конечном

счете, качество и эффективность принимаемых решений по рациональной разработке месторождений полезных ископаемых, охране недр и природы.

ГЛАВА 21

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 100. Общие сведения

Подсчет запасов и оценку прогнозных ресурсов осуществляют по каждому виду твердых полезных ископаемых на каждой стадии разведки и разработки месторождения. Он является заключительным этапом проведения геологоразведочных работ. В результате подсчета запасов в пределах месторождения или его участка устанавливают:

весовое или объемное количество полезного ископаемого в недрах по всему месторождению или по отдельным его блокам, пластам, пачкам, жилам и т. п.;

качество полезного ископаемого;

технологические свойства полезного ископаемого и рекомендации по промышленному его использованию;

геологические и горнотехнические условия залегания для правильного выбора способа вскрытия и системы разработки месторождения;

степень надежности результатов подсчета запасов и изученности месторождения для решения вопроса о промышленном назначении запасов;

количественную оценку прогнозных ресурсов месторождения.

Запасы полезных ископаемых подсчитывают по наличию их в недрах без учета потерь при добыче, обогащении, переработке.

Состав и свойства полезного ископаемого определяют в их природном состоянии.

Запасы полезных ископаемых (руды, угля) выражают в тоннах, запасы естественных строительных материалов (песков, глин, камня и т. п.) — в кубических метрах. Для руд черных металлов (железа, марганца, титана, ванадия, хрома) кроме их весового количества указывают также и среднее содержание в них металла.

Для руд цветных металлов (меди, цинка, свинца и т. д.) кроме запасов руд подсчитывают запасы металла в тоннах. Запасы благородных металлов — золота, серебра, платины выражают в килограммах.

Важнейшим условием нормальной деятельности горного предприятия является наличие достаточного количества вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов.

Подсчет запасов складывается из целого комплекса операций, позволяющих определить с необходимой степенью точности количество и качество полезного ископаемого, условия его залегания и наиболее целесообразные методы его эксплуатации и переработки.

§ 101. Классификация запасов по степени разведанности и подготовленности к добыче

Единые принципы подсчета и учета запасов полезных ископаемых в недрах и определения их изученности и подготовленности для промышленного освоения, а также оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливаются классификацией запасов. Применение классификации к отдельным видам минерального сырья определяется соответствующими инструкциями высшего органа по учету минеральных ресурсов. В СССР этим органом является Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) при Совете Министров СССР.

Общеразведанные запасы классифицируют по трем признакам: народнохозяйственному значению, степени разведанности и готовности к промышленному освоению.

По народнохозяйственному значению запасы твердых полезных ископаемых разделяют на две группы, подлежащие раздельному подсчету и учету: *балансовые*, использование которых при данном уровне техники и технологии добычи и переработки экономически целесообразно, и *забалансовые*, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно по кондиции, мощности, сложности разработки и переработки, но которые в дальнейшем могут явиться объектом промышленного освоения. Кондиции для подсчета запасов по каждому месторождению устанавливают на основании технико-экономических расчетов.

Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых оцениваются в пределах глубин, доступных для эксплуатации при современном или возможном технико-экономическом уровне.

В зависимости от *степени разведанности* месторождения, изученности качества сырья и горнотехнических условий разработки месторождений запасы полезных ископаемых разделяют на категории *A, B, C*, и *C₂*. Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых по степени их обоснованности подразделяют на категории *P_н, P_г* и *Яз*.

Условия отнесения запасов к той или иной категории определены в специальных инструкциях по применению классификации запасов, разработанных ГКЗ для отдельных видов полезных ископаемых. В этих инструкциях приведены также требования к методике разведки и изучению месторождений. Для

Подготовленность разведанных месторождений (участков) для промышленного освоения

Категория запасов	Соотношение запасов месторождений по группам, %						
	металлов и нерудных полезных ископаемых				углей и горючих сланцев		
	1-я	2-я	3-я	4-я	1-я	2-я	3-я
A + B	30	20	—	—	50	50	—
В том числе A не менее	10	—	—	—	20	—	—
C _x	70	80	80	50	50	50	100
C _z	—	—	20	50	—	—	—

промышленного освоения месторождения, составления проектов, выделения капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий необходимы на месторождении или его участке балансовые запасы, утвержденные ГКЗ по категории **A, B, C_x**. При этом для каждой из четырех групп месторождений в зависимости от сложности их геологического строения горнодобывающими предприятиями устанавливается определенное соотношение запасов в процентах по этим категориям (табл. 12).

По *степени готовности к промышленному освоению* — степени подготовленности к добыче балансовые запасы месторождений разделяют на исходные, промышленные, вскрытые, подготовленные и готовые к выемке.

Исходные балансовые запасы — запасы из числа утвержденных ГКЗ, принятые по проекту горного предприятия на момент сдачи его в эксплуатацию, в пределах технических границ или горного отвода, представленного предприятию. При доразведке, изменении границ горного отвода и другим причинам возможно изменение исходных балансовых запасов.

Промышленные запасы — часть балансовых, которая подлежит извлечению из недр по проектам или планам развития горных работ. Они определяются путем исключения из балансовых запасов проектных потерь.

Вскрытые запасы — часть промышленных, для разработки которой не требуется дополнительного проведения капитальных выработок (шахтных стволов, штолен, капитальных квершлаггов, уклонов и гезенков), а при открытой разработке должны быть проведены все работы по вскрытию месторождения или его участка и сняты покрывающие породы. При различных вскрывающих выработках в разных геологических условиях вскрываются различные запасы.

Запасы подготовленные считаются из числа вскрытых, подсеченные основными подготовительными выработками. Они подразделяются на активные — готовые к выемке и подготовленные к нарезке, и неактивные — во временных целиках, временно заваленные, затопленные, находящиеся в пожарных участках.

Готовые к выемке считаются запасы из числа подготовленных в контуре выемочных участков, где пройдены все подготовительные и нарезные выработки и подготовительные для добычи работы в соответствии с правилами технической эксплуатации.

Отнесение запасов по промышленной классификации к тому или иному виду производят в соответствии с отраслевыми инструкциями по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. В инструкциях приводятся и методики расчета нормативов запасов по степени их подготовленности к добыче с учетом горно-геологических условий разработки, техники и технологии горных работ, обеспечивающих добычу согласно плану.

Часть запасов полезного ископаемого, оставляемая при разработке месторождения в недрах, составляет фактические потери при добыче.

Часть балансовых запасов, которую проектом предусматривается оставлять в недрах, составляет проектные потери. Они пересчитываются ежегодно для определения промышленных запасов на конец отчетного года. Проектные потери разделяют на общешахтные и эксплуатационные. Кроме проектных, различают нормативные — устанавливаемые для каждой системы разработок, плановые — устанавливаемые для каждого горного предприятия при составлении планов развития горных работ в соответствии с конкретными геологическими и горнотехническими условиями и нормативами потерь для различных систем разработки, и эксплуатационные потери, зависящие от применяемой системы разработки и неправильного ведения горных работ. К ним относится также полезное ископаемое, вывезенное в отвалы вместе с пустыми породами.

Погашенными считаются балансовые запасы полезного ископаемого (или их часть), отделенного от массива при ведении очистных, проходческих и вскрышных работ, выданного из недр, а также потерянного при добыче.

§ 102. Параметры подсчета запасов и их определение

Подсчет запасов выполняют в объемной или весовой мере. Исходными для подсчета запасов величинами, характеризующими залежь и полезное ископаемое в отдельных участках, являются: площадь залежи S , мощность залежи M , объемная

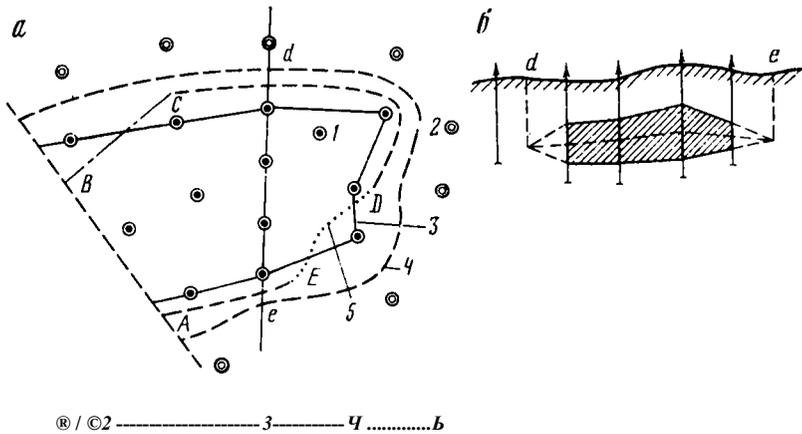


Рис. 96. Оконтурирование залежи на плане (а) и разрезе по линии й—е (б):

1 — рудные скважины; 2 — безрудные скважины; 3 — внутренний контур; 4 — внешний контур; 5 — контур балансовых запасов, проходящий по линиям разрывного нарушения АВ, максимально допустимого содержания вредного компонента ВС, минимальной промышленной мощности СО и £71, минимальному бортовому содержанию компонента ОЕ

масса полезного ископаемого y и содержание полезных компонентов C .

Объем залежи (в m^3) определяют по формуле

$$Y = 5 \cdot M;$$

запасы полезного ископаемого (в т)

$$(2 = V \cdot y = B \cdot M \cdot y;$$

запасы компонента (в т или кг)

$$P = \kappa \cdot (2) \cdot C = \kappa \cdot 8 M y C,$$

где $\kappa = 0,01$, если C в процентах; $\kappa = 0,001$, если C в г/т.

Оконтурирование месторождения (рис. 96) производят по данным разведочных и горных выработок с учетом геологических и технологических особенностей месторождения. Различают внешний и внутренний контуры и межконтурную полосу. Внешний контур проводят по естественной границе залежи — по линии пересечения со сместителем или по изолинии с нулевой мощностью, или по середине между рудными и безрудными скважинами.

Внутренний контур проводят по крайним рудным скважинам (горным выработкам). В ряде случаев за контур принимают изолинию с предельной промышленной мощностью или с предельным средним содержанием компонента.

В пределах межконтурной полосы категория запасов всегда ниже категории их во внутреннем контуре залежи.

Наиболее ответственным является проведение контура балансовых запасов. Погрешность оконтуривания зависит от изменчивости контура залежи, густоты разведочной сети, погрешности определения значений показателя в приконтурной зоне и других причин.

Определение площадей по планам и разрезам в пределах подсчитываемых участков производят аналитически по координатам x , y угловых точек контура (вершин многоугольника), по формулам геометрически правильных фигур, планиметром, специальными палетками (точечными, квадратными, с параллельными линиями — см. § 61).

Среднюю мощность M и среднее содержание C компонента на подсчитываемом участке определяют как среднее арифметическое: $M = 2/P_{г}/P$, $C = 2C_{г}/\llcorner$ — при равномерном расположении точек измерения m ; и c , в соответствии с законом нормального распределения; как среднее взвешенное: $M = 2\alpha_{1,./}/2/\Gamma$, $C = 2c_{./}да$ — по расстоянию Γ между точками измерения; как среднее взвешенное по мощности t ; залежи: $C = 2c_{г-т}*/2T_{г-}$ или по площади S : $L1 = 2t^{\wedge}/25_{г}'$.

По изолиниям на плане среднюю мощность или среднее содержание определяют по формуле $1_{ср} = V/S$, где объем V залежи и площадь участка S по плану изолиний определяют точечной палеткой.

Объемную массу определяют:

1) пробной вырубкой ниши от 2 до 5 м³ без применения взрывных веществ с последующим взвешиванием вырубленной массы q и тщательным измерением вырубленного объема V в массиве. Этот метод применяют при сравнительно слабых, трещиноватых, пористых породах:

$$V =$$

2) лабораторным путем или гидростатическим взвешиванием образцов для плотных и однородных по вещественному составу пород:

где $\llcorner 71$ — масса образца до насыщения водой; — тоже после насыщения водой; $\llcorner 73$ — масса образца в воде.

Образцы пористых и размокающих в воде полезных ископаемых предварительно парафинируют. Объемную массу определяют из выражения

$$(\llcorner 7г — Яз) \text{-----} \frac{\quad}{Tп}$$

где γ_1 — масса образца до парафинирования; γ_2 — масса образца после парафинирования; γ_3 — масса запарафинированного образца в воде; ρ — плотность парафина.

§ 103. Способы подсчета запасов

В зависимости от исходных графических материалов, формы, качественных особенностей, степени разведанности месторождения применяют разные способы подсчета запасов. Наиболее распространенными являются следующие способы.

1. *Способ среднего арифметического* с его разновидностями: суммарным, геологических блоков, эксплуатационных блоков. Запасы руды и компонента в пределах подсчитываемого участка суммарным способом определяют по средним значениям параметров подсчета запасов (см. § 102).

Способ геологических блоков заключается в проведении на подсчетном плане границ более или менее однородных блоков залежи по геологическим и технологическим признакам — углу падения, изменению мощности, содержания полезного или вредного компонента, тектонической нарушенности и пр., и подсчете запасов по каждому выделенному блоку суммарным способом.

Способом эксплуатационных блоков определяют запасы в блоках (рис. 97) по данным измерений и опробования в оконтуривающих блоки горных выработках. Параметры подсчета запасов M , C , u определяют как простые или взвешенные средние из результатов измерений в отдельных точках.

2. *Способ объемной палетки Соболевского* заключается в подсчете:

а) объема по плану изомощностей

$$V = \frac{P}{\rho} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{\sin \beta}$$

б) запасов полезного ископаемого по изолиниям мощности и плотности

$$V = \frac{P}{\rho} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{\sin \beta} \cdot \frac{1}{\sin \gamma}$$

в) запасов компонента по изолиниям линейных запасов или поверхности «осажденного слитка залежи»

$$P = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{\sin \beta} \cdot \frac{1}{\sin \gamma} \cdot \frac{1}{\sin \delta}$$

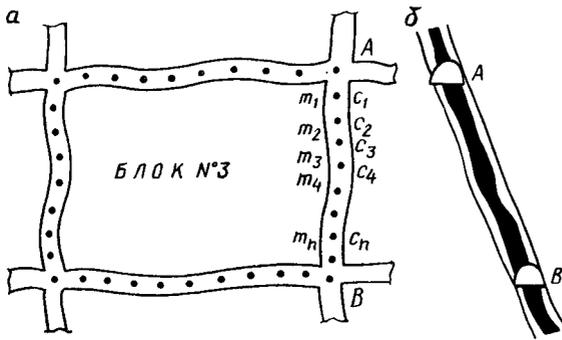


Рис. 97. Вертикальная проекция (а) эксплуатационного блока и разрез (б) по выработке АВ

В этих формулах со—основание палетки в масштабе плана; *Ши* *у* *с*_г — значения мощности, объемной массы и содержания, определяемые в точках палетки по плану.

3. *Способ параллельных сечений* используется, когда залежь разведена по горизонтам (рис. 98, а) или разведочным линиям (рис. 98,б), по которым построены разрезы.

а) Объем между параллельными сечениями подсчитывают по формулам:

$$y_1 = \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot z \quad \text{при} \quad 100 < 40\%;$$

$$y_2 = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{3} \cdot z \quad \text{при} \quad 100 > 40\%;$$

б) и по формуле призматоида

$$y = \frac{V_1 + V_2 + 4S_{cp}}{6} \cdot z$$

В этих формулах *z* — расстояние между сечениями; *S*_{ср} — площадь среднего сечения.

Формулы справедливы для определения запасов руды и компонента между тремя сечениями *S*₁, *S*₂, *S*₃, если вместо них подставить значения соответствующих запасов *Q*₁, *Q*₂ или *p*₁, *p*₂, *P*₃ в слоях толщиной в 1 м:

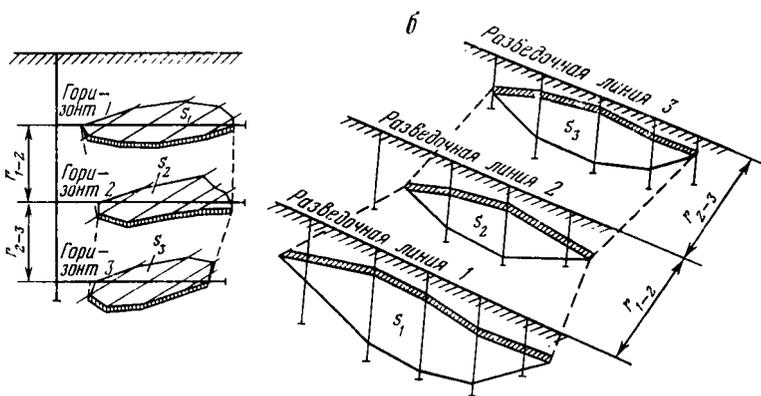


Рис. 98. Схемы для подсчета запасов методом параллельных горизонтальных (а) и вертикальных сечений (б)

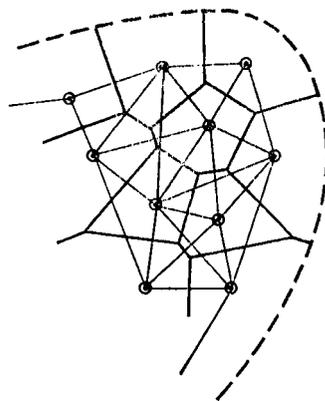


Рис. 99. Схема для подсчета запасов методом многоугольников

Способ ближайшего района (многоугольников) (рис. 99) состоит в геометрическом оконтуривании ближайшего к скважине по площади участка в виде многоугольника и подсчете запасов для него по параметрам скважины.

Для каждого многоугольника

V_I — $y_r \tau_r$ — объем, m^3 ;

$<7r = 5_r \tau_r y_r$ — запас руды, т;

$r_r =$ — запас компонента, т.

Общие запасы равны сумме запасов по отдельным блокам (многоугольникам).

Способ треугольников заключается в разбивке на плане подсчитываемого участка на треугольники с вершинами у ближайших скважин или точек измерений параметров с последующим вычислением запасов в каждой призме суммарным методом. Общие запасы участка равны сумме запасов по призмам.

Объем полезного ископаемого

$$V^7 = y_1 + B_{ii} \dots + i_{ii} = 51 \frac{Y_{11} + \Pi_2 + \Pi_3}{O} !$$

$$+ * \frac{m_{n-2} + T_{n-2} + m_n \wedge T_f + T_1 + \Pi \Gamma}{5} \frac{2}{1} \frac{5}{1}$$

Запас полезного ископаемого

$$E = \frac{m_c V_c + m_c V_c + m T_c}{\dots} \quad // n \quad \text{По III}$$

Запас компонента

$$E = \frac{\Pi}{\dots} \cdot \frac{D \Pi + \wedge \Psi (+ Y(T < | \dots))}{\dots}$$

Подсчет запасов пластовых месторождений складчатой формы залегания при известной нормальной мощности, объемной массе и среднем содержании сводится к определению истинной площади залежи по ее гипсометрическому плану и умножению ее на производительность пласта (Му).

§ 104. Применение ЭВМ при подсчете запасов

Для простых геологических тел и условий залегания подсчет запасов не представляет особого труда. Однако в условиях сложного строения, сильной тектонической нарушенности, большого разнообразия сортов полезного ископаемого, сложной сети разведочных пересечений эта задача, оставаясь весьма ответственной, становится очень трудоемкой. Это обстоятельство повлекло за собой попытки решения задачи подсчета запасов полезных ископаемых с использованием ЭВМ. В настоящее время разработано несколько эффективных программ, реализующих тот или иной способ подсчета.

Модель геологического объекта по какому-либо показателю представляется в виде матрицы, каждый элемент которой является значением показателя в ячейке числовой модели. Все дальнейшие операции для решения задачи подсчета запасов в смоделированных таким образом геологических объектах могут быть сведены к операциям с одноформатными матрицами, весьма эффективно решаемым на ЭВМ. Например, умножив поэлементно матрицу изомощностей на скаляр — площадь

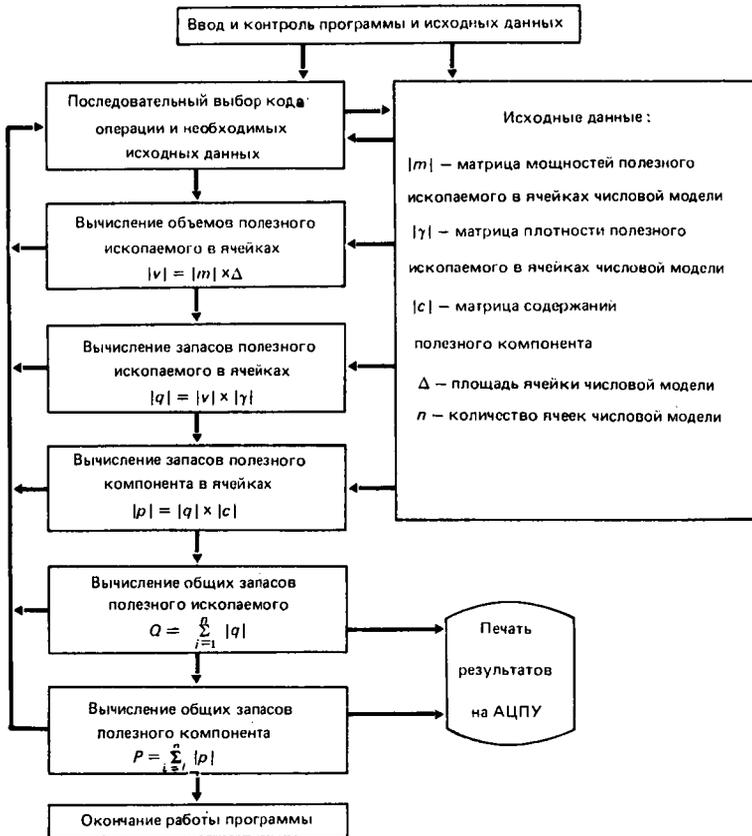


Рис. 100. Общая блок-схема программы вычисления запасов

ячейки числовой модели, получают новую матрицу объемов полезного ископаемого в ячейках. Помножив эту матрицу на матрицу плотности полезного ископаемого в ячейках, получают матрицу запасов полезного ископаемого в ячейках. Просуммировав все элементы последней матрицы, получают общие запасы полезного ископаемого. Эти операции, а также операции вычисления запасов металла выполняются программно по алгоритму, представленному на блок-схеме (рис. 100).

§ 105. Погрешность подсчета запасов

Общая погрешность подсчета запасов руды и компонента, вычисляемых по формулам $Q = SM\mu$ и $P = kSM\mu c$, может быть определена как погрешность функций независимых переменных:

$$M_Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial M}\right)^2 m_M^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \gamma}\right)^2 m_\gamma^2};$$

$$M_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial M}\right)^2 m_M^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \gamma}\right)^2 m_\gamma^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial C}\right)^2 m_C^2}.$$

Найдя частные производные, после преобразования получим:

$$M_Q = Q \sqrt{\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 + \left(\frac{m_M}{M}\right)^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\gamma}\right)^2};$$

где M_Q , M_P — общие абсолютные погрешности подсчета запаса руды и компонента; S — площадь в пределах контура запасов; M , γ , C — средние значения мощности, объемной массы и содержания компонента, залежи; m_s , m_M , m_γ , m_C — общие погрешности определения среднего значения площади, мощности, плотности и содержания компонента залежи.

Общие погрешности m_M , m_γ и m_C включают в себя технические погрешности определения значений показателя в отдельных точках $m.m$ и погрешности оконтуривания для площадей in_s и репрезентативности (представительности, аналогии) m_c :

m_s — 'x m_s , т Ч m_s оконтур»

$$m_M = \sqrt{m_{M,T}^2 + m_{M,r}^2};$$

$$m_\gamma = \sqrt{m_{\gamma,T}^2 + m_{\gamma,r}^2};$$

$$m_C = \sqrt{m_{C,T}^2 + m_{C,r}^2}.$$

К числу технических погрешностей относятся:

Погрешности измерения площади, замеров мощности залежи, взятия, обработки и анализа проб. Каждая из этих погрешностей может быть грубой, систематической и случайной. Погрешность измерения площади планиметром принимают $t_8 = (1/200 \wedge - 1/300)5$.

Погрешность среднего значения показателя M , γ или C только из-за технических погрешностей определения значений показателя в отдельных местах можно определить по формуле погрешности средней арифметической

$$m_{it} = m_{il} \wedge Jn,$$

где n — число отдельных определений, из которых получено среднее значение m_e, m_m, m_p, m_c . Размер этой погрешности может быть установлен экспериментально или по формуле

$$m_i^0 = \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n-1}}$$

где δ — отклонение значения показателя в отдельной точке от среднего его значения: $M—T, -, y—yu C—c^*$; $[\delta\delta]$ — сумма квадратов отклонений значений показателя в отдельных точках от среднего его значения.

Погрешность репрезентативности определяют по формуле

$$m_{i,r} = t \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n(n-1)}} K,$$

где t — коэффициент вероятности (при $t=1,2$ вероятность 75%, при $t=1,7$ вероятность 90 %);

$$K = (5-n)/5,$$

или

$$K = (Y - no)/Y,$$

где 5 — площадь залежи в пределах подсчетного контура; t или V — элементарная площадка или объем залежи, в пределах которых значение показателя можно практически принять за постоянную величину.

Определяют эти величины экспериментально или визуально.

При наличии выраженной корреляции (связи) между двумя переменными по формулам $M_{r,r}$ и M_p получают заниженные оценки погрешности запасов. В этом случае для определения погрешности запасов зависимые параметры заменяют новой независимой переменной.

Пусть установлена корреляция между M и C . В этом случае среднее значение мощности залежи и содержания компонента определяют по формулам:

$$M = X_{T,r}^{1/r} \cdot C = \sqrt[n]{\sum I^r} \cdot C$$

Тогда запас компонента

Обозначив $(\text{Sm} \Gamma C_r \bullet) / n = F$ — новой независимой переменной, получим $P = 5y/\Gamma$, откуда

$$M_P = P \sqrt{\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 + \left(\frac{m_\gamma}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{m_F}{F}\right)^2};$$

Погрешность можно вычислить как погрешность выборочной средней

$$m_F = t \frac{\sigma_F}{\sqrt{n}},$$

где $\sigma_F = \sqrt{\frac{\sum (m_i c_i - F)^2}{n - 1}}$ — стандарт новой независимой переменной.

Аналогично можно подсчитать погрешность запасов при наличии корреляции между величинами C , y и др.

В зависимости от характера статистического распределения показателей в значениях m_m , m_y , m_c будут преобладать или технические погрешности определений t , y^* , c или погрешности репрезентативности.

Достоверность подсчета запасов и соответственно определение их категорий в общем случае зависит от изменчивости показателей и от плотности разведочной сети. Численная оценка достоверности запасов различных категорий не установлена.

Ряд исследователей считает, что запасы по категориям разведанности определяются с погрешностью: A —154-20%; B — 25-Б-30 %; C_x — 35-=-50 %.

ГЛАВА 22

УЧЕТ СОСТОЯНИЯ И ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

§ 106. Цель и задачи учета запасов полезных ископаемых

На каждом горнодобывающем предприятии с самого начала разработки месторождения ведется систематический учет состояния и движения запасов, от правильности которого зависит их рациональное использование. Учет осуществляет геолого-маркшейдерская служба горного предприятия. Правильность учета контролируют органы Госгортехнадзора СССР.

Целью учета запасов является систематизация полных и достоверных данных о сырьевой базе предприятия, необходимых для планирования геологоразведочных, подготовительных и эксплуатационных работ, а также для разработки мероприятий по рациональному и комплексному использованию месторождения.

Основными задачами учета движения запасов являются: контроль обеспечения горного предприятия балансовыми запасами и готовности их к добыче; установление изменений запасов в процессе эксплуатации месторождений; контроль полноты извлечения запасов из недр; обобщение материалов по запасам для планирования разведочных и горных работ.

Решение этих задач обеспечивается учетом следующих основных показателей: добычи, потерь и разубоживания полезных ископаемых, прироста и снижения разведанных запасов.

§ 107. Учет добычи полезного ископаемого по замерам горных выработок

Ведение учета движения запасов, подсчет количества добытого полезного ископаемого и определение объема выполненных горных работ производят по результатам маркшейдерских замеров горных выработок и съемочных работ.

Замеры подготовительных и нарезных выработок производят рулетками от ближайших маркшейдерских точек до забоев выработок. Разность расстояний, измеренных в начале 1 и в конце 2 месяца от маркшейдерской точки, определяет величину продвижения выработки за месяц:

$$AB - /_i2 | \cdot$$

Объем выемки за месяц определяют по формуле

$$V = S_{cp} L_f,$$

где S_{cp} — средняя площадь сечения выработки;

$$S_{cp} = (\$! + 5г + \blacksquare \bullet \bullet + 5,,)/n,$$

где n — число замеров площадей сечения.

Замер очистных выработок производят рулеткой или съемкой с применением упрощенных угломерных приборов.

Результаты замеров — эскизы, зарисовки и цифровые записи заносят в рабочие замерные книжки, по которым производят пополнение маркшейдерских планов и специальных журналов замера горных выработок и добычи.

Весовое количество добытого за отчетный период полезного ископаемого по выработке определяют по формуле

$$Q = Uy,$$

где y — объемная плотность полезного ископаемого в массиве; V — объем выемки в подготовительных и нарезных выработках.

Объем в очистных выработках получают умножением площади выемки на среднюю вынимаемую полезную мощность залежи. При этом площадь выемки определяют планиметром по плану или подсчитывают как произведение средней длины линии забоя на среднее подвигание ее за отчетный период. Мощность залежи определяют как среднее из всех замеров, произведенных на отработанной площади. Значение мощности в отдельных точках получают как разность между вынимаемой мощностью залежи и суммарной мощностью всех прослоев, не идущих по установленной кондиции в добычу.

Из подсчитанной добычи исключают потери отбитого полезного ископаемого.

§ 108. Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи полезного ископаемого

На горных предприятиях для контроля и управления процессом добычных работ осуществляется оперативный и маркшейдерский учет выполнения плана горных работ.

Оперативный учет добычи производят по количеству и массе вагонеток или по данным взвешивания полезного ископаемого, поступающего из горных выработок за смену, сутки, месяц. По окончании смены определяют объем добычи по участкам, блокам, забоям, а также по сортам полезного ископаемого.

Маркшейдерская служба горного предприятия осуществляет обязательный ежемесячный контроль за оперативным учетом добычи путем замеров выработанного пространства и остатков полезного ископаемого на складе.

Массу добытого за отчетный период полезного ископаемого определяют из соотношения

$$Q = Q_0 + (Q_k - Q_n),$$

где Q_0 —масса полезного ископаемого, отправленного по данным бухгалтерского учета потребителям (бухгалтерский учет является основой для определения выполнения государственного плана); Q_n , Q_k — остатки полезного ископаемого на складах, в бункерах, а также в вагонах, погруженных, но не проведенных по расходу, соответственно на начало и конец отчетного периода.

Величина Q_0 определяется взвешиванием на весах при отгрузке и в последующем контролируется потребителем, поэтому ее можно считать безошибочной. Q_n и Q_k по сравнению с величиной Q_0 незначительны, а следовательно, и погрешности их определения также незначительны. По бухгалтерскому учету добыча определяется более точно, чем при оперативном учете и по замерам горных выработок. Однако данный способ не позволяет вести контроль за отдельными выемочными единицами.

Контроль добычи полезного ископаемого по замерам горных выработок позволяет сравнивать добычу по оперативному учету не только по горному предприятию в целом, но и по отдельным участкам. Подсчет добычи по замерам горных выработок при неблагоприятных геологических и горноэксплуатационных условиях недостаточно точен, а иногда и вообще невозможен. Поэтому добыча, подсчитанная по маркшейдерским замерам полезного ископаемого на складах, принимается к учету при определении месячной добычи горного предприятия.

Остатки полезного ископаемого на складах измеряют ежемесячно по состоянию на конец последней смены отчетного месяца.

В зависимости от формы и размеров склада объем полезного ископаемого определяют рулеточным замером, способом профилей или тахеометрической съемкой.

Рулеточный замер применяют, когда отвалы или штабели уподобляют геометрически правильным формам.

Способ профилей применяют для определения объема склада вытянутой неправильной формы. До образования отвала производят топографическую съемку участка (основания склада) и составляют план с горизонталями в крупном масштабе. По направлениям, перпендикулярным оси отвала, производят нивелирование поверхности отвала. По данным нивелирования и плана участка с горизонталями вычерчивают поперечные сечения отвала, площади которых определяют планиметром.

Объем отвала определяют по формуле параллельных сечений (см. § 103).

Способ тахеометрической съемки применяют при неправильных формах складов. Предварительно составляют план земной поверхности участка под склад в крупном масштабе (1 : 100 или 1 : 200). Для определения объема склада производят тахеометрическую съемку его поверхности и составляют план с горизонталями.

Подсчет объема склада производят объемной палеткой по извысотам отвала, полученным путем вычитания из поверхности отвала поверхность его основания.

§ 109. Учет потерь и разубоживания полезного ископаемого

Снижение содержания полезных компонентов в добытом полезном ископаемом по сравнению с содержанием их в балансовых запасах вследствие примешивания к ним пород, а также вследствие потерь обогащенной мелочи, выщелачивания полезных компонентов, называется **р а з у б о ж и в а н и е м**.

Во всех горнодобывающих министерствах изданы отраслевые инструкции по определению, учету и нормированию потерь и разубоживания руды, в основу которых положена единая клас-

сификация потерь твердых полезных ископаемых при разработке месторождений. По этой классификации фактические потери полезных ископаемых делятся на два класса: 1 класс — общешахтные (общерудничные, общекарьерные) потери; 2 класс — эксплуатационные потери. К первому классу относятся потери в охранных целиках под зданиями, сооружениями, шахтными стволами, водоемами, а также в барьерных целиках между шахтными полями. Второй класс потерь в зависимости от причин их вызывающих разделяют на подклассы А и Б. В подкласс А входят потери полезного ископаемого в массиве, т. е. потери в различных целиках. В подкласс Б входят потери отделенного (отбитого) от массива полезного ископаемого, которые в свою очередь подразделяют на потери в выработанном пространстве и вне выработанного пространства.

Кроме фактических различают потери проектные, нормативные и плановые.

Проектные потери полезного ископаемого предусматривают (рассчитывают) проектом разработки горного предприятия. Под нормативными потерями (нормативами) понимают оптимальную величину эксплуатационных потерь, рассчитанную и установленную для каждой применяемой системы разработки на весь период отработки выемочного участка. Исходные данные для нормирования потерь и разубоживания получают применением статистического, опытного, расчетного или комбинированного метода расчета. Нормативы потерь и разубоживания определяют на основе технико-экономических расчетов. Оптимальными считают нормативы, при которых суммарный экономический ущерб от потерь и разубоживания минимален. Нормативы утверждают органы Госгортехнадзора.

Плановые потери и разубоживание устанавливают при составлении планов развития горных работ в соответствии с геологическими и горнотехническими условиями разработки месторождения и их нормативами при определенных системах разработки.

Разубоживание полезного ископаемого подразделяют на две группы: первичное разубоживание, происходящее в процессе отделения (отбойки) полезного ископаемого от массива; вторичное разубоживание, происходящее при выпуске и доставке полезного ископаемого из блока, при экскавации и погрузке, складировании и др.

Для определения величин потерь и разубоживания применяют прямой, косвенный и комбинированный методы.

Прямой метод является основным, поскольку обеспечивает наибольшую достоверность определения потерь и разубоживания полезного ископаемого. Его применяют при системах разработки, позволяющих производить съемку и замеры в отработанных выемочных единицах.

Сущность его заключается в систематически производимых съемках и замерах объемов потерь полезного ископаемого и объемов примешиваемых пород, сопоставлении контуров рудных тел, отображаемых на геолого-маркшейдерских планах и разрезах, с контурами фактической отработки.

Объем потерянной части рудного тела устанавливают по замеру и опробованию пройденных на контакте горных выработок, шпуров и скважин.

Потери руды P_p , полезного компонента P_k и разубоживания P от количества погашенных балансовых запасов B и добытой рудной массы D при прямом методе определяют по формулам:

$$P_p = 100 \frac{a}{B} \% ; P_k = 100 \frac{a - c}{Bc} \% ;$$

$$P = 100 \frac{a - c}{D} \% .$$

В этих формулах $EШ$ — сумма отдельных видов потерь; c — содержание полезного компонента в погашенных запасах; a — содержание полезного компонента в каждом виде потерянной руды; B — масса примешиваемых пород.

Косвенный метод определения потерь и разубоживания применяют в тех случаях, когда по условиям ведения горных работ невозможно применение прямых методов.

Потери руды и металла косвенным методом определяют по разности между количествами погашенных балансовых запасов B и добытой руды D с учетом содержания c полезных компонентов в погашаемых запасах, добываемого полезного ископаемого a и примешиваемых породах B :

$$P = \frac{A - A_{Bc-B}}{V} 100 \% .$$

Разубоживание руды P устанавливают по снижению содержания полезных компонентов в добытой руде a по сравнению с содержанием c в погашенных балансовых запасах:

$$P = (c - a) / (c - B) .$$

Комбинированный метод определения потерь и разубоживания основан на использовании элементов как прямого, так и косвенного метода. Если количество разубоживающих пород B определено непосредственно, то потери

$$P = \frac{D - B}{B} \frac{a}{c} - A . 100 \% .$$

Учет показателей потерь и разубоживания полезных ископаемых ведут в специальной книге учета, форма которой устанавливается соответствующими инструкциями.

§ 110. Учет состояния и движения запасов полезных ископаемых

Учет движения запасов представляет собой периодическое определение количества запасов с начала разработки месторождения. Движение запасов — это изменение их количества в результате добычи, разведки или переоценки за определенный период.

Учет состояния и движения запасов осуществляют на основе геолого-маркшейдерской документации. Его ведут систематически по периодам, установленным вышестоящей организацией, по специальным формам, предусмотренным инструкцией и утвержденным Госкомстатом СССР.

В этих формах отражается: количество запасов полезных ископаемых горного предприятия по состоянию на начало разработки и начало отчетного периода; изменение запасов в результате разведки, добычи и потерь за отчетный период и с начала разработки; остаток запасов на конец отчетного периода и распределение их по степени разведанности и готовности к добыче; степень обеспеченности горного предприятия запасами на предстоящий период с учетом годовой производительности предприятия.

Учет запасов производят по категориям *A*, *B*, *C*₁, *C*₂ раздельно, по пластам (рудным телам), горизонтам, участкам (блокам) и в целом по предприятию.

В формах отчетности учет движения запасов отражается за отчетный период и с начала работы предприятия.

Исходными балансовыми запасами B_n , к началу отчетного периода являются запасы по состоянию на конец предыдущего отчетного периода. Движение балансовых запасов на конец отчетного периода B_k выражается зависимостью

$$B_k = B_n - D - П - С - З \pm B_n,$$

где D — добыча полезного ископаемого; $П$ — фактические потери полезного ископаемого; $С$ — списанные балансовые запасы; $З$ — забалансовые запасы, переведенные в балансовые; B_n — изменение балансовых запасов.

Учет состояния и движения запасов включает в себя первичный, сводный учет запасов и отчетный баланс запасов.

Первичный учет производят на основе обобщения данных геологоразведочных, горнокапитальных, подготовительных и очистных работ, полученных в результате геолого-маркшейдерских измерений.

Основой первичного учета является оперативный учет запасов по выемочным участкам. Периодичность первичного учета не реже одного раза в месяц.

Сводный учет запасов осуществляют ежеквартально. Цель его — получение обобщенных данных о движении запасов в целом по месторождению и о состоянии их на начало и конец отчетного периода. Производят путем суммирования соответствующих показателей учета по отдельным выемочным участкам — объектам первичного учета. На основании сводного учета составляют отчетный баланс запасов по установленной форме по состоянию на 1 января каждого года.

Отчетный баланс запасов горных предприятий служит основой государственного учета запасов полезных ископаемых и включает: учет запасов полезных ископаемых по месторождениям и отдельным участкам, горнодобывающим предприятиям, объединениям, по областям, краям, республикам, крупным экономическим районам и СССР в целом по состоянию на 1 января каждого года, в соответствии с требованиями классификации; ежегодный учет добычи и потерь полезного ископаемого, а также изменений запасов в результате их переоценки и по другим причинам; учет обеспеченности действующих, строящихся и проектируемых горнодобывающих предприятий разведанными запасами.

На основе государственного учета Всесоюзный геологический фонд составляет сводный баланс запасов минерального сырья по всей территории СССР, который представляется Совету Министров СССР, Госплану СССР и Госкомстату СССР.

ГЛАВА 23

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§111. Задачи маркшейдерской службы

При открытом способе разработки месторождений полезных ископаемых выделяют основные этапы его освоения: подготовка карьерного поля к отработке, осушение карьера (разреза), строительство и эксплуатация.

В период подготовки карьерного поля маркшейдерская служба создает опорную и частично съемочную сеть, выполняет комплекс съемочных работ, по результатам которых составляет генеральный план поверхности месторождения. Полученная документация используется при выборе рациональной схемы вскрытия и системы разработки месторождения, при составлении проектов зданий и сооружений горного предприятия, размещаемых в пределах промплощадки и земельного отвода.

При осушении карьерного поля выполняют вынос с проекта в натуру положения дренажных выработок, задают направления горным выработкам и осуществляют контроль за соблюдением геометрических элементов при их проходке, составляют графическую документацию.

На стадии строительства карьера маркшейдерская служба осуществляет: вынос в натуру проектного положения горных выработок, обеспечивающих вскрытие полезного ископаемого; разбивку на местности проектного положения зданий, сооружений, транспортных коммуникаций, линий электропередач и т. д.; контроль за соблюдением заданных геометрических параметров зданий, машин и механизмов при их строительстве; производство съемочных работ; составление и оформление необходимой отчетной и графической документации.

Во время эксплуатации месторождения маркшейдерская служба производит: пополнение съемочной сети карьера; съемку рабочей зоны карьера и пополнение основного комплекта горной графической документации; определение и учет объемов добычи и вскрыши, потерь и разубоживания; маркшейдерское обеспечение производства буровзрывных работ; наблюдения за устойчивостью бортов карьера и откосов уступов и отвалов, дамб хвостохранилищ; участвует в составлении текущих и перспективных планов горных работ.

§ 112. Опорная, съемочная сеть и съемочные работы на карьере

Съемку карьеров выполняют в масштабах 1:1000, 1:2000 и 1:5000. Для съемки незначительных по размерам карьеров, например, при добыче блочного камня может применяться съемка в более крупном масштабе 1:500. Геометрической основой для производства маркшейдерских съемок на карьерах являются пункты маркшейдерской опорной геодезической и съемочной сетей (рис. 101).

Объектами съемки на карьерах являются: рельеф и ситуация земной поверхности, контуры горных выработок, верхние и нижние бровки уступов, поверхность рабочей площадки и откосов уступов, отвалов; буровзрывные скважины, транспортные пути и различные коммуникации, линии электропередач, места измерений элементов залегания и опробования горных пород, склады полезного ископаемого, границы опасных зон (пожары, оползни, обрушения и т. п.) и тектонические нарушения, здания, сооружения и т. д.

Маркшейдерскую опорную геодезическую сеть на территории карьера создают методами триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов, а высотную — нивелированием III и IV классов. Плотность плановой опорной сети всех классов и раз-

Рис. 101. Схема развития сети маркшейдерских опорных пунктов (3) карьера на основе имеющихся в этом районе пунктов государственной геодезической сети (1) и сети сгущения (2):

4 — граница карьерного поля; 5 — граница земельного отвода горного предприятия

рядов должна быть не менее четырех пунктов на 1 км^2 , а высотной не менее 1 репера на 5 км^2 .

Пункты маркшейдерской опорной геодезической сети располагают, как правило, на бортах карьера или в непосредственной близости от них, а также с учетом перспективы развития горных работ, размеров и глубины карьера, возможности использования их в качестве исходных для определения пунктов съёмочной сети карьера.

Плановое положение пунктов съёмочной сети определяют следующими способами: геодезическими прямой и обратной засечками, полярным способом, проложением теодолитных ходов, аналитической пространственной фототриангуляции, створных линий и эксплуатационной сетки. Погрешность определения положения пунктов съёмочной сети относительно ближайших пунктов опорной сети не должна превышать $0,4 \text{ мм}$ на плане в принятом масштабе съёмки.

Съёмочные сети строят методом триангуляции в виде цепочки треугольников, в которые могут быть включены геодезические четырехугольники и центральные системы (рис. 102).

Для применения прямой засечки (рис. 103) достаточно трех пунктов опорной сети **A**, **B**, **C**, на которых измеряют горизонтальные углы α , ρ , α' ,

При использовании способа обратной геодезической засечки (рис. 104) необходимо четыре исходных пункта **A**, **B**, **C**, **И**.

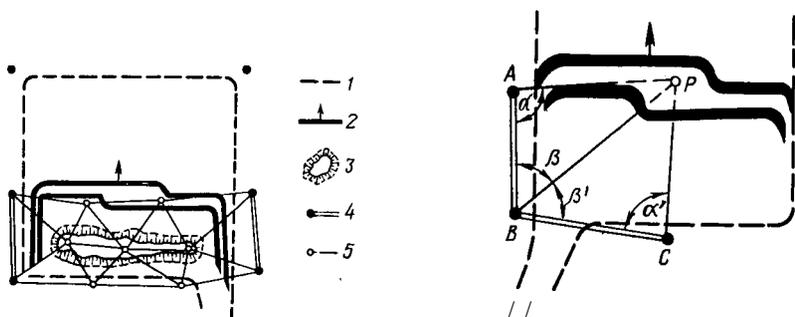


Рис. 102. Схема развития съемочной сети карьера с внутренним отвалообразованием сплошной сети триангуляции:
 1 — граница карьерного поля; 2 — направление развития горных работ; 3 — внутренние отвалы; 4 — пункт опорной сети; 5 — пункт съемочной сети

Рис. 103. Схема определения положения пункта *P* способом прямой засечки

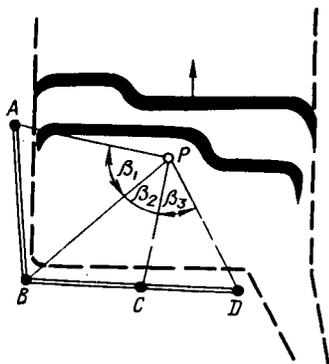


Рис. 104. Схема определения положения пункта *P* способом обратной засечки

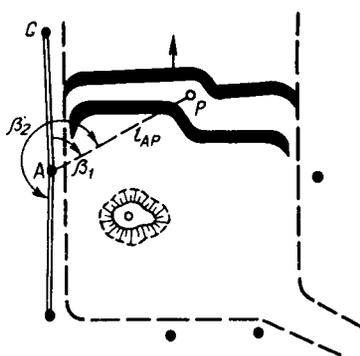


Рис. 105. Схема определения положения пункта *P* съемочной сети полярным способом

В данном случае достаточно измерить два угла β_1 , β_2 при определяемом пункте *P* и контрольный угол β_3 .

Определение положения пункта съемочной сети полярным способом (рис. 105) связано с измерением горизонтальных углов β_1 и β_2 от двух различных направлений и расстояния l_{AP} . Расстояние измеряют светодальномерными насадками, рулетками и другими способами.

Теодолитные ходы (рис. 106) прокладывают между ближайшими пунктами опорной сети (2—3—4...—*н*) или в виде замкнутых полигонов $A—C—1—2—5 \dots —A$. На исходном

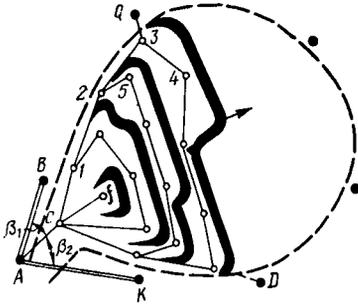


Рис. 106. Схема определения положения пункта съёмочной сети проложением теодолитного хода

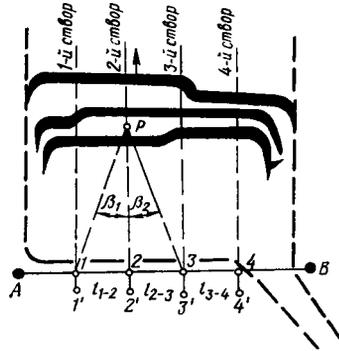


Рис. 107. Схема развития съёмочной сети карьера способом створных линий

пункте измеряют P_1 и p_2 между стороной теодолитного хода и двумя направлениями на пункты опорной сети.

Метод аналитической пространственной фототриангуляции по фотограмметрическим снимкам (наземной или аэрофото-съемки) позволяет определить не только плановые координаты пунктов сети, но и их абсолютные высоты.

Способ створных линий (рис. 107) применяют на карьерах, где земная поверхность, примыкающая к нерабочим бортам карьера, ровная или наклонена в сторону рабочей зоны карьера вытянутой формы.

Развитие съёмочной сети выполняется следующим образом.

На нерабочем борту карьера между пунктами опорной сети A, B через определенный интервал закладывают пункты $1, 2, 3$ и т. д. съёмочной сети. В направлении продвижения фронта работ выносят вспомогательные точки $1', 2', 3'$ и т. д. Положением точек $1-2-2'$ и т. д. закрепляют определенный створ. Координаты пунктов створной линии определяют проложением теодолитного хода. Для определения положения точки P съёмочной сети, находящейся на створе линии $2'-2$, необходимо измерить углы P_1 и p_2 .

Расстояние $k-p$ до определяемой точки находят из решения треугольников $1P_2$ и $2P_3$:

$$l_{2-p} = l_{1-2} \operatorname{ctg} P_1$$

$$l_{1-p} = l_{1-2} \operatorname{ctg} P_2$$

За окончательное значение принимают среднее арифметическое.

Координаты точки P съёмочной сети находят по формулам:

$$X_p = l_{1-p} \cos \alpha_{2-p}$$

$$Y_p = l_{1-p} \sin \alpha_{2-p}$$

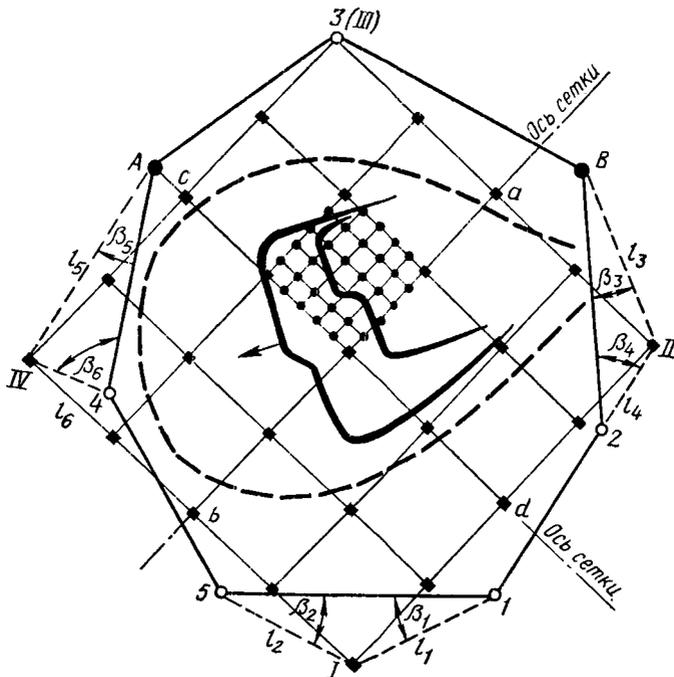


Рис. 108. Схема развития съемочной сети карьера способом эксплуатационной сетки

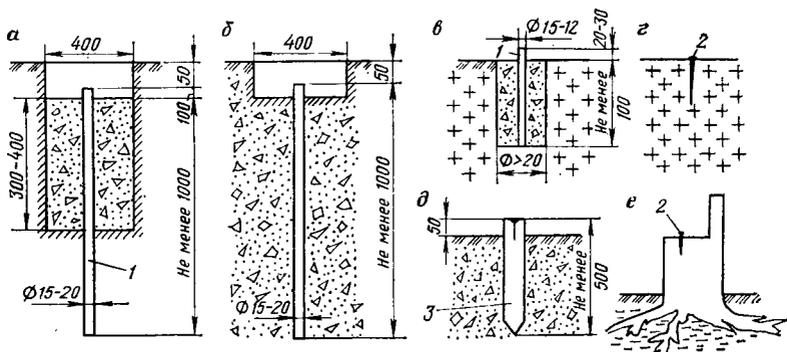


Рис. 109. Типы центров пунктов съемочной сети:

постоянные пункты в рыхлых (а, б) и скальных (в, г) породах; д — временный пункт на местном предмете (пне); / — металлический стержень, труба или буровая штанга от перфоратора; 2 — металлический костыль, гвоздь или клин; 3 — деревянный кол

Способ эксплуатационной сетки (рис. 108). Эксплуатационная сетка представляет собой сеть квадратов, вершинами которых являются пункты съемочной сети. Этот способ развития съемочной сети применяют в основном при дражных и гидравлических разработках, при ровном рельефе земной поверхности. Развитие съемочной сети производят в три ступени.

От пунктов опорной сети *A* и *B* прокладывают полигонометрический или теодолитный ход *A, 3, B, 2, 1, 5, 4, A* (1-я ступень). Затем, используя генеральный план горных работ, составляют проект квадратной сетки с вершинами *1, II, III, IV*, покрывающей поверхность карьерного поля. При этом следят, чтобы одна из вершин (например, III) эксплуатационной сетки совпадала с пунктом хода (пункт 3).

Вершины сетки выносят в натуру по значениям углов и расстояниям. После этого выносят точки, закрепляющие оси сетки *a, Б, с*, а затем разбивают вершины остальных квадратов (2-я ступень). Далее в квадратах основной сетки разбивают сетку квадратов с меньшей по размерам стороной (3-я ступень), пункты которой и служат для выполнения съемочных работ.

В зависимости от размеров карьерного поля и принятого масштаба съемки стороны основной квадратной сетки принимают длиной от 50 до 200 м. Стороны рабочей сетки имеют длины от 5 до 40 м.

Высоты пунктов съемочной сети определяют техническим или тригонометрическим нивелированием с погрешностью не более **0,2 м**.

В зависимости от назначения пункты съемочной сети закрепляют постоянными (рис. 109, *a, б, в, г*) или временными центрами (рис. 109, *д, е*). В качестве центров используют металлические штыри, трубы или перфораторные штанги (см. рис. 109, *a, б, в*), костыли или гвозди (см. рис. 109, *г, д, е*). Эти центры бетонируют или просто забивают в трещину горной породы или местный предмет.

Маркшейдерские съемочные работы на карьерах выполняют способами: стереофотограмметрическим, тахеометрическим, мензульным, перпендикуляров и их комбинациями, рассмотренными в первой части книги.

§113. Маркшейдерские работы при строительстве карьеров

Исходной документацией для производства маркшейдерских работ при строительстве являются: технический проект организации строительных работ; генеральный план строительства; геологический отчет с протоколом об утверждении запасов в Г КЗ; топографический план поверхности; отчет о топографо-

геодезических работах; схема пунктов опорной и съемочной сетей; каталог координат пунктов опорной и съемочной сетей.

При проходке вскрышной или разрезной траншей выполняют вынос оси траншеи, определяют положение верхних и нижних бровок, поперечников и задают требуемый уклон. На поперечных разрезах траншеи указывают последовательность заходов и их сечения, оси, дренажные канавы. На прямолинейных участках траншеи и на всех точках перегиба продольного профиля разбивают поперечные профили через 20—40 м. В створе оси, используя теодолит и ленту, разбивают плюсовые точки, от которых влево и вправо перпендикулярно к ней откладывают проектные расстояния до характерных точек поперечного профиля. При проведении траншей по склону на местности через 20—50 м обозначают кольями линии нулевых работ. На местности после обозначения линии нулевых работ выносят и закрепляют положение оси траншеи. Через каждые 20—30 м реперами фиксируют заданный уклон. Попутно с контролем соблюдения при проходке геометрических элементов траншеи определяют объем вынутой горной массы.

При строительстве карьера с учетом проектного контура карьерного поля, промплощадки и различных коммуникаций разбивают сеть маркшейдерских опорных и съемочных пунктов.

При сдаче карьера в эксплуатацию в маркшейдерский отдел карьера сдается документация, отражающая состояние горных работ, ситуацию и рельеф земной поверхности территории экономической заинтересованности предприятия и систему коммуникаций; каталоги координат пунктов опорной и съемочной сетей; вычисления ориентировок подземных горных выработок (при комбинированной системе разработки месторождения); каталоги координат устьев геологоразведочных и дренажных выработок, данные подсчета объемов добычи и вскрыши.

§ 114. Съемка и документация буровзрывных работ

Маркшейдерские работы при подготовке горных пород к выемке буровзрывным способом включают: подготовку графической документации, необходимой для составления технического проекта взрыва; производство разбивочных работ по выносу в натуру проектной сетки скважин; выполнение исполнительной съемки сетки пробуренных скважин на участке взрываемого блока; определение объема взорванной горной массы.

Подготовка графической документации заключается в составлении выкопировки в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000 на участок подготавливаемого к взрыву блока с погоризонтного плана горных работ, на котором при необходимости дополнительно указывают контакты пород с различными характеристиками по

буримости и взрываемости, направление трещиноватости и тектонические нарушения.

Полученный в результате съемки план используется для составления проекта сети взрывных скважин. Маркшейдерская служба выполняет разбивку сетки скважин в натуре полярным методом или методом перпендикуляров. Углы откладывают теодолитом с точностью до 5', а расстояния рулеткой или по дальномеру с точностью до 0,1 м. При этом особое внимание уделяют разбивке скважин первого ряда от бровки уступа.

По завершении буровых работ делают исполнительную съемку поверхности подготавливаемого к взрыву блока и сети взрывных скважин с измерением фактической глубины каждой. Абсолютные отметки устьев скважин находят геометрическим или тригонометрическим нивелированием. Кроме этого, против скважин первого ряда делают профильную съемку откоса уступа.

При производстве съемочных работ фотограмметрическими методами профиль откоса уступа вычерчивают по тем же негативам, которые используют для составления дополнительных планов. Профильную съемку можно выполнить тахеометрами-автоматами типа ТВ (СССР) или ВИТ-ООБ (ГДР). Съемка откоса уступа может быть сделана также с помощью эклиметра и прикрепленной к нему рулетки, к концу которой подвешивают груз. По каждому профилю груз перемещают по откосу от нижней к верхней бровке уступа. Положение характерных точек откоса определяют измерением расстояний до точки установки эклиметра и угла наклона каждого направления. Угол наклона измеряют эклиметром. Значение расстояния отсчитывают по рулетке с подвешенным грузом. Профильную съемку можно выполнить также с помощью специальной штанги, через конец которой пропускают ленту рулетки с подвешенным грузом.

Глубину скважин определяют рулеткой с подвешенным грузом.

По данным исполнительной съемки составляют паспорт буровзрывных работ. Для каждой скважины с учетом ее глубины, линии сопротивления по подошве и величины перебура рассчитывают величину заряда взрывчатого вещества.

После взрыва производят съемку развала горной массы, по результатам которой определяют объем взорванной массы U_p (в m^3). Качество буровзрывных работ определяют величиной коэффициента разрыхления горной массы C_p и выходом негабарита. Значение находят по формуле $K_p = C_p / U_{ц}$, если взрыв производится на зачищенную рабочую площадку, и по формуле

$$K_p = \frac{U_p - 1 \cdot U_{p,0}}{U_{ц}} \quad (76)$$

Если взрыв производится на неубранную горную массу. В формуле (76) обозначено: $K_p \cdot 0$ — объем взорванных пород, оставленный после предыдущего взрыва; $K_{ц}$ — объем взорванных пород в целике. Величину $V_{ц}$ находят по данным съёмки этого участка после отгрузки взорванной массы.

Взрывные работы используются как при подготовке пород к выемке, так и при проходке горных выработок. Маркшейдерские работы выполняются в аналогичной последовательности. В случае, если взрывные выработки пройдены в виде шурфов, камер или штреков, то вынос их в натуру и съёмка производятся также, как и при подземной разработке месторождений.

§ 115. Маркшейдерские работы при разбивке транспортных путей и работе транспортно-отвальных мостов

Разработка месторождений открытым способом сопровождается перемещением значительных объемов горной массы. Транспортировка объемов добычи и вскрыши на карьерах осуществляется различными видами транспорта: железнодорожным, автомобильным, тракторным, конвейерным, гидравлическим, подвесными канатными дорогами, кабельными кранами и скиповыми подъемниками. Наибольшее распространение получили железнодорожный, автомобильный и конвейерный виды транспорта.

При железнодорожном транспорте маркшейдерские работы включают: перенесение в натуру оси трассы и поперечного профиля сечений; разбивку отводных путей и стрелочных переводов; съёмку и документацию постоянных рельсовых путей; выполнение периодических наблюдений за состоянием подвижных забойных путей.

Разбивочные работы по сооружению железнодорожных и автомобильных путей и способы контроля за их сооружением выполняются аналогично работам, описанным в § 65.

Отличия в работах имеются при сооружении забойных путей. При разбивке осей забойных путей определяют их расстояние от забоя, которое обеспечивало бы выемку очередного блока горной массы без переноса путей. Необходимо также учитывать, чтобы пути не были завалены горной массой при производстве взрывных работ.

Конвейерный транспорт находит все более широкое применение вследствие своих преимуществ перед двумя первыми. Одним из преимуществ является возможность перемещения горной массы на значительном подъеме.

Маркшейдерские работы в данном случае состоят в выносе в натуру осей конвейерных и канатных линий и места установки опор, определении высотных отметок в начале и конце

линии, контроле соблюдения проектного уклона. При канатном транспорте также контролируется высота опор. В процессе эксплуатации линий производят периодические съемки для контроля их состояния.

На некоторых карьерах, преимущественно с внутренним отвалообразованием, выемка вскрышных пород, транспортировка и укладка в отвалы осуществляется одним агрегатом — транспортно-отвальным мостом. Основными частями транспортно-отвального моста являются: добычной орган, обеспечивающий экскавацию горной массы (роторный, ковшовый, скребковый или другой экскаватор); три фермы — пролетная, консольная и отвальная; две опоры с ходовыми тележками, расположенными на концах пролетной фермы.

Маркшейдерские работы по обеспечению эксплуатации транспортно-отвального моста слагаются из периодической съемки уступов и рабочих площадок, контроля за горизонтальной, вертикальной и угловой подвижностью моста и деформациями его металлоконструкций.

Перемещение транспортно-отвального моста требует строго выверенной поверхности под опорными тележками, исключаящей деформацию его конструкции. Перемещение опор может осуществляться по рельсам или с помощью гусениц. Это обуславливает необходимость постоянного контроля за их плановым положением, уклоном и соответствием паспортных данных рельсовых путей моста.

Горизонтальной подвижностью моста называется допустимый предел изменения горизонтального расстояния между осями его опор. Длина пролета может быть измерена различными способами (непосредственно рулетками, с помощью различного рода засечек или решением обратной задачи по координатам точек) с точностью не менее 0,2—0,3 м. Если измеренное фактическое расстояние превышает допустимое, то необходимо перестилить пути.

Вертикальной подвижностью моста называется допустимый предел изменения превышения между его опорами за счет разного уровня головок рельс или неровностей поверхности рабочей площадки. При контроле за вертикальной подвижностью моста периодически делают нивелировку рабочей площадки и рельсовых путей. По этим данным определяют отклонения фактического уклона путей от проектного, а также следят, чтобы зазор между отвальной консолью моста и гребнем отвала был не менее 3 м. Нивелирование может осуществляться геометрическим или тригонометрическим способом с погрешностью не более 4 см на 1000 м хода.

Угловой подвижностью моста называется допустимый предел отклонения продольной оси моста от нормали к фронту горных работ. Угловая подвижность находится по данным

съемочных работ путем измерения угла отклонения его оси от нормали или определения опережения опор.

При перемещении по транспортно-отвальному мосту значительного объема горной массы с большой скоростью в его металлоконструкциях возникают различного рода деформации. Для того чтобы эти деформации не вызвали нарушения его конструкции, необходимо постоянно знать их величины.

Определение деформаций осуществляется геодезическими или фотограмметрическими способами. Фотограмметрический способ обеспечивает не только определение координат всех точек моста в одно время и под погрузкой, но и делает эти работы безопасными.

Величину деформации находят путем сопоставления фактических размеров геометрических элементов моста с проектными. Полученные значения сравнивают с допустимыми.

§116. Определение объема вскрыши и учет добытого полезного ископаемого

Определение объема вскрыши и учет добытого полезного ископаемого по данным маркшейдерских работ выполняют с целью периодической проверки соответствия фактических и отчетных данных оперативного учета.

Маркшейдерский контроль добычи и вынутых вскрышных пород заключается в том, что периодически определяют: объемы вынутых горных пород по данным маркшейдерских съемок; среднюю полноту загрузки транспортных сосудов для повышения точности оперативного учета; остатки полезного ископаемого на складах для корректирования по ним книжных остатков.

Оперативный учет добычи и объема вскрыши на карьерах осуществляется путем подсчета количества отгруженных сосудов и определения находящейся в одном сосуде средней горной массы. Этот вид работ выполняет диспетчерская служба карьера. Объем вскрыши находят по формуле

$$V = nY_nK_zK_p,$$

где n — число отгруженных емкостей; Y_n — паспортный объем сосуда, м³; K_z — коэффициент загрузки сосуда; K_p — коэффициент разрыхления горной породы.

Наиболее точные сведения о количестве добытого полезного ископаемого и объеме вскрыши получают по результатам маркшейдерского учета. Определение объемов горной массы может выполняться по планам горных работ или аналитическим способом непосредственно по данным маркшейдерских съемочных работ. Объемы горных пород могут быть найдены способами среднего арифметического, горизонтальных и вертикальных се-

чений, объемной палетки и др. Объем полезного ископаемого на складах определяют по данным съемочных работ, вид которых зависит от формы склада или бункера.

Методы оперативного учета должны обеспечивать определение месячного объема вскрыши или добычи с погрешностью не более 5%. Погрешность нахождения величины объема добычи и вскрыши по данным маркшейдерских съемочных работ не должны превышать указанных ниже величин.

Объем вынутых пород, тыс. м ³	до 20;	20—50;	50—100;	100—200;
Допустимая относительная разность объемов вынутых пород при контрольном под- счете, %.....	15;	12;	9;	6;

Продолжение

Объем вынутых пород, тыс. м ³	200—500;	500—1000;	1000—2000;	более 2000
Допустимая относительная разность объемов вынутых пород при контрольном под- счете, %.....	4;	3;	2;	1

§ 117. Съемка отвалов

Маркшейдерские работы при отвалообразовании включают: обеспечение подготовки площадей для отвалов пустой породы, некондиционных руд и полезного ископаемого; перенесение в натуру проектного положения транспортных коммуникаций для транспортировки горной массы; периодическое выполнение съемки отвалов, наблюдения за деформацией отвалов.

Обеспечение подготовки площадей под отвалы заключается в составлении графической документации на отведенную под них территорию в масштабах от 1 : 1000 до 1 : 5000. Съемка отвалов производится одним из указанных выше методов съемочных работ. Расстояние между прибором и реечной точкой, если объем отвала не более 100 тыс. м³, не должно превышать 60 м, а при больших объемах—100 м. Соответственно расстояния между реечными точками должны быть не более 10 и 15 м. При сложной поверхности отвала эти расстояния уменьшаются до 6—10 м.

§ 118. Маркшейдерские работы при дражной и гидравлической разработке месторождений

Разработку россыпных месторождений золота, платины, алмазов и других металлов в основном производят дражным или гидравлическим способами.

Драга представляет собою плавучий землечерпальный снаряд непрерывного действия, оснащенный промывочными и обоганительными установками. Промытые горные породы транспортируются по пульповоду и укладываются в хвосты.

Технология разработки месторождений гидравлическим способом состоит в разрушении, разрыхлении и транспортировке породы на обоганительные установки, а затем в отвалы мощной струей воды, подаваемой гидромонитором под большим давлением.

Маркшейдерское обеспечение при дражной разработке месторождений включает следующие виды работ: съемку земной поверхности, отведенной под дражный полигон; обеспечение проектирования дражных работ, для чего составляют гипсометрический план плотика россыпи (поверхности лежащего бока россыпи); разбивку транспортных коммуникаций производят такими же способами, как и на карьере.

Перед съемочными работами, в зависимости от метода съемки, на поверхности отвалов разбивают съемочную сеть. Отвалам полезного ископаемого придают по возможности правильные геометрические фигуры. Съемку отвалов осуществляют способами, аналогичными съемке карьерного поля. При съемке отвалов тахеометрическим или мензурным способом съемочные точки определяют прокладкой тахеометрических или мензурных ходов между пунктами постоянной съемочной сети. Кроме перечисленных видов маркшейдерских работ при дражной разработке маркшейдерское обеспечение включает: составление плана вертикальных изомощностей и плана изолиний среднего содержания металла; контроль за правильностью земляных работ по снятию и складированию растительного слоя; осуществление переноса в натуру всех гидротехнических сооружений (плотины, водоотводного канала и т. д.); контроль правильности монтажных работ по сооружению драги; определение после спуска драги на воду ее поперечного и продольного дифферентов, вызванных некорректным размещением оборудования (величина дифферента не должна превышать $1—1,5^\circ$).

Перед началом эксплуатации полигона по данным исполнительной съемки составляют эксплуатационный план дражного полигона в масштабе $1 : 1000$ или $1 : 2000$.

Съемку дражных выработок производят через 20—30 м продвижения драги. Съемку осуществляют или непосредственно с драги с использованием нивелирной рейки, наметки, лотиния, или аналогичными инструментами с другого плавсредства, а также эхолотом. Определение положения плавсредства или драги выполняют такими же способами, что и при подводной добыче.

Кроме съемки подводных горных выработок через Ю—20 ад

подвигания драги определяют глубину черпания с точностью до 0,1 м. Высоты точек поверхности дна и горных выработок находят вычитанием из высотной отметки уровня воды в дражном полигоне измеренных глубин черпания на данный момент времени. Контроль положения уровня воды с точностью до 0,01 м производят с помощью двух водомерных реек или специального уровнемера. Правильность положения реек (уровнемера) определяют геометрическим нивелированием от реперов (пунктов) высотной опорной сети. В зимний период при отстое драги производят постоянные маркшейдерские наблюдения за положением уровня воды и понтона драги, состоянием плотика.

Определение объема земляных работ по снятию растительного слоя и торфов выполняют по результатам геометрического нивелирования. Нивелирование делают по сетке квадратов со стороной 10—20 м до и после проведения горноподготовительных работ.

Объем горной массы, заключенный в плотинах и дамбах, извлеченный при проходке канав и строительстве котлованов, определяют на основе данных их профильной съемки. Объемы вычисляют с учетом коэффициентов разрыхления грунта. Объемы добычных работ определяют по блокам, на которые разбивается весь дражный полигон. Значение объема может быть получено любым способом: среднего арифметического, вертикальных разрезов, объемной палетки.

При гидравлическом способе разработки россыпных месторождений маркшейдерской службой решается аналогичный комплекс задач. Отличительной особенностью данного способа является выполнение проектных работ по выбору наиболее оптимального варианта расположения плотины, водоприемника, а также трассы деривационной канавы. Основой для проведения технико-экономических расчетов по обоснованию выбранного места размещения этих сооружений служат маркшейдерские планы, разрезы и профили.

§ 119. Маркшейдерские работы при рекультивации земель на карьерах

Ежегодное увеличение объемов добычи полезных ископаемых открытым способом приводит к возрастанию земельных площадей, занятых под горные разработки. Поэтому проблема рекультивации (восстановления) земель, нарушенных ведением горных работ, является очень актуальной и имеет важное народнохозяйственное значение.

Маркшейдерской службой горных предприятий на всех стадиях отработки месторождений выполняется определенный

комплекс маркшейдерских работ по обеспечению рекультивации земель, который включает:

подготовку исходных данных и материалов для текущего и перспективного планирования рекультивации;

участие в разработке мероприятий по рекультивации нарушенных земель и обеспечение сохранности плодородных почв;

развитие на рекультивируемой территории сети опорных и съемочных пунктов;

производство топографических и специальных видов съемок на начало рекультивации, в процессе и по ее окончании;

составление маркшейдерской документации, связанной с проектированием и выполнением как отдельных этапов, так и в целом рекультивационных работ;

работы, связанные со снятием плодородных почв и почвообразующих пород и включающие в себя определение мощности почвенного и подпочвенного слоев и их объемов, а также мест для размещения снятых плодородных почв и возможности использования их в дальнейшем;

составление почвенных планов и производство учета запасов, потерь и разубоживания наиболее ценных плодородных почв;

учет объемов выполненных работ по планировке земной поверхности, снятию грунта, укладке на место складирования;

производство съемки недоступных участков земной поверхности и дна затопленных карьеров;

выполнение работ, связанных с селективной выемкой и укладкой в отвалы вскрышных пород;

обеспечение горно-строительных работ по выколаживанию и террасированию откосов карьеров, породных отвалов и созданию искусственных водохранилищ;

контроль за формированием корнеобитаемого горизонта на рекультивируемых территориях;

работы, связанные с защитой от эрозии и благоустройством рекультивируемой территории, основное содержание которых заключается в контроле развития корневой системы растительного покрова в грунте и правильном размещении его наземной массы на поверхности рекультивируемой территории;

участие в работе комиссии по сдаче землепользователям рекультивированных земель и подготовка графических материалов к акту передачи восстановленных земель.

При решении этих задач маркшейдерская служба использует методы и приемы работ, аналогичные выполняемым при открытом способе разработки месторождений, т. е. снятие, транспортирование и складирование породной почвы с территории горных работ подобно горным работам в карьерах.

ГЛАВА 24

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ШАХТ

§ 120. Задачи маркшейдерской службы

Маркшейдерские работы в шахтном строительстве являются одним из важнейших и ответственных звеньев производственного процесса. Их основная задача заключается в обеспечении всех геометрических элементов строящихся зданий и сооружений на поверхности и в горных выработках в соответствии с утвержденным проектом.

Маркшейдерские работы на строительной площадке начинают с разбивки первого колышка и завершают в момент сдачи предприятия в эксплуатацию. Ход строительных работ определяет основные задачи маркшейдерского обеспечения: перенесение с проекта в натуру геометрических элементов зданий, сооружений и горных выработок, осуществление контроля за соблюдением заданных геометрических элементов в процессе строительства, производство маркшейдерских съемок и составление исполнительных планов и разрезов.

Перенесение геометрических элементов строящихся объектов с проекта в натуру носит название разбивочных работ. Они состоят в перенесении с проекта на местность и в горные выработки углов, линий и точек, определяющих положение строящихся объектов.

При выполнении разнообразных разбивок важнейшей задачей является обеспечение таких методов и точности маркшейдерских измерений и вычислений, чтобы их ошибки не превысили значений, допускаемых нормативными документами (Инструкцией по производству маркшейдерских работ [9], СНиПами, особыми техническими условиями проекта).

Не менее важное значение имеет постоянный маркшейдерский контроль за соблюдением заданных проектом геометрических элементов зданий и сооружений в процессе строительства. При этом отклонения геометрических элементов, превышающие допустимые, должны быть немедленно устранены.

Маркшейдерские съемки, выполняемые в процессе строительства, служат как для контроля за соблюдением соотношений геометрических элементов строящихся объектов, так и для решения различных инженерных задач.

При выполнении перечисленных работ требуются особая внимательность и аккуратность, так как от качества этих работ в значительной мере зависит качество построенных объектов.

§ 121. Маркшейдерские работы при строительстве сооружений и планировке промышленной площадки

Основными видами маркшейдерских работ, выполняемых в процессе строительства зданий и сооружений на промышленной площадке, являются разбивочные работы по созданию сети опорных пунктов и выносу в натуру основных осей строящихся объектов, проверка правильности монтажа оборудования, исполнительная съемка и составление маркшейдерской документации.

Положение основных зданий и сооружений на промплощадке определяется строительным генеральным планом, на котором указывают привязки всех строящихся объектов к центрам шахтных стволов и их осям, являющихся главными строительными осями промплощадки.

Положение центра шахтного ствола и его осей указывают в проекте в системе координат, принятой на поверхности.

Таким образом, центр ствола и его оси служат основой для производства всех разбивочных работ на промплощадке, а в дальнейшем — при сооружении ствола и проверке правильности монтажа подъемного комплекса.

Практическое выполнение разбивочных работ по перенесению запроектированных объектов в натуру рассмотрены в гл. 14.

Вынесение в натуру центра ствола шахты и его осей. Осями вертикального шахтного ствола называют две взаимно перпендикулярные прямые, одна из которых параллельна, а другая перпендикулярна основным расстрелам.

Оси ствола являются осями симметрии его горизонтального сечения; точка осей ствола служит его центром.

Исходными данными для вынесения центра ствола O с проекта в натуру служат его координаты x_0, y_0, z_0 , а для разбивки осей ствола — дирекционный угол α одной из осей. Перенесение центра ствола производят от пунктов маркшейдерской опорной геодезической сети, удаленных от места заложения ствола не более чем на 300 м. Вынесение центра ствола производят независимо дважды. Расхождение в положении центра ствола из двух определений не должно превышать 0,2 м; расхождение дирекционного угла главной оси не должно превышать $2'$, а погрешность разбивки другой оси, перпендикулярной главной, не должна превышать $30''$ относительно главной. Если, однако, сооружаемый ствол геометрически связан с технологическим комплексом действующей шахты, центр и главную ось ствола выносят с пунктов опорной маркшейдерской сети, использованных при ориентировании шахты, или от осевых пунктов существующего шахтного ствола.

Для вынесения центра и осей ствола в натуру прокладывают полигонометрический ход 2 разряда от пунктов геодезической сети, удаленных от ствола не более чем на 300 м. С конечного пункта полигонометрического хода в зависимости от топографических условий центр ствола выносят одним из способов: полярных координат, угловой или линейной засечки (см. § 69).

Центр ствола закрепляют временной точкой, вычисляют его фактические координаты. Оси ствола разбивают теодолитом, установленным в центре ствола. Разбивочный угол ρ вычисляют по разности дирекционных углов 1-й оси a и направления от центра ствола O на последнюю точку K полигонометрического хода:

$$\rho = a - (\text{OK}).$$

Отложив теодолитом угол ρ , направление первой оси закрепляют осевыми пунктами (реперами). Для перенесения второй оси откладывают от первой оси угол 90° и также закрепляют ее осевыми реперами. Число осевых реперов на каждой оси должно быть не менее шести — по три с каждой стороны ствола. Осевые пункты при разбивке закрепляют временными точками (кольями), затем на их месте закладывают постоянные (бетонные) центры. Места закладки осевых реперов выбирают с учетом взаимной видимости между смежными пунктами, их долговременной сохранности от застройки или подработки, обеспечения видимости подшивной площадки копра и направляющих шкивов хотя бы с одного пункта, расположенного за зданием подъемной машины.

Построение разбивочной (строительной) сети. Детальные разбивочные работы при строительстве технологического комплекса, шахтной поверхности крупных предприятий выполняют с осевых пунктов шахтных стволов, а также с пунктов специальной разбивочной (строительной) сети, создаваемой до начала строительства.

Разбивочную сеть проектируют на стройгенплане в виде системы прямоугольников со сторонами, параллельными осям шахтных стволов. Основные пункты сети располагают в вершинах прямоугольников, дополнительные пункты — в створе между основными. Длины сторон между основными пунктами в соответствии с размерами блоков в плане выбирают от 80 до 350 м.

Вынесение начального пункта и направлений, от которых производят построение разбивочной сети, выполняют согласно требованиям, предъявляемым к вынесению в натуру центра и осей шахтного ствола.

По основным пунктам разбивочной сети прокладывают полигонометрические ходы 2 разряда, затем производят уравни-

вание сети и ее редуцирование, заключающееся в сравнении значений полученных и проектных координат, вычислении поправок по осям координат и внесении этих поправок путем отложения их вдоль осей абсцисс и ординат, прочерченных на верхних гранях постоянных знаков.

После построения сети выполняют контрольные измерения. При этом отклонения в значениях измеренных углов от проектных (90 или 180°) не должны превышать $30''$.

Высотные отметки пунктов строительной сети определяют нивелированием IV класса.

Вертикальная планировка поверхности промышленной площадки— это выравнивание естественной поверхности участка с целью оптимального размещения строящихся зданий, сооружений, подъездных путей и стока атмосферных вод.

Маркшейдерские работы по планировке промплощадки начинают с перенесения на местность ее границ по углам и длинам сторон, указанным в проекте. Точки поворота закрепляют постоянными знаками, производят контрольные измерения и вычисления координат пунктов. Затем разбивают обоснование в виде сетки пикетов на поверхности площадки. Характер рельефа, форма промплощадки и степень ее застроенности определяют выбор формы сетки пикетов. При равнинном рельефе и небольшой застроенности целесообразно применение квадратной сетки. Если площадка вытянута, пикеты разбивают по линиям, имеющим продольное направление, а также по поперечным профилям. При сложном рельефе и в условиях значительной застроенности пикеты сетки разбивают полигонами на отдельных участках площадки.

Длину сторон сетки в зависимости от рельефа и размеров промплощадки выбирают в пределах $10—30$ м. Пикеты в натуре переносят с помощью теодолита и закрепляют деревянными кольями и сторожками. После этого по горизонталям топографического плана, на котором составлен проект сетки, либо геометрическим нивелированием определяют высоты U всех пикетов. Далее вычисляют рабочие отметки пикетов

$$h = z_i - Z_{up},$$

где z_{np} — проектная отметка промплощадки. Значение и знак рабочей отметки показывает глубину выемки или высоту насыпи на соответствующем пикете. Полученные рабочие отметки выписывают на сторожки пикетов, а также на план вертикальной планировки.

На плане через точки, рабочие отметки которых равны нулю, проводят линию нулевых работ, являющуюся границей между участками земляных работ с выемкой и насыпью грунта.

Объем земляных работ подсчитывают отдельно для участков с выемкой и насыпью грунта:

$$V_{\text{выемки}} = -f \cdot 2hsKp$$

$$V_{\text{насыпи}} \sim 2f/s,$$

Лупл

где s — площадь элементарного участка сетки (квадрата, прямоугольника, трапеции); Kp — коэффициент разрыхления грунта; $K_{\text{упл}}$ — коэффициент уплотнения грунта; h — рабочая отметка элементарного участка, м (например, отметка правой нижней вершины для всех элементарных участков).

После выполнения земляных работ на спланированном участке восстанавливают все пикеты, нивелируют и вычисляют их высоты, составляют новый рельеф и сравнивают его с проектным.

Разбивка зданий и сооружений на промплощадке шахты (рис. 110). Вынесение на местность основных осей зданий, блоков сооружений и фундаментов выполняют способом перпендикуляров или полярным способом. Затем по вычисленным разбивочным элементам сначала выносят точки A и B пересечения основных осей здания. С точек A и B створными засечками разбивают точки 1, 2, 3, 8 пересечения осей фундамента с основными осями $I-I$, $II-II$, $III-III$. Точки $a, б, \dots, к$ пересечения осей фундамента находят угловыми или линейными засечками с точек 1, 2, 3, ..., 8.

Основные оси здания и фундамента закрепляют осевыми пунктами с условием обеспечения их сохранности на весь период строительства. При закладке фундамента его оси выносят на обноски, представляющие собой доски, прибитые горизонтально к двум столбам на высоте 1—1,5 м. Обноски располагают перпендикулярно осям фундамента не ближе 3 м от наружных стен.

Осевые пункты зданий и сооружений располагают не далее 25 м от пунктов или сторон разбивочной сети; направления с исходных на определяемые пункты задают с точностью до

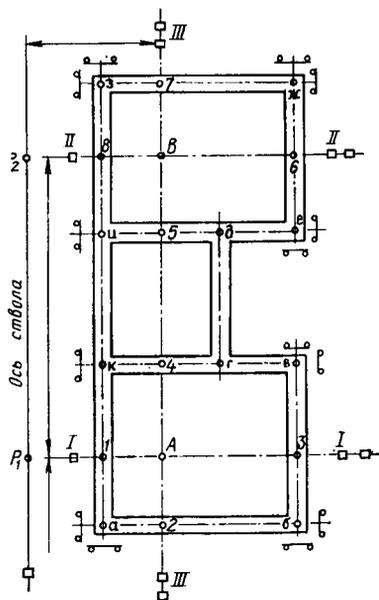


Рис. 110. Схема разбивки осей здания и фундамента

Г, а расстояния — до 1 см; высоты пунктов определяют техническим нивелированием.

Чтобы сохранить от уничтожения во время земляных работ оси трассы подъездных путей, вынесенные на местность при изысканиях и проектировании, на соседние участки местности переносят характерные точки этой трассы. Применяют для этого способы створа, угловой и линейной засечек, прямоугольных координат и полярный. Вынесенные точки трассы надежно закрепляют, на сторожках подписывают их номера, составляют план-схему вынесения оси трассы.

§ 122. Маркшейдерские работы при сооружении шахтного подъема

Комплекс сооружений вертикального шахтного подъема (рис. 111) состоит из подъемной машины с органами навивки (барабанами), копра с направляющими шкивами, подъемных канатов и подъемных сосудов, проводников. При производстве разбивочных работ и проверке правильности возведения, установки и монтажа объектов подъемного комплекса основные задачи маркшейдера заключаются в перенесении в натуру геометрических осей сооружений и оборудования и в обеспечении соблюдения в соответствии с проектом всех геометрических элементов и их соотношений в процессе строительных и монтажных работ.

Основные геометрические элементы вертикального подъема при одноканатном подъеме.

Ось подъема — прямая, перпендикулярная оси главного вала подъемной машины и проходящая через середину отрезка между осями двух подъемных канатов в их отвесном положении.

Центр подъема — точка пересечения оси подъема и прямой, проходящей через оси двух подъемных канатов в их отвесном положении.

Высота копра Y_k — высота оси вращения верхнего направляющего шкива над нулевой площадкой.

Осевая плоскость направляющего шкива — плоскость, проходящая через середину между внутренними гранями реборд шкива.

Длина струны каната L — расстояние между точками схода каната со шкива и барабана; при этом верхняя струна несколько короче нижней. Для практических расчетов принимают за нормальное расстояние L_s между осями вращения барабана и шкива.

Углы наклона подъемных канатов ϕ_n и $\langle p_v$ — углы, составляемые осями нижнего и верхнего канатов с горизонтальной плоскостью при отсутствии провисания.

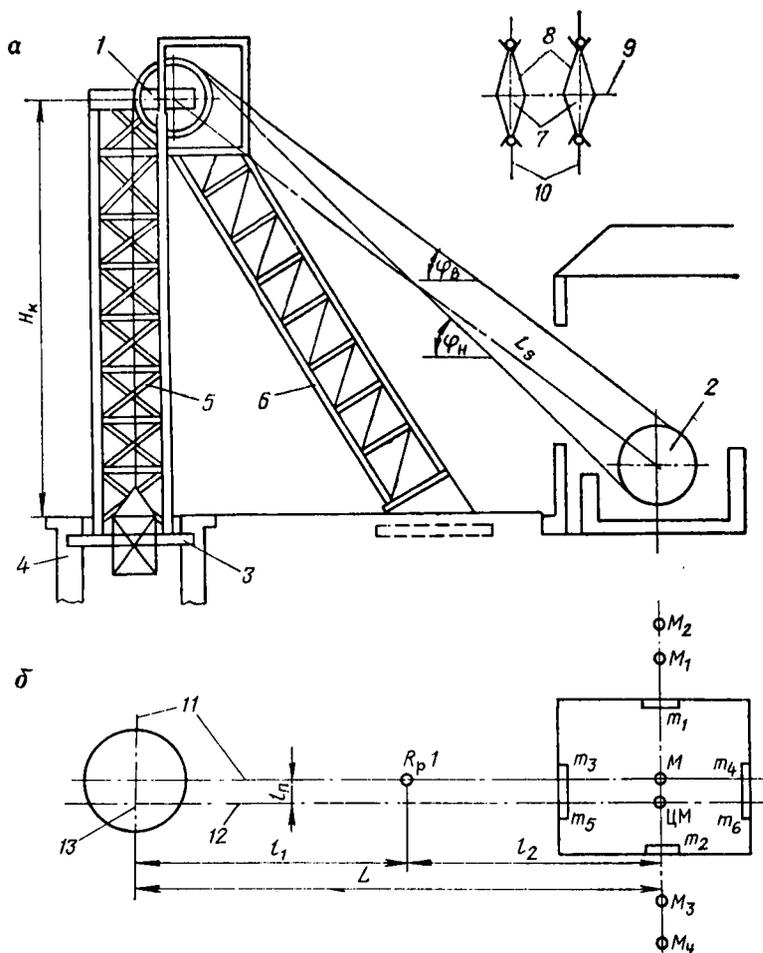


Рис. III. Схемы подъемной установки (а) и разбивки главного вала подъемной машины и оси подъема (б):

1 — подшивная площадка; 2 — барабан подъемной машины; 3 — подкопровая рама; 4 — шейка створа; 5 — станок копра; 6 — укосина; 7 — центры шкивов; 8 — шкивы; 9 — ось вала шкива; 10 — плоскости симметрии шкива; 11 — оси створа; 12 — ось подъема; 13 — центр подъема

Углы девиации (отклонения) каната на барабане a_n , a_b — углы (наружный и внутренний), образованные струной каната и ее проекцией на вертикальную плоскость, перпендикулярную к оси главного вала подъемной машины.

Углы девиации (отклонения) каната на шкиве R_n , R_b — углы (наружный и внутренний), образованные струной каната и ее проекцией на осевую плоскость шкива.

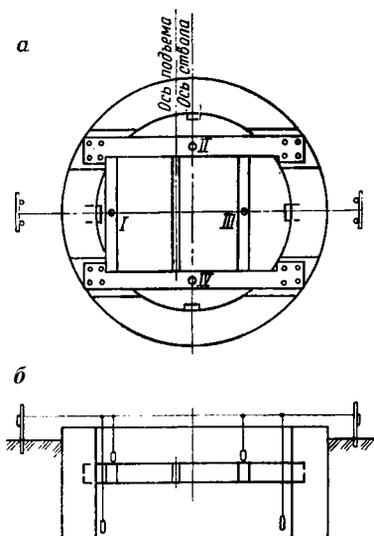
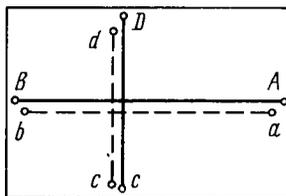


Рис. 112. Схемы установки подкопровой рамы:

а — в плане; б — в разрезе

Рис. 113. Схема перенесения оси ствола на подшивную площадку



Разбивка и контрольные измерения при установке копра и направляющих шкивов. Возведению постоянного копра предшествуют работы по установке подкопровой рамы, которая служит опорой станка копра, и по сооружению фундаментов под ноги укосины копра.

Подкопровую раму с размеченными осевыми точками *I, II, III, IV* укладывают в проемы шейки ствола на анкерные болты, положение которых должно быть подготовлено заранее в соответствии с проектом. Проверку положения рамы по высоте (рис. 112, *а*) выполняют нивелированием угловых точек, а в горизонтальной плоскости (рис. 112, *б*)—с помощью отвесов, опущенных с проволок, натянутых по осям ствола. Допустимые отклонения в установке подкопровой рамы от проектного положения для металлических копров не должны превышать по разности высоты углов 5 мм, по средней высоте 30 мм и в плане 5 мм.

Разбивку осей и проверку сооружения фундаментов под ноги укосины производят от осей ствола.

Установку станка копра на подкопровую раму выполняют двумя способами — подъемом в готовом виде после сборки на монтажной площадке и наращиванием отдельных звеньев на подкопровой раме.

До подъема копра или до окончания монтажа верхних панелей станка копра на подшивной площадке размечают осевые точки *A, B, C, D* (рис. 113).

Правильность установки копра после окончания его мон-

тажа проверяют теодолитом, установленным на одном из осевых пунктов ствола, но не далее 100 м от него и не ближе расстояния, равного высоте копра.

Теодолит ориентируют по оси ствола, затем, используя накладной уровень при двух положениях трубы, выносят точки *a* и *б* оси ствола на подшивную площадку; средние положения точек *a* и *Б* закрепляют кернением. Аналогично выносят на подшивную площадку другую ось, при этом закрепляют точки *c* и *й*.

Отклонение фактического положения оси ствола *аБ* и *сЙ* на подшивной площадке от их проектного положения *АВ* и *Сй* не должно превышать 50 мм в направлении, параллельном оси подъема, и 25 мм — в направлении, перпендикулярном к оси подъема.

При невозможности установки подшивной площадки в проектное положение с допустимыми отклонениями, производят профильную съемку копра. Отклонение каждого ребра станка копра в плане от проекции отвесной линии определяют проецированием соответствующих точек, расположенных на различных уровнях ребра, с помощью теодолита на рейку, установленную горизонтально у основания ребра.

Контроль правильности установки направляющего шкива заключается в определении отклонения положения его осевой плоскости от оси ствола, отклонения оси вала шкива от проектного положения вдоль оси ствола, а также отклонения оси вала шкива от горизонтального положения, а осевой плоскости шкива — от отвесного.

Для выполнения этих работ от оси ствола (рис. 114) *аБ* измеряют расстояния l_1 , l_1' , l_2 , l_2' до внешних граней реборд шкива на концах *М* и *Н* его горизонтального диаметра.

Средние расстояния осевой плоскости шкива на концах *М* и *Н* его диаметра от оси ствола определяют по формулам:

$$a^* = (\sqrt{x})/2; a_2 = l/2.$$

Повернув шкив на 180°, повторяют измерения и вычисления. За окончательные значения расстояний a_1 и a_2 принимают средние результаты из двух определений. Отклонения результатов контрольных измерений a_1 и a_2 от их проектных значений, а также друг от друга не должны превышать 10 мм.

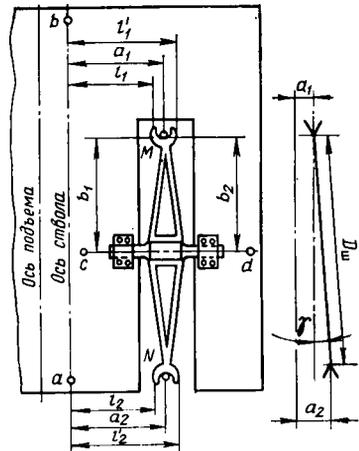


Рис. 114. Схема проверки установки направляющих шкивов

Угол между осевой плоскостью шкива и осью ствола находят (в угл. мин) из выражения

где D_p — диаметр шкива; p — радиан, равный $3438'$.

Положение вала шкива вдоль оси ab ствола проверяют измерениями расстояний b_1 и b_2 от оси вала шкива до второй оси cd ; среднее значение b вычисляют по формуле

$$b = (b_1 + b_2) / 2,$$

Отклонение оси вала копрового шкива от горизонтального положения проверяют нивелированием концов вала с погрешностью не более 1 мм. Допустимые отклонения оси шкива от горизонтального положения устанавливаются техническими условиями монтажа оборудования данной подъемной установки.

Разбивочные работы и контроль установки подъемной машины. Разбивочные работы при установке подъемной машины начинают с перенесения в натуру точки M пересечения оси ствола и главного вала подъемной машины. С ближайшего к месту установки машины осевого репера по оси ствола откладывают расстояние $l_2 = L - l_1$ (см. рис. 111, б); точку M закрепляют временным знаком. Установив в точке M теодолит, откладывают от оси ствола прямой угол, а за пределами здания машины разбивают осевые точки M_1, M_2, M_3, M_4 и закрепляют их постоянными знаками.

Фундаменты здания машины выносят с осевых точек. В верхней части машинного зала при возведении стен по оси главного вала машины, по оси ствола и по оси подъема закладывают металлические (осевые) скобы, которые используют для монтажа подъемной машины и для контрольных измерений.

С помощью теодолита, установленного в точке M , на осевые скобы переносят точки m_1, m_2 оси главного вала машины и точки n_3 , оси ствола. Перенесением расстояния l_2 от точек t_3 и m_1 находят положение на скобах точек m_3, t_6 оси подъема. Точку ЦМ пересечения оси главного вала машины и оси подъема принимают за центр подъемной машины. Точки m_1, m_2, \dots , те на осевых скобах закрепляют насечками. Значение дирекционного угла оси главного вала не должно отличаться от проектного более чем на $2'$. Угол между закрепленными осями не должен отличаться от прямого более чем на V . Внутри здания подъемной машины закладывают высотный репер, на который переносят отметку с пунктов строительной (разбивочной) сети. Оси подъема и главного вала машины, а также высотный репер служат для разбивки фундамента подъемной ма-

шины, для контроля укладки ее рамы и установки главного вала машины.

Положение рамы подъемной машины в плане проверяют с помощью отвесов, которые опускают с проволок, натянутых между осевыми скобами по осям подъема и главного вала машины. Створы осевых точек, нанесенных на раму, не должны отклоняться от створов отвесов более чем на 10 мм. Отклонение рамы по высоте проверяют нивелированием: разность высотных отметок угловых точек рамы не должна превышать 15 мм, отклонение ее фактической отметки от проектной не должно быть более 100 мм.

Правильность установки главного вала подъемной машины в плане проверяют с помощью отвесов, опускаемых с проволок, которые натягивают между осевыми скобами по оси вала машины. При правильной установке вала углубления в торцах вала, оставшиеся от расточки, должны совпадать со створом отвесов. Отклонения концов оси вала относительно разбивочной оси не должны превышать 1 мм.

Отклонение оси вала от горизонтального положения проверяют нивелированием концов вала. Угол наклона оси вала не должен превышать 2'.

Допустимые отклонения фактического положения главного вала подъемной машины от проектного не должны превышать: по расстоянию оси вала от центра ствола 100 мм; по смещению центра машины в боковом направлении (по оси вала) 55 мм; по высоте 100 мм.

Проверка соотношений геометрических элементов подъемной установки. После окончания монтажа подъемной установки окончательно проверяют горизонтальность осей вала подъемной машины и направляющих шкивов, определяют положение осей подъемных канатов относительно проводников на уровне нулевой площадки и углы отклонения (девиации) подъемных канатов на барабанах и шкивах.

При подъеме и спуске подъемных сосудов происходит сматывание каната на барабан. Канат при этом перемещается по рабочей части барабана, благодаря чему происходит изменение углов девиации на барабанах α_n — наружного и α_b — внутреннего углов, (рис. 115). Одновременно происходит изменение углов девиации на шкиве ρ_n — наружного и ρ_b — внутреннего углов.

Если подъемная установка оснащена подъемной машиной с двумя цилиндрическими барабанами и двумя шкивами, расположенными на одной оси, углы девиации на барабанах вычисляют по формулам:

$$\alpha_n = \frac{b_1 - a}{L_s} \rho; \quad \alpha_b = \frac{a - b_2}{L_s} \rho,$$

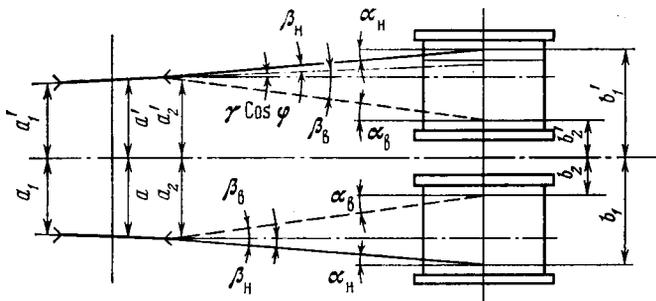


Рис. 115. Схема проверки соотношений геометрических элементов подъемной установки

где a — расстояние от оси ствола до осевой плоскости шкива на подшивной площадке; B_1 и B_2 — расстояния от оси ствола до границ рабочей части барабана; b_1 — расстояние между осями вращения шкива и барабана; $r = 3438'$.

Расстояния a , B_x и B_2 измеряют от оси ствола (a — на подшивной площадке, B_1 и B_2 — в здании подъемной машины).

Углы девиации на шкивах определяют из выражений:

$$r_n = a_n' \cdot \text{тсоз } \phi;$$

$$P_v = a_v + \text{тс05} \phi,$$

где γ — угол между осевой плоскостью шкива и осью ствола вычисляют по формуле; ϕ — угол наклона струны каната.

Если осевая плоскость шкива параллельна оси подъема, то $a_n = r_n$ и $a_v = r_v$; если осевая плоскость шкива проходит через середину рабочей части барабана, то $r_n = r_v$.

Значения углов девиации по правилам технической эксплуатации не должны превышать $1^\circ 30'$. При больших значениях углов девиации происходит быстрое стирание каната и расшатывание направляющего шкива, а при большой разности r_n и r_v — одностороннее стирание футеровки шкива и каната.

§ 123. Маркшейдерские работы при проходке, креплении и армировании стволов шахт

Основные задачи маркшейдерской службы при сооружении шахтного ствола заключаются: в обеспечении положения и размеров шахтного ствола в соответствии с проектом; в контроле за размещением проходческого оборудования; в производстве разбивочных работ при проходке и возведении временной и постоянной крепи, а также при монтаже подъемно-транспортного оборудования; в производстве контрольных измерений и съемок; в подсчете объемов горных работ.

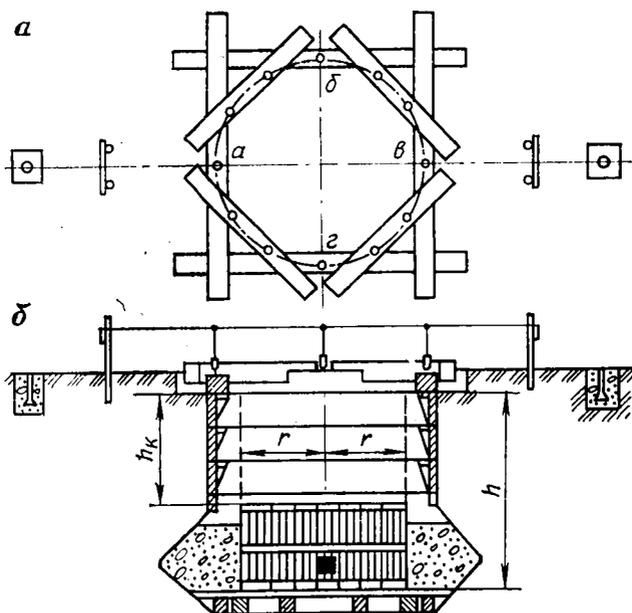


Рис. 116. Схемы контроля укладки рамы-шаблона и возведения крепи устья ствола:
a — в плане; *б* — в разрезе

Работы по проходке ствола обычным способом начинают с укладки рамы-шаблона на поверхности. Центрирование и ориентирование рамы-шаблона выполняют совмещением осевых точек *a*, *б*, *в*, *г* (рис. 116, *a*), размещенных на ее балках, и отвесов, опущенных с проволок, натянутых между осевыми пунктами ствола. Укладку рамы по высоте проверяют нивелированием ее угловых точек. Отклонение рамы-шаблона от проектного положения в плане и по высоте не должно превышать 2 см. Контур проектного сечения ствола вчерне обозначают точками, намеченными через 1—2 м на раме-шаблоне.

Контроль за проходкой устья ствола выполняют от положения временного центрального отвеса, который закрепляют в центре рамы-шаблона (рис. 116, *б*). После проходки устья ствола до заданного горизонта, разделки вруба первого опорного венца и проверки горизонтальности его подошвы производят укладку настила и сборку опалубки для бетонирования стенок ствола.

Правильность установки кружальных ребер опалубки в плане производят измерениями расстояний *r* от центрального отвеса до внешней поверхности опалубки. Правильность их установки по

высоте проверяют Накладным уровнем или измерением расстояний / $г_k$ от рамы-шаблона до кружальных ребер.

После возведения постоянной крепи устья ствола в его верхней части (ниже нулевой отметки на 0,7—1,0 м) бетонировать две пары металлических скоб, на которые переносят оси ствола. Смещение осевых рисок относительно осевой линии не должно превышать 2 мм.

Для проходки ствола на всю глубину раму-шаблон заменяют постоянной (нулевой) проходческой рамой, монтируют проходческое оборудование. Смещение осей проходческой рамы от проектного положения не должно превышать 15 мм, а отклонение рамы по высоте — 50 мм; разность высот точек опоры разгрузочного станка не должна превышать 5 мм.

Контроль проходки и возведения крепи осуществляют от проходческих отвесов или от световых указателей направлений. Расположение и число отвесов зависит от формы поперечного сечения ствола и размещения в нем проходческого оборудования.

При круглом сечении ствола применяют центральный и два осевых проходческих отвеса (см. рис. 116,6). Центральный отвес пропускают через специальное отверстие в балке проходческой рамы, боковые крепят на скобах, специальных консолях или блоках.

По мере углубления ствола отвесы удлиняют. Разметку шпуров в забое производят с помощью специального шаблона от центра ствола или оптическим прибором для разбивки шпуров. Положение передвижной опалубки, породных и закрепленных стенок ствола через 3—4 проходческих цикла проверяют измерениями от центрального отвеса по восьми направлениям через 45°; отсчеты берут до сантиметров.

Разбивку врубов под опорные венцы и проверку установки опалубки по высоте выполняют от реперов, закладываемых в стенках вышележащих венцов.

При возведении металлической тубинговой крепи особое внимание уделяют проверке правильности установки опорных венцов по высоте. Контроль правильности установки тубинговой крепи выполняют от центрального отвеса.

Все результаты маркшейдерских съемок при сооружении ствола заносят в журнал проходки ствола, в котором приводят основные данные технического проекта, а также регулярно вносят фактические данные, полученные в процессе сооружения ствола (сечение ствола, элементы и материал крепи, сроки проходки и крепления, названия горных пород и элементы их залегания и т. д.). В журнале делают необходимые эскизы и зарисовки; в масштабе 1 : 100 составляют вертикальный разрез по стволу.

Профилирование ствола. По завершении работ по проходке

и креплению ствола по результатам маркшейдерских измерений при оперативном контроле сооружения ствола (если шаг измерений не превышает 8 м) составляют профили стенок ствола. Если же измерений для построения профилей стенок окажется недостаточно, выполняют профилирование его стенок — съемку их фактического положения на разных горизонтах от отвесов, опускаемых с поверхности. Число отвесов и их расположение выбирают в зависимости от формы поперечного сечения ствола, от расположения подъемных сосудов и других устройств, используемых при измерениях.

Через равные интервалы по высоте, соответствующие шагу армирования или высоте опалубки, производят измерения от отвесов до стенок ствола с точностью отсчитывания до 1 см.

По результатам измерений составляют вертикальные профили стенок ствола (принимая вертикальный масштаб построения 1:100 или 1:200, а горизонтальный соответственно 1:10 или 1:20), вычисляют отклонения фактических расстояний от проектных.

Работы при армировании ствола. Совокупность конструкций, обеспечивающих правильное движение подъемных сосудов в шахтном стволе, называют армировкой ствола. Основными элементами армировки являются проводники, направляющие подъемных сосудов, и несущие их расстрелы.

Расстрелы в зависимости от расположения в стволе подразделяют на главные и вспомогательные. Систему главных и вспомогательных расстрелов, расположенных в одной горизонтальной плоскости, называют ярусом расстрелов, а разность высот ярусов — шагом армировки.

Основной задачей маркшейдерских работ в процессе армирования является контроль за соблюдением проектных размеров и проектного положения расстрелов и проводников в стволе.

Для создания устойчивой системы взаимодействия армировки с подъемными сосудами расстрелы каждого яруса должны быть уложены в соответствии с проектом. Одноименные расстрелы на разных ярусах должны располагаться в одной вертикальной плоскости; проводники должны быть закреплены отвесно с соблюдением между ними заданного расстояния.

Перед началом армирования вблизи ствола на контрольном стенде производят проверку элементов армировки всех ярусов.

Расстрелы контрольного (первого) яруса устанавливают в стволе с помощью отвесов, опущенных с проволок, натянутых по осям между скобами, закрепленными в устье ствола. Смещение осей расстрелов контрольного яруса в горизонтальной плоскости не должно быть более 2 мм, разность высот концов не должна превышать 5 мм, отклонение поперечных осей расстре-

лов от горизонтального положения не допускается более чем на 20'.

Для армирования следующих ярусов в ствол на всю его глубину опускают армировочные отвесы, число и расположение которых определяется проектом армировочных работ. На расстрелах контрольного яруса с помощью кронштейнов или приваренных пластин с отверстиями закрепляют точки подвеса этих отвесов и определяют их координаты. Внизу отвесы закрепляют кронштейнами-ограничителями.

Установку расстрелов последующих ярусов выполняют с помощью отвесов и шаблонов. Сначала определяют положение основного (наиболее длинного) расстрела, затем устанавливают остальные расстрелы. Горизонтальность установки расстрелов проверяют накладным или шланговым уровнем. Расстояния между ярусами расстрелов по высоте контролируют также с помощью шаблонов. Отклонения фактических расстояний между ярусами от проектных не должны превышать 50 мм при навеске деревянных проводников и 15 мм при навеске металлических. Разность высот концов расстрела в местах заделки его в крепь не должна превышать 0,005 его длины.

Навеска проводников при металлической армировке ствола, когда к расстрелам приварены специальные «лежки», производят без участия маркшейдеров. При деревянной и смешанной армировке навеску проводников контролируют с помощью отвесов и шаблонов.

Окончательный контроль правильности установки расстрелов и навески проводников производят профильной съемкой.

Для автоматизированного контроля армировки и крепления стволов на глубину до 1700 м в СССР применяют комплекс РК-1, разработанный Всесоюзным научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ). Комплекс состоит из станции СИ 4 или СИ 5 для профильной съемки проводников, а также аппаратуры и приборов для съемки стенок ствола, для измерения зазоров безопасности в стволе, для измерения износа проводников и контроля исправлений проводников.

Применение комплекса РК-1 для контроля армировки и крепления стволов обеспечивает полную безопасность работ, высокую точность измерений и повышение в 10—15 раз производительности труда.

Работы при проходке вертикальных стволов специальными способами. В сложных горно-геологических условиях сооружение шахтных стволов ведут специальными способами. Наибольшее распространение из них в настоящее время имеют способ с предварительным замораживанием толщи пород и способ бурения.

Проходку стволов способом замораживания применяют в сильно обводненных породах. Для защиты ствола от затопления при выполнении проходческих работ вокруг его центра бурят замораживающие скважины. Благодаря охлаждающему реагенту, циркулирующему в обсадных трубах, окружающую породу охлаждают, вокруг скважин намерзают ледопородные цилиндры, которые постепенно срастаются и образуют сплошное ограждение, воспринимающее на себя гидростатическое и горное давление.

В зависимости от гидрогеологических условий расположение устьев скважин вокруг ствола может быть однорядным или двухрядным. Разбивку скважин в натуре производят по concentрическим окружностям (рис. 117) относительно центра и осей ствола с помощью треугольных шаблонов или полярным способом по заданным в проекте радиусу R_c > расстоянию между

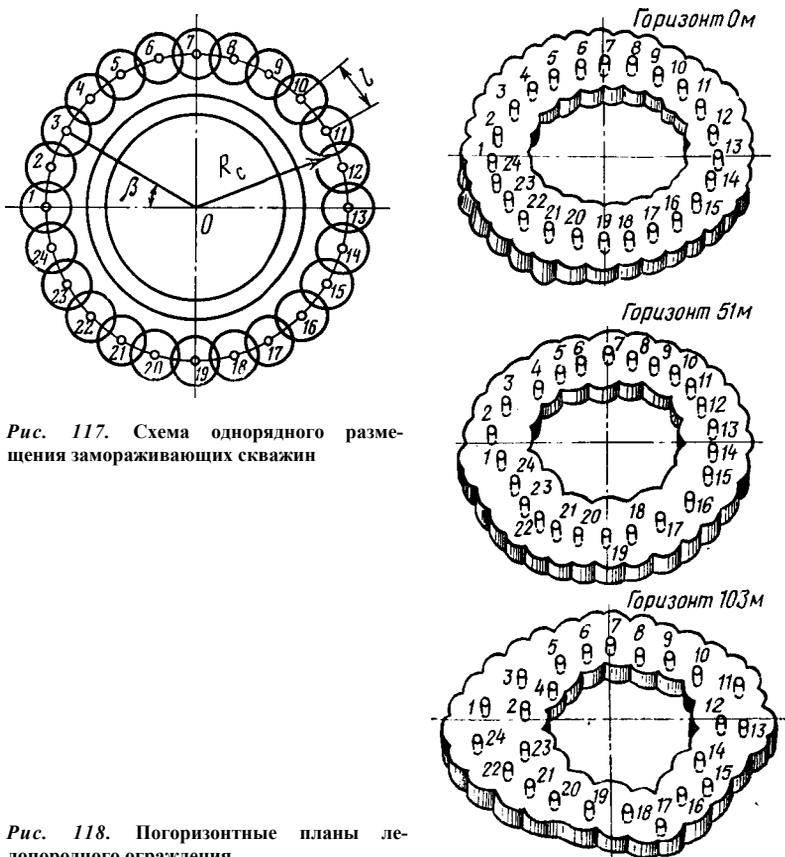


Рис. 117. Схема однорядного размещения замораживающих скважин

Рис. 118. Погоризонтные планы ледопородного ограждения

скважинами I или углу $\rho = 360^\circ/l$. Фактическое положение центров скважин не должно отличаться от проектного более чем на 5 см.

В процессе бурения производят съемку скважин: определяют зенитные углы (углы между отвесной линией и осью скважины) и азимутальные углы (углы между линией меридиана и проекцией оси скважины на горизонтальную плоскость). Для съемки скважин глубиной до 1000 м в СССР применяют разработанные во ВНИМИ гироскопические дистанционные инклинометры И 447Д и ВД-2, позволяющие определять азимуты оси скважины не грубее $3\text{—}5^\circ$ и зенитные углы в пределах от 0 до 6° с ошибкой не более $2'$. При использовании инклинометра ВД-2 автоматически вычерчивается план оси скважины. По результатам съемки скважин на разных горизонтах строят погоризонтные планы ледопородного ограждения (рис. 118).

Контроль сплошности и толщины ледопородного ограждения производят с помощью ультразвуковой аппаратуры УКЛЦ-1. Проходку ствола под защитой ледопородного ограждения ведут обычным способом.

Проходку шахтных стволов бурением применяют в мелкозернистых и мягких водоносных породах (пльвуны, глины, мел, мергели и т. п.), в которых потери буровой жидкости сравнительно невелики. Бурение стволов позволяет полностью механизировать работы по проходке и креплению ствола, а также исключить подземный труд.

Для бурения стволов и скважин большого диаметра в СССР применяют установки как с роторным приводом, так и с забойным приводом породоразрушающих органов. Разрушение пород в стволе производится сплошным разбуриванием по всему сечению забоя, а выдача разбуренной породы на поверхность — потоком промывочной жидкости.

Крепление стволов производят погружным или секционным способом по окончании бурения с помощью тех же буровых агрегатов, с которых производилось бурение, — буровой вышки, консольно-поворотного крана, раздвижной платформы и т. д. При погружном способе собранный на поверхности геометрично закрытый снизу цилиндр крепи, состоящий из нескольких колец, опускают в ствол, заполненный промывочной жидкостью. Затем плавающий цилиндр крепи наращивают отдельными звеньями. Для очередного опускания крепи в ствол в цилиндр крепи добавляют балластировочную жидкость. По возведении крепи на всю глубину ствола за закрепленное пространство нагнетают цементный раствор.

При секционном способе крепления ствола на бетонную подушку, подготовленную на дне ствола, опускают фиксирующее звено крепи. После проверки правильности его установки пространство между породой и поверхностью крепи заполняют бе-

тоном. Повторяют операции по сборке, опусканию, установке и тампонированию звеньев крепи на всю глубину ствола.

Маркшейдерские работы при бурении стволов связаны с решением задач при выполнении основных подготовительных работ на поверхности, при проходке и креплении ствола.

На поверхности, кроме задач, рассмотренных выше (вынесение центра и осей ствола, проходка и возведение постоянной крепи в устье ствола), решают ряд задач, связанных с монтажом буровой установки и обеспечением правильности соотношений геометрических элементов отдельных агрегатов (фундаментов под ноги буровой вышки, копра-вышки с подкронблочной площадкой, раздвижных платформ, рельсовых путей под раздвижные платформы, ротора и т. д.). Разбивочные работы и проверку выполнения этих условий производят относительно осей ствола.

Маркшейдерские работы в процессе бурения ствола включают проверку соотношения геометрических элементов буровой установки, определение осадок ее фундамента и крена буровой вышки, контроль вертикальности оси ствола и съемку его породных стенок.

Определение фактического положения оси ствола в процессе бурения производят оптическим и геометрическим способами. Оптический способ применяют для определения положения оси ствола при глубине не свыше 200—250 м и при условии отжима промывочного раствора из буровой колонны. Наблюдая с помощью проектира направления ПН-1м световой сигнал, опущенный на тросе по трубе до центра бурового снаряда, и его отклонение a от центра координатной палетки, укрепленной на верхнем торце бурильной колонны, рассчитывают отклонение δ вертикальной оси ствола от проектного положения на глубине H :

где H — расстояние от торца бурильной колонны до горизонта светового сигнала; H — высота точки подвеса троса над торцом бурильной колонны.

Определение отклонения вертикальной оси ствола от проектного положения геометрическим способом производят по специальной методике, разработанной во ВНИМИ. Этот способ основан на определении угла отклонения Z троса, натянутого внутри буровой колонны, от отвесной линии с помощью координатометра или проекциометра.

Отклонение вертикальной оси ствола от проектного положения в этом случае вычисляют по формуле

$$(H + \delta),$$



Рис. 119. Схемы задания направления главной оси наклонного ствола:

a — в разрезе по линии *AA'* *б* — в плане

где Z — угол отклонения оси троса от отвесной линии; H — расстояние от торца буровой колонны до забоя; h — высота точки подвеса троса над торцом буровой колонны. Погрешность определения центра ствола не должна превышать 100 мм.

Положение забоя по высоте определяют по суммарной длине бурового снаряда и труб буровой колонны.

Для съемки стенок ствола и положения его крепления применяют ультразвуковой локатор. В стволах, заполненных промывочным раствором, прибор позволяет определять размеры и формы горизонтальных сечений, а также положение секций крепи. Погрешность измерений расстояний по радиусу от прибора в диапазоне 0,3—0,6 м составляет 2 % измеренной длины, погрешность в ориентировании измеренного радиуса — 3°.

Работы при проходке наклонного ствола по пласту начинают с разбивки осей ствола и его центра.

При пологом залегании пласта часть устья ствола проходят открытым способом (рис. 119). Направление продольной оси и уклон подошвы котлована задают в соответствии с направлением и углом наклона главной оси ствола. По окончании земляных работ и возведении постоянной крепи первого звена производят разбивку и закрепление постоянными знаками *I*, *II*, *III* оси трассирования. С оси трассирования в дальнейшем задают направление проходки и проверяют соблюдение заданного сечения и крепления ствола.

При крутом залегании пласта проходку ствола начинают с укладки рамы-шаблона на подготовленную площадку в горизонтальном положении или в нормальной плоскости к главной оси ствола.

Положение рамы-шаблона контролируют с помощью отвесов, выставленных в первом случае по обеим осям ствола, во втором — по главной оси.

§ 124. Маркшейдерские работы при углубке вертикального ствола

Для обеспечения ввода в эксплуатацию новых горизонтов углубку шахтных стволов часто осуществляют в условиях действующего подъема в стволе. Углубку вертикального ствола проводят сверху вниз или снизу вверх, причем углубку ствола сверху вниз выполняют по следующему технологическому схематическому плану: под предохранительным полком, сооружаемым ниже горизонта выработки действующего околоствольного двора; с помощью углубочного восстающего, пройденного в углубляемом отделении ствола; через вспомогательные выработки, пройденные на удалении от ствола.

При углубке ствола под предохранительным полком в его углубляемую часть переносят фактическое положение центра и осей ствола с горизонта околоствольного двора. Определив положение центра ствола и направление осей на околоствольном дворе, оси закрепляют скобами в стенках ствола. Опустив затем с этих скоб отвесы ниже уровня будущего предохранительного полка, закрепляют скобы нижнего яруса. Центр ствола определяют пересечением проволоки, натянутой между скобами.

При углубке ствола с использованием углубочного восстающего перенесение центра и осей ствола выполняют с помощью отвесов o_1 и o_2 (рис. 120, а).

На рабочем горизонте выполняют примыкание к отвесам O_1 и O_2 с осевых пунктов ствола, вычисляют их координаты.

Под целиком примыкания к отвесам O_1 и O_2 с точки T (рис. 120, б).

На стенках ствола в створе направлений To_1 и To_2 намечают точки a и b .

Решая соединительный треугольник O_1T , вычисляют координаты точки T и дирекционные углы (To_1) и (To_2) , равные соответственно (Tb) и (Ta) .

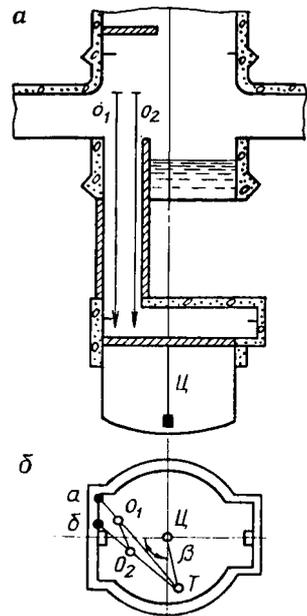


Рис. 120. Схемы перенесения центра и осей ствола через углубочный восстающий:

а — в разрезе; б — в плане

Решением обратной геодезической задачи по координатам центра ствола C и точки T определяют длину стороны TC и ее дирекционный угол (TC). Разбивочные углы при точке T вычисляют по разности дирекционных углов направлений TC и Ta , TC и $Tб$: $\zeta aTC = (TC) - (Ta)$; $\zeta бTC = (TC) - (Tб)$. Угол ρ в центре ствола вычисляют по разности дирекционных углов оси ствола и направления CT .

Выполнив в точках T и C разбивочные работы, ось ствола закрепляют скобками в стенках камеры.

При углубке ствола через вспомогательные выработки перенесение центра и осей ствола в углубляемую часть отличается от предыдущих вариантов дополнительными работами, которые заключаются в проложении теодолитного хода на действующем горизонте от ствола к восстающему, в ориентировании по этому восстающему и в проложении теодолитного хода от восстающего в камеру, рассеченную под стволом.

При углубке ствола снизу вверх нижний горизонт, с которого производят углубку, должен сообщаться с действующим горизонтом с помощью других выработок (уклоном, стволом, слепой шахтой). Разбивку центра и осей ствола производят с подходных точек теодолитного хода, проложенного с пунктов опорной сети действующего горизонта на нижний по вскрываемым выработкам.

§ 125. Маркшейдерские работы при проведении околоствольных выработок ВКГ" ••

Проходку выработок околоствольного двора начинают с расщепки сопряжения ствола с околоствольным двором. Предварительно в постоянной крепи ствола в 10—20 м над проектным положением кровли сопряжения закладывают репер $Яр$ (рис. 121,а), на который передают высоту $2_{Нр}$ с поверхности. По разностям между высотой репера и проектными отметками кровли и почвы сопряжения вычисляют превышения A и H_2 , которые используют при задании расщепки по высоте. Задание направления сопряжения в плане производят по отвесам, опущенным с осевых скоб, закрепленных в шейке ствола или на нулевой раме. Проведение выработки по направлению, заданному для расщепки сопряжения, допускается на расстоянии до 20 м.

Дальнейшая проходка выработок околоствольного двора разрешается только после перенесения в околоствольный двор оси ствола и определения высот пунктов и реперов подземной маркшейдерской опорной сети.

С этой целью в околоствольном дворе закладывают точки C и $C1$ (рис. 121,б), выполняют геометрическое либо гироскопиче-

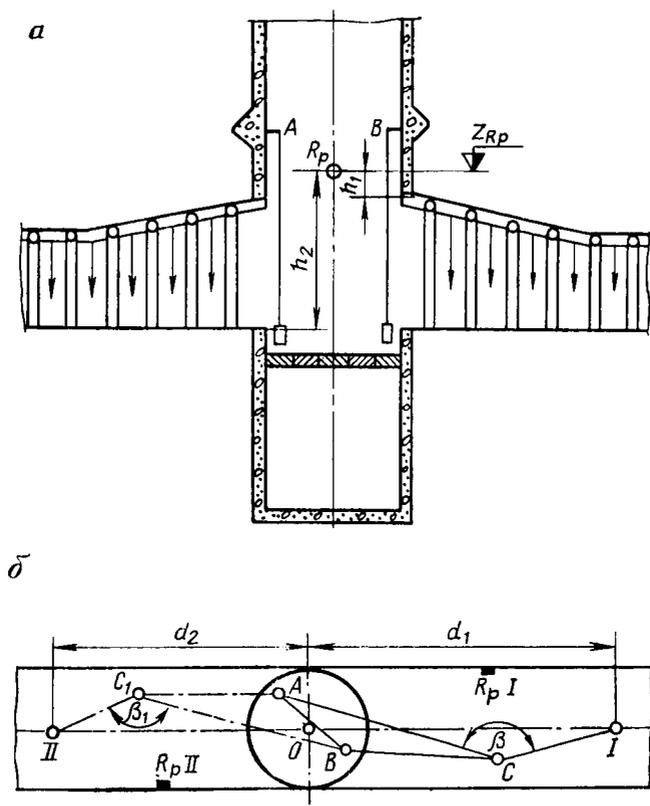


Рис. 121. Схемы расчески сопряжения околоствольных выработок (а) и перенесения оси ствола в околоствольные выработки (б)

ское ориентирование с помощью одного отвеса и определяют координаты этих точек.

На схеме сопряжения ствола с околоствольным двором отмечают точки I и II оси ствола; их расстояния y_1 и y_2 от центра ствола определяют графически. По расстояниям y_1 и y_2 , дирекционному углу a оси ствола и координатам центра ствола x_0, y_0 вычисляют координаты точек I и II:

■ $K^{\wedge} - K_0 + \wedge \text{со}z_a; y_1 = y_0 + \text{эта};$
 *II = *o + $\wedge_2 \text{со}z(a - 180^\circ); y_u - y_0 - z\dot{y}_2 \text{эт}(a + 180^\circ).$

Дирекционные углы (C/) и (CЛ), а также расстояния C/ и CЛ вычисляют решением обратных геодезических задач по

координатам точек C , I , C_1 и II . Разбивочные углы ρ и ρ_1 вычисляют по разностям дирекционных углов образующих сторон:

$$\rho = (C_1) - (CC_1); \rho_1 = (C_1/II) - (C_1C).$$

Точки I и II в натуру выносят с точек C и C_1 полярным способом. Дальнейшее направление проходки выработок в плане производят с закрепленной оси ствола. Задание направлений для проходки выработок по высоте производят от реперов, заложенных в стенках сопряжения со стволом.

Околоствольные двory современных шахт представляют собой сложную систему горных выработок разной протяженности переменного сечения и разных уклонов, включающих прямолинейные и криволинейные участки, связанные многочисленными сопряжениями в плане и по высоте.

При сооружении околоствольного двора в натуру выносят все оси и сопряжения осей этих выработок. Предварительно, до проведения горных выработок, должна быть проверена правильность всех размеров, указанных проектом, и вычислены разбивочные элементы для перенесения в натуру характерных точек осей горных выработок и их направлений.

Проверку правильности размеров, указанных в проекте, выполняют расчетами соотношений числовых значений отдельных элементов и установлением взаимного соответствия в элементах круговых кривых на всех криволинейных участках.

Для общей увязки геометрической схемы околоствольного двора и вычислений разбивочных элементов по материалам проекта составляют в масштабе $1:200$ проектный полигон (рис. 122). На геометрическую схему полигона выписывают цифровые данные (размеры прямолинейных участков, сопряжения по круговым кривым, отметки высот характерных точек и т. д.), позволяющие вычислить разбивочные элементы. При построении полигона оси криволинейных участков заменяют равновеликими хордами с расчетом их максимальной длины и с таким условием, чтобы хорды не касались стенок выработок. Число n хорд определяют графически по плану криволинейной выработки (рис. 123). Длину l хорды вычисляют по формуле

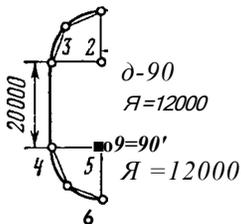
$$l = 2R \sin \frac{a}{2} *$$

где a — угол поворота оси выработки.

Углы в начальной и конечной точках кривой находят по формуле

$$\rho_i = \rho_4 = 180^\circ - f,$$

а на промежуточных точках — по формуле



80 800

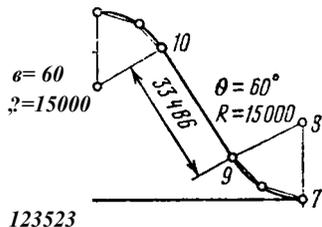


Рис. 122. Схема проектного полигона околоствольных выработок

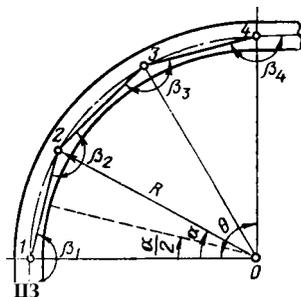


Рис. 123. Схема разбивки хорд на криволинейном участке

Для заключения о качестве элементов геометрической схемы проекта производят вычисление контрольного полигона под условием

$$2 p - 180^\circ (n - 2) = 0; 2 \text{ Дл} = 2 \text{ Дг} = 0.$$

Несоблюдение этих условий свидетельствует о наличии ошибок в проекте.

§ 126. Задание направлений горным выработкам в горизонтальной и вертикальной плоскостях

При проходке горных выработок основные задачи маркшейдерской службы состоят в указании направлений в горизонтальной и вертикальной плоскостях в соответствии с проектом, а также в контроле за их проведением.

Для задания направления в горизонтальной плоскости оси AB новой выработки (рис. 124, а) по разности дирекционных углов осей (AB) новой и (AO) существующей выработок вычисляют разбивочный угол ρ_a

$$\rho_a = (AB) - (AO).$$

В точке A устанавливают теодолит и от направления AO откладывают угол ρ_a . Если расстояние от прибора до стенки выработки короче ближнего предела визирования, то точку B

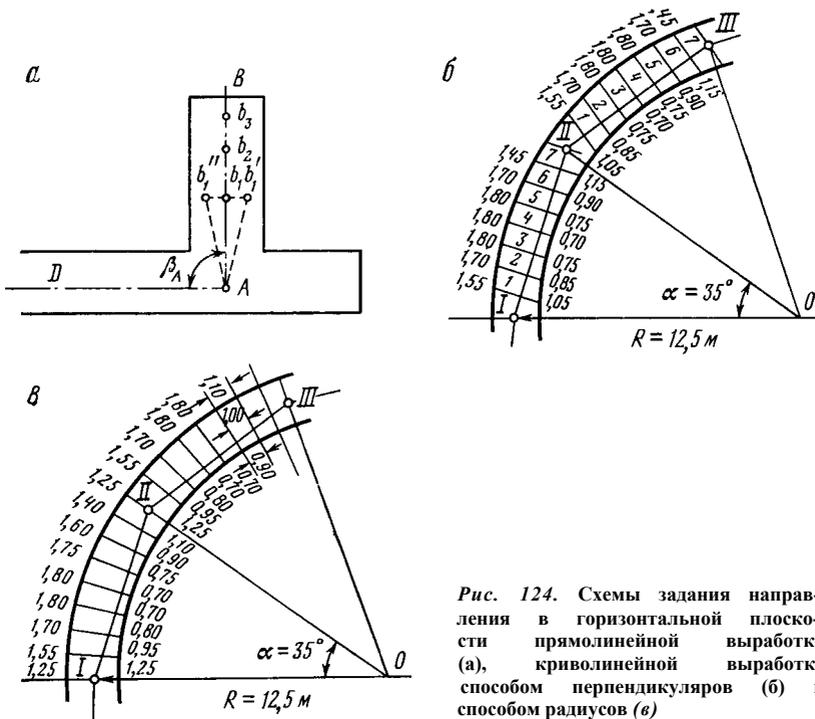


Рис. 124. Схемы задания направления в горизонтальной плоскости прямолинейной выработке (а), криволинейной выработке способом перпендикуляров (б) и способом радиусов (в)

намечают визированием сверху трубы. Постоянное направление оси выносят при двух положениях трубы. В результате в кровле выработки закрепляют точку B_{II} , затем в створе оси AB закрепляют еще две точки B_2 и B_3 через 2—3 м друг от друга.

Направление выработки часто задают по линиям, параллельным оси выработки (по оси пути или по оси трассирования вблизи стенок выработки). В этом случае указывают «скобу» (расстояние от заданной оси) до ближайшей стенки выработки. Проходку выработки по отвесам B_1, b_2, B_3 производят на расстояние до 40 м, после чего выполняют проверку оси пройденного участка и перенесение проходческого отвеса к забю.

При использовании светящихся отвесов длина участка проходки может быть увеличена до 80 м. Для проходки прямолинейных выработок на расстояние до 500—600 м в СССР применяют лазерные указатели направлений ЛУН-7 и ЛУН-9, изготовленные во взрывобезопасном исполнении. После вынесения теодолитом оси трассирования вблизи стенки выработки прибор с помощью кронштейна устанавливают и центрируют под исходной точкой, световой пучок указателя совмещают со створом отвесов.

При включении прибора на поверхность забоя проецируется яркая световая марка красного цвета, максимальный диаметр которой на расстоянии 1000 м не превышает 80 мм.

Задания направлений при проходке криволинейных участков производят способом перпендикуляров или радиусов.

Способ перпендикуляров (рис. 124,б). Определив предварительно число хорд, их длину и углы поворота, составляют схему криволинейного участка в масштабе 1 : 20 или

1 : 50, на которой круговую кривую заменяют вписанными хордами. Через каждые 1—2 м графически определяют расстояния (длины перпендикуляров) от хорд до обеих стенок выработки и записывают их на схеме.

Способ радиусов (рис. 124,в). На схеме криволинейного участка масштаба 1 : 20 или 1 : 50 графически определяют расстояния от хорды до стенок выработки по направлениям радиуса закругления. Направления радиуса на чертеже секут стенки выработки, а также круговую кривую в точках, расстояние \dot{y} между которыми соответствует расстоянию между осями рам крепления на прямолинейном участке. Затем вычисляют расстояния между осями соседних стоек по наружной и внутренней \dot{y}_2 стенкам выработки:

$$— \dot{y} + \frac{\dot{y}_2}{2} = \dot{y} - \dot{y} \cdot 5 \quad 2A$$

где 5 — средняя ширина выработки; — радиус закругления криволинейного участка.

Результаты измерений и вычислений указывают на чертеже.

Для задания направления проходки криволинейного участка теодолитом с точек поворота выносят направления хорд, а проходчики, используя значения расстояний от хорд до стенок выработки, определяют ее контуры при проходке.

Для задания направлений выработкам в вертикальной плоскости используют разные способы в зависимости от угла наклона выработок.

Выработки с углом наклона до 2° задают лазерными приборами ЛУН-7 и ЛУН-9. Для задания направлений с углами наклона до 5—6° используют нивелир, а в шахтах, не опасных по газу и пыли, — лазерный прибор ЛВ-5. Для задания направлений свыше 5—6° используют теодолит, а также шаблоны треугольной формы.

Для задания направления с помощью нивелира (рис. 125, а) на высоте \dot{y} от головки рельса в стенке выработки закладывают репер $Яр1$. На стенке выработки в 5—6 м от репера отмечают точку А, которую проектируют с помощью нивелира, установленного посередине между репером $Яр1$ и выбранным местом для точки А. Установив на репер $Яр1$ рейку, визируют на нее и берут отсчет a . Затем измеряют расстояние l между репе-

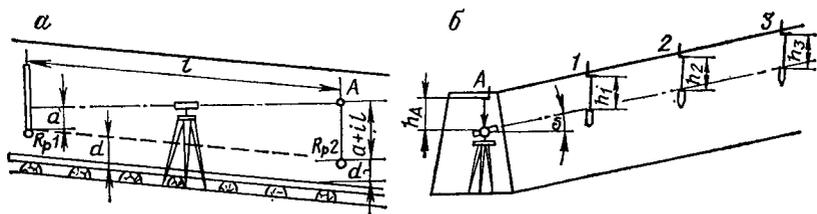


Рис. 125. Схемы задания направления в вертикальной плоскости с помощью нивелира (а) и теодолита (б)

ром $Яp1$ и точкой A , и по заданному уклону (вычисляют превышение k для закладки репера $Яp2$)

$$H = И.$$

Отмерив от точки A вниз по отвесной линии расстояние $a + И$, закладывают репер $Яp2$. Створ реперов $Яp1$ и $Яp2$ определяет положение заданного направления на высоте e над головкой рельса на всем участке между реперами.

Заданное направление $Hp1—Яp2$ дублируют закладкой реперов при высоте $й$ над головкой рельса на другой стенке выработки.

В шахтах, не опасных по газу и пыли, для задания направлений выработкам с углами наклона до 10° , а также для контроля движения щитов и комбайнов в забоях с такими же углами наклона, применяют лазерный визир ЛВ-5.

При углах наклона от 6 до 50° направления в вертикальной плоскости задают теодолитом (рис. 125,б) — в выработку выносят осевые репера. Под точкой A , высота которой соответствует проектной, устанавливают теодолит, измеряют высоту H_A точки A над осью вращения трубы прибора. Установив на вертикальном круге проектный угол наклона β , визируют на проходческую точку 3 ; верх головки отвеса совмещают с проекцией визирной оси и производят измерение расстояния l_3' от головки отвеса до точки 3 . Повторив наведение на точку 3 при втором круге, совместив с визирной линией головку отвеса и измерив расстояние l_3'' , вычисляют его среднее значение H_3 , которое служит для окончательного закрепления отвеса и наведения на его головку визирного луча. По окончательному положению визирного луча закрепляют промежуточные отвесы в точках 2 и 1 , производят измерение их высот H_2 и H_1 над отвесами. Проектное направление горной выработки в вертикальной плоскости обозначено, таким образом, прямой, соединяющей головки отвесов, закрепленных на расстояниях Bl , $Lг$, l_3 под соответствующими точками.

Для контроля проходки выработок с углом наклона свыше $20—25^\circ$ применяют деревянные шаблоны, изготовленные

в форме прямоугольного треугольника; второй угол треугольника выполняется равным углу наклона выработки. Установку такого шаблона производят по уровню или отвесу, подвешенному к малому катету.

Настилку рельсового пути и контроль проектного уклона производят с помощью ватерпаса, проходческих шаблонов разных типов или геометрическим нивелированием.

Простейшим из этих приборов является ватерпас, представляющий собой деревянный брус длиной около 2 м с укрепленной под прямым углом к нему стойкой для отвеса. Высота «башмаков», прибитых снизу, подбирается с таким расчетом, что отношение разности их высот ($k_1 - k_2$) к длине l бруса соответствует проектному уклону $i = (k_1 - k_2) / l$. Ватерпас ставят на головку рельса или на доску, уложенную на почву выработки; нить отвеса, если уклон выдержан, совпадает с меткой на стойке.

Проходческий шаблон-визир заводского изготовления снабжен специальным устройством, позволяющим устанавливать нужный уклон при задании направления, а также определять его значение при проверке настилки пути.

Контроль настилки пути с помощью нивелира заключается в выполнении пикетажного нивелирования и составлении профиля пути.

§ 127. Маркшейдерские работы при проходке выработок встречными забоями

Для повышения темпов горнопроходческих работ с целью сокращения сроков строительства предприятий применяют сбойку — проходку выработок встречными и догоняющими забоями.

При проведении выработок встречными забоями ставится задача смыкания (встречи) забоев с заранее заданной точностью. Например, при сбойке подготовительных выработок угольных и рудных шахт расхождение в смыкании забоев допускается 0,5 м в плане и 0,3 м по высоте, а при сбойках тоннелей метро, проходимых полным сечением при постоянной тубинговой крепи, общее расхождение в направлении, поперечном оси сбойки, не должно превышать 0,05 м.

Значения допустимых расхождений в смыкании забоев устанавливаются техническими условиями эксплуатации сооружения и горных выработок. Превышение допустимых расхождений в смыкании забоев связано, как правило, с большим экономическим ущербом и поэтому должно быть полностью исключено.

Точность сбоек целиком зависит от качества маркшейдерских работ — от выбранных методов наблюдений, точности измерений и вычислений. Поэтому задачи маркшейдерской

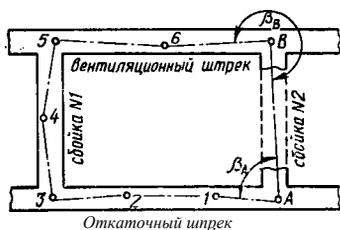


Рис. 126. Схема сбойки выработки одной шахты

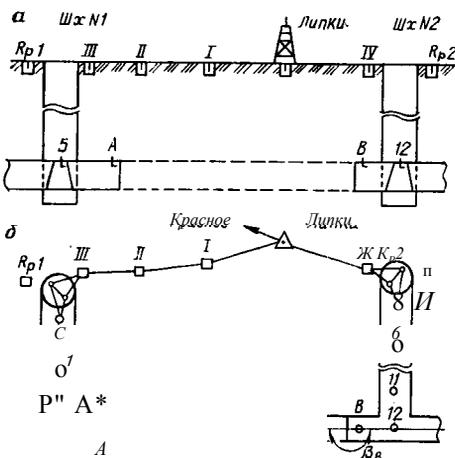


Рис. 127. Схема сбойки выработки разных шахт:

а — вертикальная проекция горных выработок двух шахт; б — план горных выработок двух шахт

службы при выполнении сбоек являются весьма ответственными.

Все сбойки горных выработок, проводимые в разных горно-геологических условиях, подразделяются на три основные группы:

- сбойки выработок в пределах одной шахты;
- сбойки выработок разных шахт;
- сбойки вертикальных выработок.

Последовательность выполнения маркшейдерских работ, а также их содержание зависят от типа сбойки горных выработок.

Работы по обеспечению сбойки выработок в пределах одной шахты. Для задания направления при прохождении встречными забоями диагонального штрека между откаточным и вентиляционным штреками (рис. 126) предварительно выносят в натуру точки Л и В пересечения осей этих выработок. Вынесение в натуру точек Л и В по их проектным координатам выполняют с ближайших точек 1 и 6 опорной сети.

Затем между точками А и В в прямом и обратном направлениях прокладывают связующий полигометрический ход А—1—2—3—4—5—6—В и вычисляют координаты всех точек хода, приняв за исходные дирекционный угол одной из сторон, например, ($1-2$) и координаты точки 1.

Для задания направления оси сбойки в плане вычисляют по разности дирекционных углов оси сбойки (АВ) и сторон (А1) и (В6) разбивочные углы и p_v : $S_{A=(AB)} - (A1)$; $p_v =$

$= (ЛВ) + 180^\circ - (Вб)$, где дирекционный угол (AB) вычисляют из решения обратной геодезической задачи по координатам точек A и B :

$$\operatorname{tg}(ЛВ) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

Одновременно вычисляют горизонтальное проложение между точками A и B :

$$AB_{\text{гт}}(ЛВ) \cos(\alpha_{AB})$$

Для задания направления оси сбойки в вертикальной плоскости определяют угол ее наклона β . Между точками A' и B' , намеченными на головках рельс под точками A и B , прокладывают нивелирный ход и вычисляют превышение $HA'B'$. Угол β наклона оси сбойки вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = \kappa_A' B' \wedge AB$$

Задание направления оси сбойки в плане производят перенесением в натуру разбивочных углов ρ_a и ρ_b с помощью теодолита, установленного в точках A и B . Задание оси сбойки в вертикальной плоскости производят нивелиром или теодолитом.

Для контроля прохождения выработки и определения времени смыкания забоев вычисляют длину оси между точками A и B :

$$l_{AB} = (l_{AB}/\cos \beta) \quad 8.$$

Работы по обеспечению сбойки выработок разных шахт (рис. 127) выполняются в следующей последовательности. С подходных пунктов III и IV , связанных между собой полигонометрическим ходом I разряда, либо определенных с пунктов общей для них опорной маркшейдерской сети на поверхности (рис. 127,а), выполняют ориентирование горных выработок обеих шахт. В результате ориентировок в горных выработках определяют координаты точек C , I и O , β (рис. 127,б), а также дирекционные углы $(C1)$ и (0β) примычных сторон в общей системе координат. Координаты точек $2, 3, \dots, 5, A$ и $7, 8, \dots, 12, B$ определяют затем проложением полигонометрических ходов в шахтах и последующими вычислениями.

Дальнейшие работы для задания оси сбойки в плане аналогичны рассмотренным выше: сначала по координатам точек A и B из решения обратной геодезической задачи находят дирекционный угол оси; затем по разностям дирекционного угла (AB) оси сбойки и дирекционных углов $(A5)$ и $(B12)$ конеч-

ных сторон полигонометрических ходов в шахтах вычисляют разбивочные углы ρ_l и ρ_v :

$$\rho_l = (AB) - \{A5\}$$

$$\rho_v = [(ЛБ) \pm 180^\circ] - (B/2).$$

Для определения угла наклона β сбойки и последующего задания ее на оси в вертикальной плоскости с подходных реперов $Rp1$ и $Rp2$ на поверхности, связанных между собой нивелирным ходом IV класса, на точки C и D в шахтах передают высоты Z_C и Z_D с точек C и D в прямом и обратном направлениях прокладывают ходы технического нивелирования для определения высот $z_{A'}$ и $z_{B'}$ точек A' и B' , расположенных на головках рельс под точками A и B .

Угол наклона оси сбойки вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = h/d_{AB},$$

где h — $ZB' - 2U'$ — превышение точки B' над точкой A' ; d_{AB} — горизонтальное проложение между точками A и B .

Наклонное расстояние L_{AB} между точками A и B , как и в предыдущем случае, находят по формуле

$$L_{AB} = d_{AB} / \cos \beta.$$

Маркшейдерские работы при осуществлении сбоек вертикальных выработок аналогичны содержанию работ при проходке вертикальных стволов.

§ 128. Маркшейдерские работы при специальных способах проходки горных выработок

При проведении горизонтальных и наклонных горных выработок в различных горно-геологических условиях применяют проходки с помощью щитов, замораживания горных пород, поджатым воздухом, открытым способом и продавливанием.

Щитовой способ широко применяется в СССР при проходке полным сечением коммунальных тоннелей и тоннелей метрополитена в неустойчивых горных породах.

Маркшейдерские работы при проходке горных выработок щитовым способом состоят в обеспечении правильного монтажа щита, в закреплении на нем маркшейдерских знаков и приборов, в закреплении ориентирных сигналов сзади щита и ведении его по проектной оси, в определении положения щита после передвижки, а также в контроле за установкой крепления.

При монтаже щита, производимом в щитовой камере, обеспечивают соблюдение следующих геометрических условий:

поперечное сечение щита должно представлять собой круг;

вертикальная плоскость щита, проходящая через его продольную ось, должна совпадать с проектной осью горной выработки;

щит не должен иметь крена (поперечного уклона).

Выполнение перечисленных условий контролируется с помощью отвесов, закрепленных на продольной оси щита, и нивелированием симметричных точек, размещенных на задней поверхности опорного кольца.

Исходными пунктами для ведения щита и определения его положения в плане служат осевые точки в тоннеле, разбивку которых производят с пунктов тоннельной полигонометрии.

Положение щита в плане после подвижки определяют по точкам пересечения оси трассы и специальных линеек, укрепленных внутри щита. Поперечный уклон (крен) щита определяют с помощью уклономера, тангенциального уровня, либо нивелированием симметричных точек в хвостовой части щита. Для нахождения положения оси щита в вертикальной плоскости передают отметку на одну из точек щита и определяют его уклон с помощью уклономера или уровня. Отклонение щита от проектного положения не допускается более чем на 50 мм.

Для автоматического контроля положения щита и управления его подвижками при сооружении тоннелей метрополитена в СССР разработана лазерная система управления движением проходческого щита.

Система выполняет слежение за положением щита в плане и в вертикальной плоскости с учетом вращения его вокруг продольной оси, выдает сигналы о положении оси щита на приборы пульта управления, производит логическую обработку сигналов положения щита и выдает команды на управление домкратами.

В готовом тоннеле производят определение деформации обделки, возникающей в результате неравномерного распределения горного давления на отдельные элементы крепи. Для каждого кольца тоннельной обделки определяют эллиптичность (разность фактического и проектного диаметров кольца) по четырем диаметрам: горизонтальному, вертикальному и двум косым— под углом 45° к горизонтальному и вертикальному. Эллиптичность обделки не должна превышать 50 мм.

Укладку железнодорожного пути производят на бетонное основание в лотковой части тоннеля от путевых реперов, закладываемых через 20—25 м на прямолинейных участках и через 5 м — на криволинейных.

При проходке горизонтальных и наклонных выработок *способом замораживания* производят бурение вертикальных и на-

клонных скважин с поверхности. Наклонные скважины для замораживания горных пород при проходке наклонных выработок задают в направлении, параллельном оси выработки.

Работы по проходке горизонтальных и наклонных выработок под защитой ледопородного ограждения, а также их маркшейдерское обеспечение выполняют обычными способами.

При проходке горных выработок *под сжатым воздухом* основной особенностью маркшейдерских работ является их выполнение в изоляции от зоны нормального давления, в которой расположены пункты опорной маркшейдерской сети.

Передачу направления, плановых координат и высот точек для развития маркшейдерского обоснования в зоне сжатого воздуха можно производить через шлюзовую камеру непосредственно способом соединительного треугольника или гироскопического ориентирования.

При непосредственной передаче направления и координат теодолит устанавливают на точке, закрепленной в шлюзовой камере. Горизонтальный угол на этой точке измеряют два наблюдателя, один из которых находится в зоне нормального давления, а другой — в зоне сжатого воздуха.

Первый наблюдатель производит визирование на пункт, расположенный в зоне нормального давления, записывает отсчет в журнал. Оставив журнал у прибора, выходит из камеры. После этого производит шлюзование прибора.

Второй наблюдатель, войдя в камеру, проверяет отсчет по теодолиту, сверяет записи в журнале, визирует на пункт, закрепленный в зоне сжатого воздуха, записывает отсчет в журнале. Переводит трубу теодолита через зенит и начинает выполнение второго полуприема: наводит трубу на точку в зоне сжатого воздуха, результат записывает в журнал, который остается у теодолита. Производится второе шлюзование прибора.

Первый наблюдатель контролирует отсчет и, визируя на пункт в своей зоне, т. е. зоне нормального давления, заканчивает первый прием. Аналогично выполняют измерения в следующих приемах. Линейные измерения производят оба наблюдателя, каждый в своей зоне. Шлюзование наблюдателей не разрешается.

В случае применения соединительного треугольника в шлюзовой камере закрепляют три точки, которые с исходной и определяемой точками, закрепленными в тоннеле в зонах нормального давления и под сжатым воздухом, образуют систему соединительных треугольников. Работы по измерению углов и длин линий, связывающих точки в горных выработках и шлюзовой камере, выполняют две бригады, находящиеся в разных зонах.

Дирекционный угол и координаты точек в зоне сжатого воз-

духа вычисляют (используя исходные данные зоны нормального давления) после решения соединительных треугольников в обеих зонах.

Передача высоты точки из зоны нормального давления в зону сжатого воздуха производится через шлюзовую камеру способом, аналогичным непосредственной передаче ориентирного угла и прямоугольных координат.

Выполнение разбивочных работ в зоне сжатого воздуха производят так же, как в условиях нормального давления. После переноса шлюзовой камеры вперед производят контрольные съемки пунктов опорной сети по всей зоне, где ранее работы выполнялись под сжатым воздухом.

Маркшейдерские работы при сооружении тоннелей открытым способом. В городских районах с невысокой плотностью застройки тоннели метрополитенов мелкого заложения на глубине 10—15 м сооружают открытым способом. Для этого по контуру тоннеля на проектную глубину забивают ограждающую металлическую крепь, под защитой которой производят выемку грунта в котловане и возводят постоянное крепление из сборного железобетона.

Геодезическую сеть на поверхности создают вдоль трассы тоннеля в виде цепи треугольников или ходов полигонометрии с длиной сторон 50—100 м. Места для закладки знаков плановой сети, а также высотных реперов выбирают за пределами возможной зоны деформации земной поверхности. Пункты геодезической основы служат для вынесения оси трассы, осевых знаков и знаков полигонометрии в тоннеле.

Вынесенные осевые точки трассы закрепляют постоянными знаками и контролируют их определение привязками к пунктам опорной сети. Точки для забивки свай ограждающего крепления размечают створными засечками по контурам котлована, вынесенным в натуру с осевых пунктов. В процессе возведения ограждений крепи определяют глубину погружения свай, контролируют их вертикальность.

После выемки породы на глубину 1,5—2,5 м к сваям вдоль обеих стенок котлована приваривают продольные швеллерные пояса. К ним крепят расстрелы, на которые выносят осевые знаки. Перед окончанием разработки породы за 15—20 см до проектной отметки на сваях закрепляют реперы и передают на них высоты с реперов опорной сети на поверхности. Реперы в котловане служат для укладки в соответствии с проектом бетонной подготовки под блоки лотка тоннеля. Монтаж лотковых блоков в плане производят от оси тоннеля, закрепленной на расстрелах ограждающего крепления. Вертикальность стеновых блоков при монтаже проверяют с помощью отвесов. При этом на бетонное основание сносят осевые знаки с расстрелов ограждающего крепления.

Кроме осевых знаков в тоннеле по мере его готовности закладывают знаки полигонометрии. Координаты и высоты этих знаков определяют с пунктов опорной сети на поверхности. Знаки тоннельной полигонометрии используют для контрольных измерений по определению положения в плане и по высоте осевых реперов в тоннеле, которые в свою очередь служат для путевых и монтажных работ.

При пересечении коммунальными тоннелями улиц городов, а также железнодорожных и автомобильных магистралей широкое применение получил *способ продавливания*.

Под дорожным полотном или покрытием улицы из специальной выработки (рабочей камеры) с помощью гидродомкратов последовательно продавливают готовые, сопряженные между собой элементы обделки, чаще всего секции стальных труб диаметром 1000—2000 мм на расстояние до 150—200 м. В соответствии с проектом на поверхность выносят и закрепляют осевые пункты тоннеля, а также разбивают котлован и контролируют глубину выемки грунта для размещения домкратной установки и головной секции обделки первого звена труб длиной 4,5—5 м. В задней части котлована выполняют разбивку упорной стенки и контролируют установку металлической плиты, воспринимающей реактивное усилие домкратной установки в процессе продавливания.

Задание направления оси тоннеля в плане производят с осевых точек с помощью теодолита совмещением оси тоннеля и оси обделки. Направление в вертикальной плоскости задают с помощью нивелира.

Контроль направления тоннеля в процессе продавливания обделки в плане производят с помощью отвесов, опущенных с проволоки, натянутой между осевыми пунктами, а в вертикальной плоскости — с помощью профилемера.

§ 129. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений большого сечения

Подземные сооружения типа камер, а также крупногабаритные тоннели, площадь поперечного сечения которых может достигать сотен и тысяч квадратных метров, широко используются для размещения предприятий с вредным производством и прецизионными работами, машинных залов гидравлических и атомных станций, гаражей и станций метрополитенов, насосных и перекачных станций, складов, АТС, железных и автомобильных дорог, а также других объектов.

В зависимости от горно-геологических условий пород (крепости, трещиноватости, обводненности массива и т. д.) применяют следующие способы возведения подземных сооружений:

в устойчивых и средней устойчивости скальных породах применяют уступный способ разработки массива;

в слабоустойчивых скальных породах — способ опертого свода;

в слабых породах (в глинистых, песчаных и обломочных) — способ опорного ядра;

в слабоустойчивых породах, а иногда и в слабых породах — способ ступенчатого забоя с полным раскрытием профиля по частям.

При сооружении выработок большого сечения выполняют следующие основные виды маркшейдерских работ: сгущение (создание) плановой и высотной геодезической сети на участке строительства; разбивки и контрольные съемки эксплуатационных и временных (строительных) выработок — шахт, тоннелей, штолен; создание маркшейдерских и строительных сетей; исполнительные съемки в процессе строительства и по его завершении.

После выполнения работ по созданию опорных сетей на поверхности и в эксплуатационных и временных горных выработках задают направление оси транспортной штольни в основном массиве будущей камеры. Ось штольни закрепляют маркшейдерскими знаками в ее подошве и потолочине. Абсолютные высоты осевых пунктов и реперов, закладку которых производят в стенах штольни, определяют геометрическим нивелированием.

С осевых точек транспортной штольни через 15—20 м вдоль ее оси выносят центры вертикальных выработок (фурнелей), которые проходят в подсводовую часть камеры. Из фурнелей начинают разработку верхней штольни, по фурнелям сбрасывают породу с верхних ярусов на нижний горизонт. После проходки верхней штольни в обе стороны от нее на всю ширину подсводовой части заходками шириной 3—6 м по длине камеры разрабатывают породу и бетонируют свод.

-ь—ь-

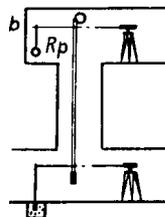


Рис. 128. Схема перенесения оси и ее высоты из нижней штольни в верхнюю

Перенесение проектной оси и ее высоты из нижней штольни в верхнюю показано на рис. 128. При разработке породы в основном массиве перенесение оси на уступы производят вначале с отвесов, закрепленных под сводом камеры, а затем последовательно с верхних уступов на нижние.

Контрольную съемку контуров выработанного пространства и разбивку элементов крепления производят с осевых пунктов.

§ 130. Особенности маркшейдерских работ при строительстве подземных сооружений в условиях больших городов

С ростом населения городов и развитием городского хозяйства возрастает социально-экономическое значение подземного пространства как зоны для размещения в нем объектов коммунального хозяйства, связи, транспорта, а также промышленных предприятий с вредным производством и прецизионной технологией. В то же время строительство подземных сооружений в городах сопряжено с большими трудностями, так как горные выработки проходят преимущественно в слабых осадочных породах, на глубинах, не превышающих 60—70 м, под городскими кварталами с плотной застройкой, при недостаточной изученности размещения существующих подземных сооружений.

Основным видом сооружений при подземном строительстве в городах до последнего времени являлись тоннели метрополитенов и коммунальные обычно круглого сечения диаметром от 2 до 6 м. Вопросы маркшейдерского обеспечения таких работ были рассмотрены выше.

В последние годы наряду с проходкой тоннелей разного назначения в подземном пространстве городов все шире ведется строительство объемных сооружений методом «стена в грунте». Этим способом возводятся многоэтажные сооружения с глубиной заложения до 35—40 м, с размерами по ширине в десятки метров, а по длине — в сотни метров.

Строительство начинают с выемки грунта в пионерной траншее шириной 0,7—1,0 м и глубиной 1,0—1,5 м по всему контуру сооружения. Пионерная траншея служит направляющей для оборудования при последующей разработке грунта на полную глубину заложения стены. Разработка грунта в траншее на полную глубину ведется отдельными секциями (заходками) с применением грейферных экскаваторов или буровых установок в зависимости от крепости грунтов. Траншея по мере выемки грунта заполняется глинистым раствором, предохраняющим ее стенки от обрушения. Возведение стен производят опусканием каркаса металлической арматуры в заходку

и подачи по трубам на ее дно бетона до полного вытеснения глинистого раствора.

По завершении возведения стен по всему контуру сооружения под их защитой последовательно ярусами сверху вниз разрабатывают породное ядро. В той же последовательности (сверху вниз) производят монтаж распорных ригелей. По завершении разработки ядра и бетонирования днища в обратном порядке (снизу вверх) производят монтаж перекрытий.

Условия эксплуатации возводимого подземного сооружения определяются прочностью и водонепроницаемостью его обделки, а условия эксплуатации окружающих его объектов — их состоянием в результате возможных деформаций и разрушений от оседаний грунта в процессе строительства подземного сооружения.

Поэтому маркшейдерское обеспечение при строительстве подземных сооружений способом «стена в грунте» заключается в контроле вертикальности траншей, устойчивости стеновых конструкций и наблюдении за их осадками, в своевременных и оперативных наблюдениях за оседанием поверхности и в прогнозировании устойчивости крепи.

Для выполнения маркшейдерских работ на строительной площадке создают опорную геодезическо-маркшейдерскую сеть. Точность построения такой сети, определяемая деформациями стеновых конструкций, критические значения которых составляют единицы миллиметров, должна соответствовать точности городских сетей III и IV классов. Все разбивочные работы и контрольные наблюдения проводятся с пунктов этой сети.

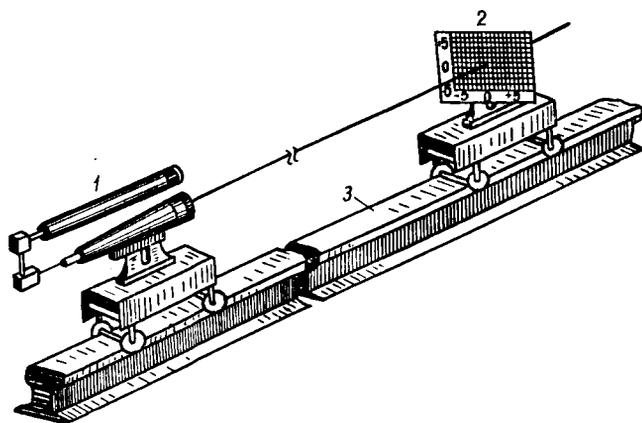


Рис. 129. Схема контроля положения подкрановых путей

Контроль вертикальности траншей после их разработки на полную глубину может выполняться ультразвуковым способом.

Наблюдения за оседанием поверхности вблизи строительной площадки, зданий и сооружений, расположенных в этой зоне, производят периодическим нивелированием реперов, расположенных в стены зданий и в грунт вдоль стеновых заходок по профильным линиям. Для определения деформаций подкрановых путей (рис. 129) при разработке породного ядра используют лазерную приставку ПЛ-1 к нивелиру Н-3, позволяющую осуществить контроль на расстоянии до 120 м.

Нивелир с приставкой ПЛ-1 1 устанавливают с помощью подставки на одном конце рельса 3, а экран с координатной сеткой 2 — на другом. Прокатывая экран по контрольным точкам рельса, берут отсчеты по центру светового пятна и определяют таким образом отклонения головки рельса в плане и вертикальной плоскости от заданного положения.

Контроль за устойчивостью стеновых конструкций производят створными наблюдениями. Для выполнения наблюдений теодолит устанавливают на одном конце осевой линии, проходящей вблизи стены. На другом конце линии устанавливают марку, на которую визируют и таким образом восстанавливают створную плоскость. В створной плоскости выполняют наведения на отсчетные планки, укрепленные на высоте 2,3—2,5 м от пола на каждой стеновой заходке, и берут отсчеты по шкалам планок. Результаты съемок, произведенных в разные сроки, позволяют определить деформации стеновых конструкций.

Для наблюдений за осадками стеновых конструкций наилучшие результаты по точности, скорости и независимости наблюдений получают с помощью системы гидростатического нивелирования. Она состоит из серии открытых цилиндрических сосудов, проградуированных для нивелирования и соединенных между собой гибким шлангом. Число сосудов должно соответствовать числу наблюдаемых точек (стеновых заходок).

Мерные сосуды закрепляют на стенах на уровне человеческого роста. Систему заполняют жидкостью (летом — водой, в зимний период — антифризом), соединительный шланг наглухо закрывают с обеих концов и подвешивают его под перекрытием. Превышение шланга над мерными сосудами во избежание выливания из них жидкости не должно превосходить критической величины, равной при нормальном атмосферном давлении 10,3 м. Для взаимной компенсации капиллярного и поверхностного натяжений жидкости внутренний диаметр сосудов и шланга должен равняться 8 мм. Осадки стеновых конструкций определяют по результатам наблюдений уровня жидкости в мерных сосудах. Погрешность нивелирования таким способом составляет $\pm 0,5$ мм.

Прогнозирование устойчивости стеновых заходок. Горногеометрический анализ результатов нивелирования осадочных реперов позволяет установить характер развития процесса оседания грунта вблизи стеновых заходок и установить степень их устойчивости. По каждому циклу оседаний составляется план изолиний оседания. Вычитанием изолиний оседания двух топоповерхностей, составленных по результатам наблюдений в разные сроки, находят топографическую поверхность скорости оседания земной поверхности за соответствующий период. Таким же методом вычитания изолиний скорости оседания за определенный промежуток времени находят изолинии ускорения оседания земной поверхности.

Для определения направления давления грунта при оседании поверхности производят дифференцирование топоповерхности скорости оседания за последний период и строят план векторно-градиентного поля. Вектором на плане в принятом масштабе служит отрезок, численно равный тангенсу угла наклона топоповерхности по направлению ее восстания в данной точке. В качестве характерных точек плана при составлении векторно-градиентного поля принимают осадочные реперы, нанесенные на план по своим координатам. Характер распределения вектор-градиента на плане позволяет оценить внутреннюю напряженность системы (грунт — стена) и деформации стеновых конструкций, а также составить прогноз их устойчивости.

Наблюдения за раскрытием трещин в стеновых конструкциях производят с помощью двух растровых пластин, создающих муаровый эффект. На прозрачную и непрозрачную пластины нанесены тонкие равноотстоящие друг от друга штрихи. Непрозрачную пластину закрепляют на стене с одной стороны трещины неподвижно. На нее накладывают прозрачную пластину, совмещая штрихи обеих пластин. Прозрачную пластину с одного ее конца крепят к стене в одной точке так, чтобы она могла поворачиваться вокруг этой точки. С другого конца прозрачную пластину шарнирно скрепляют с рычагом, который так же шарнирно соединяют с другой частью стены.

При увеличении трещины прозрачная пластина под действием рычага поворачивается вокруг неподвижной точки, и штрихи обеих пластин пересекаются. Значение деформации подсчитывают по формуле

$$l = tN,$$

где t — шаг решетки (расстояние между осями штрихов); N — число муаровых полос (пресечений штрихов).

ГЛАВА 25

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

§ 131. Определение, виды и принципы подземных маркшейдерских съемок

Маркшейдерская съемка есть совокупность угловых и линейных измерений, выполняемых непосредственно или косвенно на местности с целью:

получения координат пунктов (точек), закрепленных в горных выработках; точек, характеризующих форму и условия залегания месторождения; места взятия проб, характеризующих качество полезного ископаемого и процессы, происходящие в недрах;

построения изображения на плоскости листа в уменьшенном и подобном виде горных и разведочных выработок в единой системе координат с земной поверхностью;

построения горногеометрических графиков, характеризующих форму, условия залегания полезных ископаемых в недрах, их свойства и т. д.

Полученная на основании съемок горная графическая документация должна быть полной, точной и легко читаемой.

Основными видами съемок на горном предприятии являются:

съемки на земной поверхности;

съемка подземной маркшейдерской опорной и съемочной сетей;

ориентирно-соединительные съемки, осуществляющие связь подземной съемки со съемкой на поверхности;

подземные вертикальные съемки (нивелирование);

съемочные работы — съемка подготовительных, нарезных и очистных горных выработок.

Основные принципы съемок в шахте. Съемку осуществляют по принципу от общего к частному, т. е. от более точных измерений в опорных сетях к менее точным — съемке подробностей. В этом случае происходит меньшее накопление ошибок.

Все измерения должны производиться с точностью, соответствующей точности решения поставленной задачи. Измерения избыточно-точные требуют лишней затраты труда, малоточные — ведут к ошибкам при выполнении горных работ.

Все маркшейдерские работы как полевые, так и вычислительные обязательно должны сопровождаться контролем.

Главной геометрической основой для выполнения съемок горных выработок и решения горногеометрических задач, связанных с обеспечением правильной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых, являются маркшейдерские опорные сети. Построение их осуществляют по техническому проекту, составленному с учетом перспективного плана развития горных работ.

Подземные опорные сети состоят из полигонометрических ходов, прокладываемых, как правило, по главным подготовительным выработкам. Исходными являются как минимум три пункта, закрепленные в околоствольных выработках. Координаты этих пунктов определяют ориентирно-соединительными съемками относительно подходных пунктов и реперов на промышленной площадке.

Опорные сети создают в виде системы замкнутых, разомкнутых и висячих ходов. Висячие ходы прокладывают дважды — в прямом и обратном направлениях. Разомкнутые ходы прокладывают между исходными сторонами сети.

Пункты опорных сетей разделяют на постоянные и временные. Постоянные пункты закладывают группами не менее трех в местах, обеспечивающих их неподвижность и долговременную сохранность. Горизонтальные углы измеряют со средней квадратической погрешностью 20", вертикальные — 30". Расхождение между двумя измерениями линии светодальномерами не более 3 см, стальными рулетками — $1/3000$ длины стороны.

Полигонометрические ходы длиной более 1,5—2,0 км разделяют на секции с числом углов не более 20—30. Одна из сторон каждой секции должна быть ориентирована гирскопическим методом.

При подвигании горных выработок подземные опорные сети периодически пополняются пунктами при составлении планов в масштабе 1 : 1000 — через 300 м, в масштабе 1 : 2000 — через 500 м. Кроме того, прокладывают контрольные ходы.

При подходе выработок к границам опасных зон (к затопленным или загазованным выработкам) на расстояние не более 50 м, удаление пунктов полигонометрических ходов от забоев подготовительных выработок не должно превышать 30 м.

Подземные маркшейдерские съемочные сети являются основой для съемки горных выработок и состоят из теодолитных ходов, прокладываемых для съемки подготовительных выработок, и угломерных ходов, предназначенных для съемки очистных забоев и нарезных выработок в очистных блоках.

Теодолитные ходы опираются на пункты опорной сети, угломерные — на пункты теодолитных и полигонометрических ходов.

Ход	Средняя квадратическая погрешность измерения углов		Предельная длина хода, км	Допустимое расхождение между двумя измерениями стороны
	горизонтальных	вертикальных		
Теодолитный	40"	60*	1,0	1/1000
Угломерный	10'	10'	0,3	1/200

Теодолитные ходы могут быть замкнутыми, разомкнутыми или проложенными дважды. Пункты теодолитных ходов закрепляют так же, как временные пункты подземной маркшейдерской опорной сети. В угломерных ходах пункты не закрепляют. Длина таких ходов не должна превышать 300 м при составлении планов горных выработок в масштабе 1 : 1000 и 500 м — в масштабе 1 :2000. Удаление пунктов теодолитного хода от забоя подготовительной выработки не должно превышать 50 м, а вблизи границ опасных зон — не более 20 м. Углы измеряют теодолитами типа ТЗО, центрирование автоматическое или с помощью шнуровых отвесов. Длины линий измеряют стальными компарированными рулетками.

Характеристика подземных теодолитных и угломерных ходов приведена в табл. 13.

§ 133. Приборы для измерения углов и расстояний

Для маркшейдерских работ применяют приборы различных типов и марок.

Теодолиты, по точности разделяют на высокоточные для измерения горизонтальных углов со средней квадратической погрешностью от 0,5" до 1": Т05, Т1 (СССР); Theo 002 (ГДР); Т4 (Швейцария) и др.

Точные теодолиты применяют для измерения углов со средней квадратической погрешностью от 2 до 7": Т2, Т5 (СССР); Т3, ДКМ-3 (Швейцария); Микроптик-3 (Великобритания) и др.

Технические теодолиты предназначены для измерения углов со средней квадратической погрешностью от 10 до 30": Т15, ТЗО (СССР); ET-1A, Th-3 (ФРГ); К1-А (Швейцария); TE-E6, TE-D1, TE-D2 (ВНР); Theo 020 (ГДР) и др.

Теодолиты Т15М и ТЗОМ в маркшейдерском исполнении с комплектом приспособлений и эксцентренной трубой предназначены для измерения вертикальных углов в пределах $\pm 90^\circ$.

Тахеометры — приборы, с помощью которых определяют направление на точку визирования, расстояние до нее от точки стояния прибора и превышение одной точки над другой.

Тахеометры с полной или частичной автоматизацией: ТА2, ТА5, Т14, ТТ7, ТБЛ-4, ТТМ, ТДС (СССР); ЕОТ 2000, Дальта 020, Дальта 010А, Дальта 010В, редуцированный тахеометр Редта 002, ВРТ-006 (ГДР) и др.

При съемках в горных выработках длины сторон полигонов и расстояния от прибора до снимаемой точки могут быть измерены следующими методами:

механическим — стальными рулетками различных типов длиной 20, 30 и 50 м, мерной проволокой, длинномерами и др. (между съемочными точками); желобчатыми РЖ-2 или тесняными рулетками (от съемочных точек до стенок выработки);

оптическим — оптическими дальномерами, дальномерными насадками и др.;

физическим — светодальномерами.

Оптическими дальномерами и дальномерными насадками в подземных условиях пользуются редко, чаще применяют светодальнометры. Серийно выпускаются светодальнометры маркшейдерские МСД1М и ДК 001 (СССР) и др., принцип действия которых основан на фазовом методе и скорости прохождения света от излучателя к приемнику и обратно. В результате между двумя точками с большой точностью определяют расстояние, которое представляется на электронноцифровом табло в метрической системе.

Дальность измерения МСД1М от 1 до 300 м, погрешность измерения длины 2,5 мм.

Электронный маркшейдерский тахеометр ТЭМ-1, разработанный ВНИМИ, объединяет в себе теодолит и светодальномер.

Тахеометр используют для создания опорных и съемочных сетей как в наземных, так и в подземных условиях.

Тахеометр Та5 (СССР) представляет собой прибор, объединяющий в единой конструкции теодолит, светодальномер с выводом результатов измерения на цифровое табло и микроЭВМ. МикроЭВМ позволяет определять и выражать на цифровом табло наклонные расстояния с учетом поправки на изменение окружающих условий, зенитные расстояния с учетом поправки на место зенита, горизонтальные проложения расстояний, превышения, горизонтальные и дирекционные углы, приращения координат.

Тахеометр и отражатели устанавливают в подставках, закрепляемых на головках штативов. Подставки съемные, что позволяет выполнять измерения трехштативным методом — менять местами тахеометр и отражатели, автоматически их цент-

рируя. Для точной установки над точкой в тахеометре и отражателях встроены оптические центры.

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом горизонтальных углов 1,8 мгон, вертикальных — 3,5 мгон (град или гон — составляет 1/100 прямого угла, мгон—1/1000 гона), расстояний — 20 мм при диапазоне от 0,5 до 3000 м.

§ 134. Съёмка подземной опорной и съёмочной сетей

Полевые работы при съёмке опорной и съёмочной сетей в шахте состоят из рекогносцировки, закрепления постоянных и временных маркшейдерских пунктов, установки над или под точкой теодолита, его центрирования, установки на соседних точках отвесов или сигналов, измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин сторон полигона и съёмки контуров горных выработок с составлением абриса (схемы).

Под рекогносцировкой понимают осмотр участка горных выработок, где будет производиться съёмка. Ее проводят с целью отыскания пунктов съёмочного обоснования предыдущей съёмки для привязки, определения мест для закрепления новых пунктов (точек), выбора схемы полигона.

Закрепление маркшейдерских точек в горных выработках производят специальными знаками, которые могут быть постоянными (рис. 130, а) и временными (рис. 130,б).

Постоянные маркшейдерские пункты — основа всех съёмок в шахте. Их закрепляют согласно проекту развития горных работ группами («кустами») из 3—4-х пунктов на каждом горизонте шахты. Расстояние между кустами 300—500 м (рис. 131). Пункты закрепляют в крепких породах, в местах, где не ожидается сильного горного давления, а также в местах, удобных для последующих съёмок.

Постоянные пункты могут быть заложены в почве, кровле и стенках выработки, а также в деревянном и металлическом креплении (см. рис. 130).

Временные маркшейдерские точки для прокладки съёмочной сети и теодолитных ходов, а также для ходов между кустами постоянных пунктов, представляют собой вырезанные из листового железа толщиной 2—3 мм треугольники с отверстием диаметром 1—2 мм или пропилом для подвески отвеса.

Для опознавания точек в натуре на соответствующих стойках закрепляют номера, выбитые из жести, или отмечают краской. Там, где выработки проходят без крепления (в крепких скальных породах), точки закрепляют в деревянных пробках, забитых в шпур, или в бетоне наподобие «ласточкиного гнезда».

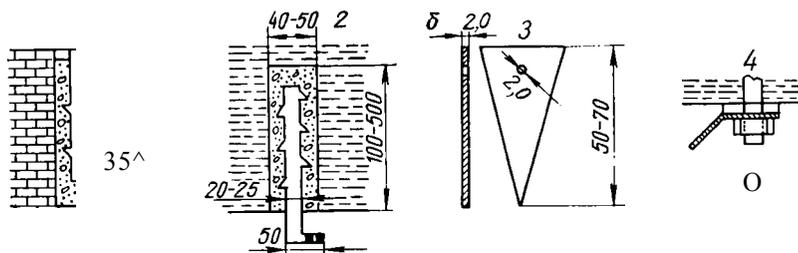


Рис. 130. Схемы маркшейдерских пунктов:

a — постоянных в почве (1) и кровле (2) выработок; *б* — временных в деревянной крепи (3) и металлической (4)

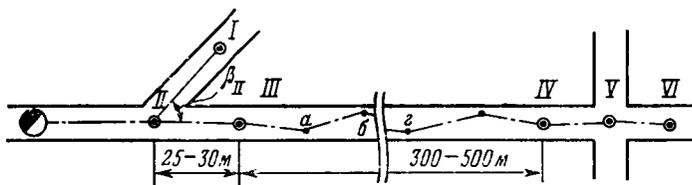


Рис. 131. Схема расположения постоянных пунктов

Установка и центрирование теодолита. Теодолит для съемки устанавливают на штативе или на консоли.

При центрировании теодолита центрировочный отвес должен находиться в вершине измеряемого угла, а визирные отвесы должны проходить через центры других смежных точек. Если это условие не соблюдается, то возникает погрешность при измерении угла за счет центрирования теодолита и сигналов.

Линейные погрешности центрирования теодолита и сигналов зависят от способа центрирования и колеблются от 0,5 до 2 мм.

Различают три способа центрирования теодолита: нитяными отвесами с точностью 1—2 мм, оптическими центрами с точностью 1,0—1,2 мм, автоматическое — с точностью 0,5—0,8 мм.

При длине сторон 5—10 м применяют автоматическое центрирование. При длине сторон 10—20 м проводят двукратное центрирование теодолита с измерением угла при каждом центрировании, при длине сторон более 20 м измерение угла производят при однократном центрировании теодолита.

На практике применяют отвесы центрировочные регулируемые (ОР), визирные — обычные и световые (ОС).

В регулируемом отвесе нить намотана на барабане, расположенном в корпусе отвеса, а острие отвеса выдвигается из корпуса. В корпусе светового отвеса ОС помещена батарейка, дающая питание электролампе, помещенной внизу в стеклян-

ном колпачке. При съемке визирование производят на этот световой сигнал.

Оптическое центрирование выполняют с помощью специального оптического центра — визирной трубки, преломляющей луч под углом 90° .

Автоматическое центрирование производят при прокладке опорной маркшейдерской сети методом «потерянных точек» или, когда угол образован очень короткими сторонами. Съемку методом «потерянных точек» производят с помощью специального комплекта приборов.

В такой комплект входит теодолит или маркшейдерский тахеометр, три штатива (консоли), два сигнала или отражателя, светодальномер или компарированная рулетка.

Установка указанной аппаратуры на штативах или консолях взаимозаменяема. Это позволяет прокладывать теодолитные ходы между постоянными пунктами методом «потерянных точек», т. е. не закреплять в горных выработках промежуточные точки.

При создании опорной сети используют теодолиты с точностью отсчета не ниже $30''$. Измеряют левые по ходу углы. Если угол наклона выработки меньше 30° , то измерения производят одним повторением или приемом. Разность между одинарным и окончательным значением угла не должна превышать $45''$. Если одна сторона горизонтальна, а другая наклонна, то эта разность должна быть меньше $720''$ при углах наклона выработки $31—45^\circ$; при углах наклона выработки $46—60^\circ$ — меньше $750''$; при углах наклона $61—70^\circ$ — меньше $2'30''$. При угле наклона стороны больше 30° угол измеряют способом приемов (не менее двух) со смещением начального отсчета перед вторым приемом примерно на 180° .

При способе приемов измерения ведут при закрепленном лимбе и открепленной алидаде сначала при круге лево (КЛ) — первый полуприем $\beta_{\text{л}} = \hat{i} - a_1$; затем, сместив лимб примерно на 180° измеряют при круге право (КП) — второй полуприем $\beta_{\text{п}} = b_2 - a_2$. $P = (P_{\text{л}} + M)/2$, где a_1, b_1, a_2, b_2 — отсчеты по лимбу при наведении трубы на заднюю точку A и переднюю точку B при КЛ и КП.

При способе повторений совмещают нуль алидады с нулем лимба, закрепляют алидаду, зрительную трубу наводят на заднюю по ходу съемки точку A и берут отсчет a_0 .

Открепив алидаду при закрепленном лимбе, трубу наводят на переднюю точку B и берут контрольный отсчет $b_{\text{к}}$. Определяют контрольный угол $\beta_{\text{к}} = b_{\text{к}} - a_0$.

Открепив лимб и переведя трубу через зенит, наводят ее снова на точку A , при этом отсчет не берут, так как он остается прежним.

Открепив алидаду при закрепленном лимбе, трубу наводят

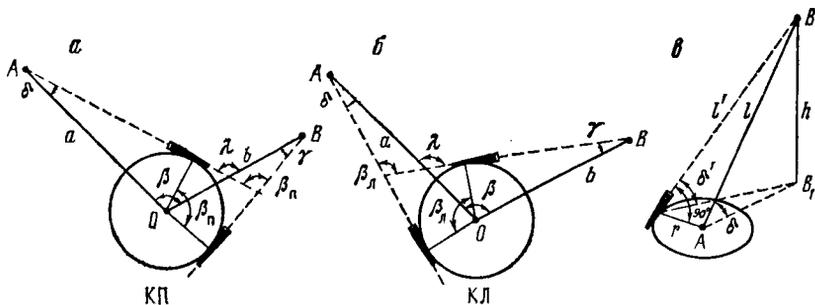


Рис. 132. Схемы измерения горизонтального (а, б) и вертикального (в) углов теодолитом с внецентренной трубой

снова на переднюю точку B и берут окончательный отсчет B .

Значение угла, измеренного одним повторением, $\beta = (B - a_0)/2$.

Измерение горизонтального угла теодолитом с внецентренной трубой (рис. 132, а, б) производят в крутопадающих выработках. Методика центрирования одинакова с центренным теодолитом, а угол можно измерить только способом приемов.

При измерении углов при круге право

$$A_0 = p + b = p_n + u,$$

при круге лево

$$N_7 = P_n + b.$$

Складывая оба уравнения, получим

$$P = (P_n + P_n)/2.$$

Измерение угла следует вести при двух положениях вертикального круга, так как одинарные измерения угла при КП или КЛ дают искаженные значения, особенно при разных длинах сторон.

Измерение вертикальных углов теодолитом с центральной трубой. Вертикальные углы измеряют одновременно с измерением горизонтальных углов. Измерения производят при двух положениях круга в прямом и обратном направлениях. При этом расхождение значений места нуля (МО) в начале и конце хода не более $3'$.

Вертикальный угол β вычисляют по отсчетам вертикального круга при КЛ и КП, используя одну из формул:

$$\beta = K_{Л} - MO = MO - K_{П} - 180^\circ = (K_{Л} - K_{П} + 180^\circ)/2,$$

где $MO = (K_{Л} + K_{П} + 180^\circ)/2$.

Перед началом измерения вертикального угла необходимо пузырек уровня при алидаде вертикального круга вывести на середину.

Измерение вертикальных углов теодолитом с внецентренной трубой (рис. 132, в) производят также, как и с центральной трубой. Однако эксцентриситет трубы вносит свои особенности. В полученный при измерении результат необходимо вводить поправку, которая резко возрастает при увеличении угла β и длинах сторон l менее 10 м. При l больше 15 м эта поправка мала и ею можно пренебречь.

Вывод формулы для определения значения поправки понятен из рис. 132, в:

$$B = l \text{ этб};$$

$$l\gamma = l' \text{ эт б}';$$

$$l' = d/l^2 - z^2,$$

следовательно

$$\sin \delta = \sin \delta' \sqrt{1 - \frac{r^2}{l_2}}.$$

В этой формуле известны l , β' и r (эксцентриситет трубы). Угол, измеренный теодолитом с внецентренной трубой, всегда больше истинного.

Измерение длин линий в шахте. В шахтных условиях маркшейдерские точки закрепляют, как правило, в кровле. С них опускают отвесы, поэтому линии измеряют между нитями отвесов рулетками, лентами, проволокой «на весу».

Если длина линии больше длины рулетки, в створе двух основных отвесов выставляют промежуточные отвесы. Это делают по визирному лучу зрительной трубы теодолита. Два исполнителя рулетку натягивают и подводят ее к нитям отвесов. По обоим концам рулетки одновременно по команде делают отсчеты с точностью до миллиметров и записывают их в полевой журнал. Измерения одной и той же длины производят 2—3 раза, смещая рулетку. Расхождения между отдельными измерениями не должны превышать 3—5 мм. Из полученных длин находят средние значения. При измерениях натяжение рулетки стараются делать близким к 10 кг.

Длины измеряют в прямом и обратном ходе. В обратном ходе промежуточные отвесы выставляют в других местах (для контроля).

Допустимые относительные ошибки при измерении длины линии:

в опорных сетях $1_{\text{доп}} = (1_{\text{пр}} + 1_{\text{обр}}) D_{\text{пр}} < 1/3000$;

в теодолитных ходах съёмочных сетей $1_{\text{доп}} < 1/1000$;

в угломерных ходах съёмочных сетей $1_{\text{доп}} < 1/200$.

При сильной воздушной струе в горных выработках вместо нитяных промежуточных отвесов пользуются жесткими отвесами, которыми снабжены телескопические распорные штанги.

Съемка контуров горных выработок и составление абриса — завершающий этап полевых съемочных работ.

Основное назначение съемочных работ, частью которых является съемка контуров горных выработок и характерных мест, — это получение исходных данных для составления планов горных работ на базе проложенных опорных и съемочных сетей.

В шахтных условиях эта работа может быть выполнена двумя основными способами: ординато-линейным и полярным.

В каждой точке, где установлен теодолит, измеряют от теодолита расстояние влево L , вправо S , вверх L_1 , вниз L_2 до стенок выработки, а также перпендикуляры от сторон полигона до стенок выработки на искривленных участках.

При полярном способе от одной из сторон полигона измеряют горизонтальные углы ρ_i , а также длины u до каждой характерной точки выработки. Этот способ применяют в районе пересечения выработок, а также при съемке камер.

Абрис (схему) со всеми числовыми значениями заносят в полевой журнал измерения углов и длин. Составление абриса и съемку контуров горных выработок ведут по мере прокладки теодолитных ходов.

§ 135. Камеральная обработка подземных опорных и съемочных сетей

Камеральные работы при полигонно-теодолитной съемке включают:

обработку полевых журналов, вывод средних значений углов и длин, контроль вычислений в журналах измерений, введение поправок в измеренные длины;

вычисление невязок, уравнивание сетей, оценка точности положения удаленных пунктов;

вычисление координат пунктов опорных и съемочных сетей;

составление плана горных работ по результатам съемок и замеров.

Вычисление координат точек подземного полигонометрического хода ведут в той же последовательности, что и на поверхности.

Первоначально в ведомость координат записывают средние значения углов и горизонтальных проложений длин, координаты начальной точки съемки x , y , z и дирекционный угол исходной стороны a .

Затем определяют угловые невязки хода f_ρ и сравнивают их с допуском.

В ЗЭМКНУТОМ ПОЛИГОНЕ; β — $\beta_{\text{изм}} - \beta_{\text{теор}}$, где $2\beta_{\text{теор}} = 180^\circ(\gamma - 2)$ — при измерении внутренних углов полигона; $2(\beta_{\text{теор}} = 180^\circ(\gamma + 2))$ — при измерении внешних углов полигона.

Невязку f_w распределяют, если она в пределах допуска, поровну на каждый угол с обратным знаком, т. е. $\Delta\beta_i = -f_w/p$. Угловая невязка в полигонометрических ходах опорной и съёмочной сетей не должна превышать:

в замкнутых полигонах

$$f_{\text{рдоп}} = 2 \tau_p \sqrt{L};$$

в висячих полигонах, пройденных дважды,

$$f_{\text{рдоп}} = 2 \sqrt{Pr/n^2};$$

в секциях полигонов и в разомкнутых полигонах, проложенных между двумя сторонами, ориентированных с помощью гирископов,

$$f_{\text{рдоп}} = 2 \sqrt{m_\alpha^2 + nm_\beta^2},$$

где \overline{m} — средняя квадратическая погрешность измерения углов; n — число углов полигонометрического хода; n , «2 — число углов прямого и обратного ходов; m_α — средняя квадратическая погрешность определения углов сторон, ориентированных гирископом.

После распределения угловой невязки вычисляют дирекционные углы a сторон полигона и приращения координат A_x, A_y .

В замкнутом полигоне теоретически $\sum \Delta x = 2\Delta\gamma = 0$. Однако в результате погрешностей при измерениях появляются линейные невязки i_x и $i_y = \sum \Delta x = \sum \Delta y = f_x/P$, где P — периметр полигона.

Если f_x в пределах допуска, то невязки распределяют по приращениям с обратным знаком пропорционально длинам сторон, т. е.

Допустимые линейные относительные невязки при прокладке опорных сетей:

в замкнутых полигонах не должны превышать $1/3000$ длины хода;

в разомкнутых полигонах $f_{\text{доп}} < 1/2000$.

При прокладке съёмочных сетей допустимые линейные относительные невязки в замкнутых теодолитных ходах не должны превышать $1/1500$, в разомкнутых и дважды проложенных — $1/1000$, в угломерных ходах — $1/200$ от длины хода.

Заключительным этапом является вычисление координат точек хода x , y , z .

Координаты x , y точек хода вычисляют для контроля два исполнителя или один исполнитель использует контрольные формулы, или применяют машинный метод, используя ЭВМ.

Машинный метод позволяет сократить время на камеральные работы по вычислению координат в 5—8 раз, обеспечивая надежный контроль вычислений.

Составление плана горных работ. При составлении основных планов на жесткой основе первоначально готовят планшеты. Затем при помощи линейки Дробышева наносят координатную сетку размерами сторон 10х10 см. Правильность нанесения проверяют измерителем по диагоналям. После этого сетку закрепляют тушью. Сделав оцифровку сетки согласно принятому масштабу и значениям координат, наносят точки теодолитного хода по координатам. По мере нанесения осуществляют контроль по дирекционным углам линий, их длинам или горизонтальным углам.

После нанесения хода приступают к составлению контуров горных выработок, используя абрисы полевого журнала.

На заключительном этапе план раскрашивают, подписывают объекты, обводят тушью и делают зарамочное оформление. Планы горных работ составляют в соответствии с Едиными условными обозначениями для горной графической документации и по правилам маркшейдерско-топографического черчения. С помощью специальных приставок к ЭВМ— графопостроителей маркшейдерские чертежи составляют автоматически.

§ 136. Ориентирно-соединительные съемки

Под ориентирно-соединительными съемками понимают установление геометрической связи подземных съемок со съемками на поверхности. Эти работы относятся к капитальным маркшейдерским работам. Они выполняются с высокой точностью и служат базой для создания маркшейдерской опорной сети в горных выработках.

Целью ориентирно-соединительных съемок является создание на каждом горизонте горных работ шахты (рудника) опорной маркшейдерской сети в системе координат, принятой на поверхности. В результате ориентирования представляется возможным составлять планы горных работ в единой системе координат с планами земной поверхности. Ориентирование необходимо для задания направления горным выработкам, проведения их встречными забоями, для развития горных работ согласно проекту, обеспечения правильного взаимного расположения выработок и сооружений на поверхности, установления границ безопасного ведения горных работ, охраны зданий,

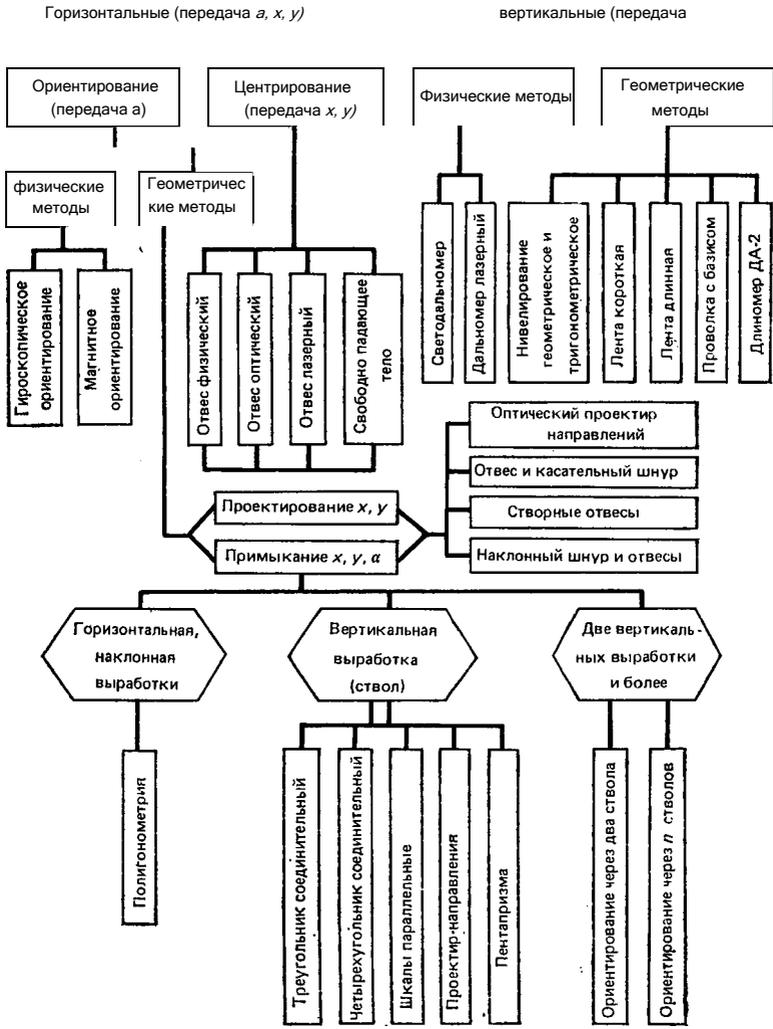
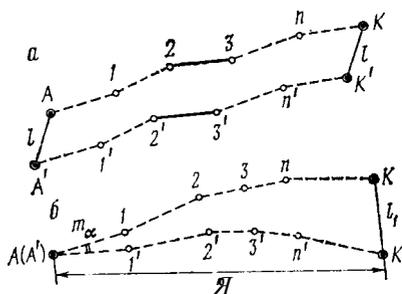


Рис. 133. Общая блок-схема ориентиро-соединительных съемок

сооружений и земной поверхности от влияния горных выработок и решения ряда других ответственных инженерно-технических задач.

Ориентиро-соединительные съемки разделяют на горизонтальные и вертикальные (рис. 133).

Рис. 134. Схемы, иллюстрирующие влияние погрешностей ориентирования (а) и передачи дирекционного угла (б) на положение последней точки *K* подземного полигона



Горизонтальные съемки производят для решения задачи центрирования — определения координат *x* и *y* и ориентирования — определения дирекционных углов *a* подземной опорной маркшейдерской сети.

Вертикальные соединительные съемки производят для передачи высот точек с земной поверхности в горные выработки.

На ориентируемом горизонте достаточно определить координаты *x*, *y*, *z* одной точки и дирекционный угол *a* одной стороны в системе координат, принятой на поверхности.

Соединительные съемки проводят через горизонтальные (штольни), наклонные и вертикальные выработки.

Наиболее ответственной частью горизонтальной соединительной съемки является определение дирекционного угла *a* первой стороны подземной опорной сети.

Допустим, что при проецировании с помощью отвеса точки *A* (рис. 134, а) с поверхности в шахту допущена линейная ошибка *l*. В результате этой ошибки при известном дирекционном угле одной из сторон, например 2—3, вместо безошибочного теодолитного хода *A—1—2—3—n—K* по горным выработкам будет проложен ход *A'—1'—2'—3'—n'—K'*. Последняя точка хода *K* сместится за счет сделанной ошибки также на величину *l*, как и все другие вершины хода.

Поскольку при проецировании точки эта погрешность мала (5—7 мм), то она практически не оказывает влияния на точность решаемых горнотехнических задач.

Если погрешность сделана в передаче дирекционного угла *a* (рис. 134, б) на величину *m_α*, то это вызовет поворот всего полигона. Точки теодолитного хода от ствола шахты к ее крыльям будут все более отходить от истинного (безошибочного) положения пропорционально расстоянию *l*?, и на крыле шахты линейная погрешность составит величину

$$l_1 = \frac{m_\alpha}{\rho} R,$$

где $\rho = 3438'$.

Учитывая важность соединительных съемок, предусматривается двойное независимое их проведение. При этом разность между двойным независимым ориентированием по определению дирекционного угла первой стороны подземной съемки должна быть не более $3'$, т. е.

$$a_1 - a_2 = \tau_a < 3'.$$

Из двух независимо полученных значений α и α_0 , если результат в пределах допуска, за окончательный принимают $\alpha_{ср}$.

Передачу высот в горные выработки на пункты опорной сети производят также независимо дважды.

§ 137. Горизонтальная соединительная съемка

Ориентирование может быть выполнено геометрическими, включая оптические, и физическими методами. К последним относят магнитное и гироскопическое ориентирование.

При геометрических методах осуществляется непосредственная связь между земной поверхностью и горными выработками. Физические методы позволяют определять дирекционные углы сторон без использования непосредственной геометрической связи горных выработок с поверхностью. Передачу координат x , y в этом случае производят самостоятельно с помощью отвеса, а координату z — с помощью приборов для измерения длин или нивелированием.

В зависимости от того, как соединены горные выработки с земной поверхностью или между горизонтами различают три случая ориентирования: через штольню или наклонный ствол, через один вертикальный ствол, через два и несколько вертикальных стволов.

Ориентирование через штольню или наклонный ствол производят методом прокладки полигонометрии с поверхности в шахту дважды с выходом на первую сторону подземной съемки. При этом расхождение в результатах ориентирования не должно превышать $3'$. В выработках с углами наклона до 5° высоты передают геометрическим нивелированием, а с углами наклона свыше 5° — тригонометрическим нивелированием.

Геометрическое ориентирование через один вертикальный ствол осуществляют при глубине шахтного ствола не более 500 м. Для этого в ствол опускают два отвеса, фиксирующих отвесную плоскость. Дирекционный угол этой плоскости одинаков на всю глубину. Отвесы могут быть представлены оптическими или лазерными лучами. Обычно используют физические отвесы. Геометрическое ориентирование включает решение трех самостоятельных задач: проецирование точек с поверхности в шахту, примыкание к опущенным в ствол отвесам на поверхности и на ориентируемом горизонте.

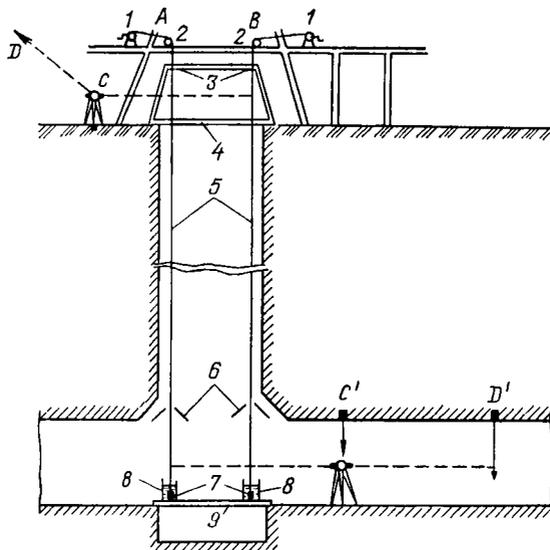


Рис. 135. Схема расстановки оборудования при ориентировании через вертикальный ствол

Проецирование точек с поверхности в шахту осуществляется с помощью отвесов, которые могут быть неподвижными и качающимися.

При проецировании неподвижным отвесом предполагается, что отвес в стволе занимает строго вертикальное положение и при этом в проекции на горизонтальную плоскость точки, соответствующие отвесу на поверхности и в шахте, совпадают.

Расположение оборудования при проецировании точек с поверхности в шахту показано на рис. 135.

Лебедки 1 должны быть снабжены двумя храповиками с запорами. Диаметр барабана лебедки, на котором намотана проволока, должен быть не менее 250 мм. Все детали лебедки должны выдерживать двукратную нагрузку.

Диаметр направляющих блоков 2 для спуска проволоки в ствол должен быть не менее 150 мм.

Для отвесов применяют стальную проволоку 5 диаметром от 0,5 до 2,0 мм в зависимости от глубины шахты и величины подвешиваемых грузов. Масса груза, подвешиваемого на проволоку, не должна превышать 60 % от предела прочности проволоки на разрыв.

Грузом являются стальные или свинцовые пластины 7, надеваемые на штангу внизу отвеса. Масса пластин 10—20 кг.

Для исключения побочного влияния на колебание отвеса используют центрировочные пластины 3, устанавливаемые на перекрытиях, не связанных с вибрирующими конструкциями. Для исключения влияния воздушного потока грузы отвесов помещают в бачки-успокоители 8. При сильном капеже в стволе бачки-успокоители ограждают зонтами 6, представляющими собою листы железа или доски, установленные с наклоном около опущенного отвеса.

При проецировании точек и ориентировании шахт стволы перекрывают сплошным настилом брусьев или досок 9, оставляя вырезы в них размером 10X10 см для пропуска проволоки отвеса.

При спуске отвесов с поверхности в шахту должны соблюдаться следующие правила: у ствола не должно быть людей, не связанных с этой работой; спуск отвеса производят при малых грузах (2—5 кг), основной груз подвешивают в шахте; скорость спуска не более 1—2 м/с с остановками через 50—70 м для успокоения колебаний отвеса, при спуске проверяют исправность проволоки; между поверхностью и шахтой должна быть четкая сигнализация (телефонная или световая).

Положение проволоки отвесов в стволе проверяют двумя способами: сравнением расстояния между отвесами на поверхности и в шахте (расхождение не должно превышать 2 мм); спуском по проволоке каждого отвеса кольца из проволоки или толя, — если они пришли вниз, то отвесы в стволе не касаются армировки.

Для контроля применяют способ маятника, вычисляя полу-период качания отвеса по формуле

■. /=яУ77&«л/я.

где Y — длина отвеса, м; g — ускорение силы тяжести, м/с².

Имеются другие способы проверки, включая осмотр отвесов при спуске по лестничному отделению ствола.

При подвешивании основного груза в шахте следует учитывать растяжение проволоки. В противном случае груз вместе со штангой может оказаться на настиле.

Погрешность проецирования отвесами сильно влияет на точность ориентирования через один вертикальный ствол.

Отклонение отвеса в стволе от вертикального положения может происходить за счет воздушного потока, капежа, побочных колебаний, неправильной установки оборудования при проецировании и центрировочных пластин и т. д.

Пусть A и B — положение отвесов на поверхности; A' и B' — отклоненное положение этих же отвесов в шахте; l_a и l_b — линейные отклонения проекций нижних точек отвесов от верхних; c — расстояние между отвесами на ориентируемом

горизонте; θ — средний угол отклонения створа отвесов на ориентируемом горизонте относительно створа на поверхности. Тогда

Из формулы видно, что наряду с уменьшением погрешности проецирования, необходимо отвесы располагать на возможно большем расстоянии друг от друга.

$$\text{Пример } \rho_{\lambda}. \text{ Если } c = 2,0 \text{ м; } l = 5 \text{ мм, тогда } \theta = 206265'' \cdot \frac{\sqrt{\quad}}{2000 \text{ мм}} = 8'35''.$$

Если предположить, что около ствола к стороне, имеющей эту ошибку, примыкает теодолитный ход длиной в 1000 м, то положение последней точки хода только за счет неточности проецирования будет определено со средней погрешностью

$$l = \frac{\theta}{\rho} = \frac{8'35''}{206265''} = 2,49 \text{ м относительно поверхности,}$$

В особо неблагоприятных условиях проецирование точек с поверхности в шахту может быть выполнено качающимися отвесами. В этом случае на горизонте ориентирования для каждого отвеса требуется найти его наиболее вероятное неотклоненное положение.

Это может быть сделано непосредственными наблюдениями за качанием отвеса по отношению к биссектору сетки нитей трубы теодолита. Такой способ применяют при небольших колебаниях отвеса при помощи двух взаимно перпендикулярных шкал и зеркала, установленных на подставке около отвеса.

Шкальный способ определения наиболее вероятного положения неотклоненного отвеса состоит в следующем.

На подходной точке в непосредственной близости от отвеса устанавливают теодолит, а около отвесов — шкальные приборы, каждый из которых состоит из двух взаимно перпендикулярных шкал M и N и зеркала. Шкалу N устанавливают горизонтально и по нормали к визирному лучу теодолита; шкалу M устанавливают горизонтально и параллельно визирному лучу. Наблюдая за отклонениями нити отвеса в зрительную трубу берут отсчеты по шкале N непосредственно, а по шкале M — через зеркало. Из серии наблюдений находят среднее значение, соответствующее положению покоя отвеса n_0 , m_0 , которое в натуре закрепляют с помощью центрировочного приспособления.

Задачу примыкания осуществляют путем создания и решения геометрических фигур. Решению задач предшествует закрепление подходных точек у ствола на поверхности и на ориентируемом горизонте. Способ примыкания выбирают таким,

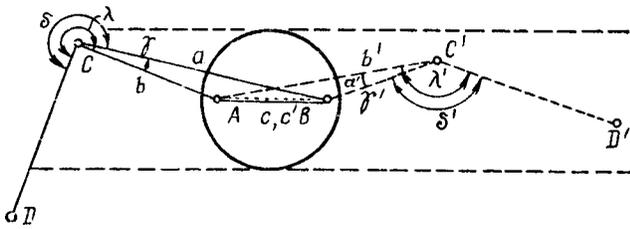


Рис. 136. Схема примыкания способом соединительных треугольников

чтобы погрешность передачи дирекционного угла от исходной стороны на земной поверхности к створу отвесов и также от створа отвесов на первую сторону подземной съемки в отдельности не превышала $\pm 30''$.

При любом способе примыкания должен быть обеспечен надежный контроль.

Примыкание может быть выполнено соединительными треугольниками, четырехугольниками, симметричным (шкальным) способом, методом створа.

Наиболее простым и распространенным является примыкание способом соединительных треугольников (рис. 136). Сущность способа состоит в следующем. На поверхности от опорной сети к подходной точке C прокладывают полигонометрию 2 разряда и вычисляют *аси* X_c , $У_c$.

В шахте закрепляют постоянные пункты $C'D'$ так, чтобы от точки C' была видимость на отвесы и пункт D' . Желательно, чтобы в образовавшихся на поверхности и в шахте остроугольных соединительных треугольниках острые углы γ не были больше $2-3^\circ$.

На подходных точках устанавливают теодолиты и измеряют горизонтальные углы γ , β , κ и γ' . O' , $Я'$ с точностью $10''$. При применении теодолитов Т2 и Т5 углы измеряют двумя приемами, теодолитом Т15 — тремя приемами.

В соединительных треугольниках измеряют в горизонтальной плоскости все стороны a , b , c и a' , b' , c' . Каждую сторону измеряют при смещении рулетки не менее пяти раз. Допустимое расхождение между отдельными измерениями 2 мм. Из допустимых значений определяют среднюю длину каждой стороны. При повторном ориентировании для контроля один из отвесов смещают и все угловые и линейные измерения повторяют заново.

Контроль правильности измерения линейных и угловых величин треугольников осуществляют сравнением измеренных расстояний между отвесами на поверхности и ориентируемом горизонте с вычисленными по формуле косинусов:

3 При этом расхождения $s_{изм}$ — Свыч не должны превышать мм.

Углы при отвесах вычисляют:
при $2^\circ < \gamma < 20^\circ$ по формуле синусов

$$\frac{\sin A \sin B}{a} = \frac{\sin \gamma}{c}$$

если $\gamma < 2^\circ$ — по приближенной формуле

$$\angle A = \frac{a}{c} \gamma \text{ и } \angle B = \frac{b}{c} \gamma$$

если $\gamma > 20^\circ$ — по формулам сторон

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}};$$

$$\operatorname{tg} \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}},$$

где $p = (a + b + c)/2$.

Угловую невязку в треугольниках распределяют поровну с обратным знаком только на вычисленные углы при отвесах A и B .

Сумма уравненных углов в каждом треугольнике $\angle A + \angle B + \gamma = 180^\circ$.

Передачу дирекционного угла a с поверхности в шахту делают по схеме как в обычном теодолитном ходе по двум направлениям с выходом на общую сторону. Например: $a_{oc} \pm 180^\circ - \angle B \pm 180^\circ - 2 \cdot \angle A \pm 180^\circ + \angle A \pm 180^\circ$.

Координаты на первую точку подземной съемки передают по тем же направлениям, что и дирекционные углы:

$$X_c - X_a = Ax_c + Ax_b + Ax_a'$$

$$Y_c - Y_a = Ay_c + Ay_b + Ay_a'$$

Контролем ориентирования является повторение работ после смещения одного из отвесов. В некоторых случаях в ствол опускают три отвеса. В трех образовавшихся соединительных треугольниках два принимают за контрольные. В результате может быть получено два значения «с'о'». Если разность между ними меньше $3'$, то за окончательное значение дирекционного угла принимают среднее из полученных.

Ориентирование через два вертикальных ствола. Полевые работы при ориентировании через два ствола разделяют на два этапа: до остановки стволов и после их остановки.

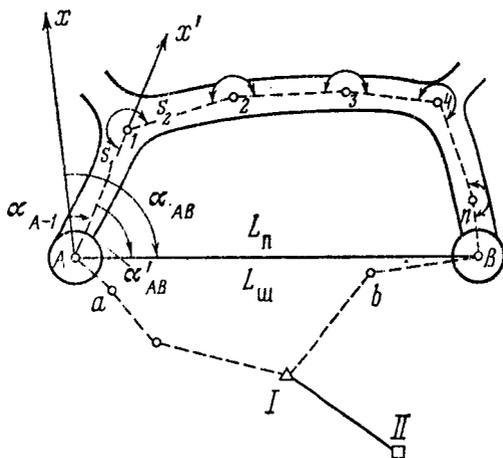


Рис. 137. Схема ориентирования через два вертикальных ствола

До остановки стволов около них закрепляют подходные пункты a и b (рис. 137) и от опорной сети на поверхности прокладывают к ним полигонометрию 1 разряда (пункты I, II).

В околоствольных дворах выставляют подходные точки I, n и прокладывают между ними ход полигонометрии повышенной точности (1/3000—1/5000).

После выполнения этих работ производят остановку стволов. В каждый из них опускают по одному отвесу, а на подходных точках a, b и I, n устанавливают теодолиты. Четыре наблюдателя одновременно делают примыкание к отвесам (измеряют угловые и линейные величины).

При ориентировании через два ствола погрешность проецирования отвесов играет второстепенную роль. Поэтому здесь не применяют специальных методов определения положения покая отвесов на горизонте примыкания. Вычисления ведут в следующем порядке.

Исходя из схемы примыкания на поверхности вычисляют координаты точек закрепления отвесов A и B , т. е. X_A, x_a, y_A, y_a затем дирекционный угол створа отвесов s_{AB} и расстояние между отвесами B_n (на поверхности), решая обратную геодезическую задачу:

$$\alpha_{aB} = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \text{ и}$$

$$L_{,,} = AB = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{aB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{aB}}$$

Вводят условную систему координат: ось ox' направляют по первой стороне подземной съемки, а за начало координат принимают один из отвесов (в нашем примере отвес A). Отсюда $X_A = Y_A = 0$ и $a'_1 = 0$.

По измеренным R_B, R_C, \dots, R_n и I_1, I_2, \dots, I_n вычисляют координаты точек подземного полигона (шахты), а также координаты точки закрепления отвеса B в условной системе, а затем вычисляют

$$a_{AB} = \frac{ax \wedge \sim \cdot y'_{B-A}}{! *_{B-A}} \text{---};$$

8 > па_{дв} со 15 «лв

Дирекционный угол первой стороны подземной съемки в истинной системе координат определяют согласно схеме рис. 137 по формуле

$$\wedge \cdot A - I \cdot \textcircled{AB} \textcircled{AB}$$

По известным a_{AB} и координатам отвеса A вычисляют координаты всех точек подземного хода и отвеса B , но уже в истинной системе координат.

Контроль ориентирования:

$$I \wedge n \cdot B / \text{щ} = =$$

поскольку координаты отвеса B получены в истинной системе на поверхности и в шахте, то линейные невязки определяют как

$$!x = x_{Bn} - x_{Bи} \text{ и}$$

У в п у Вщ»

отсюда $\frac{!x}{!y} = \frac{V}{X \wedge \textcircled{y} \setminus \textcircled{отн}} - \frac{!x}{!y} = \frac{!x}{!y} \cdot P$, а при вытянутом ходе между стволами $\frac{!x}{!y} = \frac{!x}{!y} \cdot P$. Погрешность определения дирекционного угла первой стороны подземной съемки не должна превышать $\tau_a < 1'$. Это условие выполняется, когда $\frac{!x}{!y} \cdot P - \wedge 1' \wedge 1/3438$.

Ориентирование через два ствола из всех геометрических способов является самым точным. Поскольку расстояние между отвесами больше, погрешность проецирования не оказывает существенного влияния на точность ориентирования. Ориентирование этим способом проводят в течение 1,5—2,0 ч., в то время как при ориентировании через один ствол — 6—10 ч.

Для повышения точности ориентирования уменьшают число сторон подземного полигона, т. е. стороны должны быть длин-

ными; вытянутый вдоль створа стволов полигон способствует повышению точности ориентирования.

Упрощенные методы ориентирования применяют при ориентировании съемочных сетей подэтажных горизонтов. Наибольшее распространение они получили на рудниках, где много горизонтов, вертикальных и наклонных выработок, соединяющих их с основными горизонтами. Ориентирование производят геометрическими, оптическими, магнитными и гироскопическими методами.

Ориентирование через один восстающий двумя отвесами с примыканием методом соединительных треугольников по исполнению аналогично ориентированию через один ствол.

Ориентирование через два восстающих по методике аналогично ориентированию через два ствола, однако работы выполняются по упрощенной схеме.

Ориентирование методом одного отвеса и касательных шнуров. В основу этого метода как и многих других при упрощенном ориентировании съемок через вертикальные и наклонные выработки приняты два положения из геометрии:

через наклонную прямую можно провести только одну вертикальную плоскость;

все линии, лежащие в этой плоскости, будут иметь один и тот же азимут или отличаться от него на 180° .

На рис. 138 показана схема ориентирования верхней подэтажной выработки. Здесь фиксированной вертикальной плоскостью является плоскость, проходящая через отвес O и шнуры, касающиеся его.

Задача сводится к следующему. Дано: сив, $Xв$, $ув$, z_B . Требуется определить: a_{CD} и Xc , zc , yc .

В точке B устанавливают теодолит, в восстающий опускают один отвес. Визируя на точку A и отвес O , измеряют горизонтальный угол p и одновременно на стенке выработки по краю нити отвеса при визировании закрепляют точку a . Далее от нее в восстающий протягивают шнур, касающийся отвеса по одну его сторону, закрепляя поочередно точки b , m , заканчивая на ориентируемом горизонте точкой C . Под ней устанавливают теодолит, измеряют угол y между отвесом O и закрепленной точкой D .

Линии Ba , ab , Bm , mC лежат в одной вертикальной плоскости и имеют один и тот же азимут. В нашем примере $асв = a_{Av} + p \pm 180^\circ + y \pm 180^\circ$.

Измеряют расстояния в горизонтальной плоскости BO и CO и определяют координаты точки C :

$$x_c \sim x_b + BO \cos a_{ba} + O_c \cos a_{mC};$$

$$y_c = y_b + BO \sin a_{ba} + O_c \sin a_{mC}.$$

шнур лежат в одной вертикальной плоскости. Делают примыкание методом треугольников на верхнем и нижнем горизонтах. По известным координатам точки C и дирекционному углу стороны IC определяют дирекционный угол вертикальной плоскости, проходящей через шнур AB . Затем определяют дирекционный угол стороны $C'O'$.

Ориентирование подземной маркшейдерской сети приборами с магнитной стрелкой в настоящее время носит эпизодический характер. Современные горные предприятия являются механизированными, электрофицированными. На поверхности и в шахте много магнитных масс, отклоняющих магнитную стрелку. Лишь в отдельных случаях определяют по магнитным азимутам дирекционные углы подземной съемки этим способом, в основном, во второстепенных горных выработках.

Основы гироскопического ориентирования. Гироскоп — это быстро вращающееся тело, масса которого расположена симметрично по отношению к оси вращения. Примером простейшего гироскопа является волчок. Чем быстрее скорость его вращения, тем устойчивее заданное направление оси вращения. Различают гироскопы свободные и несвободные.

Свободный гироскоп имеет три степени свободы, т. е. вращение его может происходить относительно трех взаимно перпендикулярных осей.

Если свободный гироскоп лишить одной степени свободы, то он превращается в двухстепенной, приобретает ориентирующее свойство, т. е. становится гироскопом.

У такого гироскопа ось вращения очень чувствительна к вращению Земли. В результате ось гироскопа устанавливается параллельно земной оси, т. е. в направлении географического меридиана в данной точке.

В нашей стране руководящая роль в конструировании и изготовлении маркшейдерских гироскопов принадлежит ВНИМИ, где создано специальное конструкторское бюро, лаборатория гироскопии и опытно-экспериментальный завод по изготовлению новых маркшейдерско-геодезических приборов.

Основным прибором для гироскопического ориентирования шахт в настоящее время является МВТ2 (маркшейдерский взрывобезопасный торсионный). Лаборатория ВНИМИ уже разработала модернизированные образцы приборов этого типа МВТ4, МВТ12. Лаборатория гироскопии ВНИМИ ведет разработки портативных гироскопических буссолей. Изготовлен опытный образец МВБЗ — малого гироскопа для повседневных маркшейдерских работ.

Большие работы по изготовлению маркшейдерско-геодезических гироскопов ведутся также в ВНР, ГДР, США и других странах. Изготавливаемые зарубежными фирмами гироскопы получили название гиротеодолитов.

1 — зеркало подсветки; 2 — угломерная часть; 3 — трегер; 4 — штатив; 5 — гиросприставка

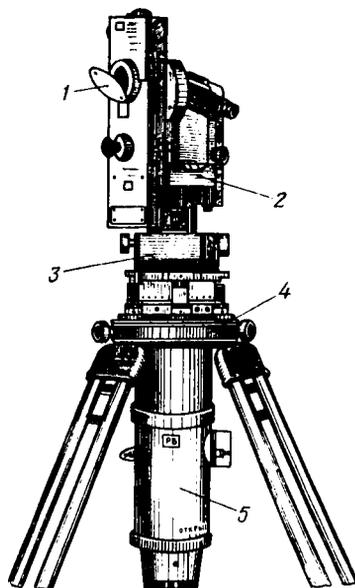
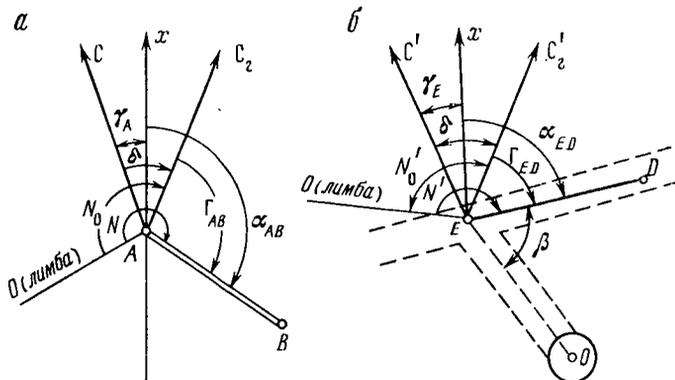


Рис. 141. Схемы гироскопического ориентирования на земной поверхности (а) и в шахте (б)



В СССР основными маркшейдерскими гироскопами стали торсионные МВТ2 и МВТ4. Они предназначены для ориентирования подземных опорных маркшейдерских сетей, а также используются для ориентирования и контроля подземной съемки. Масса гироскопа и угломерной части — 16 кг. Масса всего комплекта — 33 кг. Точность определения гироскопического азимута 30", продолжительность одного определения азимута 25 мин. Центрирование и горизонтирование гироскопа производят так же, как и теодолита.

В отличие от МВТ2 гироскоп МВТ4 (рис. 140) конструктивно выполнен в однокорпусном исполнении. В одном приборе,

устанавливаемом на штативе, объединены гироблок и измерительный блок. Блок питания — преобразователь и аккумуляторная батарея размещены вместе с гироблоком в общем взрывобезопасном корпусе.

Работу по измерению дирекционного угла стороны подземного хода гироскопическим способом выполняют в следующем порядке:

рекогносцировка;

определение гироскопического азимута исходной стороны на земной поверхности и вычисление поправки гирокомпаса;

определение гироскопических азимутов ориентируемых сторон в шахте;

вычисление и оценка точности результатов.

Рекогносцировку производят до начала работы. Ее цель — выбор схемы проведения работ и выбор исходной и ориентируемых сторон и точек установки гирокомпаса.

За исходное направление на поверхности принимают сторону AB (рис. 141, a) триангуляции или полигометрии, дирекционный угол которой известен. Гирокомпас устанавливают на одном из пунктов исходной стороны, например, в точке A .

Включив электропитание, гирокомпас переводят в рабочий режим. После стабилизации режима (разгона гиromотора) приступают к наблюдениям за колебаниями чувствительного элемента (ЧЭ) с помощью автоколлиматора. Вычисляют отсчет N по лимбу, соответствующий положению равновесия ЧЭ. В процессе наблюдений измеряют также исходное направление AB и получают средний отсчет по лимбу.

В положении равновесия ЧЭ ось гиromотора будет направлена на север C в плоскости географического меридиана точки установки гирокомпаса, а зрительная труба будет направлена на север условного «гирокомпасного» меридиана C_r , образуя постоянный с истинным меридианом угол β , называемый поправкой гирокомпаса:

$$\beta = a_{AB} + \gamma_A - \alpha_{AB}$$

где a_{AB} — дирекционный угол стороны AB ; γ_A — плоское сближение меридианов в точке A ; α_{AB} — гироскопический азимут стороны AB .

Гироскопический азимут исходной стороны определяют дважды. Первый раз непосредственно перед определением гироскопических азимутов ориентируемых сторон в шахте, второй — после этих работ. Поправку гирокомпаса вычисляют как среднее из определений.

Ориентируемую сторону в шахте выбирают между постоянными маркшейдерскими пунктами $EЭ$ (рис. 141, b), на которых возможна установка гирокомпаса. Длина стороны должна быть не менее 50 м. Гироскопический азимут в шахте, так же как и

на поверхности, определяют не менее двух раз и из них находят среднее значение.

Дирекционный угол ориентируемого направления ED в шахте с учетом поправки b вычисляют по формуле

$$\alpha_{ED} = \alpha_{AB} + t' \cdot \Gamma_{ED} - \Gamma_{y4B} + (\text{?Д } \Upsilon_e) >$$

где $(\Upsilon_A - \Upsilon_E)$ — разность плоских углов сближения меридианов в точках A и E .

Гироскопическое ориентирование, как и магнитное, решает только одну задачу — определение дирекционного угла. Координаты же x , y , z передаются самостоятельно геометрическим методом.

Для определения координат исходной точки E на ориентируемом горизонте в ствол шахты опускают отвес O . На земной поверхности определяют координаты $x_0 y_0$ отвеса. В шахте, измерив расстояние I — OE и примычный угол ρ , определяют вначале дирекционный угол стороны OE , а затем вычисляют координаты пункта E по формулам

$$x_E = x_0 + I \cos(\theta);$$

$$y_E = y_0 + I \sin(\theta).$$

§ 138. Вертикальная соединительная съемка

В практике возможны случаи передачи высот на пункты подземной маркшейдерской сети по горизонтальным, наклонным и вертикальным выработкам.

Во всех случаях у устьев горных выработок закрепляют реперы, высоты которых определяют геометрическим нивелированием не ниже IV класса от опорной сети на поверхности.

В горизонтальных выработках координату z передают геометрическим нивелированием от подходных реперов.

По наклонным выработкам с углом наклона больше 5° высоты передают тригонометрическим нивелированием.

Через вертикальную выработку высоты передают с помощью длинной шахтной ленты, опускаемой в ствол, глубиномера или светодальномера.

Передача высоты должна осуществляться дважды. Разности высот из двух независимых способов не должны превышать:

при передаче через вертикальный ствол $M < (10 + 0,2 H)$, мм;

при передаче по горизонтальным выработкам $A/\sqrt{b} \text{Од} / \sqrt{L}$ (в мм);

при передаче по наклонным выработкам $A/L < \sqrt{b} \text{Од} / L$, где L — длина хода нивелирования в км.

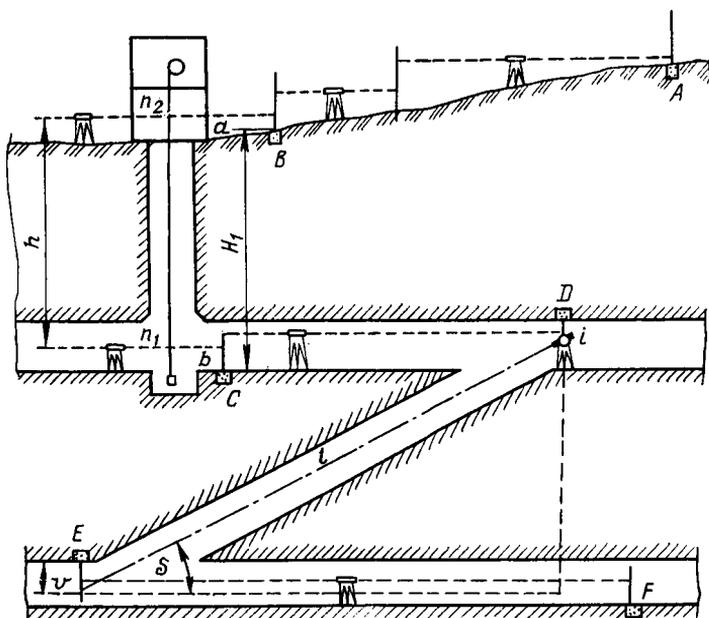


Рис. 142. Виды подземной вертикальной съемки

Наиболее трудоемкой является передача высоты с поверхности в шахту по вертикальной и крутонаклонной выработкам. На время работы, как и при ориентировании, ствол останавливают и прекращают на некоторое время транспортировку грузов и людей.

Общая схема передачи координаты z с поверхности в шахту представлена на рис. 142. Репер A с известной высотой z_a закреплен на поверхности, репер C закреплен в стенке горной выработки. Его высоту z_c требуется определить. Высота репера C $z_c = z_a - H_u$ где $H_u = (n_2 - n_1) - a + \delta + EA/\gamma$; a и B — отсчеты с помощью нивелиров по рейкам, установленным на реперах B и C ; n_1 , n_2 — отсчеты на уровне визирных осей нивелиров; k — расстояние между визирными осями нивелиров; $2D/\gamma$ — сумма поправок.

Величину H определяют рулеткой, шахтной лентой, проволокой или длиномером ДА-2. Она равна разности отсчетов n_2 — «1, которые берут с помощью нивелира непосредственно по рулетке (ленте) или по счетчику оборотов длиномера ДА-2.

Смещая ленту по высоте или меняя горизонт нивелиров, определяют H_2 , H_3 и т. д. (4—5 раз).

Из n значений с допустимыми расхождениями находят $H_{cp} = 2H/n$.

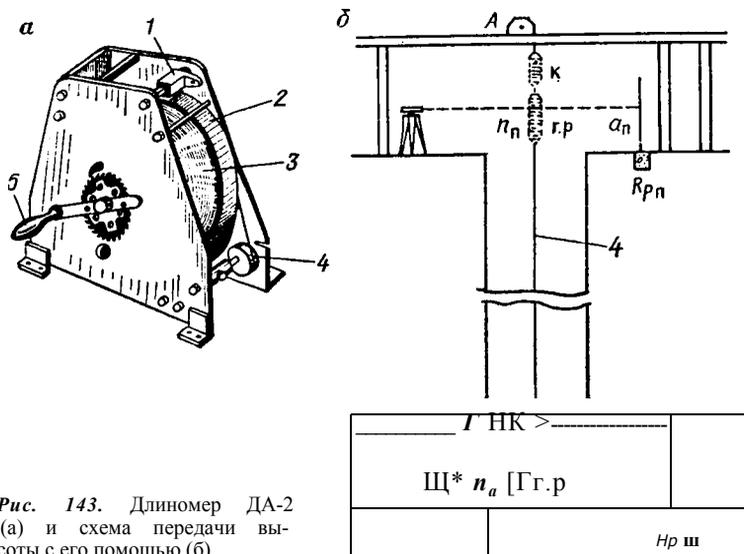


Рис. 143. Длинномер ДА-2 (а) и схема передачи высоты с его помощью (б)

Высоту репера C в шахте определяют из выражения

$$c = - Y_{cp},$$

где z_a — высота репера B на поверхности.

Передача высот точек при помощи длинмера ДА-2. Длинномер ДА-2 (рис. 143, а) представляет собой лебедку, на ось которой насажены барабан 3 и свободно вращающийся мерный диск 2. На барабан намотана проволока диаметром 0,8 мм и длиной 1000 м. Длина окружности мерного диска 1 м. По окружности мерный диск разбит на сантиметровые деления. В верхней части мерного диска расположен счетчик оборотов 1 с указателем для взятия сантиметров и миллиметров при измерении.

В комплект ДА-2 входят две рейки (рис. 143, б): одна из них груз-рейка (г.р.), представляющая собой цилиндр, залитый свинцом, массой 10 кг; другая располагается выше на 1—1,5 м — легкая контрольная рейка к. Длина реек 30—40 см, рейки по окружности разбиты на сантиметровые деления. По этим рейкам берут отсчеты по сетке нитей нивелира.

Проволока 4 через систему роликов огибает на $3D$ мерный диск по окружности (см. рис. 143, а) и вместе с грузом-рейкой с помощью рукоятки 5 опускается в ствол шахты.

Порядок полевых работ следующий. Длинномер ДА-2 устанавливают на верхней приемной площадке или на помосте над стволом в точке A (см. рис. 143, б). Устанавливают два

нивелира — один на поверхности, другой в шахте; на реперах ставят нивелирные рейки.

Опускают груз-рейку до уровня визирного луча нивелира на поверхности и в этом положении берут три отсчета: N_n — отсчет по длиномеру; n_n — отсчет по грузу-рейке; a_n — отсчет по рейке на репере. Затем, как только при спуске в поле зрения нивелира появится контрольная рейка, спуск приостанавливают и берут два отсчета: JV^* — отсчет по длиномеру; n_n — отсчет по контрольной рейке.

После этого груз-рейку и контрольную рейку опускают в ствол шахты до появления в поле зрения нивелира. В этом положении берут три отсчета: N_m — по длиномеру; n_m — по грузу-рейке и a_m — по рейке на репере в шахте. Затем, опустив контрольную рейку до уровня визирного луча нивелира, берут отсчеты JVm по длиномеру, $Пш$ — контрольной рейке.

Из полученных отсчетов глубину шахты вычисляют дважды:

$$hi = (N_m - n_m) - (N_n - n_n) - a_n + a_m + БД / ;$$

$$= (N_{ш} - Пш) - (f_{ш} - n_n) - a_n + -Ош + 2 A / .$$

Изменив горизонты нивелиров, в обратном порядке измеряют глубину шахты, определяя дополнительно $h_3, / \Gamma_4$.

Допустимое расхождение (в м) между отдельными измерениями контролируется формулой $A/i < 0,01 + 0,0002 (N_m - N_n)$.

Далее определяют h_{cp} и высоту репера в шахте

$$zRP_m \sim zRP_n \sim p.$$

Величину h определяют с учетом ряда поправок: за диаметр проволоки, за компарирование мерного диска, за температуру.

§ 139. Вертикальная съемка в горных выработках

Вертикальной съемкой называют измерения, проводимые в определенной последовательности для определения превышений одних точек над другими. По высотам исходных пунктов и превышениям вычисляют высоты точек различных объектов съемок.

В подземных горных выработках нивелирование производят для определения координаты z пунктов опорной и съемочной сетей, закрепленных в различных местах горных выработок и для решения инженерно-технических задач. К последним относятся: проведение выработок с заданным уклоном; контроль за уклоном рельсовых путей; составление профилей горных выработок; задание направлений горным выработкам в вертикальной плоскости, проводимых встречными забоями; опреде-

ление положения горных выработок по высоте относительно друг друга и относительно земной поверхности; определение высот различных точек, относящихся к поверхности кровли и почвы залежи, разрывных нарушений, местам взятия проб и т. п. для решения горногеометрических задач.

Различают три вида подземного нивелирования: геометрическое, тригонометрическое и передача координаты z через вертикальную выработку.

На земной поверхности имеется пункт A (см. рис. 142) государственного нивелирования, высота z которого определена от нуля Кронштадтского футштока. Требуется определить высоту точки P , закрепленной в горной выработке.

Чтобы определить высоту (координату z) точки T^7 относительно точки A , необходимо:

1. Произвести геометрическое нивелирование не ниже IV класса точности на земной поверхности от пункта A до пункта B , заложенного вблизи устья шахтного ствола. Этот вид нивелирования, выполняемый маркшейдером, ничем не отличается от нивелирования, выполняемого геодезистом (см. § 44).

2. Определить превышение пункта B над пунктом C , заложенным в околоствольном дворе шахты. Этот вид нивелирования называется передачей координаты z через вертикальный ствол (см. § 138).

3. Определить превышение пункта I над пунктом C в горных выработках одного и того же горизонта. Это выполняется с помощью подземного геометрического нивелирования. Оно проводится в горных выработках с углом наклона до 5° . Принцип геометрического нивелирования в подземных горных выработках остается таким же, что и при нивелировании на земной поверхности. Здесь лишь следует иметь в виду, что если репер (или пикет) закреплен в кровле выработки, а рейка прикладывается к реперу нулевым концом, то при вычислении превышения k на станции отсчет по такой рейке имеет знак минус. Например, $H = 3 - (-II)$, где 3 — отсчет по задней рейке; II — отсчет по передней рейке на пикете, закрепленном в кровле выработки. По методам измерений и требуемой точности геометрическое нивелирование относится к классу технических нивелировок. В зависимости от конфигурации выработок в плане и удаленности опорных пунктов друг от друга при техническом нивелировании прокладывают замкнутые ходы или висячие в прямом и обратном направлениях. При этом расстояние между нивелиром и рейками (пикетами) не должно превышать 100 м, расхождение в превышениях на станции, определенных по черным и красным сторонам реек, не должно превышать 10 мм. Невязки ходов технического нивелирования не должны превышать $50\sqrt{B}$ (в мм), где B — длина хода (в км).

4. Определить превышение пунктов **D** и **E** (см. рис. 142). В горных выработках с углом наклона более 5° эту задачу решают с помощью тригонометрического нивелирования. При этом измеряют четыре величины: I — длину стороны хода, b — вертикальный угол стороны, i — высоту теодолита и v — высоту сигнала. Превышение вычисляют из выражения $i = \text{sin} \delta + t - v$.

Если один или оба пункта (**E** и **D**) закреплены в кровле выработки, то значения i и v имеют знак минус. В нашем случае $h = I \sin \delta + (-i) - (-v) = I \sin \delta - i + v$.

При передаче высот с помощью тригонометрического нивелирования маркшейдерские работы должны удовлетворять следующим требованиям:

	В полигономет- рии	В теодолитных ходах
Расхождение между двумя измерениями длины	1/3000	1/1000
Расхождение значений места нуля в начале и конце хода не должно превышать, угл. мин . . .	1,5	3
Разность превышений (в мм) для одной и той же линии / (в м)	0,4	1/1000
Расхождение между двумя определениями высоты теодолита или сигнала, мм	<5	<10
Разность в превышениях (в мм) всего хода длиной L (в км).....	<100лГ	<120УГ

Вертикальные углы измеряют теодолитом типа Т15 при двух положениях круга в прямом и обратном направлениях. Стороны хода измеряют в соответствии с требованиями для линейных измерений в подземных полигонометрических ходах. Высоты теодолита и сигналов измеряют рулеткой дважды, отсчеты берут до миллиметров. Превышения для каждой линии хода определяют из прямого и обратного нивелирования.

Реперы закладывают на каждом горизонте горных выработок, как правило, в почве выработки, т. е. в местах, обеспечивающих наибольшую их сохранность на все время ведения горных работ на данном горизонте. Реперы закладывают в околоствольном дворе, в основных горных выработках по мере их подвигания парами на расстоянии от 20 до 50 м один от другого. Расстояние между парами реперов на одном горизонте не должно превышать 2 км. Место закладки репера отмечается на стенке выработки маркой с указанием наименования репера. Конструкция реперов может быть такой же, как и пунктов опорной маркшейдерской сети.

Тригонометрическое нивелирование по наклонным выработкам в опорных маркшейдерских сетях производят чаще всего одновременно с проложением полигонометрического хода, а в съемочных сетях — одновременно с проложением теодолитного или угломерного хода.

Для определения высот пунктов съемочной сети исходными являются пункты полигонометрии.

Высоты пунктов съемочной сети в подэтажных выработках определяют путем передачи высоты с пунктов (реперов) основного горизонта через вертикальные восстающие выработки при помощи рулетки. Разность в превышениях по двум измерениям не должна быть более 5 см.

§ 140. Съемочные работы

Маркшейдерские работы при проведении нарезных и очистных выработок в выемочных участках и очистных блоках называют съемочными работами.

Они являются одной из важнейших задач маркшейдерской службы. Срок службы нарезных и очистных выработок небольшой. От оперативной и правильной съемки во многом зависит нормальная производственная деятельность горного предприятия, обеспечение безопасного ведения горных работ, полнота выемки полезного ископаемого из недр.

По результатам маркшейдерских работ в нарезных и очистных выработках повседневно решают такие горнотехнические задачи, как уточнение формы, свойств и условий залегания залежи и вмещающих пород; планирование подготовительных и очистных горных работ; перенесение проектного положения выработок в натуру и задание им направлений; контроль правильности проведения горных выработок и т. п.

Объектами маркшейдерской съемки являются все горные выработки, характерные точки и капитальные сооружения в них, элементы геологического строения месторождения и вмещающих пород, элементы горного давления.

Съемочные работы выполняют более простыми по устройству и обращению компактными маркшейдерскими приборами.

В доступных выработках используют угломеры У-3, УТГ, УТБ, УТ-3 и др. Они имеют простую зрительную трубу, горизонтальный и вертикальный круги (или полукруги) с делениями через 1°. Некоторые угломеры снабжены дальномерными устройствами, позволяющими измерять расстояния до 30—45 м с точностью 1/100—1/200.

Угломеры могут устанавливаться на штативе, консоли, на распорной колонке. В комплект прибора входят специальные дальномерные рейки.

Съемку нарезных выработок выполняют от ближайших пунктов и сторон маркшейдерской съемочной сети путем замеров стальными или тесмяными рулетками или тахеометрическим способом.

Линейные измерения выполняют на уровне среднего сечения выработки с точностью до 1 дм в черне и до 1 см в свету. Все детали съемки отражают на эскизах в специальном журнале или журнале угловых и линейных измерений. При конт-

роле соблюдения проектного сечения выработки основные ее размеры измеряют до сантиметров. Для отражения на маркшейдерских планах динамики процесса горного производства во времени съемку ведут систематически в установленные сроки, иногда по декадам, но не реже одного раза в месяц, а также на момент завершения проходки выработки. Замеряют объемы горноподготовительных и очистных работ, определяют подвигание забоя, его ширину и высоту.

На основании замеров горнопроходчикам начисляют заработную плату.

На рис. 144, а показано положение забоя от точки 8 на $1/X$ и на $1/X1$. Подвигание забоя за месяц составит $l_2 - l_1$ (в м). Для определения площади сечения забоя замеряют его ширину внизу и вверху, а также высоту. Объем выработки равен результату от умножения величины подвигания l забоя на площадь его сечения.

На рис. 144, б показаны пункты 15 и 16 съемочной сети, а также схема замера линейных величин l_3, l_4, \dots, l_9 контура горизонтальных выработок.

Съемку очистных забоев или замер выработанного пространства выполняют по состоянию на первое число каждого месяца. В зависимости от характера очистных забоев и горно-технических условий положение очистных забоев определяют съемкой или замерами рулеткой от ближайших пунктов съемочной сети. Наряду со съемкой очистных забоев производят замеры мощности залежи и других элементов.

При разработке крутопадающих жил небольшой мощности системой с магазинированием отбитой руды съемку производят с помощью висячего полукруга. В восстающих отмечают точки A и B (рис. 144, в), определяют их положение относительно маркшейдерских точек 31 и 33. В очистном забое между точками A и B с помощью висячего полукруга и отвесов натягивают горизонтальные шнуры $Aa, a'B, B'c', cB$. Сумма измеренных горизонтальных расстояний должна равняться общему расстоянию между точками A и B . Измеряют также вертикальные длины всех отвесов aa', bb', cc' . От горизонтальных шнуров ведут способом ординат съемку забоя и поверхности отбитой руды.

На рис. 144, г показана съемка очистного забоя при разработке пологого пласта. Между точками 34 и 18 проложен угломерный ход $1-2-3-\dots n$. Расстояние между точками хода измеряют дальномером или тесьмой рулеткой. Угломерный ход привязан к съемочной сети путем измерения примычных углов ϕ и ψ соответственно в точках 34 и 18. При съемке измеряют рулеткой расстояния по перпендикулярам от точек хода до забоя. Одновременно производят геологические зарисовки забоя, определение элементов залегания пласта.

После вычислительной обработки угломерный ход наносят на план по дирекционным углам и горизонтальным проекциям сторон. Затем на плане откладывают в масштабе расстояния от точек хода до забоя и проводят линию забоя.

В выработках большого сечения, камерах, а также недоступных пустотах, контуры которых невозможно снять обычными маркшейдерскими приборами, съемку производят методами и приборами, которые позволяют одновременно с угловыми величинами определять расстояния до стенок выработок. К таким методам относятся виды съемок — тахеометрическая, фотограмметрическая и звуколокационная.

При тахеометрической съемке на характерные точки камеры вместо установки рейки наводят световое пятно, на которое направляют визирную линию трубы. Расстояние от прибора, установленного в безопасном месте, до светового пятна измеряют безречным дальномером двойного изображения. С помощью угломерной части прибора измеряют горизонтальный угол и угол наклона визирной линии.

Фотограмметрическим способом съемку производят с помощью спаренных фотокамер, устанавливаемых вблизи выработки на штативе. План выработки составляют по стереоснимкам с помощью специального прибора.

При съемке подземных пустот, заполненных соляным раствором или другими жидкостями (рис. 144, *д*), а также при съемке стволов и рудоспусков применяют звуколокаторы. Звуколокатор последовательно опускают на определенные горизонты. Прибор вращается относительно вертикальной оси, по отраженным сигналам звуколокатор описывает контур камеры.

К точности съемочных работ предъявляют различные, но определенные требования: обеспечение положения постоянных контуров или отдельных точек выработки по отношению к пунктам съемочной сети со средней погрешностью 0,4 мм на плане; определение по результатам съемки основных размеров выработанного пространства (линии забоя и подвигания) с погрешностью, не превышающей 1/100; обеспечение прохождения выработок встречными забоями в пределах очистного блока или выемочного участка в горизонтальной плоскости с точностью 0,5 м при скреперной доставке и 1,0 м при рельсовом транспорте, а в вертикальной плоскости с точностью 0,15 м.

По результатам съемки строят планы, вертикальные и погоризонтные разрезы, сечения и другие графические материалы, отражающие положение снимаемых объектов.

Вертикальную съемку откаточных путей в выработках, близких к горизонтальным, выполняют техническим нивелированием по пикетам через 10 или 20 м. Одновременно изме-

ряют высоту выработки на каждом пикете и в характерных местах. Съемку рельсовых путей в наклонных выработках выполняют тригонометрическим нивелированием, используя боковые реперы.

Построение продольного профиля рельсовых путей по результатам съемочных работ производят с использованием ЭВМ и графопостроителя.

Для контроля уклонов рельсовых путей используют профилографы. Построенный профиль служит основой для решения вопросов поддержания выработок и перестилки путей в связи с деформированием выработок в результате горного давления, подсчету объемов при подсыпке и подтирке почвы для укладки рельсовых путей. Масштаб построения разный — вертикальный обычно в 10 раз крупнее горизонтального.

§ 141. Маркшейдерские работы при скважинной разработке полезных ископаемых

Геотехнологические (скважинные) методы добычи основаны на переводе полезного ископаемого в подвижное состояние посредством осуществления на месте его залегания тепловых, массообменных, химических и гидродинамических процессов. При геотехнологических методах добыча полезных ископаемых, как правило, ведется через специальные скважины (вертикальные, наклонные или наклонно-горизонтальные), пробуренные с земной поверхности. Подача рабочих агентов (растворителей, теплоносителей, воздушного дутья и др.) к залежи и отвод полезных компонентов на поверхность могут производиться через одну или несколько скважин.

В настоящее время наибольшее промышленное применение нашли следующие геотехнологические методы:

подземное выщелачивание — метод добычи цветных, редких и радиоактивных металлов, основанный на химических реакциях подаваемого реагента с полезными компонентами руд на месте их залегания и извлечении на земную поверхность продукционных растворов;

подземное растворение — метод разработки месторождений каменной и калийной солей путем их растворения на месте залегания;

подземная выплавка — метод разработки месторождений самородной серы посредством подачи теплоносителя в залежь и извлечения на поверхность полезного ископаемого в виде расплава;

подземная газификация — метод разработки месторождений каменных и бурых углей путем газификации их на месте залегания и выдачи газообразных продуктов на земную поверхность.

Управление процессом добычи геотехнологическими методами осуществляется с земной поверхности путем изменения параметров (расхода, температуры, концентрации и др.), а также мест ввода рабочего агента и отбора полезного ископаемого. Характер процесса добычи определяет размеры и форму рабочей зоны в разрабатываемой части месторождения.

Основными элементами системы разработки являются: направление отработки участков месторождения, конструкция добычных (технологических) скважин, расстояние между скважинами (сетка скважин) и порядок ввода скважин в эксплуатацию.

Расположенные в определенном порядке добычные скважины для подвода агента к залежи и доставки полезного ископаемого (полезных компонентов) на земную поверхность образуют подземный выемочный блок (камера — при подземном растворении солей, газогенератор — при подземной газификации углей и т. д.). На поверхности подземного выемочного блока расположены трубопроводы для подачи в скважины рабочего агента и транспортировки расплава, раствора, газа или других легкоподвижных компонентов полезного ископаемого, извлекаемых из недр земли.

На земной поверхности, на некотором расстоянии от выемочного блока, располагают оборудование: машины, механизмы и устройства, связанные между собой технологической схемой добычи и транспортирования полезного ископаемого.

Основными стадиями процесса подземной газификации являются:

- бурение с земной поверхности на угольный пласт вертикальных, наклонных и наклонно-направленных скважин;
- создание гидравлической связи между скважинами по угольному пласту;

- розжиг угольного пласта и ведение процесса газификации нагнетанием рабочего агента и отводом газа.

Маркшейдерские работы на предприятиях скважинной добычи полезных ископаемых должны способствовать эффективной разработке месторождений. Для этого маркшейдерская служба создает на земной поверхности геометрическую основу съемочных работ в виде маркшейдерской опорной сети; производит съемку земной поверхности, устьев скважин, поверхностных трубопроводов, зданий, сооружений; переносит в натуру основные геометрические элементы добычных скважин, трубопроводов, отстойников, транспортных путей и других объектов, предусмотренных проектом; осуществляет наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности; контролирует полностью извлечения запасов и ведет учет их движения; составляет чертежи горной графической документации, подготавливает аналитические и графические материалы, не-

обходимые для планирования добычных работ, и принимает непосредственное участие в их планировании.

Маркшейдерская опорная сеть состоит из пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения, а также из пунктов государственной нивелирной сети всех классов и разрядов (для сетей сгущения). По своей конструкции и точности построения плановая и высотная сети должны удовлетворять общим требованиям, изложенным в предыдущих главах.

Обычно опорная сеть создается на стадиях разведки месторождения, проектирования и строительства предприятия. На основе пунктов маркшейдерской опорной сети развивается съемочное обоснование. Плотность и места расположения пунктов устанавливаются с учетом метода, масштаба съемки и удобства выполнения съемочных работ. Для определения координат пунктов съемочного обоснования применяют геодезические засечки, проложение теодолитных ходов и другие способы, обеспечивающие требуемую точность определения координат в конкретных условиях.

Высоты пунктов съемочного обоснования определяют геометрическим (технической точности) или тригонометрическим нивелированием.

Составление и пополнение планов поверхности выемочных блоков, отражающих положение устьев скважин, коммуникаций и сооружений, расположенных на земной поверхности, осуществляются по данным тахеометрического или стереофотограмметрического способов съемки.

Методика и точность производства маркшейдерских работ при перечисленных способах съемки те же, что и при традиционных (открытом и подземном) способах добычи. Сложным вопросом при геотехнологических методах добычи является определение положения границ выработанного пространства.

Технологический метод контроля за количеством извлеченного из недр (переработанного) полезного ископаемого, основанный на измерении количества и состава подаваемого в выемочный блок агента и отводимого из него продукта переработки (расплава, газа и др.), не позволяет судить о степени отработки залежи по площади и мощности, определять контуры выработанного пространства. В то же время данные об изменении распределения запасов полезного ископаемого в процессе отработки выемочного блока необходимы для выбора места бурения добычных скважин и рациональных технологических режимов, обеспечивающих минимально возможные его потери.

На предприятиях подземной газификации пологих угольных пластов нашла применение методика определения контуров и характера выгазовывания угольного пласта по дан-

ным наблюдений за сдвижением земной поверхности. Методика базируется на свойствах характерных точек кривой оседания поверхности занимать устойчивое положение относительно границ выработанного пространства.

Качественную картину выгазовывания угольного пласта по мощности на различных участках газогенератора получают, построив планы с изолиниями скоростей оседаний и кривизны мульды сдвижения земной поверхности по данным наблюдений за оседанием реперов маркшейдерской наблюдательной станции площадной конструкции. Распределение (густота) и конфигурация изолиний характеризуют степень выгазовывания угольного пласта по мощности и направление каналов газификации.

Область применения приведенной методики не ограничивается подземной газификацией углей. Без существенных изменений она может применяться при других методах скважинной разработки пологих залежей полезных ископаемых со „слабыми покрывающими породами.

§ 142. Маркшейдерские работы при планировании горных работ

На горных предприятиях, как и в любой отрасли народного хозяйства, горные работы и производство товарной продукции осуществляются на основе научно обоснованного планирования.

Различают следующие виды планирования:

дальнесрочное свыше 15 лет;

долгосрочное от 5 до 15 лет;

перспективное от 1 до 5 лет;

текущее от 1 месяца до 1 года с разбивкой по кварталам;

оперативно-календарное до 1 месяца с разбивкой по декадам или неделям, суткам, сменам.

Планирование горных работ производят на этапе проектирования горного предприятия и на этапе эксплуатации месторождения полезного ископаемого.

Планирование на этапе проектирования горного предприятия осуществляют в соответствии с техническим проектом, которым определяются основные направления отработки месторождения по годам на весь срок существования предприятия. В техническом проекте устанавливают технические границы горного предприятия, количество разрабатываемых рудных тел и их запасы, порядок вскрытия и подготовки этажей, блоков; системы разработки и т. п.

На этапе эксплуатации производят перспективное, текущее и оперативно-календарное планирование горных работ.

Целью планирования горных работ является обеспечение

правильного и рационального проектирования разработки месторождения; правильного развития горных работ и необходимого соотношения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов; ритмичной добычи полезного ископаемого с наименьшими потерями полезных компонентов; однородности добываемого рудного сырья в определенные промежутки времени; роста производительности труда, техники и культуры производства; безопасного ведения горных работ; снижения себестоимости горной массы и готовой продукции.

Для разных этапов и видов планирования добычи полезного ископаемого исходные данные и их виды различны.

На этапе проектирования горного предприятия используют данные детальной разведки, обобщенные в виде комплекса структурных, качественных и технологических планов, разрезов и других графиков.

На этапе эксплуатации перспективное планирование производят на горногеометрических чертежах, построенных по данным детальной и эксплуатационной разведок, а текущее и оперативно-календарное планирование — на материалах детальной и эксплуатационной разведок и данных опробования взрывных скважин, забойного опробования, геологических зарисовок, технологического опробования, нанесенных на маркшейдерские планы и разрезы в крупных масштабах.

Исходные данные для составления перспективных планов делятся на директивные и расчетные. К директивным данным относятся контрольные цифры — государственные план-задание по добыче товарной продукции (руды, угля, концентратов) и ее качеству, по горно-капитальным и горноподготовительным работам.

К расчетным данным относятся: мощность, крепость, плотность рудных тел и вмещающих пород, содержание и технологические свойства компонентов в залежи, система разработки, характеристика потерь и разубоживания, механизация и организация работ в забоях и скорость их подвигания, способы и расстояния доставки горной массы от забоя до ствола, объем работ по ремонту горных выработок и т. д.

Для обеспечения выполнения производственных планов при ритмичной работе предприятий по добыче полезных ископаемых рассчитывают нормативы запасов по степени их подготовленности к добыче. Нормативы должны соответствовать принципу минимальных объемов горно-капитальных, горноподготовительных, нарезных работ и возможно более поздних сроков их осуществления, т. е. принципу максимальной экономии трудовых и материальных затрат.

Нормальное количество опережающих запасов руды категорий подготовленных и вскрытых определяют в прямой зави-

симости от времени, необходимого для создания этих запасов при данной технической оснащенности предприятия:

$$(P_n - P_z)/P_m = T_n/T_z; (P_e - P_n)/P_r = T_n/T_r,$$

где P_z , P_n , P_e — нормативы запасов, соответственно готовых к выемке, подготовленных и вскрытых; T_z , T_n , T_e — время, необходимое для создания опережающих запасов соответствующих категорий готовности к выемке.

При нормировании запасов соблюдают требования согласованности в проведении подготовительных, нарезных и очистных выработок. Эта согласованность выражается в том, что число блоков, находящихся одновременно в подготовке L_n^{\wedge} , нарезке L_n , очистной выемке B_e , должно быть пропорционально времени, затрачиваемому на подготовку T_n , нарезку T_n и выемку T_e блока:

$$л_{г,м/в} = T_{уг}; л_{г/л}/л_{г} = T_{уг}; B_n Ш_B = T_n/T_B.$$

Перед составлением плана развития горных работ маркшейдерская служба должна провести съемку всех горных выработок и пополнить маркшейдерские планы и разрезы, установить состояние горных работ, фактическое количество и качество вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов, геологические и гидрогеологические особенности месторождения на начало планируемого периода. Перспективные планы горных работ рассматриваются руководством горного предприятия и утверждаются вышестоящими организациями.

Текущее и оперативно-календарное планирование исходит из перспективного, является его уточнением, конкретизацией на месте.

Текущие планы составляют в соответствии с контрольными цифрами, полученными от вышестоящих организаций. На светокопиях с маркшейдерских планов различными красками условно на конец каждого месяца, квартала, года обозначают порядок отработки рудных тел, проведения горноподготовительных и горно-капитальных выработок в соответствии с техническим проектом.

В календарных планах предусматривается:

обеспечение выполнения государственного плана добычи полезного ископаемого за год;

планомерная разработка всех вскрытых залежей с утвержденными балансовыми запасами;

обеспечение непрерывного восполнения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов.

Текущие планы пополняются ежемесячно, но не реже одного раза в квартал.

Для обеспечения месячного плана составляют недельно-суточные графики ведения горных работ и добычи полезного ископаемого.

Недельно-суточным графиком устанавливают на каждые сутки или смену объемы добычи по каждому добычному блоку, лаве, участку. Техническими условиями или инструкциями, действующими внутри предприятия, устанавливают допустимые колебания содержания компонента в добытой рудной массе от заданной величины в течение смены или же ограничивается нижний предел его содержания.

Маркшейдерская служба следит за тем, чтобы при ведении горных работ соблюдался намеченный порядок отработки месторождения.

ГЛАВА 26

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК И ОХРАНА СООРУЖЕНИЙ ОТ ИХ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

§ 143. Общие сведения

Образование незакрепленного выработанного пространства в процессе подземной разработки полезных ископаемых приводит к нарушению равновесия пород, их перемещению и деформированию. Перемещение пород, возникая вблизи горной выработки, распространяется в верхние слои покрывающей толщи и при достаточно больших размерах выработанного пространства достигает земной поверхности, которая также претерпевает деформации. Значительные по величине смещения и деформации пород и земной поверхности могут происходить также в карьерах при открытом способе разработки месторождений.

В угольных бассейнах СССР в зоне влияния горных работ ежегодно находится более 20 тыс. различных объектов. С увеличением плотности застройки и развитием горных работ число подрабатываемых сооружений будет возрастать. Ожидаемые характер и параметры процесса сдвижения горных пород на стадии проектирования шахтной разработки полезных ископаемых определяют вместе с другими факторами выбор системы разработки, способа управления кровлей, типа и параметров крепи выработок. Главное внимание при этом уделяется обеспечению безопасного ведения горных работ, полноты извлечения полезного ископаемого, а также сохранности зданий,

сооружений, водоемов, капитальных горных выработок и других объектов, попадающих в зону сдвижения.

При скважинных методах разработки твердых полезных ископаемых сдвижение горных пород над выработанным пространством оказывает непосредственное влияние на технологические процессы, сохранность эксплуатационных скважин, степень извлечения полезного ископаемого и на технико-экономические показатели работы предприятий.

Выбор мер по снижению вредного влияния процесса сдвижения на подрабатываемые объекты зависит от его характера, под которым понимают формы сдвижения слоев пород и изменения физико-механического состояния породной толщи в результате ее подработки. Основными формами сдвижения горных пород при подземной выемке угольных пластов являются: прогиб слоев пород, обрушение, сдвиг по напластованию, выдавливание или пластическое течение. Ниже приводится краткая характеристика основных форм сдвижения горных пород.

Прогиб пород—последовательное отделение от толщи слоев пород и перемещение их в сторону выработанного пространства без нарушения слоистости толщи. Сдвижение пород над выработкой всегда начинается в форме прогиба отдельных слоев по нормали к напластованию.

Обрушение пород происходит в слоях пород непосредственной кровли над выработанным пространством. Для обрушения характерны отрыв пород от вышележащей толщи и беспорядочное их падение в виде отдельных блоков и кусков. Обрушению пород всегда предшествует предельный прогиб слоев. В процессе обрушения происходит разрыхление пород, что уменьшает величины сдвижений вышележащей толщи.

Сдвиг пород по напластованию проявляется одновременно с прогибом слоев при наклонном и крутом залегании пластов. Сдвиг пород вызывается деформированием слоев вдоль напластования под действием касательной составляющей веса пород при расслоении толщи.

Выдавливание или пластическое течение пород из массива в сторону выработанного пространства проявляется в виде пучения подошвы выработок. Пластическое течение проявляется главным образом в глинах, глинистых (углистых) сланцах и в угле.

Схема деформирования толщи пород, подработанной толстым угольным пластом, показана на рис. 145. В деформированной толще пород можно выделить три основные характерные зоны: *I* — зона беспорядочного обрушения пород, которая распространяется на высоту, равную 3—6 *m* (*m* — вынимаемая мощность пласта); *II* — зона прогиба пород с образованием систем трещин, высота зоны достигает 30*m*; *III* — зона прогиба пород без разрыва сплошности слоев.

В зависимости от мощности обрабатываемого пласта, глубины его залегания, физико-механических свойств массива пород, применяемой технологии разработки, способа управления кровлей и некоторых других факторов отдельные зоны могут отсутствовать.

§ 144. Основные параметры процесса сдвижения, их практическое применение

Часть горного массива, подвергшуюся сдвижению под влиянием подземных разработок, принято называть областью сдвижения горных пород, а участок земной поверхности, затронутый сдвижением, — зоной влияния подземных разработок (мульдой сдвижения).

Максимальные величины сдвижений и деформаций формируются в главных сечениях мульды сдвижения — вертикальных сечениях мульды по простиранию и вкрест простирания пласта, проходящих через точки с максимальными оседаниями земной поверхности. На вертикальных разрезах в главных сечениях мульды определяют все угловые параметры процесса сдвижения.

Границы зоны влияния подземных разработок (мульды сдвижения) определяются граничными углами φ_0 , ρ_0 , ν_0 и θ_0 (рис. 146), под которыми подразумевают внешние относительно выработанного пространства углы, образованные горизонтальными линиями и линиями (последовательно проведенными в коренных породах, мезозойских отложениях и наносах), соединяющими границу выработки с точками земной поверхности, где наклоны и растяжения не превышают вели-

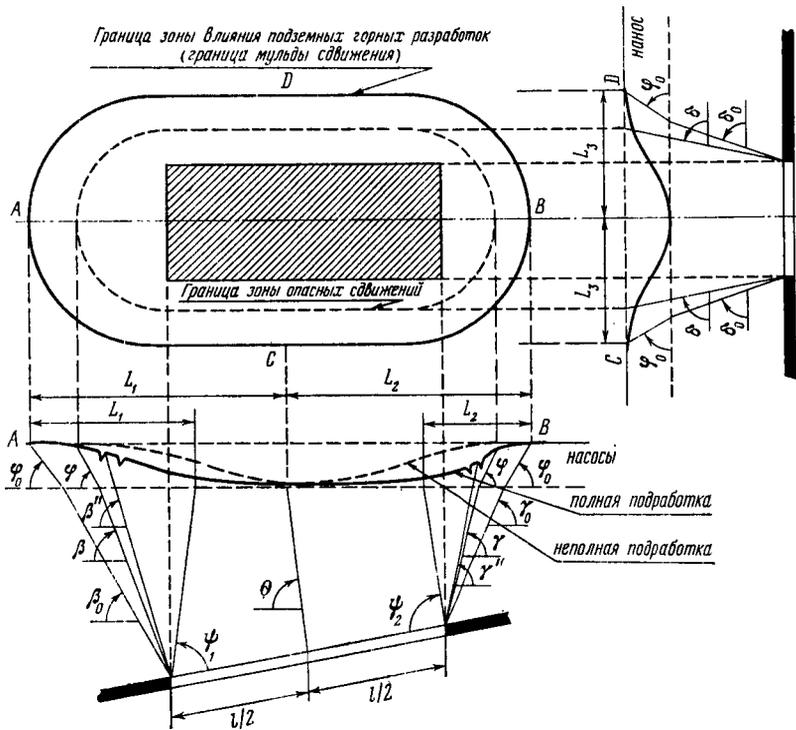


Рис. 146. Мульда сдвижения земной поверхности и угловые параметры процесса сдвижения:

Эо, То, бo, Фo — граничные углы; 0, у, б, (р — углы сдвижения; — углы полных сдвижений; 0 — угол максимальных оседаний; Р", у" — углы разрывов

чины $0,5 \cdot 10^{-3}$. Граничные углы используют также при построении целиков под глубокие вертикальные стволы.

Углы сдвижения α , ρ , γ , β являются одним из основных параметров процесса сдвижения. Значения углов сдвижения используют при определении зоны опасных сдвижений земной поверхности, а также размеров целиков, оставляемых для охраны зданий, сооружений и других объектов.

За границы зоны опасного влияния на земной поверхности принимаются участки, на которых наклон $i = 4 \cdot 10^{-3}$, кривизна $1/C = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, растяжение $\epsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ (при среднем интервале 15—20 м). Различают углы сдвижения, ограничивающие опасную зону мульды: ρ — со стороны падения пласта, γ — со стороны восстания пласта, β — по простиранию пласта; углы сдвижения в наносах— ϕ . Следует отметить, что углы сдвижения и граничные углы имеют только технический смысл. Их нельзя рассматривать как углы наклона поверхностей, по

которым происходит сдвигание пород. Таких поверхностей в подработанном массиве пород не существует.

Углы сдвижения определяются при полной подработке земной поверхности, которая характеризуется постоянством величины максимального оседания при увеличении размеров выработанного пространства. При пологом залегании пластов образуется плоское дно мульды, а мульда на разрезе имеет тарелкообразную форму (см. рис. 146). Неполная подработка земной поверхности проявляется в виде мульды оседания с чашеобразным дном, а также в изменении величины максимальных оседаний с увеличением размеров выработанного пространства.

От формы мульды сдвижения земной поверхности зависит характер распределения величин сдвижений и деформаций в главных ее сечениях. Степень подработки земной поверхности выражается через коэффициент подработанности n как отношение фактического размера выработанного пространства D к минимальному размеру D_0 , при котором наступает полная подработка земной поверхности. Различают коэффициенты подработанности по падению пласта n_y и по простиранию n_z : $n_1 = Z/D_0$ и $n_2 = D_2/D_{02}$. При полной подработке значения коэффициентов n_1 и n_2 равны или больше единицы.

Оценка степени подработанности земной поверхности на любом этапе процесса сдвижения является необходимым и важным моментом, позволяющим правильно и своевременно осуществлять выбор мер по снижению вредного воздействия процесса сдвижения на объекты, расположенные в зоне влияния подземных разработок.

Углы полных сдвижений (см. рис. 146) α_i — по падению, α_2 — по восстанию, α_3 — по простиранию пласта, внутренние относительно выработанного пространства, образуются плоскостью угольного пласта и линией, соединяющей границы выработки с границами плоского дна мульды сдвижения. На практике углы полных сдвижений используются для определения в толще пород и на земной поверхности зоны полной подработки.

При отсутствии плоского дна мульды (неполная подработка) местоположение точки с максимальным оседанием земной поверхности определяется углом максимального оседания θ , который образуется со стороны падения пласта горизонтальной линией и линией, соединяющей середину выработки с точкой максимального оседания.

Выемка угля под водными объектами (под реками, каналами, водоемами, водоносными горизонтами и т. д.) осуществляется с выполнением мер, обеспечивающих как допустимые водопритоки в горные выработки, так и охрану самих водных

объектов от вредных последствий подработки. В пределах зоны опасного влияния подземных разработок на земной поверхности могут образовываться трещины, которые необходимо учитывать при определении зоны водопроводящих трещин под подрабатываемым водным объектом или при оставлении предохранительного целика под ним.

Внешние границы зоны трещин в мульде сдвижения оконтуриваются углами разрывов (см. рис. 146), под которыми понимают внешние относительно выработанного пространства углы, образованные горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границу выработки с ближайшей к границе мульды сдвижения трещиной (p'' и y'' — на разрезе вкрест простирания и δ'' — на разрезе по простиранию пласта).

Смещения и деформации в главных сечениях мульды сдвижения. Наблюдения с помощью приборов показали, что сдвижение точек земной поверхности происходит по сложным криволинейным траекториям. Вектор смещения точки мульды сдвижения разлагается на три составляющие: вертикальную (оседание) η , горизонтальную (горизонтальное сдвижение) ξ и перпендикулярную к плоскости сечения ξ . Последняя составляющая из-за своей незначительной величины в главных сечениях мульды на практике почти не используется.

Таким образом, основными показателями, характеризующими процесс смещения точек земной поверхности в мульде сдвижения, являются оседания и горизонтальные сдвижения.

Неравномерности смещения соседних точек вызывают вертикальные (наклоны, кривизну) и горизонтальные (сжатия, растяжения) деформации участков земной поверхности в мульде сдвижения (рис. 147).

Наклон интервала поверхности вычисляется как отношение разности оседаний двух соседних точек мульды к первоначальному расстоянию между:

$$\zeta_{1-2} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{l_{1-2}}$$

Получаемое значение наклона ζ_{1-2} является средним значением для интервала и относится к его середине. Наклоны в на-

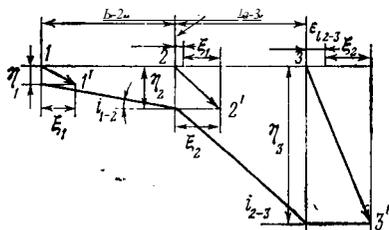


Рис. 147. Сдвигения и деформации: η — оседания, ξ — горизонтальные сдвигения, γ — наклоны, ϵ — сжатия и растяжения

правлениях восстания и простирания пласта принимаются положительными, а в обратных направлениях — отрицательными.

Неравномерность наклонов соседних участков мульды сдвижения приводит к образованию кривизны. Кривизна определяется как отношение разности наклонов двух соседних интервалов мульды к полусумме первоначальных длин этих интервалов.

Средняя кривизна интервала 1—2—3 определяется из выражения

$$K = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\frac{1}{2}(l_1 + l_2)}$$

и относится к середине этого интервала.

Радиус кривизны — величина, обратная кривизне, т. е. $R = 1/K$ (в м или км). На участках мульды с выпуклостью кривизна и радиус кривизны считаются положительными, на участках с вогнутостью — отрицательными.

Неравномерные горизонтальные смещения точек мульды сдвижения приводят к возникновению горизонтальных деформаций сжатия или растяжения. Величина горизонтальных деформаций ϵ (см. рис. 147) на участке мульды 1_2 определяется как отношение величины укорочения или удлинения интервала к его первоначальной длине:

$$\epsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1}$$

где l_1 — первоначальная длина интервала; l_2 — длина интервала после сдвижения.

Растяжения принято считать положительными деформациями, сжатия — отрицательными.

Для решения задач, связанных с выбором мер по снижению воздействия процесса сдвижения на объекты в зоне влияния подземных разработок, необходимо знать характер распределения сдвижений и деформаций в мульде сдвижения. Распределение сдвижений и деформаций в главных сечениях мульды после проведения выработки и при закончившемся процессе сдвижения показано на рис. 148.

При горизонтальном залегании обрабатываемого угольного пласта (рудной залежи) и на вертикальных разрезах по его простиранию границы мульды, кривые сдвижений и деформаций располагаются симметрично относительно центра мульды и границ выработки. Характерные точки кривой оседания земной поверхности занимают также симметричное положение. Точка наибольшего оседания (точка А) находится над серединой выработки. В этой точке отмечаются максимумы сжатия и кривизны, минимальный (нулевой) наклон кривой оседания.

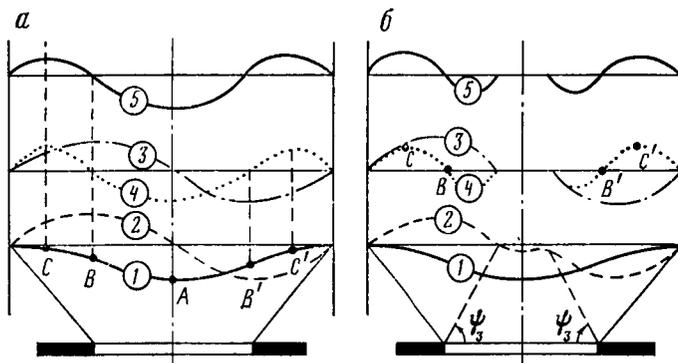


Рис. 148. Схемы распределения сдвижений и деформаций над очистной выработкой при неполной (а) и полной (б) подработках:
 1 — оседаний; 2 — горизонтальных сдвижений; 3 — наклонов; 4 — кривизны; 5 — сжатий и растяжений

Точка перегиба кривой оседания (точка **В**) характерна максимальным наклоном, нулевыми кривизной и горизонтальной деформацией.

К точке наибольшей кривизны (точке **С**) приурочены участки земной поверхности с максимальными кривизной и растяжением.

Перечисленные свойства справедливы для процесса сдвижения пород и земной поверхности в условиях пологого залегания пласта (залежи) или вдоль линии его простираения.

С увеличением угла падения обрабатываемого угольного пласта (залежи) возникает асимметрия кривых сдвижений и деформаций за счет смещения их центров по падению пласта.

Для своевременного принятия мер по охране обрабатываемых объектов и установления возможности возведения сооружений на подработанных площадях необходимо знать особенности процесса сдвижения во времени.

Под общей продолжительностью процесса сдвижения понимают период, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в стадии сдвижения.

Период опасных деформаций земной поверхности представляет собой период активной стадии процесса сдвижения, когда скорость оседаний превышает 30 мм в месяц — для наклонных и крутопадающих пластов и 50 мм в месяц — для пологих пластов. Подработываемые объекты претерпевают наиболее значительные деформации именно в этот период.

§ 145. Основные факторы, влияющие на характер сдвижения горных пород и земной поверхности

На процесс сдвижения горных пород оказывают влияние естественные и искусственные факторы. К числу естественных (природных) факторов относятся: геологическое строение толщи, физико-механические свойства пород, угол падения пород и глубина залегания пласта (залежи), тектоническая нарушенность месторождения, гидрогеологические условия, рельеф местности и т. д.

Искусственные факторы создаются в процессе разработки месторождения и могут быть изменены.

Вынимаемая мощность пласта (залежи) и способ управления горным давлением. Мощность вынимаемой залежи — один из главных факторов, определяющих величины сдвижений и деформаций слоев пород и земной поверхности. С увеличением вынимаемой мощности возрастает высота зоны обрушения в подработанной толще пород, повышается вероятность образования на поверхности земли провалов, уступов, трещин. Чем больше одновременно вынимаемая мощность залежи, тем интенсивнее протекает процесс сдвижения с созданием неблагоприятных условий для подрабатываемых зданий и сооружений. Не менее важным фактором является способ управления горным давлением. При управлении горным давлением способом обрушения кровли все линейные и угловые параметры процесса сдвижения имеют максимальные значения. Управление горным давлением путем закладки выработанного пространства позволяет значительно, по сравнению с обрушением пород кровли, уменьшить величины смещений и деформаций в толще пород и на земной поверхности.

Размеры выработанного пространства и наличие целиков внутри него. Размеры выработанного пространства существенно влияют на характер процесса сдвижения (форму и размеры мульды сдвижений, величины сдвижений и деформаций и т. д.) в условиях неполной подработки. В условиях полной подработки изменение размеров выработанного пространства практически не оказывает влияния на характер и параметры процесса сдвижения.

Целики в выработанном пространстве изменяют характер распределения сдвижений и деформаций в подработанной толще пород.

Направлением и скоростью подвигания фронта очистных работ можно регулировать виды и величины деформаций подрабатываемых сооружений. Характер воздействий, испытываемых сооружением в зоне влияния подземных горных работ, прежде всего зависит от его положения относительно очистных выработок. Если сооружение находится над центральной частью

очистной выработки (в центре мульды сдвижения), то оно будет испытывать сжатие. Расположение сооружения в краевых частях мульды сдвижения приводит к возникновению в нем растягивающих усилий.

Порядок ведения горных работ и взаимное расположение очистных выработок оказывают существенное влияние на параметры и характер процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. При определенном взаимном расположении выработок в свите пластов деформации, возникающие в толще пород от проведения одной выработки, можно компенсировать противоположными по знаку деформациями от проведения другой выработки.

Глубина горных работ относится к числу основных природных факторов, определяющих размеры мульды сдвижения земной поверхности, характер и степень ее деформирования. С увеличением глубины разработки сдвижения и деформации земной поверхности уменьшаются, процесс сдвижения протекает более плавно и общая продолжительность его увеличивается.

Физико-механические свойства, мощность и чередуемость слоев горных пород оказывают существенное влияние на все параметры и характер процесса сдвижения. По физико-механическим свойствам все породы С. Г. Авершин разделяет на четыре группы: 1) твердые, плотные; 2) пластичные; 3) сыпучие; 4) пловуны.

Породы первой группы, характерные для рудных месторождений (граниты, кварциты и др.) и месторождений каменного угля (известняки, песчаники), обычно обрушаются значительными массами в короткий промежуток времени после подработки их на большой площади. Породы второй группы, например глины, глинистые сланцы, способствуют пластичному изгибу подработанных слоев и увеличению площади мульды сдвижения. Сдвижение пород третьей и четвертой групп принимает формы течения.

Чередуемость и мощность пород в толще сказывается на проявлении процесса сдвижения на земной поверхности. Твердые породы непосредственной кровли залежи при обрушении не вызовут провалов на земной поверхности, если выше залегают мощные слои пластичных пород. Плотные породы, залегающие в непосредственной близости от земной поверхности, способствуют появлению на ней трещин. Слои плотных пород могут зависеть и тогда процесс сдвижения не проявляется на земной поверхности. При сдвижении сыпучих пород на земной поверхности, как правило, возникают провалы, а породы четвертой группы способствуют выполаживанию граничных углов и углов сдвижения.

Угол падения залежи и покрывающих пород является одним из основных факторов, определяющих параметры и характер сдвижения горных пород и земной поверхности. В Правилах охраны сооружений [14] приведены значения углов сдвижения в зависимости от угла падения пласта (залежи).

При разработке крутопадающих пластов в массиве возникают деформации сдвига пород кровли, а на земной поверхности образуются провалы.

Тектонические нарушения являются плоскостями ослабления, по которым могут происходить смещения отдельных слоев пород, вызывая изменения значений углов сдвижения и граничных углов.

Нарушенность толщи пород ранее произведенными горными работами на других горизонтах или пластах способствует активизации процесса сдвижения при повторных ее подработках. Величины оседаний и деформаций возрастают, а углы сдвижения уменьшаются по сравнению с первичной подработкой.

Рельеф местности и гидрогеологические условия сказываются на характере сдвижения земной поверхности, особенно при подработке крутых склонов в горной местности, где, как правило, возникают оползневые явления.

Наличие и мощность наносов. Значительная (более 5 м) мощность наносов оказывает благоприятное влияние на характер сдвижения земной поверхности, сглаживая неравномерности сдвижений, деформаций и уменьшая вероятность появления трещин. Граничные углы и углы сдвижения в наносах выполаживаются.

§ 146. Методы изучения процесса сдвижения

Изучение процесса сдвижения горных пород и земной поверхности проводится с применением методов, которые можно подразделить на три группы: натурные наблюдения и измерения, физическое и математическое моделирование, аналитические исследования.

Исследования в натуральных условиях проводятся методами визуальных наблюдений, измерений с помощью приборов и инструментов и являются основными, так как без них невозможно выявить определяющие факторы процесса сдвижения и правильно поставить задачи для аналитических исследований и моделирования.

Натурные наблюдения и измерения применяются для определения параметров, отдельных показателей процесса сдвижения и решения специальных задач. К числу основных недостатков этого метода исследований следует отнести значительную трудоемкость измерений, отсутствие возможности прогно-

зировать показатели процесса сдвижения до производства горных работ.

Физическое и математическое моделирование широко используется при исследовании процесса сдвижения горных пород и земной поверхности.

Для физического моделирования сдвижения толщи, состоящей из упругих, пластичных и рыхлых пород, успешно применяется метод эквивалентных материалов, предложенный в 1936 г. проф. Г. Н. Кузнецовым.

Моделирование на оптически активных материалах применяется для изучения напряжений, упругих и неупругих деформаций вблизи выработки. Технические возможности центробежного моделирования на образцах природы также ограничены изучением напряженно-деформированного состояния пород вблизи контура выработки.

Моделирование на эквивалентных материалах позволяет получать характеристики процесса сдвижения и деформирования пород, которые не дают ни натурные, ни аналитические методы исследований. В то же время на моделях невозможно воспроизвести все параметры толщи пород, например, микротрещиноватость и мелкоблоковую трещиноватость. Поэтому моделирование позволяет вести изучение процесса сдвижения лишь с определенной степенью приближения к натурным условиям и механический перенос (с учетом масштаба моделирования) полученных на модели количественных показателей процесса сдвижения в натуре неправомерен.

Математическое моделирование применяется для прогнозирования напряженно-деформированного состояния подработанной толщи пород и расположенных в зоне влияния подземных разработок шахтных стволов, эксплуатационных (при геотехнологических способах разработки) и вспомогательных скважин.

Изучение вопросов сдвижения горных пород и земной поверхности аналитическим методом связано с привлечением обширного математического аппарата и требует большой схематизации процесса сдвижения и деформации толщи пород. При этом не учитывается влияние трещиноватости, слоистости, неоднородности механических свойств пород по разным направлениям, что значительно затрудняет разработку инженерных методов расчета и применение их в конкретных горно-геологических условиях.

Таким образом, ни один из перечисленных методов исследований не является универсальным для изучения всех вопросов сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности. Только применение комплексных исследований (натурных, лабораторных и аналитических) позволяет успешно решать поставленные задачи.

§ 147. Маркшейдерские наблюдения за движением горных пород

С целью изучения процесса сдвижения толщи пород на земной поверхности в кровлю, подошву и стенку подземных выработок закладывают реперы. Заложенные по определенной схеме реперы называют наблюдательными станциями. Наиболее полные сведения о процессе сдвижения горных пород получают при измерении приборами на комплексных наблюдательных станциях, заложенных на нескольких горизонтах и земной поверхности в одной вертикальной плоскости. Профильные линии реперов в кровле подготовительных и очистных выработок позволяют следить за оседаниями пород кровли в процессе ведения горных работ. Для изучения процесса пучения пород закладывают реперы по линии подошвы и в стенках выработки.

В условиях разработки пластов крутого падения для измерения сближений боковых пород (почвы, кровли) применяют парные реперы, закрепляемые в висячем и лежащем боках или почве и кровле выработки один против другого.

Для изучения сдвижения толщи горных пород используют буровые скважины. Идея использования скважин в этих целях была выдвинута и реализована Д. Н. Оглоблиным, П. А. Манукяном, Г. Г. Нестеренко, И. М. Петуховым. С земной поверхности или из горных выработок к характерным точкам массива пробуривают скважины, в которые закладывают так называемые глубинные реперы. Глубинный репер представляет собой металлический патрубок (деревянный клин), который закрепляется в скважине. От репера по скважине выводится на поверхность или в горную выработку стальной тросик (провода). На тросике укрепляется метка, перемещение которой относительно устья скважины в процессе сдвижения пород периодически фиксируется. Таким образом определяется сдвижение глубинного репера и, следовательно, того слоя породы, в котором он закреплен. Одновременно с измерениями смещений глубинных реперов относительно устья скважины определяют сдвижение устья относительно репера, расположенного вне мульды сдвижения земной поверхности. В необходимых случаях с помощью специальных устройств осуществляют непрерывную запись смещения реперов во времени.

В одной скважине технически возможно установить не более пяти глубинных реперов. Для изучения развития процесса сдвижения с большей детальностью используют радиоактивные глубинные реперы, предложенные Ж. М. Канлыбаевой и И. А. Турчаниновым и представляющие собой стальные контейнеры в виде пули, в которых помещено радиоактивное вещество. Радиоактивные реперы устанавливают в стенках сква-

жины путем прострела с помощью скважинных перфораторов. В одной скважине можно установить большое число реперов с расстоянием между ними не менее 1 м. После установки радиоактивных реперов в скважине проводят гамма-каротаж с целью определения исходного положения радиоактивных реперов на горизонтах прострела.

Дальнейшая работа состоит в периодическом проведении гамма-каротажа в период сдвижения толщи пород и определении смещений реперов по глубине скважины, а также высоты ее устья.

Изготовление радиоактивных реперов и обращение с ними связаны с соблюдением специальных мер безопасности, необходимость в которых отпадает с применением герконовых реперов.

Метод герконовых реперов разработан И. А. Петуховым, В. П. Самариним и В. К. Шляхецким в 1972 г. Репер представляет собой отрезок металлической трубы (длиной 150—200 мм), к наружным стенкам которой прикреплены пластинчатые пружины для закрепления репера в скважине путем их распора. Магнитогерконовый датчик опускается по трубам в скважину и фиксирует положение реперов.

§ 148. Наблюдательные станции за сдвижением земной поверхности и деформациями подрабатываемых зданий и сооружений

Маркшейдерские наблюдения за сдвижением земной поверхности проводятся на наземных станциях, состоящих из реперов, закладываемых в грунт по профильным линиям или по квадратной (прямоугольной) сетке. Наблюдения проводятся с целью определения угловых и линейных параметров процесса сдвижения величин и характера распределения в мульде сдвижений и деформаций, продолжительности процесса сдвижения и др. Результаты наблюдений используются для выбора мер охраны объектов от вредного влияния горных работ, выявления особенностей и закономерностей процесса сдвижения, необходимых при разработке методов расчета сдвижений земной поверхности и для решения специальных задач.

При скважинных методах разработки твердых полезных ископаемых (подземной газификации углей в СССР, подземной выплавке серы в ПНР) результаты наблюдений за сдвижением земной поверхности используются для контроля за положением контуров выработанного пространства и полноты извлечения полезного ископаемого.

В зависимости от назначения, срока службы и конструктивных особенностей наблюдательные станции подразделяются на долговременные, рядовые, кратковременные и специальные,

Долговременные станции закладываются с целью получения параметров сдвижения и деформаций земной поверхности при выемке одного пласта на нескольких горизонтах или свиты пластов в течение периода, превышающего три года.

Рядовые станции закладываются с той же целью, но при разработке одного-двух пластов на одном горизонте. Продолжительность наблюдений составляет 1—3 года. Кратковременные станции закладываются с целью получения отдельных параметров процесса сдвижения по данным учащенных наблюдений, как правило, в течение 1—5 мес. Во всех остальных случаях закладываются специальные станции.

Конструкция и способ закрепления реперов должны обеспечивать надежное сцепление их с грунтом в любое время года, сохранность и удобство наблюдений.

Наблюдения на долговременных и рядовых станциях (рис. 149) состоят из нивелирования реперов, расположенных по трем профильным линиям, измерения горизонтальных расстояний между ними и съемки трещин на земной поверхности.

Наблюдения на кратковременных наблюдательных станциях позволяют оперативно решать вопросы возможности подработки зданий, сооружений и природных объектов. Кратковре-

менная наблюдательная станция состоит из реперов, заложенных по одной профильной линии по простиранию отрабатываемого пласта. По результатам кратковременных наблюдений определяют величину ожидаемого максимального оседания земной поверхности при закончившемся процессе сдвижения.

Для проведения наблюдений за подработкой зданий, сооружений, железных дорог, трубопроводов, водоемов и других объектов закладывают специальные наблюдательные станции.

При подработке зданий и сооружений закладывают ственные и грунтовые реперы. Стенные реперы закладывают в фундаментах (цоколях) по всему периметру здания, грунтовые — на расстоянии 1,5—2,0 м от ственных реперов.

При подработке железных дорог, трубопроводов грунтовые реперы располагают по профильным линиям вдоль сооружений в пределах зоны влияния горных работ.

Кроме грунтовых и ственных реперов на специальных наблюдательных станциях могут устанавливаться алебастровые маяки и реперы для изучения развития деформации стен, фундаментов, а также другие дополнительные реперы — на железнодорожном полотне и трубопроводе.

При проведении съемок применяют: нивелиры типа Н-3, Н-10 (СССР), Ni-050 (ГДР), Ni-BI (ВНР); теодолиты (технические) типа ТЗО, ТЗОМ (СССР), Theo 020, Theo 080A (ГДР); для измерения расстояний между реперами используют стальные компарированные рулетки, светодалюмеры типа СМ-5, ЗСМ-2 и др.

Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности производится с целью установления ожидаемой степени повреждения зданий, сооружений и других объектов, расположенных в зоне влияния подземных разработок. На основе расчетных данных устанавливается возможность подработки, разрабатываются защитные мероприятия и определяются ориентировочные затраты на ремонтные работы. Расчет сдвижений и деформаций осуществляется в тех случаях, когда глубина горных работ меньше безопасной, но больше предельной, т. е. имеется возможность на основании предварительного расчета отказаться от оставления предохранительного целика, предусмотрев соответствующие меры, снижающие воздействие процесса сдвижения на подрабатываемые объекты.

При решении задач охраны сооружений необходимо знать величины максимальных оседаний y_m , горизонтальных сдвижений l_m , наклонов im , кривизны K_m , сжэтий, растяжений ϵ_m .

Существует несколько методов расчета элементов сдвижений и деформаций. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях рекомендуют полуэмпирический метод, основанный на методике расчета типовых кривых.

Различают ожидаемые, вероятные и расчетные сдвигения и деформации. Ожидаемые сдвигения и деформации определяются в условиях, когда имеются календарные планы развития горных работ и известны необходимые для расчетов исходные данные. Сдвигения и деформации, определяемые при отсутствии календарных планов развития горных работ, называют вероятными. Расчетные сдвигения и деформации получаются умножением ожидаемых или вероятных сдвигений и деформаций на коэффициенты перегрузки.

§ 149. Безопасная подработка зданий, сооружений, природных объектов и меры их охраны от влияния подземных разработок

Определение условий безопасной подработки зданий, сооружений и выбор мер их охраны основываются на сравнении расчетных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными для обрабатываемых объектов.

осе здания в зависимости от их конструктивных особенностей, назначения, восприимчивости к деформациям земной поверхности, особенностей эксплуатации делят на разряды (гражданские здания на четыре разряда, промышленные — на пять разрядов), которыми регламентируются допустимые и предельные деформации.

Допустимыми деформациями земной поверхности (основания сооружений) считают деформации, которые могут вызвать повреждения в сооружениях, устранимые текущим ремонтом и наладочными работами с последующей их эксплуатацией по прямому назначению.

Предельными деформациями земной поверхности (основания сооружений) считают деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений, повлечь угрозу опасности для жизни людей, находящихся в них.

Условия безопасной первичной подработки объектов определяются безопасной глубиной разработки H_e , устанавливаемой по допустимым деформациям.

Безопасной глубиной разработки называют такую глубину, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций, более допустимых. Ниже безопасной глубины горные работы могут производиться без применения мер охраны зданий и сооружений.

Безопасная глубина разработки определяется по условиям допустимых горизонтальных деформаций ϵ_d и допустимых наклонных 1_d :

где m — вынимаемая мощность пласта (в м); $[e_d]$ и $[i_d]$ допустимые горизонтальные деформации и наклоны, определяемые для зданий и сооружений расчетным путем; K_2 и a коэффициенты, определяемые для каждой группы месторождения (бассейна).

Для транспортных сооружений (железных дорог, автодорог, мостов, путепроводов, трамвайных линий и др.), водных объектов и наклонных шахтных стволов, для которых установлены коэффициенты безопасности Кб, безопасная глубина разработки H_6 определяется по формуле

$$H_6 = Km.$$

Для оценки условий предельной подработки используется предельная глубина разработки, выше которой горные работы могут вызывать появление предельных деформаций в зданиях и сооружениях. Предельная глубина разработки определяется по тем же формулам, что и безопасная (77), в которые вместо допустимых $[e_d]$ и $[i_d]$ вводят предельные значения горизонтальных деформаций $[e_p]$ и наклонов $[i_p]$. Допустимым и предельным деформациям земной поверхности для жилых и общественных зданий соответствуют допустимые и предельные величины показателя суммарных деформаций, определяемые по формулам:

$$[A/d] = [L/d]_n$$

$$[L/n] = [A/n] \cdot n^{1.2} \cdot z^{1.4/15},$$

где $[D/d]_n$, $[L/,,]_n$ — нормативные допустимый и предельный показатели суммарных деформаций, определяемые в зависимости от назначения гражданских зданий и их этажности; Π и Π_3 «4 «5 — коэффициенты, учитывающие соответственно: грунтовые условия, материал и толщину стен, износ кирпичных и шлакоблочных стен, наличие жестких перекрытий, форму здания в плане (Г-образную, Т-образную, П-образную и т. п.).

Расчетный показатель суммарных деформаций Лг (в мм) определяется по формуле

$$A/ = I m l z^2 - | - m k \cdot$$

где I — длина здания (отсека); m ; m_e и m_k — коэффициенты условий работы, осредняющие соответственно горизонтальные деформации и кривизну по длине здания; e и Y расчетные величины горизонтальной деформации (безразмерные) и радиуса кривизны, м; H_a — высота здания от подошвы фундамента до верха карниза, м.

Допустимые $[\epsilon_d]$ и предельные $[\epsilon_n]$ горизонтальные деформации для гражданских зданий определяют по формуле

где $[D/]$ — допустимая или предельная величина показателя суммарных деформаций, определяемая по формулам (78).

Для промышленных зданий с размещенным в них оборудованием допустимые и предельные деформации определяются раздельно для зданий и для оборудования. Меры охраны устанавливаются по наименьшим допустимым деформациям.

В качестве показателей допустимости подработки инженерных сооружений, технического оборудования и санитарно-технических сетей принимаются горизонтальные (растяжение, сжатие) или вертикальные (наклон, кривизна) деформации в зависимости от чувствительности подрабатываемого объекта к деформациям.

Различают четыре вида мер охраны объектов, находящихся в зоне влияния подземных разработок. Горные меры предназначены для уменьшения деформаций земной поверхности в основании подрабатываемого объекта. К ним относятся: применение закладки выработанного пространства породой, частичная выемка угольного пласта по мощности или площади, увеличение скорости подвигания очистного забоя, изменение порядка отработки запасов угля под охраняемым объектом и др. Выбор горных мер связан с конкретными горно-геологическими условиями и технологическими возможностями шахты в развитии горных работ, а также факторами, определяющими дополнительные затраты.

Конструктивные меры — специальные строительно-конструктивные меры, направленные на восприятие подрабатываемыми зданиями, сооружениями определенных величин и видов деформаций. К ним относятся: разделение длинного здания вертикальными деформационными (осадочными) швами на отдельные отсеки для уменьшения жесткости конструкции; усиление отдельных конструктивных элементов или сооружений в целом тяжами или железобетонными поясами для ослабления влияния кривизны в мульде сдвижения земной поверхности; применение податливых фундаментов, компенсационных траншей в грунте вдоль здания (сооружения) для снижения горизонтальных деформаций; поддомкрачивание отдельных частей зданий (сооружений) на период их подработки и др.

Временное изменение характера эксплуатации подрабатываемого объекта на период опасных деформаций: переселение жильцов, прекращение учебного, производственного процесса и т. д. После затухания процесса сдвижения и проведения ремонтных работ эксплуатация объекта продолжается.

Оставление предохранительных целиков, если другие меры охраны не могут гарантировать нормальную эксплуатацию объекта или являются экономически неоправданными.

Предохранительные целики уменьшают деформации земной поверхности до безопасных величин, но снижают степень извлечения полезных ископаемых.

Для решения вопроса о выемке под объектом угля между безопасной и предельной глубинами необходимо определить расчетный показатель суммарных деформаций и рассмотреть варианты совместного или раздельного применения горных и конструктивных мер охраны, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объекта.

При выемке запасов выше горизонта предельной глубины обязательно назначаются горные меры охраны, уменьшающие расчетные деформации до величин, не превышающих предельные. Если горные меры охраны не позволяют уменьшить расчетные деформации до допустимых величин, то дополнительно применяют конструктивные меры охраны. В случае технико-экономической нецелесообразности применения горных и конструктивных мер охраны принимается решение об оставлении предохранительного целика.

§ 150. Построение предохранительных целиков

Предохранительные целики строят под охраняемую площадь, которая включает контур охраняемого сооружения (здания) и берму для создания запаса надежности. Ширина бермы изменяется от 5 до 20 м в зависимости от типа или категории охраняемого объекта. Построение предохранительных целиков может производиться тремя способами: вертикальных разрезов, перпендикуляров и проекций с числовыми отметками (изолиний). Способ перпендикуляров применяют при построении целиков под сооружения и объекты вытянутой формы. Во всех остальных случаях применяют способ вертикальных разрезов. Способ изолиний применяется редко из-за относительной сложности графических построений.

Для построения целиков любым способом необходимо иметь характеристику объекта охраны, совмещенный план земной поверхности с объектом охраны и горными выработками, геологический разрез, изогипсы угольного пласта или элементы его залегания. Из Правил охраны сооружений [14] выбирают значения углов сдвижения, определяют категорию охраны, коэффициент безопасности и ширину бермы.

Построение предохранительных целиков для зданий и сооружений чаще всего выполняют *способом вертикальных разрезов*. Сущность способа состоит в следующем. В левом нижнем углу листа строят в масштабе 1 :2000 контур здания

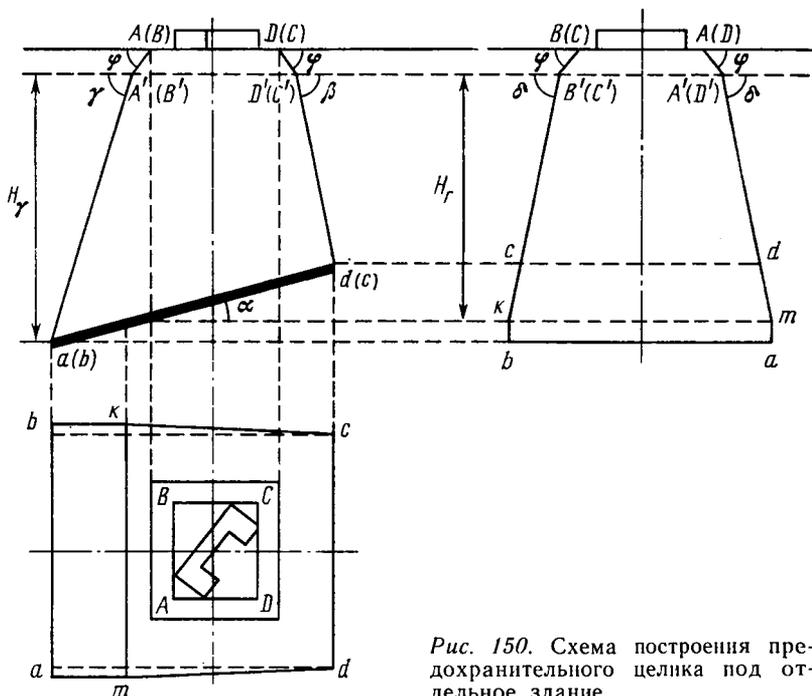


Рис. 150. Схема построения предохранительного целика под отдельное здание

в плане и берму вокруг него (рис. 150). Проектируют границы охраняемой площади $ABC\Delta$ на вертикальные разрезы вкрест простирания и по простиранию пласта (залежи). На разрезе вкрест простирания пласта от точек A (B) и O (C) проводят линии под углом сдвига γ в наносах до контакта наносов с коренными породами и получают точки A' (B'), O' (C'). Далее под углами сдвига ρ , V в коренных породах проводят линии до пересечения с проекцией почвы пласта. Получают верхнюю \dot{y} (c) и нижнюю a (B) границы целика на разрезе вкрест простирания пласта.

На разрезе по простиранию от точек B (C) и A (O) проводят линии под углом ϕ в наносах и β — в коренных породах до пересечения с проекцией верхней границы целика. Получают точки \dot{y} и c , определяющие верхнюю границу целика по простиранию. Для получения нижней границы целика продолжают линии под углом β до горизонта Igm , определяемого глубиной H_r , которую находят из выражения

$$H_z = A_r H_y,$$

где $A_r = a / \sqrt{V^2 + a^2}$ — расстояние от контакта корен-

ных пород с наносами до нижней границы целика на разрезе вкрест простирания; a — угол падения пласта.

Ниже горизонта H_m контуры предохранительного целика по простиранию пласта определяются вертикальными линиями от точек k и m до проекции нижней границы целика. Получают точки a и b . Границы предохранительного целика, полученные на вертикальных разрезах, переносят на план и получают контур целика a, b, k, c, d, m .

§ 151. Особенности сдвижения горных пород и охраны сооружений при подземной разработке рудных месторождений

Процесс сдвижения горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки рудных месторождений имеет более сложные и многообразные формы проявления, чем на угольных месторождениях. Вызвано это разнообразием форм рудных залежей, горно-геологических условий их залегания, широкими пределами изменения размеров рудных тел, слоистости, трещиноватости и крепости вмещающих пород, применением разнообразных систем разработки и другими факторами.

По особенностям и формам проявления процесса сдвижения рудные месторождения, обрабатываемые подземным способом, можно разделить на три типа: I — слоистое строение и согласное с рудной залежью залегание вмещающих пород; II — неслоистое строение вмещающих пород; III — слоистое строение и несогласное залегание вмещающих пород.

Слоистые породы — осадочные или метаморфические породы с четко выраженными напластованием, сланцеватостью и контактами слоев. К неслоистым относятся осадочные, а также некоторые изверженные породы, не имеющие слоистости или утратившие ее в результате метаморфизма.

При разработке месторождений I-го типа процесс сдвижения протекает, как и на угольных месторождениях, с образованием прогиба слоев пород по нормали к напластованию.

Разработка мощных или крутопадающих рудных залежей системами с обрушением кровли сопровождается интенсивным процессом сдвижения пород с образованием на земной поверхности зон плавных сдвижений I, трещин II, террас III и провалов IV (рис. 151).

Большую часть мульды сдвижения составляют трещины с уступами, террасы, воронки и провалы. Величины углов сдвижения зависят от крепости вмещающих пород I по классификации проф. М. М. Протодяконова и от угла падения слое¹ пород.

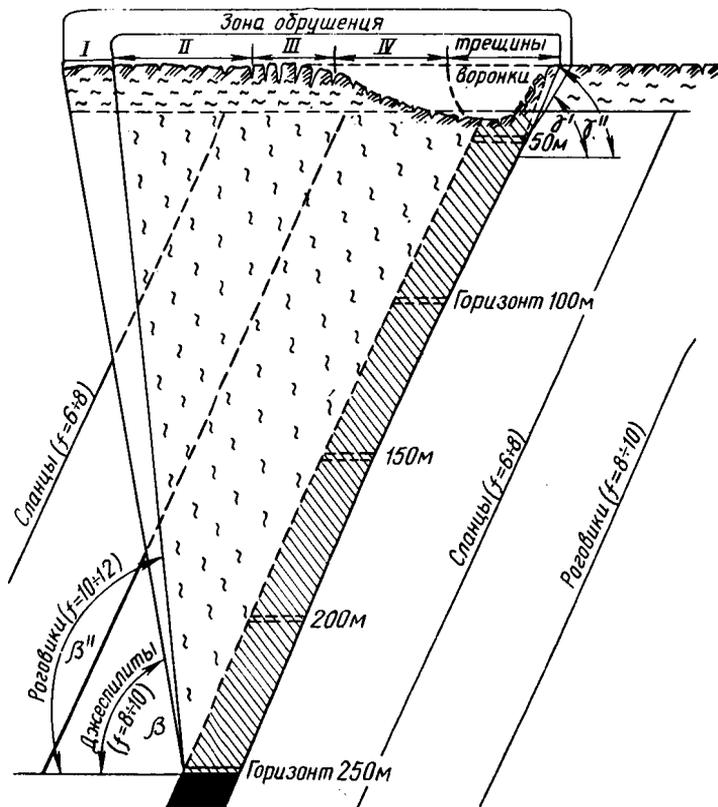


Рис. 151. Схема процесса сдвижения горных пород при подземной разработке рудных месторождений

Формирование в наносах трещин с вертикальными стенками и различное оседание блоков, ограниченных этими трещинами, вызывают образование террас. При отсутствии наносов или незначительной их мощности зона плавных сдвижений может отсутствовать, а углы сдвижения и углы разрывов в этом случае имеют одинаковую величину. По мере понижения горизонта разработок размер провала на земной поверхности увеличивается пока не произойдет защемления обрушившихся пород прогибающимися породными слоями висячего бока залежи.

На месторождениях И-го типа сдвижение проработанных пород происходит преимущественно в виде сдвига и обрушения блоков в выработанное пространство. При этом ориентирование систем трещин оказывает существенное влияние не

только на направление сдвига по плоскостям ослабления, но и на величины углов разрыва.

Ш-й тип месторождений встречается сравнительно редко и представлен, в основном, жильными месторождениями.

При разработке слепых залежей (гнезд, карманов, штоков и др.), не имеющих выхода на земную поверхность и залегающих в плотных породах, сдвижение горных пород может ограничиться поверхностью свода обрушения в непосредственной кровле без каких-либо изменений положения вышележащих слоев.

Методы охраны сооружений, рекомендуемые при разработке угольных месторождений, пригодны для охраны сооружений, подрабатываемых рудными залежами. При разработке рудных месторождений к оставлению предохранительных целиков прибегают редко в связи с высокой стоимостью минерального сырья. Вместо этого все наземные и подземные сооружения, здания и другие объекты размещают за пределами зоны ожидаемого сдвижения.

В случае подхода горных работ к ранее возведенным сооружениям, последние, если это экономически оправдано, переносят на безрудные площади.

§ 152. Сдвижение горных пород при открытой разработке.

Устойчивость и деформация откосов карьеров

Ускорение научно-технического прогресса при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом предполагает обеспечение и управление устойчивостью карьерных откосов при одновременном сокращении объемов вскрышных работ и занятых земельных площадей, а также повышении безопасности горных работ.

Технология и параметры открытой разработки месторождений в значительной мере определяются особенностями сдвижения и деформаций горных пород в конкретных условиях. Для правильного проектирования и ведения горных работ необходимо знать формы проявления процесса сдвижения и прогнозировать характер их развития и возможные последствия.

По форме движения масс различают пять разновидностей деформаций пород на карьерах: осыпи, обрушения, оползни, оплывины и просадки.

Осыпи — скатывание небольших объемов пород (кусков, глыб) с верхней части откоса уступа к его основанию, возникающее под влиянием выветривания откоса, массовых взрывов, а также вследствие отсутствия заоткоски уступа.

Обрушения — быстрые смещения породных масс по крутой поверхности скольжения (контакты слоев, дизъюнктивные нарушения и др.). Обрушения могут произойти: при угле паде-

ния слоев пород и дизъюнктивных нарушений в сторону выемки более $25\text{--}30^\circ$, а трещин — более $35\text{--}40^\circ$; при завышенных угле наклона и высоте откоса; при наличии поверхностей ослабления.

Оползны — медленное смещение породных масс по пологой поверхности скольжения. Развитию оползневых явлений на карьерах способствуют неблагоприятные геологические и гидрогеологические особенности месторождения: падение слоев пород в сторону карьера, наличие обводненных контактов пологозалегающих слоев глинистых пород и дизъюнктивных нарушений, заполненных глиной трения; наличие слоев пластичных глин и напорных вод и другие факторы. К числу основных причин оползней бортов карьеров относятся: завышение величин угла наклона и высоты борта, неправильное ведение горных, буро-взрывных и отвальных работ, отсутствие или недостаточность дренажа подземных вод.

При оползнях в процесс сдвижения могут вовлекаться значительные объемы пород на больших площадях, что осложняет, а в некоторых случаях делает невозможным ведение горных работ и влечет за собой увеличение потерь полезного ископаемого.

Оплывины — течение рыхлых пород нарушенной структуры, а также высокопористых отложений (лессов, лессовидных суглинков и др.), возникающее при насыщении их водой до консистенции текучести.

Просадки — вертикальное опускание прибортовых участков рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности скольжения. Просадки образуются за счет увлажнения высокопористых отложений или уплотнения отвалов рыхлых пород.

Наличие слабых пластичных слоев в основании откоса может привести к образованию просадок с выпиранием пород оснований.

Значения углов наклона устойчивых бортов карьеров определяются расчетным путем и уточняются на всех стадиях проектирования открытых разработок.

Расчет углов наклона бортов производится по участкам с однородным геологическим строением. По каждому участку вкrest простирания борта карьера строят детальный геологический разрез, на который наносят: границы литологических разностей пород, элементы залегания трещин, дизъюнктивные нарушения, характеристики сопротивления сдвигу в породах и по поверхностям ослабления, данные о выветриваемомTM пород.

Расчеты углов наклона бортов карьеров и параметров откосов отвалов основаны на принципе предельного равновесия пород в откосах. Для оценки степени устойчивости, откосов ис-

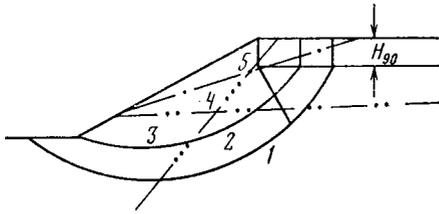


Рис. 152. Положение поверхности скольжения в массиве, находящемся в предельном равновесии:
 1, 2 — в неослабленном массиве; 3, 4 — частично по поверхностям ослабления; 5 — полностью по поверхностям ослабления

пользуют так называемый коэффициент запаса устойчивости, под которым понимают отношение суммы всех сил, препятствующих смещению пород по поверхности скольжения, к сумме сил, сдвигающих массив по этой поверхности. Коэффициент запаса устойчивости рассчитывают по формуле

$$u = \frac{\sum p + \sum c}{\sum T + B}$$

где $\sum p = \sum \mu N$ — силы трения; $\sum c = \sum \kappa B$ — силы сцепления; $\sum T = \sum T$ — сдвигающие силы; N и T — нормальная и касательная составляющие веса элементарных блоков пород; μ и κ — коэффициенты внутреннего трения пород и сцепления; B — длина расчетной поверхности скольжения; A и B — другие удерживающие (создаваемые искусственными подпорками, анкерами и т. п.) и сдвигающие (сейсмические, гидродинамические и т. п.) силы.

Форма расчетной поверхности скольжения и ее расположение в прибортовой части массива пород (рис. 152) зависят от геологического строения и наличия в нем ослабленных поверхностей (трещин с глинистым заполнителем, обводненных контактов слоев пород по напластованию и др.).

Наиболее распространенным методом расчета устойчивости откосов при отсутствии в них ослабленных поверхностей является так называемый метод круглоцилиндрической поверхности. Определение сдвигающих и удерживающих усилий производится аналитически или графически и изложено в специальной литературе. Отыскание наиболее слабой поверхности (поверхности скольжения) целесообразно производить по методу Г. Л. Фисенко. При отсутствии в прибортовой части толщи пород неблагоприятно расположенных поверхностей ослабления, поверхность скольжения является монотонной, близкой по форме к круглоцилиндрической поверхности, а на разрезе она имеет вид плавной кривой, близкой по виду к дуге окружности (кривые 1 и 2 на рис. 152). Если в откосе имеются неблагоприятно ориентированные поверхности ослабления, то поверхность скольжения будет полностью или частично совпадать с ними (кривые 3, 4 и 5).

§ 153. Маркшейдерские наблюдения за движением горных пород на карьерах и отвалах

Предотвращение оползней и обрушений откосов на карьерах, разработка мероприятий, снижающих вредное воздействие сдвижения горных пород на устойчивость уступов, бортов карьеров, отвалов является необходимым условием бесперебойной работы горнодобывающего предприятия. На карьерах должен проводиться комплекс работ, включающий систематические маркшейдерские наблюдения приборами за сдвижением прибортовой части массива горных пород и изучение их физико-механических свойств, геологических и гидрогеологических условий.

Целью маркшейдерских наблюдений является: установление границ распространения и вида деформаций, определение фактических и критических величин смещений пород, предрасчет развития деформаций во времени при углубке карьера. Маркшейдерские наблюдения за сдвижением бортов, откосов уступов и отвалов начинаются одновременно с вскрышными работами и формированием отвалов.

Маркшейдерские наблюдательные станции состоят из реперов, закладываемых, как правило, по профильным линиям, перпендикулярным простирацию борта карьера. На неглубоких карьерах профильные линии могут проводиться через весь карьер. На участках, предрасположенных к оползневым явлениям, конструкция наблюдательных станций принимается с учетом конкретных условий.

Профильные линии наблюдательных станций закладывают, в первую очередь, на менее устойчивых участках борта, характеризующихся крутым углом заоткоски борта или большой его глубиной, наличием тектонических нарушений или пластичных слоев в основании бортов, скоплением больших навалов породы на отдельных уступах и другими факторами. Профильная линия состоит из рабочих и опорных реперов (рис. 153). Протяженность части профильной линии без опорных реперов, примыкающей к карьеру, должна быть не менее $1,5 H$ (H — глубина карьера) при предельно допустимых углах наклона бортов, полученных расчетным путем. На каждой площадке (берме) уступа или яруса отвала закладывается не менее двух реперов: один — вблизи бровки уступа, другой — у подошвы вышележащего уступа. В качестве рабочих реперов применяют металлические штыри или деревянные колья (для рыхлых грунтов).

Маркшейдерские наблюдения за положением реперов профильных линий состоят из нивелирования (геометрического или тригонометрического) и измерения расстояний от опорного до рабочих реперов или между соседними рабочими реперами.

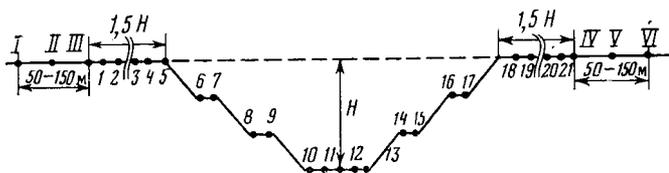


Рис. 153. Схема расположения опорных (I, II, III...) и рабочих (1, 2, 3, ..) реперов профильной линии наблюдательной станции

Измерение расстояний производят стальными рулетками или с помощью светодальномеров. Для фиксации и выявления характера развития образовавшихся трещин, смещений отдельных участков уступа выполняют съемку приборами.

По данным маркшейдерских наблюдений выявляют изменение положения отдельных точек (участков) борта карьера в плане и по высоте за определенные интервалы времени, а по направлениям векторов смещений реперов строят приближенное положение поверхности скольжения в толще пород. Дополнительные сведения о геологическом строении и гидрогеологических особенностях участка позволяют установить характер оползня и причины его образования.

На основе результатов анализа данных наблюдений в начальной стадии сдвижений разрабатываются мероприятия по предотвращению недопустимых деформаций бортов карьеров и откосов уступов. Эти же данные используются при корректировке проектных углов наклона бортов и определении углов наклона при углублении карьера.

К наиболее существенным мероприятиям относятся: дренаж бортов и площадок уступов, выполаживание или разгрузка борта, уменьшение высоты или угла откоса уступов, заоткоска уступов в их предельном положении, искусственное укрепление массива горных пород, ведение буровзрывных работ по специальной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. Г., Муравьев А. В.* Геодезия и маркшейдерское дело в транспортном строительстве: Учебник для техникумов. — М.: Недра, 1987.
2. *Борщ-Компонице В. И., Навитный А. М., Кыши Г. М.* Маркшейдерское дело: Учебник для техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп.—М.: Недра, 1985.
3. *Бруевич П. Н., Самошкин Е. М.* Геодезия: Учебник для техникумов.— М.: Недра, 1985.
4. *Букринский В. А.* Геометрия недр: Учебник для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1985.
5. *Ворковастов К. С., Агеев М. Ф.* Маркшейдерские экваториальные работы.— М.: Недра, 1986.
6. *Даниленко Т. С.* Геодезические работы при создании комплексов инженерных объектов. — М.: Недра, 1985.
7. *Маркшейдерские работы* при установке и эксплуатации шахтного подъемного оборудования/И. И. Добкин, В. Г. Лебедев, М. Н. Галинская и др. — М.: Недра, 1983.
8. *Инженерно-геодезические работы* для проектирования и строительства энергетических объектов/А. А. Карлсон, Л. И. Пик, О. А. Пономарев, В. И. Сердюков. — М.: Недра, 1986.
9. *Инструкция* по производству маркшейдерских работ. — М.: Недра, 1987.
10. *И офис М. А., Шмелев А. И.* Инженерная геомеханика при подземных разработках. — М.: Недра, 1985.
11. *Кратч Г.* Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений: Пер. с нем.; Под ред. Р. А. Муллера и И. А. Петухова. — М.: Недра, 1978.
12. *Лобанов А. Н.* Фотограмметрия: Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984.
13. *Попов И. И., Немкин А. Ф.* Маркшейдерские работы при рекультивации земель на горных предприятиях. — М.: Недра, 1984.
14. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок на угольных Месторождениях/Министерство угольной промышленности СССР. — М.: Недра, 1981.
15. *Сборник* руководящих материалов по охране недр при разработке месторождений полезных ископаемых/Госгортехнадзор СССР — 2-е изд., перераб. и доп.—М.: Недра, 1987.
16. *Синяни Р. Р.* Маркшейдерское дело: Учебник для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— Недра, 1988.
17. *Справочник* по маркшейдерскому делу/Под редакцией А. Н. Омельченко.— 4-е изд. перераб. и доп. — М.: Недра, 1979.
18. *Сдвигение* горных пород и земной поверхности при подземных разработках/Под ред. В. А. Букринского и Г. В. Орлова. — М.: Недра, 1984.
19. *Справочное руководство* по инженерно-геодезическим работам/В. Д. Большаков, Г. П. Левчук, В. Е. Новак и др. — М.: Недра, 1980.
20. *Трофимов А. А.* Основы маркшейдерского дела и геометрии недр: Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1985.
21. *Hoványi Lehel, Füst Antal.* Geodézia és Bányászati Geometria II. (Bányászati geometria). Kezirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
22. *Христов И. Г.* Минна геометрия. Държавно издателство «Техника», София, 1974.
23. *Meixner H., Bukrinskij V. A.*: Markscheidewesen für Bergbaufachrichtungen. 2., überarb. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1985.
24. *Oldrich Hajkz, Karel Neset.* Geometrie nerostnych lozisek. SNTL/ALFA, Praha, 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть I. ГЕОДЕЗИЯ.....	4
Введение.....	4
§ 1. Предмет, значение и основные задачи геодезии в обеспечении строительства горнопромышленных объектов и разработки месторождений полезных ископаемых.....	4
§ 2. Краткий исторический очерк развития геодезии.....	5
§ 3. Понятие о форме и размерах Земли.....	6
§ 4. Единицы измерений.....	7
Глава 1. Определение положения точек и направлений на поверхности земли	9
§ 5. Принцип изображения земной поверхности на плоскости	9
§ 6. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния и высоты точек	11
§ 7. Понятие о системах координат, используемых в геодезии	13
§ 8. Ориентирование линий и ориентирующие углы.....	17
§ 9. Связь дирекционных углов предыдущей и последующей линии . .	20
§ 10. Прямая и обратная геодезические задачи.....	21
Глава 2. Основные геодезические чертежи.....	24
§ 11. Понятие о плане, карте, профиле и разрезе.....	24
§ 12. Масштабы.....	26
§ 13. Условные знаки и их классификация.....	29
§ 14. Изображение рельефа на планах и картах.....	30
§ 15. Номенклатура карт и планов.....	33
Глава 3. Элементы теории погрешностей измерений.....	35
§ 16. Общие сведения.....	35
§ 17. Погрешности измерений и их классификация.....	37
§ 18. Свойства случайных погрешностей.....	38
§ 19. Критерии точности измерений.....	39
§ 20. Точность функции измеренных величин.....	41
§ 21. Оценка точности результатов неравноточных измерений	42
§ 22. Общие правила вычислительных работ.....	43
Глава 4. Общие сведения о построении геодезических сетей. Топографические съемки	45
§ 23. Принципы организации, классификация и методы создания геодезических сетей	45
§ 24. Закрепление пунктов геодезических сетей на местности. Центры и знаки геодезических пунктов	48
§ 25. Виды топографических съемок.....	49
Глава 5. Угловые измерения.....	51
§ 26. Понятие о горизонтальных и вертикальных углах.....	51
§ 27. Реализация принципа угловых измерений в теодолите.....	53
§ 28. Поверки и юстировки теодолита.....	56
§ 29. Измерение горизонтального угла.....	59
§ 30. Измерение вертикального угла.....	61
§ 31. Основные источники погрешностей и точность измерения теодолитом горизонтального и вертикального углов.....	62

Глава 6. Линейные измерения.....	64
§ 32. Общие сведения о линейных измерениях.....	64
§ 33. Мерные приборы для непосредственного измерения линий ...	64
§ 34. Вешение линий.....	67
§ 35. Измерение линий мерной лентой и приведение их к горизонту . .	68
§ 36. Принципы измерения расстояний оптическими дальномерами ...	70
§ 37. Общие сведения о свето- и радиодальномерных измерениях ...	74
§ 38. Погрешности измерения линейных величин.....	75
Глава 7. Теодолитная съемка.....	76
§ 39. Сущность теодолитной съемки.....	76
§ 40. Производство теодолитной съемки.....	77
§ 41. Вычислительная обработка результатов полевых измерений ...	79
§ 42. Построение плана участка теодолитной съемки.....	86
Глава 8. Нивелирование.....	87
§ 43. Методы определения высот.....	87
§ 44. Принцип и способы геометрического нивелирования.....	89
§ 45. Устройство, поверки и юстировки нивелиров.....	90
§ 46. Теоретические основы метода и способы тригонометрического нивелирования	96
§ 47. Погрешности определения высот точек.....	98
Глава 9. Тахеометрическая съемка.....	99
§ 48. Сущность тахеометрической съемки.....	99
§ 49. Выполнение тахеометрической съемки.....	100
§ 50. Камеральные работы при тахеометрической съемке.....	105
Глава 10. Мензуральная съемка.....	107
§ 51. Основы мензуральной съемки.....	107
§ 52. Подготовительные работы.....	109
§ 53. Создание обоснования мензуральной съемки.....	110
§ 54. Съемка ситуации и рельефа.....	114
Глава 11. Понятие о фототопографических съемках.....	115
§ 55. Общие сведения.....	115
§ 56. Сущность наземной фототопографической съемки.....	116
§ 57. Сущность аэрофототопографической съемки.....	117
§ 58. Сущность космической фотограмметрической съемки.....	119
Глава 12. Практическое использование плана (карты) для решения инженерно-технических задач	120
§ 59. Решение задач, связанных с определением планового положения точек	120
§ 60. Решение задач по определению высотного положения точек . . .	123
§ 61. Понятие о вычислении площадей.....	127
§ 62. Понятие о вычислении объемов.....	131
Глава 13. Геодезическое обеспечение изысканий под строительство инженерных сооружений.....	132
§ 63. Стадии проектирования сооружений и виды изысканий.....	132
§ 64. Понятие об инженерно-геологических изысканиях.....	135
§ 65. Геодезическое обеспечение при изысканиях инженерных сооружений линейного типа	135
§ 66. Изыскательские и геодезические работы на промстройплощадке .	150
Глава 14. Основы разбивочных работ.....	150
§ 67. Общие сведения о разбивочных работах.....	150
§ 68. Основные элементы разбивочных работ.....	152

§ 69. Основные способы разбивки инженерных сооружений на местности	154
§ 70. Способы детальных геодезических разбивок	156
Глава 15. Технология выноса проекта на местность	158
§ 71. Подготовка данных для выноса проекта в натуру. Разбивочная документация	158
§ 72. Основные геодезические разбивочные работы	159
§ 73. Геодезические разбивочные работы при нулевом цикле строительства	161
§ 74. Разбивка коммуникаций	165
Глава 16. Геодезические работы при установке строительных конструкций и промышленного оборудования	167
§ 75. Геодезическая подготовка к монтажным работам	167
§ 76. Понятие о способах плановой установки и выверки конструкций	168
§ 77. Высотная установка инженерных конструкций	170
§ 78. Основные способы установки и выверки конструкций по вертикали	171
Глава 17. Исполнительные съемки	174
§ 79. Понятие об исполнительных съемках. Геодезическая исполнительная документация	174
§ 80. Понятие об исполнительных генеральных планах	175
Часть II МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО	177
Глава 18. Содержание, задачи и значение маркшейдерского дела	177
§ 81. Краткие сведения из истории развития маркшейдерского дела	177
§ 82. Основные задачи маркшейдерской службы в техническом прогрессе горной промышленности	180
Глава 19. Горная графическая документация	184
§ 83. Виды документации	184
§ 84. Содержание горной графической документации	186
§ 85. Системы координат, масштабы и номенклатура маркшейдерских чертежей	189
§ 86. Изображение на маркшейдерском плане точки, прямой, плоскости и поверхности	189
§ 87. Условные знаки для маркшейдерских планов, проекций и разрезов	197
§ 88. Решение задач на маркшейдерских планах	197
Глава 20. Геометризация месторождений полезных ископаемых	199
§ 89. Общие сведения о геометрии недр и геометризации месторождений	199
§ 90. Теоретические основы геометризации недр. Геометрический анализ геохимического поля	202
§ 91. Математические действия с функциями топографического порядка	203
§ 92. Вероятностно-статистические методы обработки результатов измерений	206
§ 93. Исходные данные для геометризации недр	209
§ 94. Геометризация формы месторождений полезных ископаемых	213
§ 95. Геометризация складчатой, разрывной и трещинной тектоники	216
§ 96. Геометризация условий залегания полезных ископаемых	223
§ 97. Геометризация свойств залежи и массива горных пород	223
§ 98. Применение ЭВМ и графопостроителей при геометризации месторождений	227
§ 99. Значение геометризации при функционировании АСУ горного предприятия, комплексном использовании и охране недр	228
Глава 21. Подсчет запасов полезных ископаемых	229
§ 100. Общие сведения	229
§ 101. Классификация запасов по степени разведанности и подготовленности к добыче	230

§ 102. Параметры подсчета запасов и их определение.....	232
§ 103. Способы подсчета запасов.....	235
§ 104. Применение ЭВМ при подсчете запасов.....	238
§ 105. Погрешность подсчета запасов.....	239
Глава 22. Учет состояния и движения запасов полезных ископаемых на горнодобывающих предприятиях.....	242
§ 106. Цель и задачи учета запасов полезных ископаемых.....	242
§ 107. Учет добычи полезного ископаемого по замерам горных выработок 243	
§ 108. Маркшейдерский контроль оперативного учета добычи полезного ископаемого.....	244
§ 109. Учет потерь и разубоживания полезного ископаемого.....	245
§ 110. Учет состояния и движения запасов полезных ископаемых . . .	248
Глава 23. Маркшейдерские работы при открытой разработке месторож- дений полезных ископаемых.....	249
§ 111. Задачи маркшейдерской службы.....	249
§ 112. Опорная, съемочная сеть и съемочные работы на карьере . . .	250
§ 113. Маркшейдерские работы при строительстве карьеров.....	255
§ 114. Съемка и документация буровзрывных работ.....	256
§ 115. Маркшейдерские работы при разбивке транспортных путей и ра- боте транспортно-отвальных мостов.....	258
§ 116. Определение объема вскрыши и учет добытого полезного ископа- емого	260
§ 117. Съемка отвалов.....	261
§ 118. Маркшейдерские работы при дражной и гидравлической разра- ботке месторождений . . .	261
§ 119. Маркшейдерские работы при рекультивации земель на карьерах	263
Глава 24. Маркшейдерские работы при строительстве подземных соору- жений и шахт.....	265
§ 120. Задачи маркшейдерской службы.....	265
§ 121. Маркшейдерские работы при строительстве сооружений и плани- ровке промышленной площадки.....	266
§ 122. Маркшейдерские работы при сооружении шахтного подъема . . .	270
§ 123. Маркшейдерские работы при проходке, креплении и армировании стволов шахт	276
§ 124. Маркшейдерские работы при углубке вертикального ствола . . .	285
§ 125. Маркшейдерские работы при проведении околоствольных вырабо- ток	286
§ 126. Задание направлений горным выработкам в горизонтальной и вер- тикальной плоскостях	289
§ 127. Маркшейдерские работы при проходке выработок встречными забоями	293
§ 128. Маркшейдерские работы при специальных способах проходки гор- ных выработок.....	296
§ 129. Маркшейдерские работы при строительстве подземных сооружений большого сечения.....	300
§ 130. Особенности маркшейдерских работ при строительстве подземных сооружений в условиях больших городов.....	302
Глава 25. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторож- дений полезных ископаемых.....	306
§ 131. Определение, виды и принципы подземных маркшейдерских съемок	306
§ 132. Виды подземных маркшейдерских сетей.....	307
§ 133. Приборы для измерения углов и расстояний.....	308
§ 134. Съемка подземной опорной и съемочной сетей.....	310
§ 135. Камеральная обработка подземных опорных и съемочных сетей . . .	315

§ 136. Ориентирно-соединительные съемки.....	317
§ 137. Горизонтальная соединительная съемка	320
§ 138. Вертикальная соединительная съемка	333
§ 139. Вертикальная съемка в горных выработках.....	336
§ 140. Съемочные работы.....	339
§ 141. Маркшейдерские работы при скважинной разработке полезных ископаемых.....	343
§ 142. Маркшейдерские работы при планировании горных работ . . .	346
Глава 26. Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок и охрана сооружений от их вредного воздействия . .	349
§ 143. Общие сведения.....	349
§ 144. Основные параметры процесса сдвижения, их практическое приме- нение	351
§ 145. Основные факторы, влияющие на характер сдвижения горных по- род и земной поверхности	357
§ 146. Методы изучения процесса сдвижения.....	359
§ 147. Маркшейдерские наблюдения за сдвижением горных пород . .	361
§ 148. Наблюдательные станции за сдвижением земной поверхности и де- формациями подрабатываемых зданий и сооружений	362
§ 149. Безопасная подработка зданий, сооружений, природных объектов и меры их охраны от влияния подземных разработок.....	365
§ 150. Построение предохранительных целиков.....	368
§ 151. Особенности сдвижения горных пород и охраны сооружений при подземной разработке рудных месторождений.....	370
§ 152. Сдвижение горных пород при открытой разработке. Устойчивость и деформация откосов карьеров.....	372
§ 153. Маркшейдерские наблюдения за сдвижением горных пород на карьерах и отвалах.....	375
Список литературы.....	377

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Букринский Виктор Александрович
Орлов Геннадий Васильевич
Самошкин Евгений Михайлович и др.

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

Заведующий редакцией **Л. Г. Иванова**
Редактор издательства **Т. А. Борисова**
Технический редактор **Н. В. Жидкова**
Корректор **М. В. Дроздова**

ИБ № 7801

Сдано в набор 24.11.88. Подписано в печать 24.04.89. Т-06522. Формат 60X90/16- Бумага
кн.-журнальная. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл.-печ. л. 24,0. Усл. кр-
отт. 24,0. Уч.-изд. л. 24,50. Тираж 3000 экз. Заказ № 2787/1841—8. Цена 1 р. 10 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра» 125047 Москва,
пл. Белорусского вокзала, 5.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского
объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Го-
сударственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.