МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Часть 1

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности "Маркшейдерское дело"

В ДВУХ ЧАСТЯХ

3-е издание,
переработанное и дополненное
Под редакцией профессора И.Н. УШАКОВА

Часть 1

ББК 33.12
М 25
УДК 622.1 (075.8)

Авторы: *И. Н. Ушаков, Д. А. Казаковский, Г. А. Кротов, В. Н. Лавров, М. П. Пятлин, Н. И. Стенин, К. С. Ворковастов, В. А. Голованов*

Рецензент кафедра маркшейдерского дела Днепропетровского горного института имени Артёма

Маркшейдерское дело: Учеб. для вузов.— В двух час-
М 25 тях/Под ред. И. Н. Ушакова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1989.— Часть 1/И. Н. Ушаков, Д. А. Казаковский, Г. А. Кротов и др. — 311 с.: ил.

ISBN 5—247—01799—4

В третьем издании (2-е изд.— 1970) с учетом современных данных изложены задачи маркшейдерской службы. Рассмотрены принципы построения опорных геодезических и маркшейдерских сетей, даны общие понятия о горизонтальных и вертикальных съемках выработок. Описаны способы измерений углов и длин сторон теодолитных ходов. Уделено внимание маркшейдерским работам при проведении выработок встречными забоями, при открытой разработке месторождений, а также при гидравлических и дражных разработках россыпей. Изложена методика замеров горных выработок и складов полезного ископаемого.

Для студентов горных вузов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело».

М $\frac{2502010200—171}{043(01)—89}$ 217—89

ББК 33.12

ISBN 5—247—01851—6

ISBN 5—247—01799—4

© Издательство «Недра», 1970, с изменениями

© Издательство «Недра», 1989, с изменениями и дополнениями

Настоящее издание учебника «Маркшейдерское дело» по сравнению со вторым его изданием (1970) является переработанным и дополненным в соответствии с современным состоянием маркшейдерской науки, маркшейдерской службы в горной промышленности и требованиями, вытекающими из решений XXVII съезда КПСС.

«Маркшейдерское дело» является профилирующим предметом, изучаемым студентами маркшейдерской специальности горных и политехнических вузов на втором и старших курсах параллельно с базовыми специальными дисциплинами.

Учебник состоит из двух частей: часть 1 посвящена изложению общего курса, часть 2 — специального. Такое разделение обусловливается удобством пользования учебником, так как часть 1 изучается студентами 2 и 3 курсов, а часть 2 — студентами 4 и 5 курсов.

Часть 1 учебника включает два раздела. Раздел I знакомит читателей с общими вводными и исходными положениями, определяющими современные задачи маркшейдерской службы, а также состояние и развитие маркшейдерского дела как научной и учебной дисциплины. В ней приведены также необходимые сведения о применяемых системах координат, об опорных плановых и высотных геодезических маркшейдерских сетях и съемках в районе разведуемого участка, шахтного (карьерного) поля. С достаточной полнотой изложены проблемы создания подземных плановых, высотных опорных и съемочных сетей, обработки наблюдений и ведения документации. На этой геометрической основе даны решения типовых маркшейдерских задач применительно к условиям подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

В разделе II описаны маркшейдерские работы на карьерах; при гидравлических, бульдозерных, скреперных и экскаваторных разработках россыпей и при подводной разработке месторождений (дражная разработка, добыча полезного ископаемого со дна озер и морей).

Целью изучения части 1 учебника является подготовка студентов к прохождению маркшейдерской практики по основам предмета и маркшейдерским работам в типовых условиях подземной и открытой разработки месторождений полезных ископаемых.

Часть 2 учебника «Маркшейдерское дело» состоит из пяти крупных разделов: «Маркшейдерские работы при строительстве шахт (рудников)»; «Анализ точности маркшейдерских

съемок»; «Дополнительные сведения о маркшейдерских съемках»; «Сдвижение горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок»; «Организация маркшейдерской службы. Планирование маркшейдерских работ».

Эти разделы посвящены организации маркшейдерской службы, в них изложены методы измерений, даны анализ и оценки точности результатов основных маркшейдерских работ при обеспечении надежной геометрической основой решений крупных инженерных задач на горных предприятиях. Рассмотренные вопросы тесно связаны с безопасной реализацией проектных решений, охраной недр, сооружений, земной поверхности и окружающей среды.

Учебник создан на основе методического опыта преподавания маркшейдерского дела, накопленного на кафедре маркшейдерского дела Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова, а также использованы результаты исследований, проводимых Всесоюзным научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ).

Проф., д. т. н. Ушаковым И. Н. написаны предисловие, введение, разд. I.1, I.2, I.3, I.4, I.11; проф., д. т. н. Казаковским Д. А. — разд. I.1, I.11.3, VI.1.3., VI.2.1; к. т. н. Головановым В. А. — разд. I.3.8; проф. Стениным Н. И. — разд. I.5, I.8, I.9, I.10, VII.1, VII.2, VII.3; проф., к. т. н. Пятлиным М. П. — разд. I.6; проф., д. т. н. Лавровым В. Н. — разд. I.7; проф., к. т. н. Кротовым Г. А. — разд. II.1, II.2, II.3, II.2.4, II.2.5, II.3.6, V.2; с. н. с., к. т. н. Ворковастовым К. С. — разд. II.2.3, II.3.7; с. н. с., к. т. н. Лебедевым В. Б. — разд. III.1, III.2, III.3, III.4, V.3; проф., д. т. н. Хлебниковым А. В. — разд. IV.1, IV.2, IV.3; проф., д. т. н. Белоликовым А. Н. — разд. V.2; Симановичем В. С. — разд. V.2.9; с. н. с., к. т. н. Земисевым В. Н. — разд. VI.1, VI.2, VI.3, VI.4, VI.5; доц., к. т. н. Павловым С. П. — разд. VI.6; проф., д. т. н. Кузнецовым Г. И. — разд. VI.7.

Маркшейдерская служба является одним из важных звеньев комплекса горнодобывающих предприятий (шахт, рудников, карьеров) как в период их строительства, так и эксплуатации. Методы и результаты маркшейдерских работ широко используются на нефте- и солепромыслах, при разведке месторождений полезных ископаемых, строительстве метрополитенов, туннелей и других сооружений. Важнейшими задачами маркшейдерской службы являются создание и ведение маркшейдерского обеспечения.

Под маркшейдерским обеспечением геологоразведочных и горных работ следует понимать маркшейдерскую геометрическую основу и документацию для решения ответственных инженерных задач на горном предприятии и выполнения оперативных производственных работ.

К основным инженерным задачам, требующим маркшейдерского обеспечения, относятся:

создание инженерных проектов и реализация их в производстве;

проведение выработок и безопасное выполнение горных работ в соответствии с проектными решениями и горно-геологическими условиями;

перспективное и текущее планирование горных работ;

оперативный подсчет запасов полезного ископаемого, обеспечивающий полноту извлечения запасов из недр и необходимое качество добываемого сырья;

охрана подрабатываемых залежей полезного ископаемого, горных выработок и сооружений, а также природных объектов.

Название «маркшейдерское дело» происходит от немецкого слова die Markscheidenkunst: die Marke — граница, межа, знак; scheiden — различать, устанавливать, обозначать и die Kunst — искусство.

Существующие в настоящее время термины «маркшейдерское дело», «маркшейдер», «маркшейдерские работы» и другие прочно вошли в научно-техническую, справочную, учебную литературу, а также в производство, хотя их дословный перевод не отражает современные представления и требования горного производства к маркшейдерской службе.

Многие предложения о замене названия «маркшейдерское дело», более полно отражающего содержание научной дисциплины в СССР, не получили широкого признания.

Несмотря на некоторую условность, понятие «маркшейдерское дело» в наше время обладает достаточной полнотой и

в необходимой мере отражает действительное содержание излагаемого учебного курса.

В освоении месторождений полезных ископаемых (МПИ) можно выделить следующие стадии:

разведку (доразведку) и оценку МПИ или отдельных их участков;

проектирование и строительство горного предприятия;

разработку МПИ;

консервацию горного предприятия и рекультивацию земель в пределах горного отвода.

При разведке МПИ (или доразведке отдельных участков):

создание при необходимости опорной и съемочной сети в районе разведуемого участка, производство съемки земной поверхности в требуемом масштабе или дополнительной съемки естественных обнажений горных пород и других объектов геологических наблюдений, для составления планов, являющихся геометрической основой для геологического картографирования и проектирования геологоразведочных работ;

выполнение выноса в натуру устьев разведочных выработок, их направлений, расчет их длин (глубин) по составленному и утвержденному проекту геологоразведочных работ;

производство исполнительной съемки и составление совместно с геологами необходимых графических материалов, характеризующих условия залегания МПИ и пространственное размещение показателей полезного ископаемого (геометризация МПИ на стадии разведки);

создание на завершающем этапе геологоразведочных работ геометрической основы для подсчета запасов полезного ископаемого и подсчет его запасов.

При проектировании горного предприятия:

выполнение проектно-изыскательских работ в районе шахтного (карьерного) поля и оформление в установленном порядке горного и земельного отводов;

расчет и обоснование способа разработки МПИ, выбор варианта отработки, раскройка на участки шахтного (карьерного) поля, размещение зданий и сооружений, подлежащих строительству на площадях залегания полезного ископаемого с учетом возможного вредного влияния горных разработок на поверхность Земли, горный массив и сооружения;

разработка мероприятий по охране проектируемых сооружений от вреднего влияния горных разработок;

подсчет (совместно с геологом) промышленных запасов полезных ископаемых в границах шахтного (карьерного) поля и установление (совместно с технологом-горняком) объемов горных работ.

При строительстве горных предприятий:

проверка проектных чертежей всех основных сооружений и

капитальных горных выработок с целью установления правильности взаимосвязей между геометрическими элементами;

обеспечение маркшейдерской геометрической основой — опорной и съемочной сетью района промплощадки;

перенос проектных геометрических элементов сооружений и горных выработок в натуру;

маркшейдерские измерения (съемки) по мере возведения сооружений и проходки горных выработок с целью составления исполнительных чертежей;

маркшейдерский контроль за соблюдением проектных решений.

Наиболее полным по содержанию является маркшейдерское обеспечение *при эксплуатации МПИ*. Оно включает:

обеспечение района горного отвода на участках производства геологоразведочных и горных работ опорной и съемочной сетью пунктов;

перенесение в натуру проектных геометрических элементов сооружений и горных выработок;

при подземном способе разработки МПИ выполнение горизонтальных и вертикальных соединительных съемок для производства подземных маркшейдерских съемок в одной системе координат со съемками на поверхности;

полная своевременная маркшейдерская съемка всех подземных горных выработок на основе развития подземных опорных и съемочных сетей с целью правильного наглядного изображения горных выработок на маркшейдерских чертежах (МЧ) с оценкой точности полученных результатов;

маркшейдерские съемки горных выработок и маркшейдерское обеспечение всех технологических процессов (буровзрывные работы, вскрыша, добыча полезного ископаемого и отвальное хозяйство) при открытом способе разработки МПИ.

Умелое и оперативное использование маркшейдерского обеспечения (геометрической основы и документации) позволяет маркшейдерской службе горного предприятия обеспечить решение ответственных инженерных задач при разработке МПИ, а именно:

контроль за правильным, безопасным проведением горных выработок с учетом принятых проектных решений и выявленных при эксплуатационной геометризации горно-геологических условий;

периодический контроль оперативного учета объемов горных работ;

совместное с геологами и горняками-технологами управление запасами полезного ископаемого на горном предприятии;

контроль охраны недр и полноты выемки полезного ископаемого из недр;

выявление и документация опасных зон, определение гра-

ниц безопасного ведения горных работ и охранных целиков, вынос указанных границ в натуру и осуществление контроля за их соблюдением;

ведение наблюдений за сдвижением земной поверхности, горного массива, деформациями сооружений и горных выработок под влиянием подземной разработки, а также за устойчивостью уступов, бортов и отвалов на карьерах;

разработка мер по охране сооружений и горных выработок от вредного влияния подземной разработки и осуществление инструментального контроля за их реализацией совместно с горняками-технологами;

исследование совместно с горняками-технологами горного давления и динамических проявлений;

прогнозирование горно-геологических условий при перспективном и текущем планировании работ шахты, рудника или карьера;

периодическое составление и ведение обменных планов с пояснительной запиской для вышестоящей организации, контролирующей состояние горных работ и выполнение календарных планов работ горным предприятием.

При ликвидации (консервации) горного предприятия маркшейдерская служба выполняет следующие виды работ:

оформляет съемку горных выработок до границ их проходки;

дополняет МЧ, журналы вычислений координат пунктов плановых и высотных съемок горных выработок, результаты ориентирно-соединительных съемок и каталоги координат;

производит завершение маркшейдерских работ, связанных с рекультивацией земель в пределах горного отвода;

передает основные маркшейдерские материалы и документы шахты (карьера) в архивы на бессрочное хранение.

Приведенный перечень основных функций маркшейдерской службы хотя и не исчерпывает полностью ее содержания, но дает общее представление о предмете курса.

Теоретической основой общих положений курса «Маркшейдерское дело» являются физика, математика (особенно геометрия, математический анализ и теория вероятностей). Общность методов маркшейдерских и геодезических измерений, а также обработки их результатов предполагает органическую связь маркшейдерского дела с геодезией. Положения курса «Маркшейдерское дело» определяются также тесной его взаимосвязью с циклами знаний по геологоразведочному и горному делу. Основным содержанием курса «Маркшейдерское дело» является направленное изучение и документация земной поверхности, МПИ, результатов их разведки, положения и состояния горных выработок в границах шахтных (карьерных) полей, способствующее рациональной разработке МПИ.

Раздел I
ОСНОВЫ КУРСА. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

I.1. КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Маркшейдерское дело — органическая часть горного дела, которое, как известно, относится к одной из древнейших областей деятельности человека.

Из истории маркшейдерского дела известно, что первые описания подземных съемок и их ориентирования путем промеров и провешивания, сделанные греческим ученым Героном, относятся предположительно к I в. до н. э.

Совершенствование методов техники и способов маркшейдерских измерений (съемок) в подземных выработках, обусловленное развитием горного производства, длительное время было связано с необходимостью создания и применения приборов с магнитной стрелкой. После заимствования у мореплавателей вассер-буссоли в начале VI в. н. э. стал применяться более совершенный прибор — компас с магнитной стрелкой, вращающейся на игле.

Развитие в средние века горного промысла в Западной Европе, особенно в Германии, привело к значительному увеличению объемов маркшейдерских измерений, о чем свидетельствует опубликованный в 1556 г. капитальный труд «О горном деле и металлургии» известного немецкого ученого Георгия Агриколы (1494—1555).

Дальнейшее совершенствование компаса в Германии привело к созданию компаса с визирным приспособлением, а затем подвесной буссоли, которая в сочетании с подвесным полукругом (для измерения углов наклона линий) длительное время была одним из основных приборов для производства маркшейдерских съемок и является прототипом современных подвесных буссолей, до сих пор используемых при производстве маркшейдерских съемок пониженной точности в нарезных и очистных выработках.

Уже в XII—XIII вв. новгородцы добывали железную руду в районе Устюжны-Железнопольской, а в XIV в. — соль в Старой Руссе; известны древние выработки по добыче слюды.

Первые попытки организации горного промысла относятся ко времени упорядочения государственного хозяйства. Прочная основа для развития горного дела была создана при Петре I в первой четверти XVIII в., который прежде всего в целях укрепления хозяйства и военной мощи страны поощрял и поддерживал частные горные предприятия, создавал казенные заводы.

Для укрепления правового и хозяйственного положения горных предприятий в 1700 г. был учрежден в Москве Приказ рудокопных дел, ведавший горнозаводскими предприятиями, который в 1719 г. был преобразован в Берг-коллегию и переведен в Петербург.

В петровскую эпоху расширились поиски и разработка месторождений рудных полезных ископаемых и строительных материалов. В начале XVIII в. возникли первые горные предприятия по добыче ископаемого угля. В 1721 г. были обнаружены промышленные запасы угля в Донбассе, а основной базой горного промысла стал Центральный Урал.

Со второй половины XVIII в. предприятия горнометаллургической промышленности появились и на Южном Урале, Алтае и в других районах Сибири.

Быстрое развитие горной промышленности определило повышение требований к маркшейдерскому обеспечению горного производства, а следовательно, возникла необходимость в квалифицированных работниках. Уже в первые годы правления Петра I каждому русскому дипломату и торговому представителю, выезжавшему за границу, вменялся в обязанности подбор мастеров горного и заводского дела.

Для изучения горного искусства, металлургии и химии Академия наук ежегодно направляла за границу наиболее способных студентов своего университета. Так, в числе командированных в 1736 г. был М. В. Ломоносов (1711—1765).

Крайне необходимой была признана организация специальных школ для подготовки специалистов. Первую горнометаллургическую школу открыл В. И. Генин в Петрозаводске в 1715 г. при Олонецком заводе. В 1720—1722 гг. В. Н. Татищев открыл школы на Урале. В горнозаводском уставе 1734 г. им были сформулированы требования к маркшейдерам и задачи маркшейдерской службы на горных предприятиях. В Екатеринбургской школе в 1746 г. было начато преподавание маркшейдерского искусства.

М. В. Ломоносов систематизировал собранные материалы по горному делу и в 1742 г. приступил к составлению «Первых оснований горной науки». Этот труд остался неопубликованным, но его содержание в переработанном виде вошло в более позднюю знаменитую работу «Первые основания металлургии или рудных дел». Это был первый капитальный отечественный

труд в области горного дела, в котором была введена общедоступная русская научно-техническая терминология. При сравнительно небольшом объеме в книге нашли достаточно полное для того времени отражение основные вопросы горного дела.

Обнаруженные в архивах уральских рудников маркшейдерские планы середины XVIII в. свидетельствуют о сравнительно высоком для того времени уровне маркшейдерского искусства в России. Например, на Березовских рудниках уже в то время съемки выполнялись в единой местной условной системе координат; чертежи горных выработок составлялись в проекциях на горизонтальную и вертикальную плоскости в единых условных обозначениях.

Большое значение для развития горного дела в России имело основание в 1773 г. в Санкт-Петербурге первой высшей горной школы — первого высшего технического учебного заведения Российского государства.

Первым преподавателем по маркшейдерскому искусству с 1774 по 1798 г. был И. М. Ренованц (1744—1798), который читал курсы физики, минералогии и горного искусства.

Институт до 1899 г. был единственным высшим горным учебным заведением и научным центром, чему весьма способствовала активная издательская деятельность института, особенно с момента начала издания «Горного журнала» (1825).

Следует отметить ряд ученых, горных инженеров, сыгравших существенную роль в становлении и развитии отечественной научной маркшейдерской школы. Так, преподаватель А. И. Максимович составил и в 1805 г. опубликовал первый на русском языке учебник по маркшейдерскому искусству «Практическая подземная геометрия», заменивший устаревший курс И. Ф. Вейдлера «Наставление к подземной геометрии» (1726) и его перевод, выполненный А. Мартовым в 1777 г. Описанная в учебнике А. И. Максимовича методика подземных съемок основывалась, как и ранее, на использовании подвесной буссоли.

Существенное значение имела научно-педагогическая деятельность в 1833—1839 гг. К. Ф. Бутенева, который в курсах горного и маркшейдерского искусства уделял большое внимание вопросам геометрии месторождений, в частности, изучению разрывных структур, определению объемов выполненных горных работ и определению добычи полезного ископаемого.

Особое место в развитии маркшейдерского искусства в России занимает деятельность профессоров института П. А. Олышева (1812—1896) и Г. А. Тиме (1831—1910).

Проф. П. А. Олышев первым в России практически одновременно и независимо от немецких маркшейдеров разработал конструкцию горного теодолита с эксцентренной трубой, а также методики теодолитной и нивелирной съемок в подзем-

ных выработках с использованием аналитического способа обработки результатов измерений.

Исследования проф. Г. А. Тиме были посвящены вопросам создания в горнопромышленных районах единых сетей опорных пунктов методом триангуляции с ориентированием по астрономическому меридиану, оценке точности соединительных съемок.

Переход в середине XIX в. к теодолитной и нивелирной съемкам в горных выработках вместо съемки с помощью висячей буссоли и полукруга явился значительным шагом в развитии маркшейдерского искусства в Западной Европе и в нашей стране.

В Германии этот этап нашел отражение в книгах Ю. Вейсбаха «Новое маркшейдерское искусство» (1851) и Борхерса «Практическое маркшейдерское искусство» (1869). Основные усилия ученых были направлены на разработку и совершенствование основных приборов (теодолитов, нивелиров) и вспомогательного снаряжения для маркшейдерских съемок (ориентир-буссоли, зеркальной буссоли в случае магнитного ориентирования, приборы геометрического ориентирования, длинные шахтные ленты для передачи отметок с земной поверхности в горные выработки и др.). Маркшейдерское приборостроение в Германии интенсивно развивалось на базе хорошо оснащенных заводов Брейгаупта, Феннеля, Гильдебранда и Цейса, продукция которых пользовалась широким спросом и в России.

К концу XIX и первой четверти XX в. значительно увеличились протяженность и глубина горных разработок, усложнились условия производства горных работ, повысились требования к точности и оперативности маркшейдерского обеспечения.

В это время наряду с созданием новой измерительной аппаратуры большое внимание уделялось совершенствованию методики маркшейдерских работ, а также вопросам обработки измерений и оценки точности результатов. Были разработаны новые способы производства соединительных съемок, исследовалось влияние вентиляционной струи и других факторов на положение шахтных отвесов, а также накопление погрешностей в подземных полигонах и т. д. Указанным вопросам были посвящены работы Вильского, Фокса, Зандена, Бишофа, Друмма и др.

В нашей стране этот период развития маркшейдерского дела характеризуется рядом интересных идей, исследований и работ, направленных на улучшение состояния маркшейдерского обеспечения горных предприятий. Сформировалась отечественная научная маркшейдерская школа, известная лучшими ее представителями — В. И. Бауманом, И. М. Бахуриным, П. М. Леонтовским, П. К. Соболевским и др.

С именем проф. В. И. Баумана (1867—1923) связан ряд крупных исследований и организационно-технических предложений в области маркшейдерского дела. Его труды в большой степени содействовали переходу последнего из «искусства» в научную дисциплину. Будучи руководителем первой в стране кафедры маркшейдерского искусства и геодезии, организованной в 1899 г., В. И. Бауман был признанным основоположником маркшейдерско-геодезической научной школы. Его трехтомный классический «Курс маркшейдерского искусства» (1905—1908), переизданный в 1932 г. под ред. И. М. Бахурина, был первым в отечественной маркшейдерской литературе аналитическим курсом, отразившим не только современное состояние, но и перспективы маркшейдерской науки.

В отношении организации маркшейдерского обеспечения В. И. Бауман пришел к выводу, что практика составления маркшейдерских планов для каждого предприятия в своей особой системе координат не отвечает требованиям горного дела и тем более геологической разведки. Переход к единой системе координат, на первых порах хотя бы для отдельных бассейнов, являлся неотложной задачей, что было связано с проведением коренной реформы организации маркшейдерского дела в стране. Решению этой сложной задачи была подчинена научная, педагогическая и практическая деятельность Баумана и руководимого им коллектива, а также привлечено внимание маркшейдерской общественности.

И. М. Бахурин (1880—1940) — искренний последователь и достойный преемник В. И. Баумана, по праву относится к числу основоположников научной маркшейдерско-геодезической школы, подтверждением чего является избрание его членом-корреспондентом АН СССР. И. М. Бахурин — автор ряда разработок в области приложения теории ошибок и способа наименьших квадратов к обработке маркшейдерских измерений, оценке точности соединительных съемок и подземных опорных сетей, сдвижения горных пород и др. В 1932 г. им опубликован фундаментальный труд «Курс маркшейдерского искусства» (специальная часть), не утративший своего значения до сих пор.

П. М. Леонтовский (1870—1921) — профессор Екатеринославского высшего горного училища, известен исследованиями в области методики маркшейдерского дела и приборостроения (зеркальный способ ориентирования подземной съемки, нивелиры-автоматы). Автор серии книг «Маркшейдерские задачи», в 1912 г. он опубликовал результаты выполненного им обобщения зарубежных исследований сдвижения горных пород, П. М. Леонтовский предложил способ расчета предохранительных целиков для Донбасса; был инициатором организации натурных наблюдений для изучения процесса сдвижения; разра-

ботал инструкцию по производству маркшейдерских наблюдений.

П. К. Соболевский (1868—1949) — профессор Томского технологического, Свердловского горного, Московского горного и Московского геологоразведочного институтов. Широко известны его работы по геодезии, астрономии, маркшейдерскому делу и геофизике. Он был автором исследований методики маркшейдерских работ (соединительные съемки и др.). Особо следует отметить значение работ П. К. Соболевского в области геометрии недр, которые положили начало развитию этой научной дисциплины.

Следует отметить большую роль маркшейдерских совещаний, конференций, съездов в деле улучшения маркшейдерской службы. Так, в ноябре 1909 г. в Харькове состоялся съезд маркшейдеров юга России, а в апреле 1913 г. в Петербурге — I Всероссийский маркшейдерский съезд, организованные по инициативе В. И. Баумана и П. М. Леонтовского. На съездах обсуждались кардинальные вопросы маркшейдерской службы: введение единой плоской прямоугольной системы координат в Донбассе; организация маркшейдерской службы; переработка устаревшей технической инструкции по производству маркшейдерских работ; подготовка маркшейдерских кадров; организация наблюдений за сдвижением горных пород; учреждение печатного органа «Маркшейдерские известия» и др.

Однако состояние маркшейдерской службы к началу XX в. не соответствовало уровню горной промышленности: отсутствие отечественного производства маркшейдерских приборов обусловливало неудовлетворительную материально-техническую базу; обеспеченность кадрами по маркшейдерской специальности была недостаточной. Попытка П. К. Соболевского организовать в Томском технологическом институте (1904 г.) подготовку горных инженеров-маркшейдеров не дала существенных результатов. Существовавшая инструкция по производству маркшейдерских работ допускала объединение функций составителя и контролера маркшейдерских планов в лице окружного маркшейдера, что приводило к недопустимому снижению качества работ (это подтвердилось в результате инструментальной ревизии планов, выполненной в 1909—1913 гг. в Донбассе под руководством В. И. Баумана). Не было сколько-нибудь обоснованных для местных условий правил охраны сооружений от вредного влияния горных разработок.

Во второй половине XIX в. в ряде стран, особенно Западной Европы, внимание ученых было привлечено к исследованию сдвижения горных пород. В конце XIX в. были впервые разработаны относительно обоснованные наблюдениями на местности так называемые Дортмундские (Германия) правила охраны сооружений от вредного влияния подземных разрабо-

ток. Необходимость изучения процесса сдвижения стала очевидной.

Однако проведению рекомендуемой прогрессивной реформы маркшейдерской службы препятствовали правительственные органы и промышленники. По меткому выражению И. М. Бахурина «частная собственность на недра при этом действовала безотказно».

В послеоктябрьский период, после окончания гражданской войны и интервенции возник вопрос о восстановлении разрушенных шахт и рудников: пункты опорных и съемочных сетей утеряны или разрушены, маркшейдерские планы горных работ уничтожены или похищены прежними владельцами, маркшейдерская служба дезорганизована. Требовалось принятие срочных законодательных, организационно-технических мер.

Указанные вопросы стали предметом обсуждения и содержанием работы II Всероссийского маркшейдерского съезда, состоявшегося в 1921 г. по инициативе В. И. Баумана и П. М. Леонтовского в Петрограде. Съездом была одобрена новая структура маркшейдерской службы, разработанная на основе предложений В. И. Баумана; утверждена инструкция с приложениями по производству маркшейдерских работ, подготовленная В. И. Бауманом и И. М. Бахуриным; определены основные требования к подготовке инженерных кадров маркшейдерской специальности в горных институтах и на горных факультетах политехнических вузов.

Рекомендации съезда нашли отражение в изданных по окончании Положении о производстве маркшейдерских работ в горных округах, Инструкции для окружных маркшейдеров и Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Важнейшими направлениями совершенствования маркшейдерского обеспечения в этот период были: восстановление опорных сетей на земной поверхности в горнопромышленных районах, а в развивающихся — их построение. Такие работы были выполнены в Донбассе, на Урале, в Кузбассе и других районах. В Кузбассе в 1923—1927 гг. при восстановлении опорных сетей под руководством Н. Г. Келля впервые в нашей стране была применена плоская прямоугольная система координат Гаусса—Крюгера.

В дальнейшем на базе выполненных исследований Н. Г. Келль и В. В. Каврайский неоднократно выступали на геодезических совещаниях в 1926—1929 гг. с предложением о введении в стране единой плоской прямоугольной системы координат Гаусса-Крюгера, которое было принято в 1942 г.

Н. Г. Келлем были также разработаны и применены фотограмметрические методы в географических и геологических исследованиях, а позднее и в горном деле. Выдающиеся заслуги Н. Г. Келля были отмечены его избранием членом-корреспон-

дентом АН СССР. Н. Г. Келль наряду с В. И. Бауманом и И. М. Бахуриным заслуженно относится к числу основоположников научной маркшейдерско-геодезической школы Ленинградского горного института.

Важными событиями для развития маркшейдерского дела страны было проведение в 1925 г. под руководством И. М. Бахурина, П. К. Соболевского и Н. Г. Келля региональных маркшейдерских съездов (юга России — Харьков, Урала и Башкирии — Свердловск, I общесибирского — Томск) и в 1929 г. Всесоюзной маркшейдерской конференции.

Итогами проведения конференции 1929 г. явились выработка и принятие Правил по маркшейдерскому делу и маркшейдерскому контролю, действовавших до появления в 1939 г. более полной Технической инструкции по производству маркшейдерских работ, вынесено и реализовано постановление о создании постоянной маркшейдерской комиссии при НТС горной промышленности ВСНХ, организовавшей первые наблюдения за сдвижением земной поверхности под влиянием горных разработок на угольных шахтах и выполнившей вместе с оргкомитетом большую организационную работу по созыву и проведению I Всесоюзного маркшейдерского съезда.

I Всесоюзный маркшейдерский съезд состоялся в январе 1932 г. в Ленинграде, на нем были рассмотрены актуальные для начинавшегося тогда периода реконструкции промышленности задачи маркшейдерской службы. В работе съезда приняли участие маркшейдеры всех основных горнопромышленных районов страны, горных вузов и научно-исследовательских организаций геологоразведочного и горного профиля. Съезд приветствовал президент АН СССР, старейший горный инженер-геолог — академик А. П. Карпинский.

Съезд рассмотрел важнейшие организационные и научно-технические вопросы маркшейдерского дела, дал обоснованные рекомендации по приведению маркшейдерской службы в стране в соответствии с требованиями социалистической горной промышленности. Были определены основное содержание и задачи маркшейдерского дела на данном этапе развития страны.

На съезде развернулась острая дискуссия по вопросу организации маркшейдерской службы, выявились две точки зрения. В соответствии с первой из них, маркшейдерская служба должна выделяться из состава объединений и предприятий и выполнять все работы по договорам, вторая: маркшейдерская служба — органическая часть горных предприятий, объединений и выполняет работы в их составе. Вторая точка зрения получила при голосовании незначительный перевес, но позднее, как и следовало ожидать, ее правильность была полностью подтверждена.

Съезд признал необходимым создание центральных органов для обеспечения планирования и руководства маркшейдерской службой в стране в организационном и научно-техническом отношении: центрального аппарата маркшейдерского надзора и контроля и научно-исследовательского института. Уже в 1932 г. в Ленинграде под руководством И. М. Бахурина было создано Центральное научно-исследовательское маркшейдерское бюро (ЦНИМБ) с филиалами в ряде крупных горнопромышленных районов (Донбасс, Урал и др.). В 1945 г. ЦНИМБ был преобразован во Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ), который в настоящее время вырос в мощный научно-исследовательский центр и успешно проводит исследовательские работы во всех областях маркшейдерского дела и горной геомеханики в тесной связи с академическими институтами и маркшейдерскими кафедрами вузов.

По предложениям I Всероссийского маркшейдерского съезда (1921 г.) началась планомерная подготовка горных инженеров-маркшейдеров. Были организованы маркшейдерские специальности: 1921 г.— в Ленинградском; 1925 г.— в Днепропетровском; 1929 г.— в Свердловском горных институтах, в Томском и Новочеркасском политехнических институтах.

В первой половине XX в. в связи с увеличением разработок месторождений вопросы сдвижения земной поверхности и горных пород были предметом многих исследований в нашей стране и за рубежом. В послевоенный период большое внимание уделялось разработке способов расчета сдвижений. Значительных результатов в этой области добились польские ученые (Литвинишин, Будрик, Кнотте и др.). В СССР планомерные наблюдения за сдвижением горных пород были начаты в 1928 г.

Результаты анализа, большого объема натурных наблюдений, выполненных на угольных шахтах и рудниках, теоретические и методические обобщения нашли отражение в известных монографиях И. М. Бахурина, С. Г. Авершина, Д. А. Казаковского, М. А. Кузнецова и др.

В связи с решением задач подработки сооружений и других объектов выделилось, как отмечалось выше, особое направление — расчет ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемой толщи пород и земной поверхности. Исследования этих вопросов были начаты С. Г. Авершиным в 1935 г., в последующие годы они получили развитие в его работах и трудах других авторов (Д. А. Казаковский, С. П. Колбенков, А. Н. Медянцев, И. А. Петухов и др.). На основе выполненных работ были составлены руководства, нормативные документы по охране сооружений и природных объектов от вреднего влияния подземных горных разработок.

Существенные уточнения были внесены в вопросы безопасной выемки полезного ископаемого под водными объектами, разработки сближенных пластов в восходящем порядке, расчета барьерных целиков и др.

Большое значение имеют проводимые с 1950 г. ВНИМИ исследования устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов, нашедшие отражение в работах Г. Л. Фисенко и в разработанных ВНИМИ руководствах по этому вопросу.

Проблема сдвижения горных пород, охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок продолжает оставаться предметом исследований отраслевых научно-исследовательских институтов, коллективов кафедр маркшейдерского дела и специальных групп производственных объединений горной промышленности.

Современная технология горного производства, темпы и масштаб работ и усложняющиеся горно-геологические условия разработки МПИ выдвигают повышенные требования к точности, надежности и оперативности маркшейдерского обеспечения.

Следует отметить большую работу ВНИМИ по разработке и конструированию маркшейдерских приборов общего назначения технической точности (теодолиты, нивелиры с самоустанавливающейся визирной осью) и приборов специального назначения (станции для профилирования проводников вертикальных шахтных стволов, профилографы для автоматического построения профилей рельсовых путей, лазерные указатели направлений, гирокомпасы, дальномерные и светодальномерные приборы, угломеры и др.).

Важное значение для развития маркшейдерского дела имели разработка и изготовление приборов для гироскопического ориентирования подземных съемок. Началом обстоятельных исследований в этом направлении следует считать сороковые, послевоенные годы. В этот период независимо были созданы первые образцы маркшейдерских гирокомпасов в Клаустальской горной академии и во ВНИМИ, имеющие ряд недостатков: большая масса, значительный период наблюдений, неустойчивость показаний и др.

Дальнейшие исследования и конструкторские разработки были направлены на уменьшение габаритов и массы гирокомпасов, повышение точности и обеспечение безопасности работ при использовании их в газовых шахтах и т. д. Работы ведутся в СССР, ВНР, ГДР, ФРГ, Великобритании, США, Швейцарии и других странах.

Фирмой «Фенель» (ФРГ) освоен выпуск гиротеодолита и гиронасадок. В ВНР создан ряд образцов гирокомпасов, гиротеодолитов и гиронасадок, часть из них выпускается заводом МОМ. Маркшейдерские гирокомпасы изготавливаются также

в Великобритании, США и других странах. ВНИМИ выпускает во взрывобезопасном исполнении хорошо зарекомендовавший себя маркшейдерский гирокомпас МВТ2 (В. Н. Лавров, Б. И. Никифоров).

Большие успехи достигнуты в ГДР по созданию более совершенных нивелиров обычных и с самоустанавливающейся визирной осью.

В последние десятилетия успешно разрабатываются методика и аппаратура для измерений длин в опорных маркшейдерских сетях с помощью светодальномеров.

В послевоенные годы начаты и успешно продолжаются крупные исследования по применению наземной стереофотограмметрической и аэрофототопографической съемок на карьерах (СССР, ГДР, США и др.). В настоящее время аэрофототопографическая съемка стала основным способом съемки больших площадей земной поверхности.

Крупномасштабная наземная стереофотограмметрическая аэрофотосъемка незаменима в горном деле благодаря очевидным ее преимуществам: объективности и высокой производительности. Их применение при открытой разработке МПИ позволяет более обоснованно решать ответственные задачи на карьерах: производить оценку структуры горного массива, выполнять районирование откосов на бортах карьера по их устойчивости, определять объемы выполненных горных работ, добычи полезного ископаемого, составлять и вести маркшейдерскую документацию. В ряде стран успешно разрабатывается и изготавливается сложная фотограмметрическая аппаратура для съемки и обработки результатов наблюдений.

Для съемки и контроля труднодоступных и недоступных горных выработок в последние десятилетия в СССР и ряде стран разрабатываются электроакустические (ультразвуковые) методы и аппаратура.

ВНИМИ и другими научными маркшейдерскими коллективами решаются вопросы унификации методов построения, развития и реконструкции опорных маркшейдерских сетей, съемочных работ, вычислительной и графической маркшейдерской документации, обоснования требований к точности измерений.

Маркшейдерская служба получила возможность широкого использования ЭВМ для автоматизации сложных и трудоемких вычислений при обработке маркшейдерских измерений. Созданы стандартные программы для решения маркшейдерских задач при всех условиях ведения подземных и открытых работ на ЭВМ. Это находит отражение в научной, учебной, справочной литературе и в нормативных материалах для маркшейдерской службы. Так, Инструкция по производству маркшейдерских работ (1987) имеет дополнение — «Маркшейдерские вычисления на ЭВМ».

В Советском Союзе проделана большая работа по подготовке квалифицированных кадров маркшейдеров, нельзя не отметить выдающегося вклада в решение этой задачи первого поколения советских ученых-маркшейдеров: членов-корреспондентов АН СССР проф. И. М. Бахурина, проф. Н. Г. Келля (Ленинградский горный институт), проф. П. К. Соболевского, проф. Ф. Ф. Павлова (Свердловский горный институт), проф. И. П. Бухника и проф. А. Е. Гутта (Днепропетровский горный институт), проф. Ф. В. Галахова и проф. А. И. Прибыткова (Томский политехнический институт), проф. А. Я. Берловича (Новочеркасский политехнический институт).

В послевоенные годы в социалистических странах Европы были продолжены работы по совершенствованию маркшейдерского дела.

В ГДР возобновила свою работу Фрейбергская горная академия, в состав которой входят маркшейдерский и геодезический институты. В НРБ в Софийском горнометаллургическом институте организована при содействии СССР маркшейдерская специальность на базе кафедры геодезии и маркшейдерского дела. В ВНР маркшейдерскую подготовку осуществляет кафедра маркшейдерского дела на горном факультете в Мишкольском университете тяжелой промышленности. В составе Венгерской академии наук имеется маркшейдерско-геодезический институт (г. Шопрон). В Чехословакии подготовка кадров осуществляется в Остравской высшей горной школе кафедрой маркшейдерского дела и горным факультетом политехнического института (г. Кошице). Имеются отраслевые научно-исследовательские центры. В ПНР подготовка горных инженеров-маркшейдеров ведется на маркшейдерском факультете Краковской горнометаллургической академии.

Большое значение имеет сотрудничество социалистических стран в рамках СЭВ. За последние годы сложилась такая форма содружества маркшейдеров социалистических стран, как периодическое издание научно-технических сборников «Маркшейдерское дело в социалистических странах».

Развивается международное сотрудничество в области маркшейдерского дела. Организовано международное общество по маркшейдерскому делу (ИСМ), которое периодически проводит международные конгрессы: Прага (ЧССР, 1969 г.), Будапешт (ВНР, 1972 г.), Леобен (Австрия, 1976 г.). Ахен (ФРГ, 1979 г.), Варна (НРБ, 1982 г.) и Харрогит (Великобритания, 1985 г.). VII международный конгресс по маркшейдерскому делу под девизом «Маркшейдерское дело в научно-техническом прогрессе» состоялся в Ленинграде (СССР, 1988 г.).

I.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМКАХ

Под маркшейдерскими съемками на горном предприятии понимают совокупность линейных, угловых измерений и их обработку в принятой системе координат для определения положения координат пунктов опорных съемочных сетей и построения маркшейдерских чертежей (МЧ).

Горно-геологические условия залегания МПИ обусловливают способ их разработки, а последний определяет содержание маркшейдерского обеспечения горного предприятия.

Маркшейдерские съемки при подземном способе разработки МПИ представляют собой сочетание съемок на земной поверхности в районе горного отвода и подземных и ориентирно-соединительных съемок в границах шахтного поля.

Все указанные съемки выполняют в единой системе координат для получения сопоставимых результатов на земной поверхности и в недрах. Это вызвано тесной технологической связью производимых работ на земной поверхности и в горных выработках, а также необходимостью обобщения материалов соседних участков (районов) для использования результатов съемок для других целей в интересах народного хозяйства.

МЧ по материалам маркшейдерских съемок составляют в крупных масштабах 1 : 5000—1 : 500.

Изменения внешних условий и влияние подземных разработок на земную поверхность, сооружения и горные выработки обусловливают необходимость производства исполнительных, повторных и дополнительных съемок.

Методы съемок на земной поверхности, выполняемые с целью отображения на планах ее рельефа и ситуации, известны из курса геодезии.

Объектами подземной маркшейдерской съемки в первую очередь являются горные выработки в границах шахтного поля, размещение и состояние которых постоянно изменяются. При этом одни выработки длительное время сохраняются, другие разрушаются, проходка третьих осуществляется вновь.

Рабочие места при проходке горных выработок любого назначения перемещаются в пределах шахтного поля, поэтому для определения их пространственно-временной характеристики на МЧ необходимы периодическая съемка и ведение документации.

Объектами съемки являются также места пересечения разведочными и горными выработками геологических контактов, а именно: кровли и подошвы залежи полезного ископаемого, зоны сместителя, трещин и т. д., характеризующие положение, размеры, форму и строение залежи.

Результаты съемки наносятся на планы горных выработок,

геологические разрезы, которые используются в качестве технической документации при решении крупных инженерных задач маркшейдерского обеспечения горного предприятия (текущее и перспективное планирование горных работ, расчет промышленных запасов полезного ископаемого, управление ими и др.).

Еще одним объектом подземных маркшейдерских съемок являются особые точки и зоны, характеризующие размещение показателей полезного ископаемого и горно-геологические условия разработки. По результатам съемок на МЧ отображаются места измерения залежи полезного ископаемого и его опробования, места вскрытия горными выработками ранее пройденных разведочных скважин, точки суфлярных выделений газа, пожарные участки, охранных и барьерных целиков, границы влияния надработки и подработки при выемке удароопасных залежей и т. д.

Полученная таким образом документация отработанных участков уточняет горногеологические условия разработки и позволяет более обоснованно прогнозировать их на соседних прилегающих участках.

По назначению и способам измерений можно выделить основные виды подземных маркшейдерских съемок.

Подземная теодолитная съемка представляет собой комплекс угловых и линейных измерений с последующим вычислением координат x, y системы пунктов, закрепленных в горных выработках специальными знаками.

Результаты подземной теодолитной съемки служат геометрической основой для составления маркшейдерской графической документации, используются при решении ряда инженерных задач и являются составной частью маркшейдерского обеспечения производства горных работ.

Ориентирно-соединительная съемка устанавливает геометрическую связь между подземными съемками и съемками на земной поверхности и дает возможность определять положения пунктов в горных выработках и на земной поверхности в единой системе плоских прямоугольных координат, что позволяет совмещать планы горных выработок с планами земной поверхности, графически или аналитически решать задачи, требующие взаимной увязки горных выработок с объектами на земной поверхности.

Переданные с земной поверхности в горные выработки дирекционный угол α и координаты x, y являются исходными величинами для развития подземных теодолитных съемок, т. е. все плановое обоснование горных выработок создается по результатам ориентирно-соединительных съемок.

Подземная вертикальная съемка позволяет определять высоту (координату z) пунктов в принятой системе высот для

однозначного определения положения подземных объектов в пространстве. Вертикальная подземная съемка включает: передачу координаты z с земной поверхности на горизонты горных работ (вертикальная соединительная съемка), геометрическое нивелирование по горизонтальным выработкам и тригонометрическое нивелирование по наклонным.

Съемка нарезных и очистных выработок выполняется в стесненных условиях и, как правило, с помощью приборов пониженной точности (буссольная, угломерная съемки). Ее результаты используются для пополнения графической документации и решения некоторых горных задач.

Замеры горных выработок позволяют решить задачу привязки забоев и контуров горных выработок к ближайшим пунктам подземной теодолитной съемки с применением простейших приемов измерений. Результаты замеров используются для пополнения МЧ, определения объемов добычи и выполненных горных работ.

Основные требования к выполнению маркшейдерских съемок. Общность методов измерений (натурные угловые и линейные) и их обработки в геодезии и маркшейдерском деле определяет основные требования к выполнению маркшейдерских съемок.

Так же как и в геодезии, в качестве первого основного требования выступает необходимость ведения съемок по принципу от общего к частному, так как при этом уменьшается возможность накопления неизбежных погрешностей измерений и повышается точность съемки.

В соответствии с указанным требованием при съемках на земной поверхности вначале создается опорная сеть триангуляции на большой площади, на основе которой, в зависимости от условий, развиваются сети сгущения и только после этого производится съемка рельефа и ситуации.

При подземной съемке это требование проявляется в следующем. От шахтного ствола к границам шахтного поля, по результатам ориентирно-соединительной съемки, капитальным и основным подготовительным выработкам создаются опорные сети, на базе которых развивается съемочное обоснование в выработках разного назначения для производства съемок.

Второе основное требование относится к точности съемки, определяемой погрешностями измерений для необходимой надежности созданной геометрической основы маркшейдерского обеспечения горных работ и их безопасности. Избыточная точность съемки приводит к излишним затратам труда и времени, поэтому маркшейдер должен выбрать оптимальный метод измерений.

Вопросы погрешностей измерений рассматриваются в специальном курсе «Теория ошибок и способ наименьших квадра-

тов». Поэтому рассмотрим лишь общие положения, используемые в последующем изложении.

Результаты маркшейдерских измерений всегда содержат некоторую погрешность. Измерения подразделяются на необходимые и избыточные. Если угловая или линейная величина измерена n раз, то необходимым является одно измерение, а остальные $n-1$ измерения — избыточные и служат для контроля и оценки качества измерений.

Погрешности, возникающие при измерениях, подразделяются на грубые, систематические и случайные. Грубые — результат недостаточного профессионального навыка и внимания исполнителя при измерениях (обнаруживаются повторными измерениями и сравнением их результатов).

Систематические погрешности вызваны рядом факторов, действующих одинаково при повторных измерениях. К ним относятся погрешности измерений, обусловленные несовершенством применяемых измерительных средств (приборные погрешности), действием внешних условий на измерения, например, температуры, а также вследствие личных особенностей наблюдателя. Систематические погрешности измерений исключаются или уменьшаются с помощью соответствующей методики измерений.

Все остальные погрешности, которые невозможно исключить и предвидеть, относятся к случайным; они неизбежны.

Точность выполненного измерения оценивается абсолютной или относительной величиной погрешности, последняя иногда выражается в процентах.

Случайные погрешности обладают следующими свойствами:

равновероятно появление случайных погрешностей, равных по величине и противоположных по знаку;

малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;

случайные погрешности по абсолютной величине не могут превосходить известного предела для данных условий измерений;

среднее арифметическое из случайных погрешностей равноточных измерений стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений.

Погрешность результата измерений выражается разностью

$$\delta = l - x, \tag{I.2.1}$$

где l — измеренное значение; x — точное значение измеренной величины. При достаточно большом числе измерений выражение (I.2.1) преобразуется к виду

$$|\delta| = |l| - nx. \tag{I.2.2}$$

Разделив (I.2.2) на n, получим

$$x = \frac{|l|}{n} - \frac{|\delta|}{n}. \qquad (I.2.3)$$

Учитывая четвертое свойство случайных погрешностей, будем иметь

$$x = \frac{|l|}{n}, \qquad (I.2.4)$$

т. е. среднее арифметическое из результатов измерений величины является наиболее вероятным ее значением. Однако средняя арифметическая погрешность $\frac{|\delta|}{n}$ не определяет полностью точность измерений. Поэтому для оценки точности измерений используют среднюю квадратическую погрешность, представляющую собой корень квадратный из суммы квадратов погрешностей, разделенной на число измерений:

$$m = \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n}}. \qquad (I.2.5)$$

Формула (I.2.5) справедлива при большом числе измерений, в случае ограниченного числа измерений недостаточно надежна: при этом она содержит погрешность m_m, вычисляемую по формуле

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2n}}. \qquad (I.2.6)$$

Вероятность появления средней квадратической погрешности, равной m, составляет 0,32, т. е. в 32 случаях из 100. Случайные погрешности величиной $2m$ возникают в 5 случаях из 100, а случайные погрешности $3m$ — в 3 случаях из 1000. Следовательно, появление утроенной средней квадратической погрешности мало вероятно. Она называется предельной. В качестве допустимой случайной погрешности принимают двойную величину средней квадратической погрешности ($2m$).

Действующая Инструкция по производству маркшейдерских работ определяет требования к точности отдельных видов маркшейдерских съемок и способам измерений, которые являются нормативными, т. е. подлежащими обязательному выполнению.

Основным требованием к производству маркшейдерских съемок является обязательный контроль их выполнения, позволяющий вовремя обнаружить и исправить дополнительными измерениями грубую погрешность. Так, расстояние между двумя точками измеряется дважды, при определении горизонтальных углов берут контрольные отсчеты и т. д. Такой контроль называется полевым.

Полевой контроль, будучи необходимым, не является достаточным критерием для оценки точности съемки, так как не выявляет некоторые источники погрешностей, например, влияние погрешности центрирования прибора и сигналов. Поэтому при камеральной обработке производится заключительный контроль и оценка точности. Так, контроль правильности измерений и оценка точности в замкнутом полигоне выполняются по угловым и линейным невязкам. По этим же причинам многие виды подземных съемок выполняются дважды, чаще в прямом и обратном направлениях.

1.2.1. СИСТЕМА ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ НА МАРКШЕЙДЕРСКИХ ПЛАНАХ

В СССР при выполнении топографо-геодезических и маркшейдерских работ пользуются системой плоских прямоугольных координат Гаусса—Крюгера, введенной в качестве обязательной в 1942 г. Более подробно с этой системой координат знакомит курс «Геодезия». Рассмотрим лишь самые общие ее положения, используемые в последующем изложении.

При топографических съемках, инженерно-геодезических и маркшейдерских работах целесообразно применять системы плоских прямоугольных координат, основное преимущество которых заключается в возможности использования при обработке измерений формул плоской геометрии и тригонометрии, что значительно упрощает вычисления. Кроме того, более удобны планы, составленные по результатам съемки, если на них нанесена сетка прямоугольных координат.

В принятой системе плоских прямоугольных координат использована равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция земной поверхности на плоскость, предложенная Гауссом в 20—30-х годах прошлого столетия. Теория и практика ее использования в геодезии разработаны немецким геодезистом Крюгером, поэтому система плоских прямоугольных координат получила название Гаусса—Крюгера.

За основу проекции земной поверхности принят эллипсоид Красовского со следующими размерами: большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, коэффициент сжатия $\alpha = 1 : 298{,}3$.

Поверхность эллипсоида не является развертывающейся и не может быть изображена на плоскости без искажений. Практическая ценность той или иной системы геодезических плоских координат заключается в сравнительной простоте учета искажений (поправок) направлений и длин при переходе от поверхности эллипсоида на плоскость.

Систему плоских прямоугольных координат Гаусса—Крюгера получают при делении поверхности эллипсоида с запада

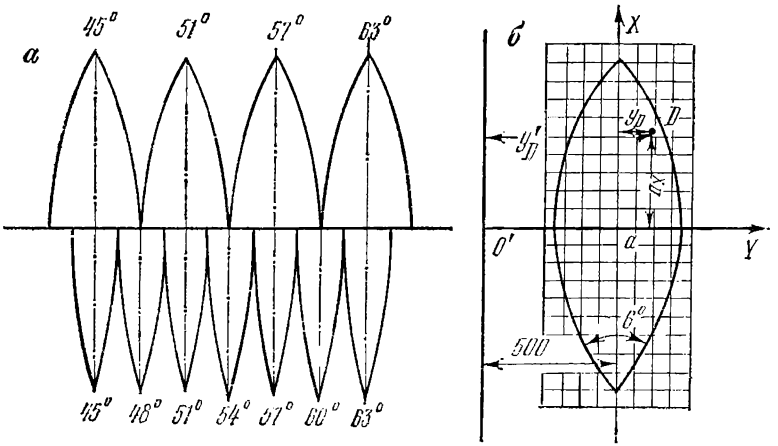


Рис. 1. Координатные зоны земного эллипсоида (*а*) и плоские прямоугольные координаты шестиградусной зоны (*б*)

на восток, начиная с Гринвичского меридиана, на зоны по 6°, симметричные относительно осевого меридиана (рис. 1, *а*). Им соответствуют трехградусные зоны. Поверхность каждой шестиградусной зоны изображается (развертывается) в проекции Гаусса на плоскости. При этом осевой меридиан и экватор зоны изображаются на плоскости взаимно перпендикулярными прямыми (рис. 1, *б*), принимаемыми соответственно за оси X, Y плоской прямоугольной системы координат зоны. Началом координатной системы является точка O пересечения осевого меридиана зоны с экватором.

Любая точка D поверхности эллипсоида определяется геодезическими координатами — долготой L, равной двугранному углу между плоскостями Гринвичского (начального) меридиана и меридиана данной точки, и широтой B, равной углу между плоскостью экватора и нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке.

Точка D с долготой L и широтой B будет иметь плоские прямоугольные координаты x_D и y_D. При этом для однозначного определения положения точки D на земной поверхности должен быть известен номер зоны или долгота осевого меридиана зоны.

Во избежание отрицательных значений ординат при съемке в шестиградусных зонах пользуются преобразованными координатами, начало которых перенесено по проекции экватора к западу на 500 км в точку O'. При съемках в области стыка соседних координатных зон (по 30′ в обе стороны от граничного меридиана зоны) координаты пунктов даются в двух смежных зонах. Перевычисление координат x, y из одной зоны в соседнюю выполняется по специальным таблицам.

Из изложенного следует, что система плоских прямоугольных координат Гаусса — Крюгера вполне определяется следующим:

изображение на плоскости равноугольное;

осевой меридиан и экватор изображаются в этой проекции прямыми линиями, принимаемыми за оси абсцисс и ординат. Началом координат служит изображение точки пересечения осевого меридиана зоны с экватором;

масштаб вдоль осевого меридиана постоянный и принят равным единице.

В настоящее время в системе плоских прямоугольных координат выполняется обработка всех геодезических сетей, начиная с сетей 2 класса и ниже, т. е. все маркшейдерские и крупномасштабные топогеодезические съемки.

В проекции Гаусса линии, расположенные на осевом меридиане, изображаются без искажений, которые возрастают по мере удаления от осевого меридиана и на краю шестиградусной зоны максимальны: относительные максимальные искажения в южных широтах СССР могут достигнуть 1 : 1100 длины. Максимальные искажения длин в пределах трехградусной зоны в четыре раза меньше максимальных искажений в пределах шестиградусной зоны. Поэтому при маркшейдерских и крупномасштабных топографо-геодезических съемках используют трехградусные координатные зоны.

Осевые меридианы первых шестиградусной и трехградусной зон совпадают между собой (см. рис. 1, *а*).

Планшеты основных маркшейдерских планов составляются в трехградусных зонах. Для однозначного определения местоположения в левом нижнем углу планшета указывают его номенклатуру, состоящую из долготы осевого меридиана зоны в градусах и координат левого нижнего угла в километрах.

При использовании местных (условных) систем координат за начало принимают один из пунктов геодезической сети, расположенный в районе разрабатываемого месторождения. Ориентировка координатных осей в этом случае, как правило, остается без изменений, что упрощает перевычисление координат из условной системы в общегосударственную, так как разность координат является величиной постоянной.

1.2.2. СИСТЕМА ВЫСОТ

Определение высоты (координаты z) отдельных точек на земной поверхности, в разведочных и горных выработках (вертикальная съемка) имеет большое значение в маркшейдерском обеспечении горных предприятий, так как многие инженерные горные задачи носят выраженный пространственный характер.

Для сопоставления вертикальных съемок соседних шахт и

для увязки их с земной поверхностью все вертикальные наземные и подземные съемки должны выполняться в единой системе высот. В настоящее время в СССР высоты всех пунктов вычисляют, как правило, относительно нуля Кронштадтского футштока [6], заложенного в 1840 г. и представляющего собой черту на одной из опор Синего моста через Обводный канал в Кронштадте и фиксирующего средний уровень моря на середину 1832 г. (марка М. Рейнеке).

Выбор места заложения объясняется тем, что на канале нет таких значительных колебаний поверхности воды, как у берега открытого залива.

Вначале эта марка использовалась только при гидрографических изысканиях (по ней устанавливались деревянные футштоки). Позднее, в 1872 г. марку впервые использовали как начало отсчета высот. Относительно нее астрономом-геодезистом Н. Я. Цингером была вычислена высота марки № 173 на материке в Ораниенбауме (г. Ломоносов). В Кронштадте в 1892 г. была определена разность высот между маркой Рейнеке и верхней линией буквы «п» в слове «польза» на постаменте памятника П. К. Пахтусову, расположенном в 100 м от Синего моста. Таким образом, высота верхней линии указанной буквы «п» стала основным контрольным репером и служит в качестве такового по сей день.

В 1913 г. к устою Синего моста была прикреплена медная пластина в форме прямоугольника размерами $39\times9{,}5\times0{,}5$ см с крестом. Точка пересечения вертикальной и горизонтальной линий совпадает с центром пластины, отмеченным круглым отверстием для установки рейки и фиксирующим положение марки М. Рейнеке. Высота цилиндра определена в результате нивелирования от репера на постаменте памятника Пахтусову.

Горизонтальная черта на пластине является нулем уровнемерного поста гидрометеорологической станции «Кронштадт». Именно эта горизонтальная черта и есть нуль Балтийской системы высот. В 1951 г. пластину дополнительно закрепили специальной защитной рамкой из бронзово-никелевого сплава; на рамке надпись: «Исходный пункт нивелирной сети СССР».

1.2.3. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОСНОВА МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМОК

Маркшейдерские опорные сети делятся на сети на земной поверхности и подземные опорные, построенные в единой системе координат, и служат основой для развития съемочного обоснования и производства съемок.

Исходными для производства всех маркшейдерских съемок на территории производственно-хозяйственной деятельности

горных предприятий являются маркшейдерские опорные сети на земной поверхности, состоящие из пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения.

На земной поверхности плановые опорные сети создаются методами триангуляции, полигонометрии и трилатерации или их сочетанием.

Пункты плановых опорных сетей часто одновременно являются и высотными пунктами, при этом их высоты определяются геометрическим нивелированием.

Метод триангуляции заключается в построении на местности сети треугольников, в которых измеряются углы, минимальное число длин сторон и вычисляют координаты их вершин.

Метод полигонометрии состоит в проложении на местности систем или отдельных полигонов (ходов) с измерением горизонтальных углов при вершинах хода и длин сторон между ними, необходимых для вычисления координат вершин ходов.

Метод трилатерации заключается в измерении длин сторон в сети треугольников на местности и вычислении координат их вершин.

Основными для плановых опорных сетей являются сети триангуляции. Однако метод полигонометрии незаменим в условиях закрытой или застроенной местности. В последние десятилетия он получил широкое распространение, чему способствовало развитие радиодальномерных методов измерения длин. Метод трилатерации пока не нашел широкого практического приложения, хотя высокий уровень технологии измерения длин сторон в треугольниках является благоприятным фактором.

Государственные плановые и высотные сети подразделяются на четыре класса, являются главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должны удовлетворять требованиям при решении научных и инженерно-технических задач. Их развитие подчинено, как указывалось выше, принципу «от общего к частному», т. е. построение выполняется несколькими ступенями. Сначала создается сеть более редких пунктов высшего класса, служащих основой для дальнейшего сгущения сети. Это позволяет в относительно сжатые сроки развить сети сгущения на обширной территории в соответствии с возникающими потребностями. Измерения в сетях высшего класса производятся с возможно более высокой точностью, которая затем постепенно снижается для сетей низших классов.

Сети сгущения служат для обоснования крупномасштабных (1 : 5000—1 : 500) топографических съемок и инженерных работ, выполняемых в населенных пунктах, промплощадках, в маркшейдерском деле и т. п. Плановые геодезические специальные сети подразделяются на два разряда и создаются

методом триангуляции или методом полигонометрии. Высотные сети создаются в результате геометрического нивелирования.

Для выполнения съемок на базе сетей сгущения создается разными методами съемочное обоснование (съемочные сети).

Совокупность геодезических сетей разного назначения в общей государственной системе координат составляет геодезическую сеть СССР.

Для обоснования съемок на земной поверхности Инструкцией по производству маркшейдерских работ установлены требования к плотности (площадь на один пункт, в км^2) плановой государственной геодезической сети в зависимости от масштаба съемок:

1 : 5000	20—30
1 : 2000 и крупнее	5—15

Поставлена задача довести плотность государственной геодезической сети на застроенных и подлежащих застройке площадях в ближайшие годы до одного пункта на 5 км^2.

Общая плотность пунктов государственной сети и пунктов геодезических сетей сгущения для заселенных территорий и территорий производственно-хозяйственной деятельности горных предприятий, как правило, должна составлять в застроенной части не менее четырех пунктов на 1 км^2 и в незастроенной части не менее одного пункта на 1 км^2.

Реперы государственной высотной сети размещаются так, чтобы при съемке масштаба 1 : 5000 на каждые 10—15 км^2 приходилось не менее одного репера. Для съемки масштаба 1 : 2000 должно быть не менее одного репера на 5—7 км^2. Высоты пунктов плановой государственной сети, закрепленных центрами глубокого залегания, определяются в результате нивелирования IV класса; высоты пунктов плановой сети 2 разряда — техническим нивелированием; тригонометрическое нивелирование для определения высот пунктов опорной сети допускается как исключение в горной местности.

Для решения маркшейдерских задач, требующих особо точных измерений, строятся опорные плановые и высотные сети по специально составленной программе в каждом отдельном случае.

В случае отсутствия пунктов государственной сети для обоснования съемки земной поверхности допускается создание самостоятельной геодезической сети 1 и 2 разрядов при условии, что площадь снимаемых участков не превышает 500 км^2 для съемки масштаба 1 : 5000 и 100 км^2 для съемки масштаба 1 : 2000. Допускается выполнение съемок на основе только съемочного обоснования, если площадь снимаемых участков не более 20 км^2 для съемки масштаба 1 : 5000 и 10 км^2 для съемок масштаба 1 : 2000. При наличии подземных горных выработок

на участке во всех случаях требуется создание опорной сети не ниже 1 или 2 разряда.

Маркшейдерская опорная сеть на земной поверхности в основном представлена пунктами государственной геодезической сети 4 класса и пунктами геодезических сетей сгущения. Пункты триангуляции 4 класса определяются путем вставки жестких систем или отдельных пунктов с обязательным измерением в треугольниках всех трех углов.

Пункты полигонометрии 4 класса образуют системы или одиночные ходы, опирающиеся на пункты триангуляции 1, 2, 3 и 4 классов и полигонометрии 1, 2 и 3 классов с обязательной угловой привязкой на всех исходных пунктах.

Триангуляция 1 и 2 разрядов создается в виде сплошной сети, цепи треугольников и вставок систем или отдельных пунктов. При этом триангуляция 1 разряда развивается на основе государственной геодезической сети всех (преимущественно низших) классов, в случае триангуляции 2 разряда в качестве исходных дополнительно используют пункты триангуляции 1 разряда.

Сети полигонометрии 1 и 2 разрядов создаются в виде одиночных ходов или их систем с узловыми точками, опирающимися на пункты государственной геодезической сети всех классов и пункты триангуляции 1 разряда. При создании самостоятельной геодезической сети сгущения сеть полигонометрии должна представлять собой систему замкнутых полигонов.

Высоты пунктов для съемки земной поверхности и для выполнения других маркшейдерских работ определяют путем построений нивелирных сетей III и IV классов и сетей технического нивелирования, развиваемых в дополнение к существующим сетям нивелирования I, II классов.

При съемках земной поверхности с сечением рельефа 2 и 5 м в качестве высотной основы могут быть использованы пункты, высоты которых определяются тригонометрическим нивелированием.

При съемках на участках площадью свыше 50 км^2 создается высотная сеть нивелированием III и IV классов, а в случае площади участков менее 50 км^2 — сеть нивелирования IV класса с привязкой их к сетям нивелирования высших классов.

Нивелирные сети всех классов закрепляются реперами, закладываемыми через 5—7 км, в труднодоступных районах это расстояние может быть увеличено до 10—15 км. При этом в дополнение к постоянным реперам по ходу нивелирования определяются высоты устойчивых предметов местности, занимающих стабильное положение (головки рельсов, устои мостов, забитые в стены штыри, столбы и т. д.).

Техническое нивелирование предназначено для определения высот пунктов триангуляционных и полигонометрических

сетей 2 разряда и точек объектов маркшейдерской съемки (устьев скважин, шурфов, обнажений горных пород и других объектов), для планирования площадок и определения объемов земляных работ, для определения высот пунктов съемочных сетей и построения профилей, разрезов. Техническое нивелирование выполняется в виде одиночных ходов между исходными пунктами или в виде систем ходов с узловыми точками.

Особое значение при создании геометрической основы горного предприятия имеют подходные пункты и реперы около устьев шахтных стволов. Они необходимы для соединительных съемок и обеспечения работ, выполняемых на промплощадке; располагаются около шахтных стволов на расстояниях, как правило, не более 300 м в удобных для использования местах. Место закладки подходного пункта должно обеспечивать проложение от него висячего полигонометрического хода к стволу шахты с числом сторон не более трех. Подходными пунктами могут служить пункты маркшейдерской опорной сети не ниже 1 разряда.

На промышленной площадке должно быть не менее трех реперов. Одним из них является центр подходного пункта. Кроме того, поблизости от устья шахтного ствола в надшахтном здании закладывается стенной репер. Высоты реперов определяются геометрическим нивелированием не ниже IV класса.

Съемочное обоснование развивается на базе маркшейдерской опорной сети и служит непосредственной основой для съемок земной поверхности (производство последних известно студенту из курса геодезии).

Маркшейдерская служба горного предприятия ежегодно должна проводить инвентаризацию опорной сети и съемок, характеризующую их состояние и требуемый объем работ на восстановление и пополнение опорной сети.

1.2.4. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Маркшейдерское обеспечение горных предприятий сопровождается составлением разнообразной маркшейдерской документации, являющейся результатом выполненных измерений (съемок), их обработки и интерпретации. Маркшейдерская документация по своему назначению и содержанию делится на три группы: первичную (полевую), вычислительную и графическую (маркшейдерские чертежи).

Первичная документация состоит из установленного комплекта журналов измерений, которые ведутся в карандаше с необходимой полнотой и тщательностью и выполнением обязательного полевого контроля измерений. Журналы измерений

проверяются во время камеральной обработки и вычисляются средние значения измеренных величин до того, как они выписываются в ведомости и журналы вычислений со ссылкой на полевые журналы.

В состав *вычислительной маркшейдерской документации* входят: ведомости, журналы вычислений, каталоги координат и высот пунктов геометрической основы съемок. Каталоги координат x, y и высот z являются результатом маркшейдерских измерений, основой для составления графической документации и аналитического решения ответственных инженерных задач маркшейдерского обеспечения.

Следует отметить, что содержание и оформление вычислительной документации связано с широким использованием при обработке измерений всех типов ЭЦВМ — микрокалькуляторов, электронных клавишных вычислительных машин (ЭКВМ) и универсальных электронно-вычислительных машин (ЭВМ). При этом микрокалькуляторы и ЭКВМ применяются при первичной обработке измерений и решении нетрудоемких задач.

Универсальные ЭВМ используются для решения сложных расчетов, выполнение которых на микрокалькуляторах и ЭКВМ очень сложно или практически неосуществимо; для полного контроля вычислений, поэтапно выполняемых на микрокалькуляторах и ЭКВМ; для обработки данных с целью последующего построения чертежей на автоматических графопостроителях; для обработки информации, используемой в автоматизированных системах управления (АСУ).

Наиболее широко используемой маркшейдерской документацией на всех стадиях освоения МПИ является графическая (МЧ).

I.3. ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ТЕОДОЛИТНЫЕ СЪЕМКИ

Маркшейдерские съемки при подземной разработке МПИ представляют собой комплекс съемок на земной поверхности, в горных выработках и соединительных съемок, позволяющий определять по технологическим требованиям горного производства координаты пунктов в единой системе.

При подземных маркшейдерских съемках ведущее место занимает горизонтальная теодолитная съемка, в ходе которой выполняют угловые и линейные измерения для определения координат системы пунктов, отмеченных в горных выработках шахты специальными знаками.

Поскольку основные подземные горные выработки представляют собой вытянутые объекты, единственно возможным является полигонометрический метод в сочетании со съемкой подробностей.

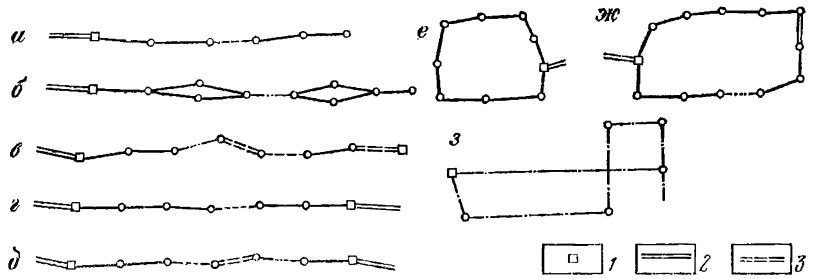


Рис. 2. Теодолитные ходы:

1 — заданный пункт; *2* — сторона с заданным дирекционным углом; *3* — сторона, дирекционный угол которой определен гирокомпасом

При прокладке полигонов по подземным горным выработкам измеряются с помощью теодолитов: горизонтальный угол между каждыми двумя смежными сторонами хода, угол наклона и длина каждой стороны хода. При этом незамкнутые полигоны (ходы) в зависимости от их назначения называются полигонометрическими или теодолитными.

Каждый полигон (ход) привязывают к пунктам предыдущей съемки. В зависимости от формы полигонов и способов их привязки к пунктам предыдущей съемки, обусловливающих избыточные исходные данные и контроль в ходах, различают следующие виды ходов:

висячий (свободный) ход (рис. 2, *а*), опирающийся в начале хода на один пункт с заданными координатами и на сторону с заданным дирекционным углом;

двойной (для контроля проложенный дважды) *висячий ход* (рис. 2, *б*), условия примыкания аналогичны предыдущему;

висячий ход, разделенный на секции гиросторонами (рис. 2, *в*), разделение хода на секции определяется длиной хода и требуемой точностью результата;

несвободный разомкнутый ход (рис. 2, *г*), примыкающий к двум исходным пунктам и двум сторонам, расположенным в начале и конце хода, с полным контролем;

несвободный разомкнутый ход, разделенный на секции гиросторонами (рис. 2, *д*) в зависимости от длины и назначения хода, с полным контролем;

свободный замкнутый ход (рис. 2, *е*), опирающийся на один пункт с заданными координатами и на сторону с заданным дирекционным углом;

свободный замкнутый ход, разделенный на секции гиросторонами (рис. 2, *ж*) в зависимости от сложности и протяженности хода;

несвободный разомкнутый ход, опирающийся в начале и конце хода на пункты с заданными координатами (рис. 2, *з*), без исходного дирекционного угла, т. е. с контролем по длине

замыкающей хода. Например, соединительный ход между отвесами при ориентировании подземной съемки через два вертикальных ствола.

Приведенные виды ходов характерны для подземной разработки МПИ, но не исчерпывают всего их разнообразия. Использование различных способов примыкания и контроля качества теодолитных ходов значительно увеличивает количество возможных вариантов теодолитных ходов.

Смыкаясь между собой, подземные теодолитные полигоны образуют в пределах крупных шахтных и рудничных полей сложные сети.

При съемке подземных горных выработок, так же как и при съемке земной поверхности, неуклонно соблюдение принципа последовательного перехода от более общих и точных геометрических построений к частным и менее точным построениям. В соответствии с ним процесс состоит из следующих видов работ.

1. Построение маркшейдерских опорных сетей, являющихся главной геометрической основой всех подземных съемок и состоящих из полигонометрических ходов, прокладываемых, как правило, по капитальным и основным горным выработкам.

2. Создание маркшейдерских съемочных сетей, являющихся основой для съемки горных выработок и состоящих из теодолитных и угломерных ходов. Первые предназначены для пополнительной съемки капитальных и основных подготовительных выработок, а также для съемки подготовительных выработок; вторые — для съемки нарезных выработок в блоках (участках) и очистных забоях. Теодолитные ходы опираются на пункты и стороны опорной сети, угломерные — на пункты и стороны теодолитных и полигонометрических ходов. При прокладке угломерных ходов используются приборы пониженной точности (угломеры, буссоли).

Сети специального назначения предназначены для решения наиболее важных задач, например, при проведении ответственных сбоек. При этом точность угловых и линейных измерений определяется по специально разработанной программе для каждого отдельного случая; обработка измерений чаще всего выполняется в условной системе координат.

По условиям выполнения съемок, возможности размещения и сохранности пунктов геометрической основы горные выработки делятся на три основные группы:

капитальные, *основные* являются главными магистралями шахтного или рудничного поля; к ним относятся штольни, капитальные квершлаги, полевые, групповые и основные (откаточные) штреки, уклоны и бремсберги. Перечисленные выработки расположены в объемном контуре шахтного и рудничного поля более или менее равномерно; как правило, имеют

большую протяженность и продолжительный срок службы; удобны для закрепления в них пунктов подземных опорных сетей;

подготовительные — это панельные, промежуточные, вентиляционные штреки и другие выработки, находящиеся в выемочных участках и имеющие значительную протяженность и более или менее продолжительный срок службы. Закрепленные в таких выработках пункты могут служить для их съемки и использоваться в качестве исходных при периодической (оперативной) съемке очистных забоев;

нарезные, пройденные в пределах выемочного участка или очистного блока, и *очистные* выработки имеют небольшую протяженность и малый срок службы. Очистные забои, например лавы, непрерывно перемещаются, закрепленные в них пункты часто используются только один раз при их съемке.

Подземные плановые опорные сети. Они создаются в виде систем или одиночных полигонометрических ходов, развиваемых от закрепленных в околоствольных выработках исходных постоянных пунктов. Построение опорных сетей должно обеспечивать требуемую точность определения положения удаленных пунктов независимо от протяженности сетей, закрепление пунктов сетей с отставанием от проходки забоев горных выработок, не превышающим 300—500 м, с учетом возможного непрерывного развития сетей.

По сравнению с опорными сетями на земной поверхности подземные маркшейдерские опорные сети имеют существенные особенности, составляющие три группы. К первой группе относятся:

зависимость развития сетей от подвигания горных выработок и сроков службы шахты, рудника;

наличие периодических изменений конструкции сети, вызываемых погашением старых горных выработок и неустойчивостью части пунктов;

разобщенное во времени и пространстве появление в сети дополнительных избыточных данных.

Вследствие влияния отмеченных факторов подземные опорные сети в своем развитии проходят стадии пополнения и реконструкции. При этом порядок пополнения определяется подвиганием горных выработок, а сроки реконструкции устанавливаются в зависимости от состояния сети.

Во вторую группу особенностей подземных опорных сетей входят:

вынужденная конфигурация полигонометрических ходов, определяемая конфигурацией горных выработок, ограничивающей возможности выбора формы и параметров полигонов;

наличие в ходах подземной полигонометрии вынужденно коротких сторон (до 3—5 м);

ограниченное число исходных пунктов подземной полигонометрии и преимущественное расположение их в центре шахтного поля. Все это способствует более быстрому накоплению ошибок в подземных опорных сетях по мере удаления ходов от исходных пунктов. Для обеспечения требуемой точности определения положения удаленных пунктов следует повысить жесткость сетей. Определение дополнительных дирекционных углов с помощью гирокомпаса и разделение в связи с этим полигонометрических ходов гиросторонами на секции является эффективной мерой для этого.

Третью группу особенностей построения опорных подземных сетей составляют следующие:

проложение теодолитных ходов до построения опорной сети;

применение в отдельных случаях одних и тех же приборов и одной методики измерений для полигонометрических ходов (опорной сети) и теодолитных.

Поэтому на практике в ряде случаев может отсутствовать деление по точности полигонометрических ходов на опорные сети и теодолитные ходы (для пополнения МЧ). При этом съемка основных и подготовительных выработок производится путем проложения полигонометрических ходов, которые при хорошей устойчивости и сохранности знаков используются для пополнения опорной сети и только при необходимости контролируются повторным проложением ходов. Следовательно, полигонометрические ходы делятся на пополнительные и контрольные. Это указывает на общность используемых технических средств и применяемой методики измерений угловых и линейных величин при производстве горизонтальных теодолитных съемок разного назначения.

Опорные сети разнообразны и определяются схемой вскрытия, подготовки шахтного поля, формой и условиями залегания МПИ. Построение подземных опорных сетей осуществляется по проекту с учетом перспективного плана развития горных работ, обеспечения надежного центрирования и ориентирования, достаточной жесткости опорных сетей и необходимой точности определения положения удаленных пунктов.

При создании проекта основное внимание должно быть уделено составлению принципиальной схемы и расчету основных конструктивных элементов сети (места примыкания подземной сети к пунктам опорной сети на земной поверхности, определения гиросторон, замыкания полигонов и установки постоянных пунктов).

Опорные сети реконструируются через 5—10 лет. Основанием для этого могут быть следующие обстоятельства:

значительные изменения сетей вследствие разрушения или нарушения устойчивости постоянных пунктов, необходимых для дальнейшего развития съемок;

появление в сети новых дополнительных связей с пунктами опорной сети на земной поверхности при примыкании к отвесам с известными координатами;

необходимость увязки сетей между горизонтами шахты или группы объединенных шахт;

снижение точности сетей из-за увеличения протяженности горных выработок.

Подземные теодолитные ходы прокладываются в целях:

съемки горных выработок и составления МЧ;

создания геометрической основы для будущих съемок;

контроля выполненных съемок.

1.3.1. РЕКОГНОСЦИРОВКА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПУНКТОВ

В задачу рекогносцировки входит обследование состояния горных выработок, в которых предусмотрено построение опорных и съемочных сетей, а также выбор мест для закрепления пунктов.

Вершины углов полигонов (ходов) в горных выработках закрепляются постоянными или временными знаками в зависимости от их положения и назначения. При выборе мест закрепления пунктов теодолитной съемки руководствуются следующими общими требованиями: взаимная видимость смежных пунктов, наибольшее расстояние между ними, длительная сохранность пунктов, удобные и безопасные условия измерений.

Постоянными знаками закрепляются пункты, входящие в опорные сети, называемые постоянными. Они устанавливаются в местах, обеспечивающих полную их сохранность. Этому требованию, как правило, удовлетворяют капитальные горные выработки, пройденные в коренных породах. Следует избегать установки постоянных пунктов в тех выработках, которые в данный момент находятся или в ближайшее время будут находиться в зонах опорного давления. Закладываются они в околоствольном дворе, в главных и участковых квершлагах, в полевых и основных откаточных штреках и в других горных выработках длительного срока службы группами по 3—4 пункта в смежных вершинах полигона, что обеспечивает возможность контроля их стабильности путем повторного измерения горизонтального угла. Группы постоянных пунктов закладываются через 300—500 м друг от друга, расстояние между смежными пунктами должно быть не менее 50 м. В случае неустойчивых пород группы постоянных пунктов закладываются по мере возможности.

Постоянные пункты закрепляются в почве или кровле выработки в зависимости от состояния пород. Конструкция пунктов может быть различной (рис. 3). При закреплении постоянного пункта в почве выработки, что следует делать только при

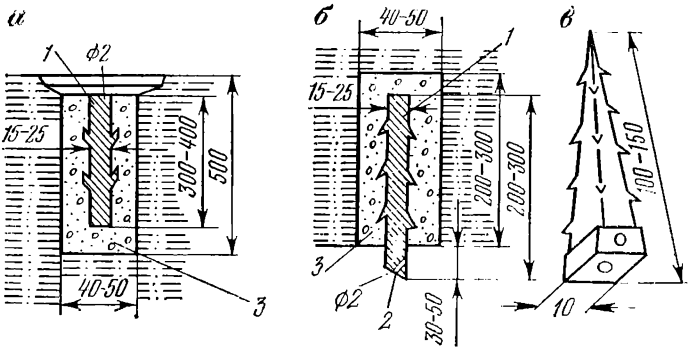


Рис. 3. Постоянные пункты подземной теодолитной съемки:

а — в почве выработки; *б* — в кровле выработки; *в* — центр, забиваемый в деревянную пробку или непосредственно в кровлю выработки; *1* — стальной стержень; *2* — медная пробка; *3* — бетон

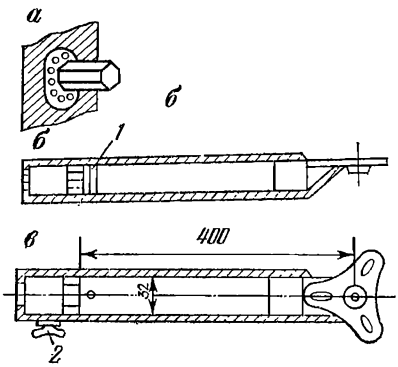


Рис. 4. Боковой центр:

а — общий вид; *б* — вертикальный разрез консоли; *в* — горизонтальный разрез консоли

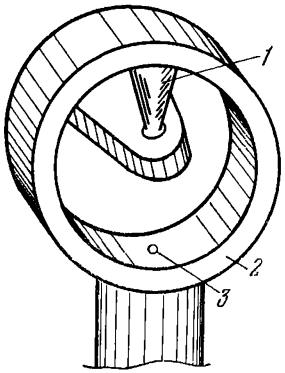


Рис. 5. Самоустанавливающееся кольцо:

1 — центрировочный конус; *2* — кольцо; *3* — отверстие для отвеса

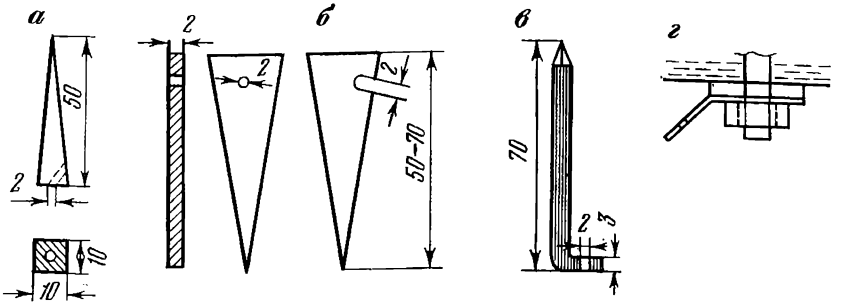


Рис. 6. Временные маркшейдерскне пункты

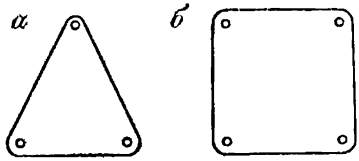


Рис. 7. Марки:
а — для постоянного знака; *б* — для временного знака

неустойчивой кровле, над пунктом в верхняке крепи забивают временный знак. Последний служит лишь для обеспечения отыскания постоянного пункта, но не для центрирования под ним теодолита или сигнала.

В ряде случаев постоянные пункты закладываются в стенки или бока выработок и называются боковыми постоянными пунктами. Конструкция их центров может быть разной. Так, боковой постоянный маркшейдерский пункт может быть в виде шестигранного штыря (рис. 4). На штырь надевается штанга, представляющая собой трубу с двумя вставками, имеющими шестигранные отверстия. Для фиксирования штанги в определенном положении служат ограничительная шпилька *1* и зажимное устройство *2*.

При использовании боковых постоянных маркшейдерских пунктов удобно для подвешивания отвеса (центрирования теодолита и сигнала) применять специальное самоцентрирующееся кольцо (рис. 5).

При закладке постоянного пункта составляется эскиз его местонахождения и способа закрепления, который воспроизводится в журнале вычислений координат полигонов.

Временными знаками закрепляются все пункты подземных теодолитных полигонов (ходов), кроме тех, которые избраны для закрепления постоянными. Конструкция знаков временных маркшейдерских пунктов в выработках может быть весьма разнообразной: без крепи (рис. 6, *а*), в верхняках деревянной крепи (рис. 6, *б*), в деревянных пробках (6, *в*), в выработках с металлической или штанговой крепью (6, *г*).

Напротив каждого постоянного или временного знака на стойках крепи устанавливаются марки (рис. 7) с обозначе-

нием порядкового номера пункта. В горных выработках, закрепленных бетоном, металлом или пройденных без крепления, номер пункта надписывается на стенке выработки масляной краской. Порядок нумерации для каждой шахты устанавливает главный маркшейдер; повторение номеров на одной и той же выработке недопустимо.

I.3.2. ГОРНЫЕ ТЕОДОЛИТЫ

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов подземных полигонов (ходов) применяются горные теодолиты. Они в основном аналогичны теодолитам, используемым для съемок на земной поверхности, и известны студенту маркшейдерской специальности из курса геодезии. Однако горные теодолиты имеют некоторые особенности, связанные с условиями выполнения подземной съемки.

К ним относятся:

стесненные условия, запыленность, влажность, отсутствие хорошей освещенности, интенсивное движение по магистральным горным выработкам. В связи с этим горные теодолиты должны быть портативными, легкими, хорошо защищенными от воздействия неблагоприятных условий, с электроподсветкой сетки нитей, отсчетных устройств, уровней и верхнего центра.

Горные теодолиты в отличие от теодолитов, применяемых для съемки земной поверхности, должны иметь на поверхности зрительной трубы верхний центр, представляющий собой углубление диаметром не более 0,5 мм и служащий для центрирования теодолита под точкой, закрепленной в кровле выработки. Многие теодолиты имеют специальные оптические приспособления для центрирования прибора над (под) точкой.

Теодолитные ходы прокладываются в горизонтальных, наклонных и крутопадающих горных выработках, поэтому конструкция горных теодолитов должна предусматривать визирование под крутыми углами наклона. В связи с этим некоторые типы горных теодолитов имеют две трубы: главную — центренную и дополнительную — эксцентренную. Первая жестко соединена с горизонтальной осью вращения и расположена в одной плоскости с вертикальной осью теодолита. Внецентренная труба тоже соединена с горизонтальной осью, но вынесена на ее конец. При таком положении эксцентренной трубы горизонтальный круг теодолита не мешает измерению горизонтальных углов в крутопадающих выработках.

Накладной уровень, устанавливаемый на горизонтальную ось вращения трубы, служит для обеспечения более надежного измерения горизонтальных углов в наклонных и крутопадающих выработках.

В конструкции зрительной трубы горного теодолита дол-

жно быть предусмотрено визирование на возможно малые расстояния (1—2 м), так как стороны подземных ходов бывают очень короткими.

Штатив горного теодолита должен быть легким, устойчивым и иметь раздвижные ножки. В ряде случаев (при прокладке контрольных ходов, ходов повышенной точности, а также с потерянными точками) теодолит и сигналы удобнее устанавливать на консоли. Последние в зависимости от вида крепления горных выработок имеют разную конструкцию: ввинчивающиеся — при деревянном креплении и захватные — при металлическом. Поэтому набор консолей входит в комплект принадлежностей, используемых при подземной горизонтальной теодолитной съемке.

В настоящее время нашей промышленностью не выпускаются (серийно) специальные теодолиты для подземных съемок. Однако современные оптические теодолиты могут успешно применяться при съемках на земной поверхности и в горных выработках.

В нашей стране производство теодолитов регламентируется ГОСТ 10529—86, которым предусматривается выпуск следующих типов оптических теодолитов: Т2 (Т2А), Т5 (Т5К), Т15К, Т30, Т60 от высокоточных до теодолитов малой точности; цифра после буквы Т характеризует величину средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла одним приемом.

В зависимости от исполнения к обозначениям теодолитов добавляются соответствующие буквы и цифры: компенсатор при алидаде вертикального круга — буква К; теодолит в маркшейдерском исполнении — буква М; теодолит с автоколлимационным окуляром — буква А; порядковый номер модели (серии) обозначается цифрой перед маркой прибора. Например, 2Т5К, Т30М, 2Т2 и др.

Для маркшейдерских работ на горных предприятиях чаще других используются теодолиты средней технической точности, обеспечивающие измерение горизонтальных углов одним приемом со средними квадратическими погрешностями ± 5—$\pm 10''$ и ± 15—$\pm 30''$, т. е. удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к созданию опорных и съемочных плановых сетей на земной поверхности и в горных выработках.

Теодолиты средней точности. Средняя квадратическая погрешность измерения углов этими теодолитами составляет 3—10″. Точность теодолитов этой группы характеризуется погрешностью порядка 5—7″.

Приборы этой группы представлены шкаловыми оптическими теодолитами с односторонней системой отсчитывания по кругам; некоторые из них приспосабливают для измерения углов способом повторений.

Следует отметить, что для теодолитов средней точности характерны: компактная, полностью закрытая конструкция; простая и сравнительно удобная система отсчитывания по кругам; большой набор вспомогательных принадлежностей.

Для современных моделей теодолитов средней точности характерно наличие унифицированных деталей и узлов теодолитов повышенной точности.

Осевые системы аналогичны применяемым в теодолитах повышенной точности. Горизонтальные оси накладными уровнями не снабжаются; для горизонтирования используют цилиндрические уровни с ценой деления (в угл. с/мм) 20—30/2.

Отсчеты берут по одной стороне лимба, как правило, по шкаловому микроскопу с ценой деления шкалы 1′. Общее увеличение системы микроскопа чаще порядка 70^{x}.

Зрительные трубы имеют увеличение 24—27^{x}, наименьшее расстояние визирования 1—1,5 м. Сетки снабжены дальномерными штрихами для измерения расстояний по вертикальной, а у некоторых теодолитов и по горизонтальной рейке. Для наведения на цель используется биссектор с угловым расстоянием между штрихами около 60″.

Теодолит 2Т5К (рис. 8, *а*) относится к унифицированной серии 2Т. Его конструкция во многом повторяет теодолит 2Т5, имеет много общих с ним деталей и узлов, таких как зрительная труба, осевые системы, колонка с горизонтальной осью,

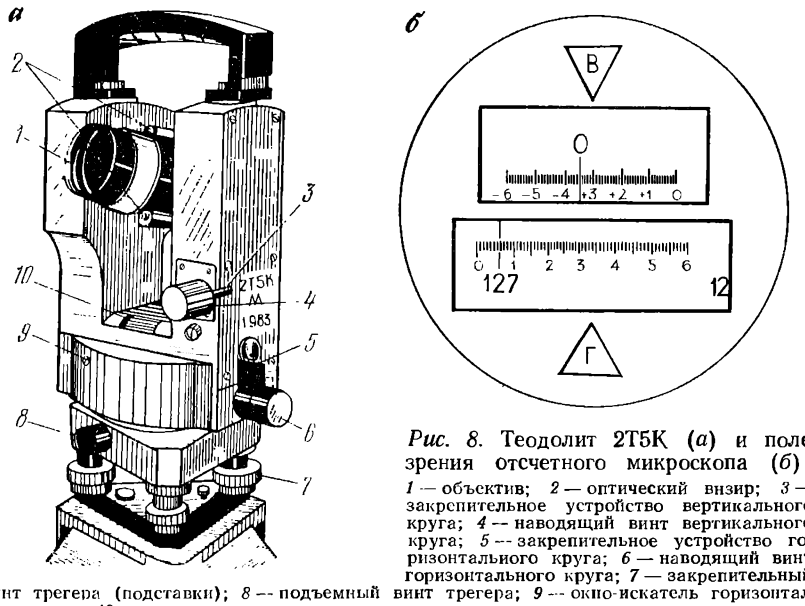


Рис. 8. Теодолит 2Т5К (*а*) и поле зрения отсчетного микроскопа (*б*): *1* — объектив; *2* — оптический визир; *3* — закрепительное устройство вертикального круга; *4* — наводящий винт вертикального круга; *5* — закрепительное устройство горизонтального круга; *6* — наводящий винт горизонтального круга; *7* — закрепительный винт трегера (подставки); *8* — подъемный винт трегера; *9* — окно-искатель горизонтального круга; *10* — уровень

корпусные и оптические детали. Он заменил ранее выпускавшийся теодолит Т5К, снабжен самоустанавливающейся системой оптического компенсатора при вертикальном круге, заменяющей уровень при алидаде этого круга.

Наличие указанного компенсатора позволяет использовать теодолит 2Т5К не только для измерения горизонтальных и вертикальных углов, но и в целях геометрического нивелирования.

Зрительная труба *1* теодолита 2Т5К высокого качества с увеличением 27^{x} переводится через зенит обоими концами, для грубой наводки она снабжена оптическим визиром *2*. Труба установлена во втулках — лагерах горизонтальной оси. Прибор 2Т5КП выпускается с трубой прямого изображения.

Точное наведение зрительной трубы на предмет осуществляется наводящим винтом *4* в вертикальной плоскости и наводящим винтом *6* в азимутальном направлении; соосно с ними расположены закрепительные винты *3* и *5* куркового типа.

Теодолит 2Т5К имеет цилиндрическую систему вертикальных осей, в основном варианте является неповторительным, однако в конструкции предусмотрена возможность превращать его в повторительный.

Прибор 2Т5К имеет стеклянные лимбы; диаметр лимба горизонтального круга 95 мм, вертикального 70 мм; цена деления угломерных кругов 1°; система отсчитывания односторонняя.

Отсчет берут с помощью шкалового микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Увеличение микроскопа 70^{x}; цена одного деления шкал микроскопа 1′.

В поле зрения микроскопа одновременно видны изображения штрихов вертикального и горизонтального кругов (рис. 8, *б*). Отсчет состоит из градусов, определяемых по штрихам лимба, минут, отсчитываемых по делениям шкалы микроскопа, и секунд, определяемых на глаз в долях деления шкалы. Точность отсчитывания составляет 0,1 интервала шкалы микроскопа, т. е. ±0,1′ или ±6″. В данном случае отсчет по вертикальному кругу равен 0°25,5′; по горизонтальному кругу — 127°0,54′.

В связи с тем, что лимб вертикального круга имеет секторную оцифровку, шкала вертикального круга имеет двойную оцифровку с указанными направлениями, соответствующими положительным и отрицательным углам наклона.

Как отмечалось выше, отсчетная система теодолита 2Т5К включает устройство (компенсатор), автоматически компенсирующее наклон вертикальной оси прибора. Компенсатор расположен на стойке теодолита; диапазон действия компенсатора ±4′; точность компенсации 2″.

В алидадной части горизонтального круга расположен оптический отвес для центрирования теодолита над точкой.

Объектив отвеса (центрира) расположен внутри вертикальной оси, а окуляр выведен через боковую крышку теодолита наружу.

Теодолит устанавливается в отделяемую подставку, что позволяет измерять углы с автоматическим центрированием прибора и сигналов. Закрепление прибора и сигналов производится закрепительным винтом *8*.

Для предварительной установки отсчета по горизонтальному кругу или определения направлений по заранее составленной программе служит круг-искатель с ценой деления 10°.

Теодолит Theo 020A относится к приборам унифицированной серии «Геомат А» Народного предприятия «Карл Цейс Йена» (ГДР). Стабилизация отсчетного индекса вертикального круга осуществляется с помощью оптико-механического маятникового компенсатора с воздушным демпфером и противоударной подвеской; рабочий диапазон компенсатора $\pm 4'$. Автоматическая стабилизация осуществляется после горизонтирования прибора по круглому уровню. В результате дальнейшего совершенствования конструкции теодолитов данного класса была создана модель теодолита Theo 020B со шкаловым микроскопом и повторительным устройством и большим набором комплектующих принадлежностей.

Теодолит Th4 фирмы «Файнтехник Оптон» (ФРГ) имеет одностороннюю отсчетную систему со шкаловым микроскопом; цена деления шкалы $20''$. Диапазон работ компенсатора при вертикальном круге $\pm 2'$, точность установки — $1''$; зрительная труба с прямым изображением относится к апохроматам. Предварительное горизонтирование производится по круглому уровню с ценой деления $10'/2$ мм; в алидаду встроен центрир с наименьшим расстоянием визирования 0,55 м.

Теодолит T16 фирмы «Вильд Хербругг» (Швейцария) снабжен односторонней отсчетной системой со шкаловым микроскопом; горизонтальный и вертикальный круги — перестанавливаемые; диапазон работы компенсатора при вертикальном круге $\pm 5'$ с точностью установки $1''$. Зрительная труба с прямым изображением. Горизонтальный круг имеет два уровня: цилиндрический и круглый; наименьшее расстояние визирования центрира 0,5 м.

Теодолит ДКМ-1 фирмы «Керн Аарау» (Швейцария) снабжен оптическим микрометром.

Приведем [7] основные технические характеристики теодолитов средней точности (табл. 1).

Технические теодолиты составляют две подгруппы: с погрешностью измерения углов от 10 до $20''$ и более $20''$.

В маркшейдерской практике технические теодолиты в основном используют при создании съемочного обоснования, производстве маркшейдерских угломерных, исполнительных съе-

мок на земной поверхности и в горных выработках, разбивках и выносе в натуру сооружений и горных выработок по проектным данным, контроле за соблюдением проектных решений и т. д.

Технические теодолиты конструктивно представляют собой портативные, закрытые оптико-механические приборы, многие

Таблица 1

Техническая характеристика	2Т5К (СССР)	Theo 020A (ГДР)	Th 4 (ФРГ)	T16 (Швейцария)	ДКМ-1 (Швейцария)
Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с:					
горизонтального	5—7	5	5	5	4—5
вертикального	7—10	6—8	5—10	5—10	4—5
Увеличение зрительной трубы, крат	27	25 (30)	30	30	20
Наименьшее расстояние визирования, м	2	1,5	1,6	1,7	0,9
Диаметр лимба, мм	95/70	86/86	98/85	94/79	55/55
Цена деления лимба, угл. градус	1	1	1	1	20
Цена деления уровня при алидаде горизонтального круга, угл. с/2 мм	30	20	20	30	30
Цена деления установочного уровня, угл. мин/2 мм	—	8	10	8	—
Масса, кг:					
теодолита	4,2	4,2	4,7	5,3	1,8*
укладочного футляра	4,0	4,4	4,2	2,8	1,0

* Масса теодолита дана без учета подставки.

из них приспособлены для измерений углов способом повторений.

Их отсчетные системы рассчитаны на применение одного отсчетного микроскопа, общего для обоих кругов. При этом обеспечивается надежный и быстрый отсчет по лимбам; погрешность отсчитывания для теодолитов первой подгруппы 0,2—0,5′, второй — 0,5—1′.

Среди современных отечественных технических теодолитов широко известны оптические повторительные теодолиты Т30. В результате их модернизации в 1979 г. был создан и в настоящее время серийно выпускается прибор 2Т30 (рис. 9, *а*), внешне сходный с базовым Т30.

Отличительными его особенностями являются.

1. Отсчитывание по кругам производится с помощью шкалового микроскопа (рис. 9, *б*) с наименьшим делением 5′, что

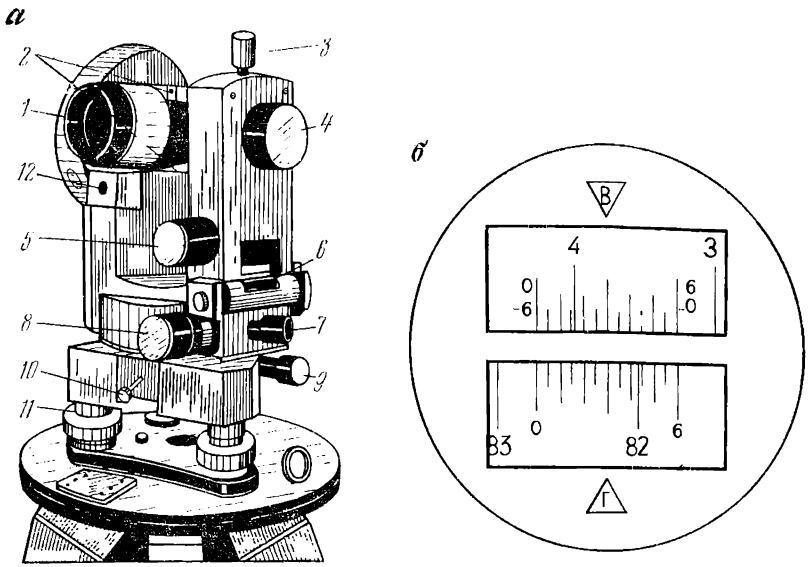


Рис. 9. Теодолит 2Т30 (*а*) и поле зрения отсчетного микроскопа (*б*):
1 — объектив; *2* — визир; *3* — закрепительный винт вертикального круга; *4* — фокусирующее устройство; *5* — наводящий винт вертикального круга; *6* — уровень при горизонтальном круге; *7* — закрепительный винт алидады горизонтального круга; *8* — наводящий винт алидады горизонтального круга; *9* — наводящий винт горизонтального круга; *10* — закрепительный винт горизонтального лимба; *11* — подъемный винт трегера (подставки); *12* — уровень накладной

позволяет при цене деления лимбов 1° непосредственно оценивать измеряемые углы до 0,5′. В данном случае отсчет по вертикальному кругу равен 4°16′; по горизонтальному — 82°43′.

2. Лимб вертикального круга оцифрован в секторе ±75°.

3. Погрешность измерения углов одним приемом для теодолита 2Т30 составляет 20—25″.

4. Центрирование теодолита над точкой можно выполнять нитяным отвесом или с помощью зрительной трубы, предварительно установленной вертикально, через полую ось вращения алидады. Центрирование под точкой осуществляется нитяным отвесом над верхним центром оптического визира — зрительной трубы.

Широко используются следующие зарубежные технические теодолиты.

Теодолит Theo 080A Народного предприятия «Карл Цейс Йена» (ГДР) относится к оптическим теодолитам повторительного типа с односторонней системой отсчета по кругам с помощью микроскопа с индексом. Зрительная труба обеспечивает прямое изображение; сетка нитей трубы имеет дальномерные штрихи с коэффициентами 100 и 50 для измерений длин по горизонтальной и вертикальной рейкам.

Теодолит ТО5 фирмы «Вильд Хербругг» (Швейцария) относится к портативным оптическим теодолитам технической точности. Вертикальная ось прибора цилиндрическая неповторительная; через полую ось проходит канал оптического центрира, окулярное колено которого встроено в алидадную часть теодолита; вращающееся окулярное колено микроскопа расположено на колонке.

Теодолит TS-20 фирмы «Соккиша» (Япония) — прибор повторительного типа с неотделимой подставкой предназначен

Таблица 2

Техническая характеристика	2Т30 (СССР)	Theo 080A (ГДР)	Т05 (Швейцария)	TS-20 (Япония)
Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с:				
горизонтального угла	20	20	30	30
вертикального угла	30	25	30—40	60
Увеличение зрительной трубы, крат	20	18	19	28
Наименьшее расстояние визирования, м	1,2	0,9	0,8	1,3
Диаметр лимба, мм	70/70	61/61	67/50	88/70
Цена деления лимба	1°	5′	5′	1°
Цена деления отсчетной шкалы, угл. мин	5	—	—	1/10
Цена деления уровня при алидаде горизонтального круга, угл. с/2 мм	45	120	60	90
Цена деления установочного уровня, угл. мин/2 мм	—	—	10	10
Масса теодолита, кг	2,3	2,0	3,0	5,5
Масса укладочного футляра, кг	1,2	2,2	2,2	3,0

для съемок на земной поверхности и в горных выработках. В алидадную часть теодолита встроен оптический центрир с увеличением 2^x. На его базе выпускается лазерный теодолит LTS-20; блок лазерного излучения размещается на колонке; передача лазерного излучения от источника происходит с помощью волоконной оптики и оптической системы, включающей несколько линз и призм; диаметр пучка излучения 6 мм на 100 м, дальность действия 300 м.

Приведем [7] основные технические характеристики теодолитов технической точности (табл. 2).

1.3.3. ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТОВ

Для получения точных результатов измерений геометрические элементы теодолита

ГГ — плоскость горизонтального круга;

VV — вертикальная ось прибора;

ВВ — плоскость вертикального круга;
hh — горизонтальная ось вращения трубы;
ZZ — оптическая ось зрительной трубы;
ll — ось уровня при алидаде горизонтального круга;
$l'l'$ — ось уровня при вертикальном круге;
LL — ось накладного уровня;
PP — ось подъемных винтов
должны быть соответственным образом ориентированы относительно друг друга (рис. 10), т. е. должны быть соблюдены основные геометрические условия: $VV \perp ГГ$; $hh \perp VV$; $ZZ \perp hh$; $hh \perp ВВ$; $LL \parallel ll$; $ll \perp VV$

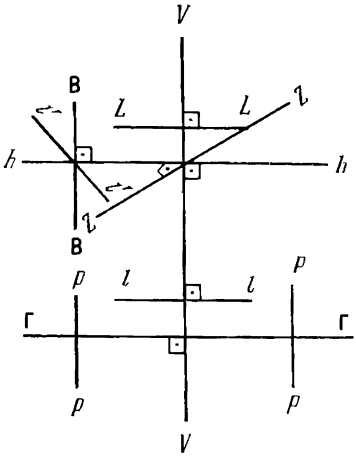


Рис. 10. Основные геометрические элементы теодолита

Указанные условия конкретно реализуются выполнением следующих основных требований:

вращение подъемных винтов подставки должно быть плавным, без качки, скачков, срывов;

ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна, а ось круглого уровня — параллельна вертикальной оси прибора;

визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси ее вращения;

ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора;

место нуля или место зенита при зенитной оцифровке (МО) вертикального круга должно быть равно или близко к 0°;

визирная ось оптического отвеса (центрира) должна совпадать с вертикальной осью теодолита;

компенсатор вертикального круга должен компенсировать влияние наклона вертикальной оси прибора в заданном интервале;

при фокусировке зрительной трубы положение визирной оси должно оставаться неизменным;

при горизонтальном положении зрительной трубы знак верхнего центра должен совпадать с вертикальной осью прибора.

Методика перечисленных поверок теодолита, за исключением последней, известна из курса геодезии. Выполнение этой поверки производится следующим образом. Теодолит устанавливают под центрировочным отвесом так, чтобы острие отвеса находилось на расстоянии не более 0,5 мм от центра знака по высоте и в плане. При этом вертикальная ось вращения

должна быть в вертикальном положении, а труба — в горизонтальном положении. Затем, вращая теодолит вокруг вертикальной оси, следят, насколько отмеченный на трубе центр удаляется от острия отвеса. Если отклонение превышает 1 мм, необходимо отметить новый центр, закрыв старый лаком. Эта поверка производится и в теодолитах с эксцентренной трубой. Однако следует иметь в виду, что знак центра в этом случае отмечен на оси вращения трубы.

При выполнении работ, требующих особо высокой точности, дополнительно исследуются: соответствие длины шкалы микроскопа или микрометра делениям лимба (рен); эксцентриситета лимба и алидады; систематические и случайные погрешности измерения углов. Методика указанных исследований подробно изложена в курсе «Маркшейдерские приборы и инструменты».

I.3.4. ЦЕНТРИРОВАНИЕ ТЕОДОЛИТОВ И СИГНАЛОВ

Измерение углов в теодолитных ходах начинается с центрирования теодолита и сигналов, т. е. точной их установки. Для подземных теодолитных ходов характерны небольшие длины сторон и вытянутая форма, при которых влияние центрирования теодолита и сигналов на точность измерения горизонтальных углов значительно и требуется особое внимание к выполнению этой операции.

Пусть требуется измерить горизонтальный угол $\beta = \widehat{BAC}$ (рис. 11). Вследствие неточного центрирования теодолита и сигналов вместо угла β будет измерен β_1. Разность $\Delta\beta$ называется погрешностью измерения горизонтального угла, а горизонтальные расстояния AA_1, BB_1, CC_1 — линейными погрешностями центрирования соответственно теодолита $l_т$ и сигналов $l_с$.

Влияние погрешности центрирования сигналов на погрешность измерения горизонтального угла обратно пропорционально длине сторон, не зависит от величины угла, а влияние погрешности центрирования теодолита обратно пропорционально длине сторон и увеличивается с приближением угла β к 180°.

Центрирование может быть осуществлено разными способами. В маркшейдерской практике нашли применение три способа центрирования: механическим отвесом, оптическим отвесом (центриром) и автоматическое.

При центрировании *механическим (шнуровым) отвесом* последний используется в качестве сигнала. При этом теодолит устанавливают на штатив или консоль, вертикальную ось прибора приводят в отвесное, а зрительную трубу — в горизонтальное положение. Шнур отвеса продевают в отверстие маркшейдерского знака, закрепленного в кровле выработки, а отвес опускают так, чтобы его острие почти касалось верхнего

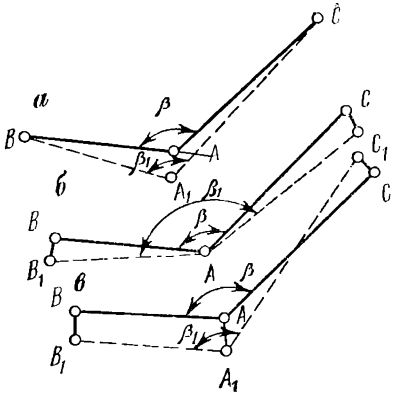


Рис. 11. Горизонтальный угол при неточном центрировании:
а — теодолита; *б* — сигналов; *в* — теодолита и сигналов

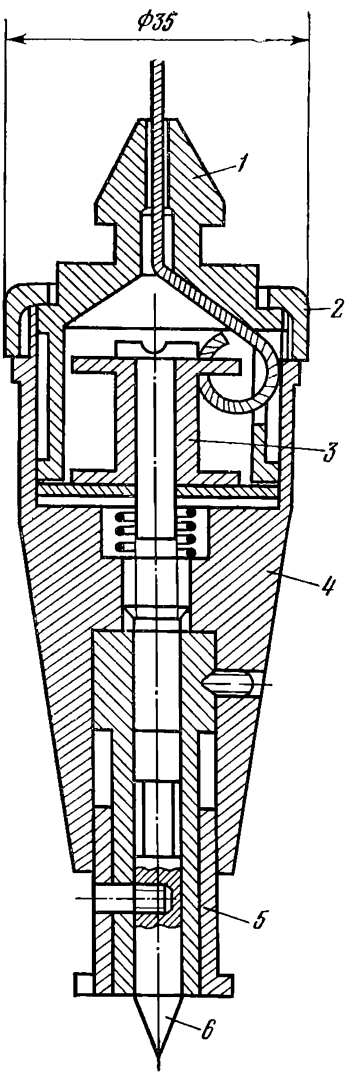


Рис. 12. Центрировочный отвес ОР-2:
1 — втулка; *2* — гайка; *3* — катушка; *4* — корпус; *5* — поводок; *6* — игла

центра на трубе теодолита. Перемещением теодолита по платформе штатива или консоли достигают совмещения острия свободно висящего отвеса с верхним центром.

В разное время было предложено много конструкций шнуровых отвесов. Более удобными в работе являются отвесы, у которых острие перемещается по вертикали, в то время как шнур отвеса сохраняет отвесное положение. Правильный выбор массы и конструкции шнурового отвеса имеет большое

практическое значение. Для уменьшения отклонения отвеса воздушным потоком следует применять отвесы массой не менее 0,5—0,7 кг. Шнур отвеса должен быть тонким и прочным, без узлов и связок. В настоящее время широко используется выпускаемый промышленностью регулируемый отвес ОР-2 (рис. 12).

Оптическое центрирование над точкой осуществляется с помощью оптического отвеса (центрира). Современные теодолиты средней и более высокой точности, как правило, оборудованы оптическими отвесами. Они облегчают процесс центрирования теодолита, особенно при сильном ветре или сильной воздушной струе, и в то же время повышают точность центрирования.

В оптическом отвесе (рис. 13) объектив *1*, расположенный в полости вертикальной оси теодолита, проецирует изображение центра пункта на плоскую поверхность коллектива *3*. Призма *2* изменяет ход луча на 90°. Изображение центра рассматривается через окуляр *4* оптического отвеса.

Значительные трудности представляет контроль правильности установки оптического отвеса на теодолите. Однако с появлением оптических отвесов, вмонтированных в алидадную часть прибора, этот недостаток был устранен. Простой пово-

Рис. 13. Схема оптического отвеса

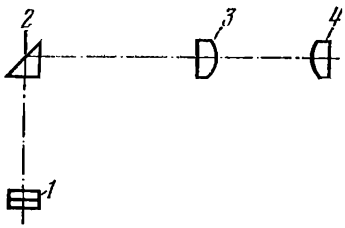
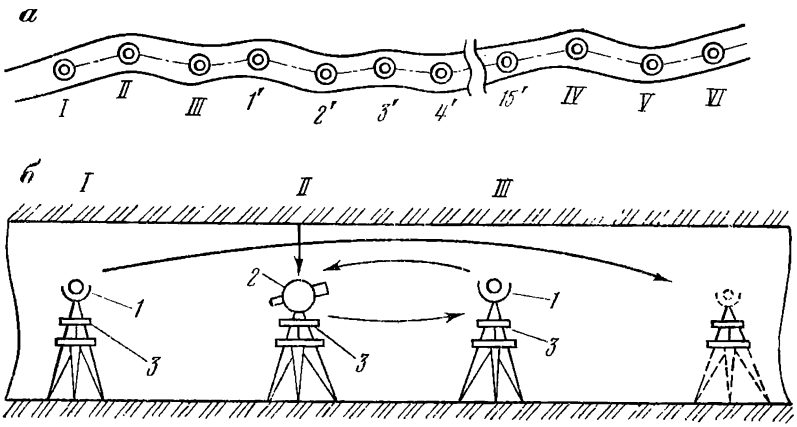


Рис. 14. Схема теодолитного хода (*а*) и перестановки приборов (*б*)



рот алидады на 180° позволяет оценить правильность установки отвеса. Теодолиты 2Т2, 2Т5, 2Т5К снабжены оптическими отвесами, не требующими полевой юстировки.

Фокусирование отвеса осуществляется перемещением окулярного колеса, состоящего из окуляра и сетки, вдоль оптической оси. Сетка представлена двумя концентрическими окружностями на коллективе. Установка по глазу выполняется вращением диоптрийного кольца окуляра, при этом вдоль оптической оси перемещается окуляр. Должно выполняться основное требование к оптическому отвесу — совпадение визирной оси отвеса с вертикальной осью вращения теодолита.

Автоматическое центрирование теодолита и сигналов осуществляется при условии взаимозаменяемости их в подставках (трегерах), установленных на штативах, например, при прокладке теодолитного хода (рис. 14) с утерянными точками *1′*, *2′*, ..., *15′* между группами постоянных (опорных) маркшейдерских пунктов 1, II, III и IV, V, VI по так называемой трехштативной схеме (перемещения сигнала *1* и теодолита *2* показаны стрелками) или при наличии специального комплекта оборудования, включающего консоли, автоцентрирующие подставки, центрики и уровни. Используемые при этом дисковые сигналы могут быть разной конструкции. Если при прокладке хода извлечь сигнал из подставки *3* и на его место поставить теодолит, то вертикальная ось теодолита окажется точно в том месте, где была вертикальная ось сигнала, т. е. будет осуществлено автоматическое центрирование прибора.

Погрешность измерения горизонтального угла, вызванная неточностью центрирования теодолита, может быть уменьшена повторным центрированием. В этом случае после окончания одного повторения или приема измерения угла теодолит смещают, а затем вновь центрируют и повторяют измерение угла.

По результатам многих исследований получены оценки линейных погрешностей центрирования теодолита, которые используют для оценки результатов угловых измерений:

однократное центрирование шнуровым отвесом	1,2—1,5 мм;
оптическое центрирование	0,8—1,0 мм;
автоматическое центрирование	0,5—0,8 мм.

В соответствии с действующими требованиями к точности измерения горизонтальных углов в опорных подземных сетях необходимо производить однократное центрирование при длинах сторон более 20 м, повторное — при длинах сторон от 10 до 20 м и автоматическое — при длинах сторон до 10 м. При применении шнуровых отвесов должны быть приняты меры по устранению влияния воздушной струи.

В маркшейдерской практике обычно линейные погрешности центрирования теодолита $l_т$ больше линейных погрешностей

центрирования сигнала l_c. Однако при оценке общей погрешности $m_ц$ измерения горизонтального угла, вызванной неточностью центрирования теодолита и сигналов, принимают, что $l_c = l_т = l$, $s_1 = s_2 = s$ (s_1, s_2 — горизонтальные проекции сторон измеряемого угла) и $\beta = 180°$. При этом допущении общая погрешность $m_ц$ (в угл. с) вычисляется по формуле

$$m_ц = \pm \rho \frac{l}{s} \sqrt{3}. \qquad (I.3.1)$$

Пусть $s = 20$ м, $l = 1$ мм, тогда $m_ц = \pm \frac{200\,000}{20\,000} 1{,}7 = \pm 17''$.

I.3.5. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ ТЕОДОЛИТОМ

При подземной теодолитной съемке, как правило, измеряются левые по ходу горизонтальные углы. При этом применяют теодолиты средней и технической точности в зависимости от назначения съемки. Первые из них предпочтительнее при построении опорных сетей и выполнении ответственных задач, требующих точных угловых измерений. Вторые — при создании съемочных сетей и производстве рядовых угловых измерений. Однако при необходимости и соответствующей методике измерений их используют и при построении опорных сетей.

Из изложенного выше видно, что по конструкции теодолиты средней точности преимущественно являются неповторительными (поворотными), т. е. измерение ими горизонтальных углов производится способом приемов. В то же время теодолиты технической точности — чаще повторительные; измерения ими горизонтальных углов могут выполняться способом повторений и способом приемов.

В качестве сигналов, как правило, используются шнуровые отвесы, подвешиваемые к центрам знаков; при визировании зрительная труба наводится на освещенный отвес, шнур которого совмещается с биссектором сетки нитей.

Рассмотрим сущность способа повторений и способа приемов измерения горизонтальных углов.

Способ повторений. При измерении горизонтального угла при одном повторении соблюдается следующий порядок действий.

Устанавливают и закрепляют нуль алидады при отсчете, близком 0°, и, вращая лимб, визируют на задний сигнал; берут отсчет a_1.

Вращая алидаду по ходу часовой стрелки, визируют на передний сигнал и берут контрольный отсчет a_2.

Переводят трубу через зенит; открепляют лимб и, вращая его вместе с алидадой, визируют на задний сигнал; отсчет не берут.

Открепив алидаду и вращая ее против часовой стрелки, визируют на передний сигнал; берут отсчет a_3.

Величину левого по ходу горизонтального угла вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{a_3 - a_1}{2}. \qquad (I.3.2)$$

Кроме того, для контроля вычисляют

$$\beta_к = a_2 - a_1. \qquad (I.3.3)$$

Разность между β и $\beta_к$ должна быть не больше полуторной точности отсчитывания; в противном случае повторяют измерение угла.

Измерение углов несколькими, например тремя повторениями, производят также при двух положениях трубы. При первом положении движением лимба трижды наводят на задний сигнал и столько же раз движением алидады наводят трубу на передний сигнал. Отсчеты берут только после первого и второго наведений и вычисляют контрольное значение $\beta_к$ измеряемого угла по формуле (I.3.3). Затем переводят трубу через зенит и при втором положении трубы, так же как и при первом, трижды визируют на задний и передний сигналы. При этом берут только один отсчет после последнего наведения на передний сигнал.

Окончательное значение угла β, измеренного n повторениями, вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{(a_3 - a_1) + K\,360^\circ}{2n}, \qquad (I.3.4)$$

где n — число повторений; $K = \frac{2n\beta_к - (a_3 - a_1)}{360^\circ}$ — число полных оборотов алидады (округляется до целого).

Способ повторений имеет преимущество перед другими вследствие сокращения затрат времени на измерение угла и в уменьшении влияния m_0 на точность измерений угла, но он не исключает накопления систематических ошибок. Для исключения влияния последних измеряется также и правый угол.

Результаты измерений горизонтальных углов способом повторений записывают в журнал (табл. 3).

Способ приемов (независимых полуприемов) заключается в следующем.

Закрепляют лимб, визируют на задний сигнал и берут отсчет a_1 по лимбу близкий 0°.

Визируют на передний сигнал и берут отсчет a_2 по лимбу, разность отсчетов равна измеряемому углу при первом положении трубы,

Таблица 3

Журнал угловых измерений для способа повторений

Место работы штрек Г250 Исполнитель *Иванов П. И.*
Дата 16.02.88 Прибор 2Т30, № 3502

Точка стояния	Точка визирования	КЛ КП Отсчеты: начальный, контрольный, конечный			Угол	Размеры выработки у передней точки	Эскиз, примечания
	3	0°	00′	00″			
4		52	14	30	—52°14′00″	1,06 / 1,20 1,30 / 1,25	
	5	104	28	00			
	5	90	00	30			
4		37	45	30	—307°35′15	1,07 / 1,25 1,30 / 1,30	
	3	345	31	00			
		255	30	30			

Открепляют лимб, поворачивают его на 60—90° и закрепляют, затем переводят трубу через зенит и вновь наводят на задний сигнал и берут отсчет a_3.

Вторично визируют на передний сигнал, берут отсчет и вычисляют значение угла при втором положении трубы a_4.

Вычисляют среднюю величину угла из двух полуприемов по формуле

$$\beta = \frac{(a_2 - a_1) + (a_4 - a_3)}{2}. \qquad (I.3.5)$$

Допустимое расхождение между полуприемами должно быть не более 1′.

Измерение горизонтальных углов в выработках с углом наклона более 30° рекомендуется выполнять способом приемов (не менее двух). При измерении угла двумя приемами, закончив первый, устанавливают лимб на отсчет близкий 90° и измеряют угол в той же последовательности, что и в первом приеме. Измеренное значение угла находят как среднее арифметическое из приемов при допустимых расхождениях между ними. При этом расхождения углов между полуприемами не должны превышать величин (табл. 4).

При измерении горизонтальных углов в выработках с углом наклона более 30° должен соблюдаться ряд дополнительных требований, а именно:

лимб повторительного теодолита во время измерений должен быть закреплен;

Таблица 4

Угол наклона выработок	Допустимые расхождения углов между полуприемами	
	на сопряжении горизонтальных и наклонных выработок	в наклонной выработке
31—45°	1′20″	2′
46—50	1′50″	2′30″
61—70	2′30″	4′

перед каждым приемом вертикальную ось теодолита устанавливают в отвесное положение и повторно центрируют прибор.

В случае использования постоянных пунктов сети измеряется контрольный угол; разница между предыдущим значением угла и контрольным не должна превышать 1′.

Правильность измерения углов способом приемов контролируют по величине колебания двойной коллимационной ошибки $2c$ и расхождениям углов в приемах (полуприемах).

На узловых точках (более двух направлений) измерения горизонтальных углов выполняют способом круговых приемов, при котором последовательно измеряются углы между начальным и другими направлениями с замыканием на начальном при двух положениях трубы. Если расхождение в отсчетах при визировании по начальному направлению не превышает допустимой величины, первый прием на этом заканчивается.

При построении подземных съемочных сетей прокладываются теодолитные ходы, опирающиеся на пункты опорной сети, в которых углы измеряются теодолитами технической точности типа Т30. Центрирование теодолита и сигналов производится с помощью шнуровых отвесов.

В ходах, прокладываемых в выработках с углом наклона менее 30°, углы измеряют одним повторением или одним приемом. В первом способе измерения угла допустимо расхождение между средним и контрольным значениями угла до 1′30″, а во втором — до 2′.

Измерение углов в выработках с углом наклона более 30° рекомендуется выполнять, как и в опорных сетях, двумя приемами при допустимом расхождении угла в приемах до 1′30″. Расхождение углов в полуприемах не должно превышать предельных значений (табл. 5).

Применение способов приемов вместо способа повторений при измерении горизонтальных углов в наклонных и крутых выработках вызвано тем, что угол, измеренный при одном круге, не может служить надежным контролем. При одном положении трубы влияние коллимационной ошибки c на вели-

Таблица 5

Угол наклона выработки, угл. градус	Допустимые расхождения углов между полуприемами, угл. э	
	на сопряжениях горизонтальной и наклонной выработок	в наклонной выработке
31—45	2	3
46—60	3	4
61—70	4	5

чину измеряемого угла не устраняется, поэтому нежелательно сочетание горизонтальной стороны и стороны с большим наклоном.

Перед построением съемочного хода на основе теодолитного измеряют контрольный угол; разность между предыдущим и контрольным значениями угла допускается до 2′.

Результаты измерений горизонтальных углов способом приемов записывают в журнал (табл. 6).

Таблица 6

Журнал угловых измерений способом приемов

Место работы Гл. квершлаг Г.150 Исполнитель *Петров И. П.*
Дата 18.03.88 Прибор 2Т5К № 987

Точка стояния	Точка визирования	КЛ	КП	$2c$	$\frac{КЛ+КП}{2}$	Угол	Размеры выработки у передней точки
21	20	0°26′34″	180°26′17″	+17″	0°26′26″	183°26′41″	$1{,}20\frac{1{,}21}{1{,}40}1{,}30$
	22	183 53 14	3 53 01	+13	183 53 07		
22	21	0 18 23	180 18 11	+12	0 18 17	178 22 44	$1{,}20\frac{1{,}12}{1{,}25}1{,}25$
	23	178 41 05	358 40 58	+7	178 41 02		

Результаты измерений горизонтальных углов содержат случайные погрешности, обусловленные точностью прибора, неучтенными изменениями внешних условий, квалификацией наблюдателя.

Наиболее существенное влияние на величину случайной ошибки оказывают погрешности центрирования теодолита и сигналов, рассмотренные выше, а из приборных — увеличение трубы, точность отсчетных устройств и цена делений уровней, определяющих погрешность визирования $m_в$ и погрешность отсчитывания $m_о$. Приближенно

$$m_в = 60''/V; \quad m_о = 0{,}3t,$$

где $60''$ — разрешающая способность человеческого глаза; V — увеличение трубы; t — точность отсчетного устройства.

Влияние погрешности визирования на точность угловых измерений зависит от применяемого способа измерения горизонтального угла, так как число визирований и отсчитываний различно в разных способах. Например, при измерении угла способом повторений число визирований на задний и передний сигналы равно $4n$ при n повторениях, а число отсчитываний (без контрольного отсчета) будет равно двум независимо от числа повторений. При измерении угла способом приемов — число визирований и отсчитываний при n приемах равно $4n$.

Зная величину погрешности одного визирования и одного отсчитывания, а также их число, можно оценить суммарное влияние указанных погрешностей на погрешность m измерения угла.

Из изложенного следует, что способ повторений дает более точные результаты измерений по сравнению со способом приемов в тех случаях, когда $m_o \gg m_в$, т. е. при измерении горизонтальных углов β теодолитами технической точности.

При измерении углов β ось вращения теодолита должна быть в отвесном положении. Погрешность m_i невертикальной ее установки не исключается из результатов измерения угла при двух положениях трубы и растет с увеличением углов наклона сторон. Последнее определяет требования к измерению углов β в указанных условиях и допустимые расхождения углов между полуприемами.

Общую погрешность m_β измерения углов β можно выразить в виде

$$m_\beta = \pm\sqrt{m^2 + m_ц^2 + m_i^2 + m_{пр}^2 + m_{вн.\ усл}^2}, \qquad (I.3.6)$$

где $m_{пр}$ — средняя погрешность из-за не полностью исключенных приборных погрешностей; $m_{вн.\ усл}$ — погрешность вследствие влияния внешних условий, определяемая опытным путем.

Величина m_β с учетом влияния всех факторов может быть установлена по угловым невязкам t_β большого числа независимых теодолитных ходов (полигонов), проложенных в одинаковых условиях. Для подземных полигонов опорной сети — $m_\beta \approx 20''$, для теодолитных ходов съемочной сети — $m_\beta \approx 40''$.

Измерение горизонтального угла теодолитом с внецентренной трубой. В крутонаклонных выработках горизонтальные углы измеряют теодолитом с внецентренной трубой. Угол β между направлениями C—A и C—B определяется по измеренным в первом и втором полуприемах углам $\beta_п$ (рис. 15, *а*) и $\beta_л$ (рис. 15, *б*). Для измерения угла между направлениями C—A и C и B, например при круге права (КП), последовательно визируют сигналы A и B. Горизонтальная ось враще-

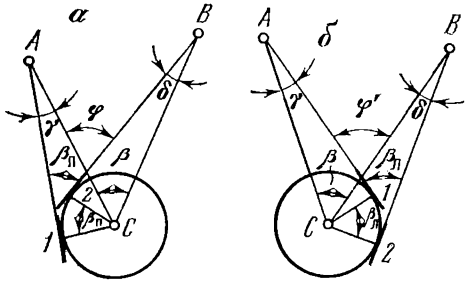


Рис. 15. Схемы измерений горизонтальных углов $\beta_л$ (*а*) и $\beta_п$ (*б*) теодолитом с внецентренной трубой

ния зрительной трубы переместится из положения *С—1* в положение *С—2*, т. е. изменит свое положение на угол $\beta_п$. Вместо угла β будет измерен угол $\beta_п$. Аналогичным образом измеряется угол $\beta_л$ вместо β при круге слева (КЛ).

Внешние углы φ и φ' равны сумме внутренних углов соответствующего треугольника, не смежных с ними:

$$\varphi = \beta_п + \delta = \beta + \delta \text{ или } \beta = \beta_п + \gamma - \delta;$$

$$\varphi' = \beta_л + \delta = \beta + \gamma \text{ или } \beta = \beta_л + \delta - \gamma.$$

Сложив почленно полученные равенства, будем иметь

$$2\beta = \beta_п + \beta_л \text{ или } \beta = \frac{\beta_п + \beta_л}{2}. \qquad (I.3.7)$$

Следовательно, центральный угол β равен полусумме углов, измеренных теодолитом с внецентренной трубой при двух ее положениях.

Ранее отмечалось, что при измерении горизонтальных углов при одном повторении в крутонаклонных выработках обычно применяют способ приемов. Методика измерений горизонтального угла несколькими повторениями теодолитом с внецентренной трубой аналогична применяемой при измерениях с помощью теодолита с центренной трубой. Отличие состоит лишь в определении контрольного угла в результате визирования на задний и передний сигналы при двух положениях трубы.

I.3.6. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

При производстве подземной теодолитной съемки в наклонных выработках одновременно с горизонтальными углами измеряют углы наклона сторон, необходимые для вычисления горизонтальных проложений длин сторон и определения относительных превышений точек теодолитного хода.

Под точкой A (рис. 16, *а*) установлен теодолит для измерения угла наклона δ визирного луча *1—2*, проходящего через соответствующую точке B хода точку *2*, отмеченную на шнуре отвеса.

Измерение угла наклона δ производят при двух положениях трубы следующим образом:

при положении вертикального круга КЛ среднюю горизонтальную нить сетки совмещают с изображением точки *2*;

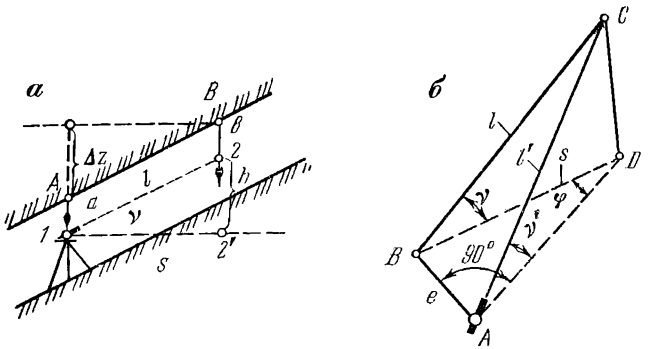


Рис. 16. Схемы измерений угла наклона при центренном (*а*) и внецентренном (*б*) положениях зрительной трубы теодолита

в случае отсутствия компенсатора пузырек уровня при алидаде вертикального уровня приводят на середину, проверяют правильность визирования, берется отсчет КЛ;

трубу переводят через зенит, повторяют операции, перечисленные в первом полуприеме, берут отсчет КП;

вычисляют угол наклона δ и МО из выражений:

$$\delta = \frac{КП - КЛ}{2}; \qquad \delta = КП - МО; \qquad \delta = МО - КЛ; \qquad МО = \frac{КП + КЛ}{2}, \tag{I.3.8}$$

где МО — место нуля (отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению луча визирования зрительной трубы).

При вычислении угла δ к отсчетам меньшим 90° прибавляют 360° для обеспечения одинаковых знаков углов их размерности.

Превышение Δz (в м) точки B относительно точки A находят по формуле

$$\Delta z = z_A - a + h + b, \tag{I.3.9}$$

где $h = l \sin \delta$, м; l — длина наклонной стороны, м; s — горизонтальное проложение наклонной стороны l; a и b — длины отвесов до точек *1* и *2* соответственно, м.

Результаты измерений углов наклона сторон записывают в журнал наблюдений (табл. 7).

Таблица 7

Точка		КЛ КП МО	Угол ν
стояния	визирования		
1′	2	183°15′15″	—03°13′15″
	2	176 48 45 180 02 00	

Для контроля угол наклона δ вторично измеряют теодолитом, установленным в точке *B*.

В крутопадающих выработках вертикальные углы следует измерять теодолитом с внецентренной трубой. Вследствие эксцентриситета трубы e измеряется угол δ′ при точке *A* (рис. 16, *б*), являющейся точкой пересечения визирной оси *AC* трубы с ее осью вращения *AB*. Следовательно, необходимо найти угол δ по измеренному углу δ′, длине l и l' и известной величине e.

В треугольниках *ACD* и *BCD* катет *CD* является общим, т. е.

$$l \sin \delta = l' \sin \delta'; \quad l' = \sqrt{l^2 + e^2}$$

$$\text{и} \quad \sin \delta = \sin \delta' \sqrt{1 - \frac{e^2}{l^2}} \,. \qquad \text{(I.3.10)}$$

Из выражения (I.3.10) следует, что погрешность измерения вертикального угла растет с увеличением угла наклона стороны и уменьшением длины стороны хода (табл. 8).

Таблица 8

Угол наклона	Поправка в вертикальный угол вследствие эксцентриситета трубы при длине стороны хода (в м)				
	5	10	20	30	50
75°	1,3′	0,3′	—	—	—
82	2,5	0,6	—	—	—
88	9,6	1,5	0,5′	—	—
89	17,3	4,8	1,0	0,5′	—
90	48,6	24,3	19,0	7,8	5,2′

Следовательно, при измерении вертикальных углов близких к 90°, даже при длине стороны 50 м, необходимо вводить поправку за эксцентриситет трубы.

I.3.7. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СТАЛЬНЫМИ РУЛЕТКАМИ

Линейные измерения при подземных теодолитных съемках являются трудоемкими и важными работами, требующими высокой квалификации исполнителя и тщательного выполнения.

В зависимости от назначения съемок, условий их выполнения и требуемой точности их выполнения измерения производят с помощью рулеток, лент, длиномеров, дальномерных насадок, светодальномеров и другими способами.

Стальные рулетки являются основным средством для измерения длин сторон подземных теодолитных ходов: они портативны, удобны и результаты измерений достаточно надежны.

Полотно рулеток изготавливают из углеродистой и нержавеющей стали.

Полотно рулетки длиной 20 м обычно наматывается на валик в закрытом корпусе (рис. 17, *а*); длиной 30 м — на вилку (рис. 17, *б*) и длиной 50 м — на крестовину (рис. 17, *в*).

В соответствии с ГОСТ 7502—80 металлические рулетки выпускаются следующих типов ОПК3—30 АНТ/10 или ЗПК3—20АУТ/10, где буквы и цифры обозначают: О — открытый корпус (на вилке или крестовине); З — закрытый корпус (в футляре); П — плоская лента (нежелобчатая); К — кольцо (вытяжное); 3 — класс точности (в данном случае 3-й); 20, 30, 50 — длина мерного полотна, м; А — удаление шкалы от начала полотна; Н или У — материал полотна (нержавеющая или углеродистая сталь); Т — штрихи, нанесенные травлением; цифра в знаменателе дроби (1 и 10) — интервал деления через сантиметр или миллиметр.

При измерении сторон хода, особенно длинных, ленту рулетки натягивают с помощью пружинного динамометра. Следует отметить, что удобны рулетки, в которых динамометр вмонтирован в ручку вилки.

Все рулетки имеют ширину ленты 10—12 мм; толщина ленты рулеток типа ЗПК3 составляет от 0,18 до 0,22 мм; для рулеток типа ОПК3 от 0,20 до 0,26 мм.

Измерительные рулетки 1 и 2 классов должны изготовляться из инвара и нержавеющей стали, а рулетки 3 класса могут изготовляться из углеродистой стали. Особое внимание обращают на точность нанесения штрихов на полотно рулетки. Отклонения действительной длины шкал рулеток от номинального их значения не должны превышать следующих величин (табл. 9).

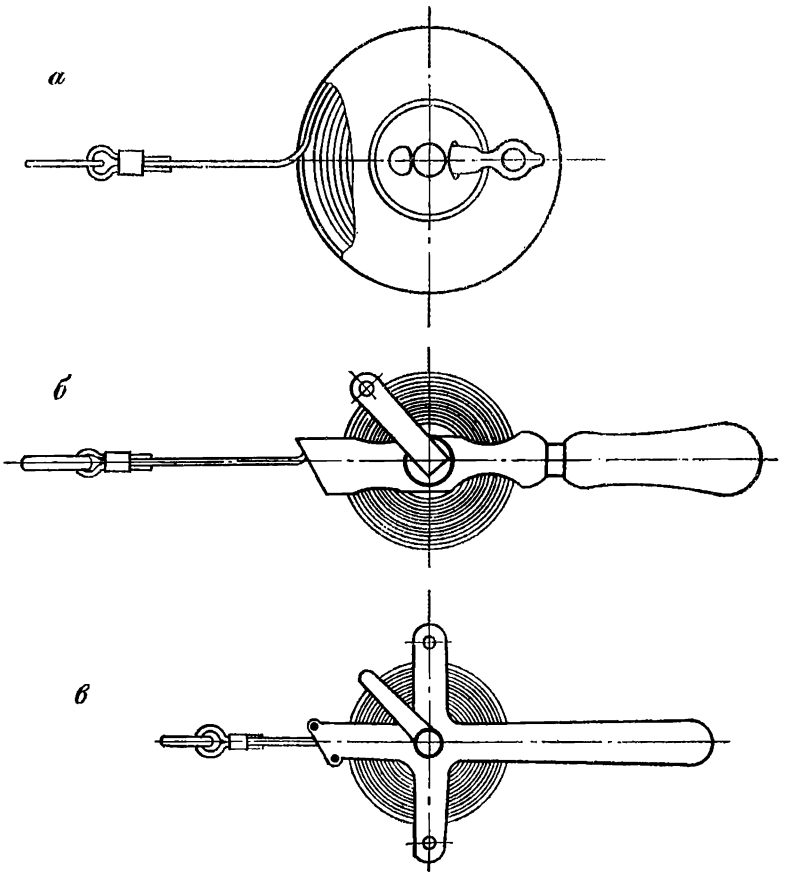


Рис. 17. Металлические рулетки

При съемках пониженной точности и съемках подробностей могут использоваться тесмяные рулетки, а для измерения расстояний от съемочной точки до контура выработки удобны желобчатые двухметровые рулетки.

Металлические рулетки необходимо периодически проверять (компарировать), т. е. сравнивать каждую рулетку с соответствующей образцовой мерой.

Поверки длины рулеток (метрологическая аттестация) проводятся метрологической службой в соответствии с локальной поверочной схемой (ЛПС). ЛПС устанавливает порядок передачи единицы длины от рабочего эталона через образцовые меры к измерительным рулеткам. При этом измерительные рулетки 1 класса поверяются с помощью образцовой меры 2

Таблица 9

Длина шкалы, м	Предельное отклонение действительной длины (в мм) в зависимости от класса рулеток		
	1	2	3
20	1,2	2,0	4,0
30	—	3,0	5,0
50	2,0	5,0	7,0

разряда (20 м ленты), а измерительные рулетки 2 и 3 классов — образцовой мерой 3 разряда (ленты от 10 до 50 м).

Для компарирования рабочих рулеток в условиях шахты в качестве образцовых мер удобно использовать специальные

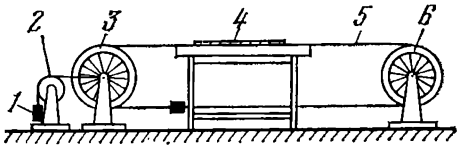


Рис. 18. Компаратор Ф. Ф. Павлова:
1 — груз; *2* — блок; *3* — подвижное колесо; *4* — стандартный метр; *5* — лента рулетки; *6* — неподвижное колесо

комнатные, стенные и полевые компараторы, имеющие разную конструкцию. Так например, широко применяется компаратор, предложенный проф. Ф. Ф. Павловым (рис. 18). Он позволяет компарировать каждый метровый интервал поверяемой рулетки путем непосредственного сравнения со стандартным метром, уложенным на устойчивом столе, в следующей последовательности.

Рядом с рулеткой, растянутой на два колеса, на столе располагают стандартный метр, по которому берут несколько отсчетов против левого (правого) края двух смежных метровых ее делений. После сравнения одного метрового интервала рулетка передвигается на метр и процедура повторяется для смежного интервала. Общая длина рулетки находится как сумма длин ее отдельных интервалов. Достоинством этого компаратора является возможность оценки длины каждого метра рулетки, что позволяет учитывать неравенства метровых интервалов на различных ее частях. Для придания натяжения рулетки в 980 Н подвижное колесо должно удерживаться грузом в 20 кг.

Стенной компаратор состоит из четырех знаков на одном уровне в кирпичной стене здания или в бетонной стенке капитальной горной выработки. Интервалы между знаками должны

быть на 20—40 мм меньше 10 и 20 м. После закладки знаков расстояния между их центрами тщательно измеряют инварной лентой с относительной погрешностью не более 1/50000. Компаратор позволяет эталонировать рулетки длиной 10, 20, 30 и 50 м.

Расстояния между соответствующими центрами компаратора при этом измеряются многократно эталонной мерой на весу с натяжением 980 Н. Фиксируется температура и устанавливается стрела провеса; в среднее значение измеренного расстояния вводится поправка за провес, затем вычисляют поправку за компарирование $\Delta L_к$ на всю длину рулетки

$$\Delta L_к = L_б - L, \qquad (I.3.11)$$

где $L_б$, L — истинная и измеренная рулеткой длина базиса компаратора, м.

Поправка за компарирование $\Delta L_к$ в длины сторон полигона пропорциональна длине отрезка рулетки, используемого при измерении (без учета неравенства метровых интервалов в разных частях рулетки).

Полевой компаратор организуют на ровном участке местности путем закладки двух реперов с марками на расстоянии 100—200 м один от другого. Расстояние между штрихами марок (базис) многократно измеряется компарированными инварными или стальными проволоками не грубее 1/50000.

При проверке рабочих рулеток на полевом компараторе базис последнего многократно измеряется ими и вычисляется средняя длина базиса. Сравнив ее с длиной базиса, измеренной проволокой, определяют длину проверяемой рулетки, а также погрешность длины всей рулетки, затем вводят поправку за компарирование в измеренное расстояние.

Стальные рабочие рулетки поверяются на компараторах с относительной погрешностью не более 1/20 000.

В практике поверки рабочих рулеток, применяемых при подземной теодолитной съемке, часто осуществляют их компарирование с помощью рулетки, имеющей паспорт (метрологическую аттестацию) не используемой в измерениях.

Сравнение поверяемой рабочей рулетки с компарированной выполняется на полотне запасных железнодорожных путей. Для этого обе рулетки укрепляются на шпалах между рельсами таким образом, чтобы нули их совпали, и натягиваются с одинаковой силой с помощью динамометров. Затем производятся измерения миллиметровой линейкой отклонений штрихов поверяемой рулетки от соответствующих компарированной через каждый метр; отсчеты производятся до 0,1 мм. Отклонениям придается знак «плюс», если поверяемый отрезок больше эталона, или «минус», если он меньше эталона. Отклонения измеряются не менее двух раз. В паспорте поверки

указывают дату его составления и номер рулетки, использованной в качестве эталона.

В подземных теодолитных ходах измерение длин сторон производится «на весу» с сохранением при этом постоянного натяжения рулетки и выполняется одновременно с угловыми измерениями.

После измерения горизонтального и вертикального углов, например в точке A (рис. 19, *а*), трубу теодолита закрепляют, а сторону AB разбивают промежуточными отвесами *1*, *2* и *3* на интервалы, каждый из которых меньше длины рулетки. При этом головки грузов промежуточных отвесов размещают на линии визирного луча с углом наклона δ. В горизонтальных

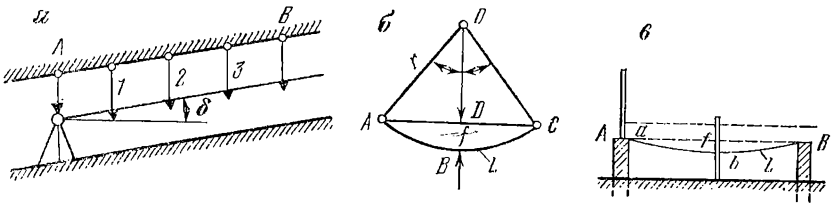


Рис. 19. Схемы измерения длины «на весу» (*а*) и определения влияния провеса (*б*), стрелы провеса (*в*)

выработках разбивка сторон на отдельные интервалы производится по горизонтальному лучу визирования. При этом максимальное допустимое отклонение в плане и по высоте от визирного луча не должно быть более 10 см при длинах интервалов более 20 м.

Длины интервалов измеряются в прямом и обратном направлениях. При этом процедура измерений остается одинаковой. Рассмотрим ее в прямом направлении. Рулетка натягивается между отвесом A и промежуточным отвесом *1* с заданным рабочим натяжением. Передний наблюдатель берет отсчет метров, дециметров и сантиметров, совмещая (без касания) соответствующий штрих сантиметрового деления со шнуром отвеса *1* и в момент совмещения говорит «есть». По этой команде задний наблюдатель берет отсчет сантиметров и миллиметров по начальному дециметровому делению рулетки, соответствующий верхнему центру теодолита. Для контроля каждый интервал измеряется два-три раза при перемещении рулетки в пределах нескольких сантиметров. Длина измеренного интервала l равна

$$l = П - З, \qquad (I.3.12)$$

где П — отсчет (в м и см) у переднего промежуточного отвеса; З — отсчет (в см и мм) против заднего промежуточного отвеса. Результаты линейных измерений заносят в журнал (табл. 10).

Таблица 10

Журнал линейных измерений

Место работы уклон № 3
Дата 20.02.87 Исполнитель *Иванов С. Ю.*
Мерный прибор ЗПК 3 — 30АУТ/10

Интервал	Отсчеты по рулетке		П — З, м	Длина интервала, м	Температура, °С
	П, м	З, м			
	18,94	0,003	18,937		
	18,95	0,012	18,938	18,938	12
25—*а*	18,96	0,020	18,948		
	19,75	0,005	19,755		
а—*б*	19,77	0,014	19,756	19,756	
	19,78	0,022	19,758		
	15,66	0,023	15,637		
б—26	15,68	0,041	15,639	15,638	
	15,69	0,052	15,638		
25—26				54,332	

Допустимая разность двух измерений одной и той же стороны в подземных опорных сетях не должна превышать 1/3000 ее длины, а в теодолитных ходах съемочных сетей — 1/1000.

Поправки к измеренным длинам. Исправленная наклонная длина стороны, измеренная стальной рулеткой, вычисляется путем введения в результат линейных измерений поправок, а именно:

$$l = l_{\text{и}} + \Delta_{\text{к}} + \Delta_t + \Delta_f, \qquad \text{(I.3.13)}$$

где $l_{\text{и}}$ — измеренная наклонная длина стороны, м; $\Delta_{\text{к}}$, Δ_t, Δ_f — поправки соответственно за компарирование рулетки, температуру и провес, м.

О необходимости введения поправки за компарирование рулетки было отмечено выше. Поправку $\Delta_{\text{к}}$ при этом находят по формуле

$$\Delta_{\text{к}} = l_{\text{и}}(k - 1). \qquad \text{(I.3.14)}$$

При этом k — коэффициент компарирования рулетки при температуре компарирования +20 °С, определяемый из уравнения

$$k = k_j + \alpha(20^\circ - t_j), \qquad \text{(I.3.15)}$$

где α — коэффициент линейного расширения стали (для углеродистой $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$, а для нержавеющей $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$); k_j — коэффициент компарирования, полученный в результате измере-

ния рулеткой эталонной длины линий при температуре воздуха t_j

$$k_j = \frac{L}{l_к + \Delta_f}, \qquad (I.3.16)$$

где L — длина компаратора, $l_к$ — измеренная длина компаратора.

Поправка за температуру Δ_t вычисляется по формуле

$$\Delta_t = \alpha l_н (t_i - 20°), \qquad (I.3.17)$$

где t_i — температура воздуха во время измерения в шахте. Δ_t учитывается, если $t_i - 20° > 5°$.

Поправка за провес рулетки при измерении длин сторон «на весу» (с учетом несимметрии цепной линии) всегда отрицательна и вычисляется для каждого интервала (см. рис. 19, *а*) по формуле

$$\Delta_f = \Delta_f' \cos^2\delta, \qquad (I.3.18)$$

где Δ_f' — поправка за провес для горизонтального интервала, м; δ — угол наклона стороны.

Значение Δ_f' может быть вычислено по одной из следующих формул, основанных на геометрических соотношениях и положениях механики:

$$\Delta_f' = -\Delta_{f_L}' \left(\frac{l_i}{L}\right)^3; \quad \Delta_f' = -\frac{q^2 l_i^3}{24P^2}; \quad \Delta_f' = -\frac{8f^2}{3l_i}, \qquad (I.3.19)$$

где Δ_{f_L}' — поправка за провес всей рулетки, м; l_i — длина интервала стороны, для которой определяется поправка, м; f — стрела провеса рулетки при измерении горизонтальной линии, м; q — масса одного метра полотна рулетки, кг/м; P — натяжение рулетки, Н.

Рассмотрим определение Δ_{f_L}' (рис. 19, *б*). Будем иметь $f = OB - OD = r - r\cos\alpha = r(1 - \cos\alpha)$, вследствие малости угла α

$$1 - \cos\alpha = 2\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2},$$

тогда $f = \frac{r\alpha^2}{2}$. Кроме того, $L = 2r\alpha$; $L_o = AC = 2r\sin\alpha$.

Следовательно, поправка Δ_{f_L}' будет равна

$$\Delta_{f_L}' = 2r\left(\alpha - \alpha + \frac{\alpha^3}{6}\right) = \frac{r\alpha^3}{3}.$$

Ограничившись первыми двумя членами разложения $\sin\alpha$ в ряд, получим $\sin\alpha=\alpha-\frac{\alpha^3}{6}$, следовательно,

$$\Delta'_{f_L}=2r\left(\alpha-\alpha+\frac{\alpha^3}{6}\right)=\frac{r\alpha^3}{3} \qquad (I.3.20)$$

или

$$\Delta'_{f_L}=\frac{r^2\alpha^4}{3r\alpha}=\frac{4f^2}{3r\alpha}=\frac{4f^2}{3L/2}=\frac{8f^2}{3L}.$$

Из теоретической механики известно, что $f=\frac{qL^2}{8P}$. Тогда, формула (I.3.20) преобразуется к виду

$$\Delta'_{f_L}=\frac{8}{3L}\cdot\frac{q^2L^4}{64P^2}=\frac{q^2L^3}{24P^2}. \qquad (I.3.21)$$

Если в измерении участвует отрезок l_i той же рулетки и при том же натяжении P, тогда

$$\Delta'_f=\frac{q^2l_i^3}{24P^2};\quad \Delta'_f:\Delta'_{f_L}=\frac{q^2l_i^3}{24P^2}:\frac{q^2L^3}{24P^2}.$$

Окончательно получим выражение, соответствующее первой формуле (I.3.19), т. е.

$$\Delta'_f=\Delta'_{f_L}\frac{l^3}{L^3}.$$

Практически поправка за провес рулетки определяется следующим образом. Опытным путем на земной поверхности с натяжением, равным применяемому в шахте при измерении длин сторон, находится стрела провеса f для всей рулетки (рис. 19, *в*). Колышки A и B устанавливаются с помощью нивелира на одном уровне, поэтому стрела провеса f рулетки вычисляется из выражения

$$f=b-(a+c), \qquad (I.3.22)$$

где a, b — отсчеты по рейке, установленной на колышке A и на середине пролета, а отсчет c берется на глаз по рейке в последнем положении — в точке касания с рулеткой. Далее по формуле (I.3.20) вычисляют значение Δ'_{f_L}, а затем по формуле (I.3.19) — поправку Δ'_f.

Поправки $\Delta_к$, Δ_t, Δ_f в измеренные длины сторон вводят при построении подземных опорных сетей и сетей съемочного обоснования, используемого при пополнении опорных сетей, а также при маркшейдерском обеспечении решения ответственных инженерных задач.

Горизонтальное проложение S_B исправленных наклонных сторон вычисляется по формуле

$$S_в = l \cos \delta, \tag{I.3.23}$$

где δ — угол наклона стороны.

В ряде случаев необходимо получать исправленное горизонтальное проложение S_B, вычисляемое по формуле [1]

$$S = S_B + \Delta_н + \Delta_y, \tag{I.3.24}$$

где $\Delta_н$, Δ_y — поправка соответственно за приведение к поверхности референц-эллипсоида и на плоскость Гаусса.

Поправку $\Delta_н$ находят по формуле

$$\Delta_н = H_{S_B}/1000R, \tag{I.3.25}$$

где H_{S_B} — абсолютная высота измеряемой стороны S_B, м; R — средний радиус Земли (R=6370 км).

Поправку Δ_y получают из выражения

$$\Delta_y = \frac{S_B}{2}\left(\frac{y}{R}\right)^2, \tag{I.3.26}$$

где Δ_y — ордината средней точки данной стороны хода; S_B — длина горизонтальной проекции стороны относительно уровня моря.

Поправки $\Delta_н$ и Δ_y вводятся в том случае, если их сумма превышает 1/15000 длины измеренной линии.

Вычисление поправок и исправление значений наклонных длин сторон и горизонтальных проложений записываются в специальный журнал.

I.3.8. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СТОРОН ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ И ОПТИЧЕСКИМИ ДАЛЬНОМЕРАМИ

Измерение сторон светодальномерами. В последние годы в практике маркшейдерских работ для измерения расстояний, превышающих 50 м, все шире применяются светодальномеры, обеспечивающие высокую точность и производительность измерений. Измерение расстояний с помощью электромагнитных волн основано на постоянстве скорости их распространения в атмосфере и сводится к определению времени t прохождения какого-либо расстояния электромагнитной волной.

При измерении расстояний светодальномером электромагнитная волна проходит измеряемое расстояние D дважды: от

[1] Вывод этой формулы приводится в курсе высшей геодезии.

передатчика до отражателя; от отражателя до приемника, который конструктивно объединен с передатчиком, т. е.

$$D = Ct/2, \tag{I.3.27}$$

Непосредственное измерение времени t с требуемой точностью связано с большими трудностями, поэтому в фазовых дальномерах время определяют косвенным методом через частоту f и фазу φ колебаний, связанных зависимостью

$$t = \frac{\varphi}{2\pi f}. \tag{I.3.28}$$

На основании этих выражений

$$D = \frac{C}{2f}\frac{\varphi}{2\pi}. \tag{I.3.29}$$

В дальномерах с плавным изменением частоты измеряют частоту, при которой разность фаз принятого и генерируемого колебаний составляет строго целое число фазовых циклов. Расстояние определяют по формуле

$$D = \frac{C}{2f}N. \tag{I.3.30}$$

Значение N определяют из измерений на двух или нескольких частотах, при которых $\varphi = 2\pi N$.

Разработка и серийный выпуск различных типов светодальномеров осуществляется в основном в таких странах, как Швеция, Швейцария, ФРГ, США, ГДР, Великобритания, Япония и СССР.

В соответствии с ГОСТ 23543—79 предусмотрены три группы светодальномеров в зависимости от назначения, дальности и точности:

Г — светодальномеры, применяемые при построении государственной геодезической сети;

П — светодальномеры, применяемые для решения задач прикладной геодезии и маркшейдерии;

Т — светодальномеры, применяемые для измерений в геодезических сетях сгущения и для выполнения топографических съемок.

К группе П относятся следующие светодальномеры: МА 100 фирмы «Теллурометр» (Великобритания); МСД1М (СССР); Мекометр 3000 фирмы «Керн» (Швейцария); ДК001 (СССР), Эльди 2 фирмы «Оптон» (ФРГ).

Современный уровень развития электронно-оптической промышленности позволяет выпускать светодальномеры малой массы, высокой точности и производительности.

Подробно с конструкцией и принципами работы светодальномеров студенты знакомятся в курсе «Маркшейдерско-геодези-

ческие инструменты». Поэтому рассмотрим только методику измерения линий светодальномером СТ5 «Блеск».

Измерение длины линии светодальномером СТ5 «Блеск». На концах измеряемой линии с помощью оптического центрира или нитяного отвеса центрируются светодальномер (рис. 20)

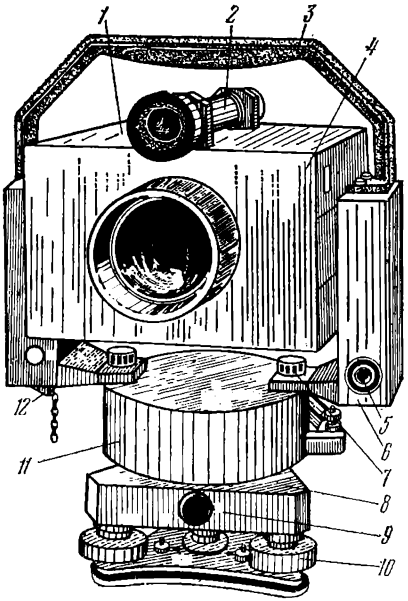


Рис. 20. Светодальномер СТ5 «Блеск»:

1 — крышка; *2* — зрительная труба; *3* — ручка; *4* — головка; *5* — разъем; *6* — стойка; *7* — закрепительный винт; *8* — подставка; *9* — закрепительный винт основания; *10* — подъемный винт; *11* — основание; *12* — разъем для подключения регистрирующего устройства

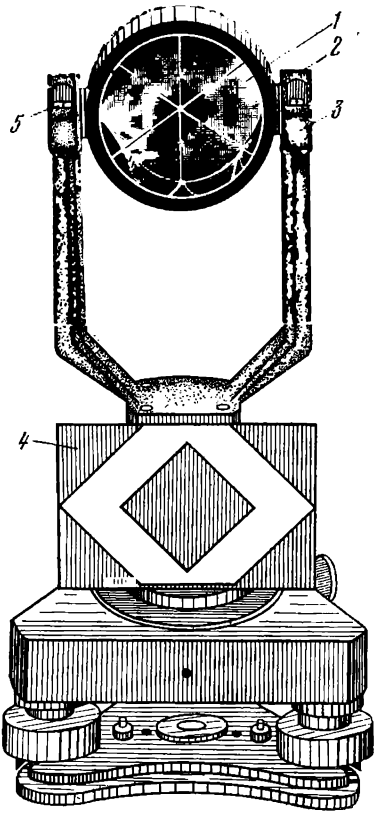


Рис. 21. Однопризменный отражатель:

1 — оправа призмы; *2* — накладка; *3* — стойка; *4* — марка; *5* — винт

и отражатель (рис. 21). Перед началом работы необходимо проверить источник питания светодальномера и установку контрольного отсчета. Для этого, после подключения источника питания включить светодальномер в режим «СЧЕТ», «КОНТРОЛЬ» (рис. 22) и снять показание стрелочного прибора. При показаниях менее 60 мкА (что соответствует напряжению источника питания 6,0 Вт) источник питания следует заменить. Далее необходимо перевести переключатель в положение «ТОЧНО», надеть на объектив блок контрольного отсчета, вхо-

дящий в комплект прибора, установить уровень сигнала и взять несколько отсчетов по табло. Если показания табло отличаются от значения контрольного отсчета, указанного в паспорте светодальномера, установить требуемые показания вращением ручки установки контрольного отсчета.

Навести светодальномер на отражатель с помощью зрительной трубы. Включить светодальномер в режим «НАВЕДЕНИЕ» (переключатель в положение «ТОЧНО») и, изменяя ори-

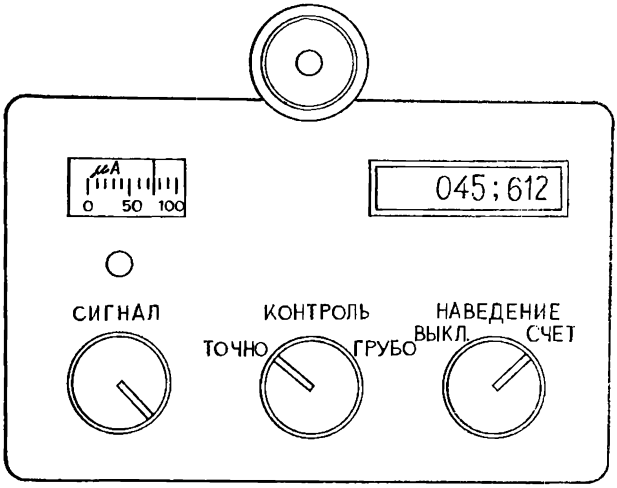


Рис. 22. Табло светодальномера СТ5 «Блеск»

ентирование светодальномера на отражатель, добиться максимума сигнала, одновременно устанавливая ручкой «СИГНАЛ» уровень сигнала в середине рабочей зоны.

Установить переключатель в положение «СЧЕТ» и взять три отсчета измеряемого расстояния в режиме «ТОЧНО» и записать их в журнал (табл. 11).

Для введения поправок в измеренные расстояния необходимо определить температуру и атмосферное давление вдоль трассы измерения.

Повторить еще два раза наведение на отражатель по максимуму сигнала и после каждого наведения взять по три отсчета в режиме «ТОЧНО».

Перевести переключатель в положение «КОНТРОЛЬ» и взять по табло отсчет для определения поправки k_f, учитывающей температурное изменение частоты кварцевого генератора. По окончании измерений выключить светодальномер (переключатель в положении «ВЫКЛ»).

Таблица 11

СТБ «Блеск» № 15627 — Наблюдатель: *Николаев И.*
Измеряемая линия № 7—8 — Помощник: *Сизов Н.*
$i = 1{,}70$ м — 14.07.87 г.
$v = 1{,}53$ м — Погода: пасмурно
Метеоданные: светодальномер $t = +9{,}5°$ С $p = 103{,}0$ кПа
отражатель $t = +8{,}5$ °С $p = 100{,}0$ кПа

$t_{ср} = +9{,}0°$ С $p_{ср} = 101{,}5$ кПа

Отсчет			
1-е наведение	2-е наведение	3-е наведение	
124,573	124,572	124,571	$D_т = 124\,573{,}4$
124,577	124,576	124,574	$k_п = -0{,}9$
124,574	124,574	124,570	$k_f = +0{,}3$
			$\Delta D_ц = -5$
			$D_и = 124\,568$

Окончательный результат измерения расстояния $D_и$ (в мм) вычисляется по формуле

$$D_и = D_т + 10^{-5} D_т (k_п + k_f) + \Delta D_ц, \qquad (I.3.31)$$

где $D_т$ — среднее арифметическое значение отсчетов измеряемого расстояния; $k_п$ — поправочный коэффициент, учитывающий метеоусловия; k_f — поправочный коэффициент, учитывающий температурное изменение частоты кварцевого генератора; $\Delta D_ц$ — поправка за циклическую погрешность.

Значение коэффициента $k_п$ определяется по номограмме или таблице в паспорте светодальномера, используя измеренные значения температуры воздуха и атмосферного давления.

Значения коэффициента k_f и поправки $\Delta D_ц$ определяются по графику в паспорте светодальномера.

Измерение длины сторон оптическими дальномерами. Измерение длины сторон теодолитного хода можно наряду с рулеткой, светодальномером выполнять и оптическими дальномерами. Несмотря на высокую конкуренцию со стороны современных светодальномеров, оптические дальномеры находят применение в труднодоступных и отдаленных районах, где затруднено обслуживание сложных электронных приборов. В нашей стране в настоящее время выпускается три типа дальномеров: Д-2, ДН-8, ДНР-5. Конструктивно оптические дальномеры изготавливаются в двух вариантах: в виде самостоятельного прибора (Д-2) и в виде насадки на зрительную трубу теодолита (ДН-8 и ДНР-5). Приведем основные технические характеристики оптических дальномеров (табл. 12).

Таблица 12

Параметр	Тип дальномера		
	Д-2	ДНР-5	ДН-8
Диапазон измерений, м	40—400	20—120	50—700
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния на 100 м, см	2	5	8
Диапазон работы по углу наклона, (°)	±22	±20	±30
Длины базы дальномерной рейки, м	2	1,5	1,02
Температурный диапазон работы, °С	—30 — +50	—30 — +50	—30 — +50
Масса, кг:			
дальномера	4	0,6	0,6
дальномерной рейки	3,5	1,5	1,5

По принципу действия оптические дальномеры разделяются на дальномеры с постоянным параллактическим углом, например ДНР-5 и на дальномеры с переменным параллактическим углом.

Рассмотрим общий принцип работы оптического дальномера двойного изображения с переменным параллактическим углом (рис. 23). В дальномере перед объективом зрительной трубы *1* прибора, центрированного над точкой *A*, помещена тонкостенная длиннофокусная линза *2*. При совпадении визирной оси трубы и оптической оси линзы изображение точки *M* рейки *R* в поле зрения трубы будет находиться на перекрестии сетки нитей *m*. При перемещении линзы *2* на величину Δ относительно оси зрительной трубы луч *mqM* изменит свое положение, отклонившись на угол β, и в поле зрения трубы будет находиться точка *M'*. Если линзу *2* разрезать по диаметру на две половины, одна из которых неподвижна, а другая пере-

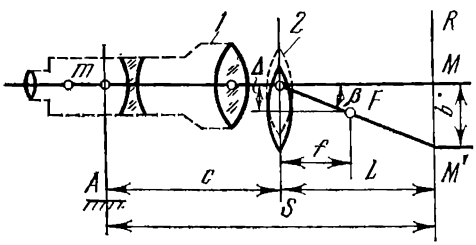


Рис. 23. Схема измерений оптическим дальномером двойного изображения с переменным параллактическим углом

мещается вдоль линии разреза, то в поле зрения трубы можно увидеть два изображения рейки R, с двумя марками M и M' на расстоянии b друг от друга. Линзу 2 перемещают до тех пор, пока изображения марок M и M' не совместятся, при этом с помощью шкалы измеряют величину Δ смещения линзы 2. Таким образом, величина b в дальномере постоянна, а величины Δ и β переменны в зависимости от расстояния от прибора до рейки.

Следовательно, будем иметь

$$\beta = \frac{\Delta}{f}\rho = \Delta k',$$

где f — переднее фокусное расстояние линзы 2; $k' = \rho/f$ — коэффициент перехода от отсчета Δ к величине угла β.

Можно записать

$$S = L + c; \quad L = \frac{b\rho}{\beta},$$

где c — постоянная поправка дальномера.

Окончательно будем иметь

$$S = b\frac{\rho}{\Delta k'} + c = \frac{1}{\Delta}k + c, \tag{I.3.32}$$

коэффициент k определяют на базисе.

В оптическом дальномере двойного изображения с постоянным параллактическим углом перед объективом зрительной трубы геодезического прибора помещен оптический клин, закрывающий половину поля зрения. Точка M рейки в одной половине поля зрения остается на месте, а в другой, закрытой клином, переместится в положение точки M'. Таким образом, в поле зрения зрительной трубы наблюдатель будет видеть два изображения, накладывающиеся одно на другое со смещением на величину b. В дальномере угол β постоянен, величина b — переменная и зависит от расстояния L. Величину b следует измерить. Тогда

$$S = L + c = B\operatorname{ctg}\beta + c. \tag{I.3.33}$$

Для удобства вычислений параметры оптического клина выбирают такими, чтобы $\beta = 34{,}38'$ и $\operatorname{ctg}\beta = 100$. Тогда $S = 100b + c$.

I.3.9. СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ

Одновременно с подземной теодолитной съемкой выполняется съемка подробностей горных выработок (обычно при повторном измерении длин сторон теодолитного хода). При этом особое внимание следует обратить на документацию контуров

(сечений) выработок, служащую контролем их соответствия проектным сечениям (контроль качества горных работ).

Съемка контуров горных выработок заключается в определении положения стенок выработки относительно сторон теодолитного хода. На каждой точке стояния теодолита устанавливается сечение выработки в свету. С этой целью от центра теодолита измеряются тесьмяной или желобчатой рулеткой расстояния влево, вправо, вверх и вниз и записываются в журнал теодолитной съемки (см. табл. 6). В ряде случаев в прямолинейных выработках указанных замеров достаточно.

В случаях более сложной формы выработок при повторном измерении длины стороны объектами съемки подробностей являются изгибы выработки, изменения ее сечения, размеры и

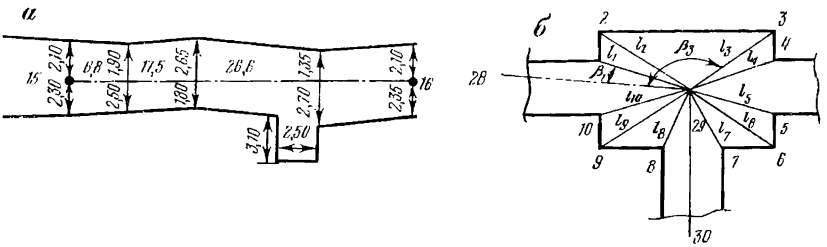


Рис. 24. Съемка подробностей:
а — абрис при способе ординат; *б* — схема измерений полярным способом

положения целиков, печей, гезенков, камер и других выработок, встречающихся по ходу съемки.

Съемка подробностей в горных выработках выполняется известными из геодезии способами: ординат, полярным и угловыми засечками. При съемке вытянутых выработок в основном используется способ ординат. В этом случае по створу стороны хода, например, стороны *15—16* (рис. 24, *а*) растягивают рулетку и измеряют расстояния (ординаты) от стороны хода до стенок выработки. По растянутой рулетке фиксируются расстояния (абсциссы) от младшей вершины теодолитного хода до основания соответствующей ординаты. Результат измерений ординат округляется до 0,05 м, а абсцисс — до 0,1 м.

При сочетании выработок разного назначения, в совокупности дающих в плане сложный контур, съемку подробностей выполняют полярным способом (рис. 24, *б*). Для съемки характерных точек *1*, *2*, ..., *10* пылеотсасывающей камеры в точке *29* хода центрируется теодолит. Затем, установив на горизонтальном круге отсчет равный нулю, визируют на пункт *28*. Закрепив лимб, открепив алидаду, визируют последовательно на точки *1*, *2*, ..., *10* и определяют углы β_i. Одновре-

менно измеряют рулеткой расстояния l_i от точки стояния до перечисленных характерных точек камеры.

Результаты измерений фиксируются в эскизной зарисовке (в абрисе), где указываются характерные параметры, например размеры камер, ширина выработок на сопряжениях и т. п. Абрис составляется, как правило, для каждой стороны хода в отдельности; все зарисовки выполняются тщательно карандашом от руки в журнале теодолитной съемки или в специальных абрисных книжках.

При съемке подробностей в камерах значительной высоты и сложной формы в некоторых случаях необходимо определить положения характерных недоступных точек способом засечек.

Кроме отображения контуров выработки с помощью съемки подробностей, выявляются горногеологические условия разработки и размещение показателей залежи: тектонические разрывы, подлежащие индивидуальной документации, смена пород кровли, параметры трещиноватости горного массива на участке, характеризуемые средними их значениями, структура и мощность залежи, опорные определения элементов залегания геологических контактов, места взятия проб и другие показатели, указываемые на основных маркшейдерских чертежах.

Журнал подземной теодолитной съемки — это важнейший первичный технический и юридический материал, служащий основой для составления маркшейдерской графической документации на горном предприятии.

Журнал подземной теодолитной съемки и специальные абрисные книжки следует вести внимательно и аккуратно с обязательным зачеркиванием неверных результатов измерений.

1.3.10. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОДЗЕМНОЙ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

В задачу обработки результатов теодолитной съемки входят вычисление координат пунктов теодолитных ходов и оценка точности их определения на соответствие требованиям, предъявляемым к подземным опорным и съемочным плановым сетям.

Камеральная обработка теодолитной съемки включает:

контроль вычисления средних значений измеренных углов;

вычисление горизонтальных проложений сторон хода;

определение угловой невязки хода и при допустимой ее величине распределение невязки поровну в измеренные углы, вычисление дирекционных углов;

вычисление приращений координат, линейной невязки хода и при ее допустимой величине распределение невязки пропорционально в длины сторон;

определение исправленных координат точек хода.

Вычисления средних значений измеренных углов выполняют дважды, затем сравнивают их с результатами измерений, в случае обнаружения ошибки ее устраняют.

Обработка измеренных длин сторон производится в специальном журнале с введением в длины необходимых поправок (см. раздел I.3.7).

Проверенные средние значения углов и горизонтальные проложения длин сторон записывают в ведомости вычисления координат. Фактическую угловую невязку f_β находят как разность между суммой измеренных углов $\Sigma\beta_i$ и теоретической суммой углов в полигоне по приведенным формулам в зависимости от формы полигона и способа его привязки:

последовательно измеренные на одной точке углы, заключенные между двумя известными сторонами

$$f_\beta = \Sigma\beta_i - (\alpha_1 - \alpha_2), \tag{I.3.34}$$

где α_1 и α_2 — дирекционные углы известных сторон;

замкнутый полигон

$$f_\beta = \Sigma\beta_i \pm 180^\circ (n-2), \tag{I.3.35}$$

где n — число измеренных углов; знак «+» — при измерении внешних углов полигона, «—» — при измерении внутренних углов;

разомкнутый полигон (измерены левые по ходу углы)

$$f_\beta = 180^\circ n + \Sigma\beta_i - (\alpha_к - \alpha_н) - 360^\circ K, \tag{I.3.36}$$

где $\alpha_н$, $\alpha_к$ — дирекционные углы соответственно исходной и конечной стороны, K — целое число или нуль. В висячем полигоне, пройденном дважды, сравнивают сумму правых и левых углов.

Фактическая угловая невязка полигона не должна превышать допустимой величины. В этом случае она распределяется поровну на каждый измеренный угол с обратным знаком.

Допустимая угловая невязка f_β в полигонах определяется по формулам:

замкнутые полигоны и полигоны, проложенные между исходными сторонами

$$f_\beta = 2m_\beta \sqrt{n}; \tag{I.3.37}$$

висячие ходы, пройденные дважды

$$f_\beta = 2m_\beta \sqrt{n_1 + n_2}; \tag{I.3.38}$$

секции полигонов и в разомкнутые полигоны, проложенные между гиросторонами

$$f_\beta = 2\sqrt{2m_\alpha^2 + nm_\beta^2}, \tag{I.3.39}$$

Таблица 13

Показатель точности	Опорная сеть	Съемочная сеть
Погрешность ориентирования подземной съемки, угл. мин	не более 1	—
Средняя квадратическая погрешность измерения углов:		
горизонтальных, угл. с	20	40
вертикальных, угл. с	30	60
Допустимые расхождения между двумя измерениями сторон:		
стальной рулеткой	1/3000	1/1000
светодальномером, см	не более 3	—
Предельная длина хода, км	—	1,0

где m_β — средняя квадратическая погрешность угла; m_α — средняя квадратическая погрешность дирекционного угла гиростороны; n — число углов в полигоне, n_1+n_2 — число углов в первом и втором ходах.

Требования к точности измерений в подземных маркшейдерских плановых сетях (табл. 13) определяются Инструкцией по производству маркшейдерских работ.

Если фактическая угловая невязка превышает указанный допуск, углы хода должны быть измерены вновь.

Дирекционный угол каждой последующей стороны хода вычисляют по дирекционному углу предыдущей стороны и измеренному левому углу (рис. 25, *а*) по известной из геодезии формуле

$$(BC)=(AB)\pm 180^\circ+\beta_л, \qquad (I.3.40)$$

где (AB) и (BC) — соответственно дирекционные углы предыдущей и последующей сторон хода; $\beta_л$ — измеренный левый по ходу угол полигона.

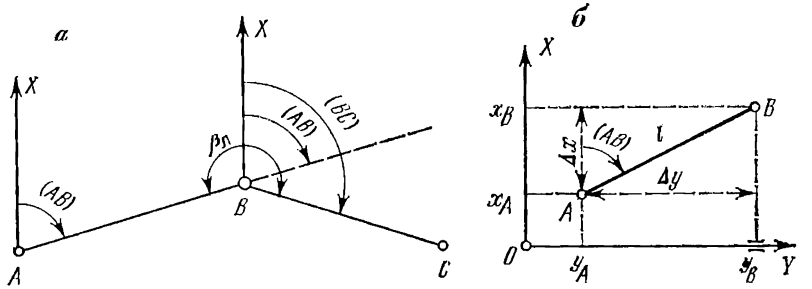


Рис. 25. Схемы определения дирекционных углов (*а*) и координат пунктов теодолитного хода (*б*)

Так как угловая невязка распределена, то в результате вычисления дирекционных углов хода должен быть получен безошибочный исходный дирекционный угол в замкнутых полигонах или дирекционный угол конечной исходной стороны в разомкнутом полигоне, что служит контролем вычислений.

Вычисления приращений координат Δx, Δy (рис. 25, *б*) пунктов полигона выполняются по формулам

$$\Delta x = l\cos(AB); \quad \Delta y = l\sin(AB), \tag{I.3.41}$$

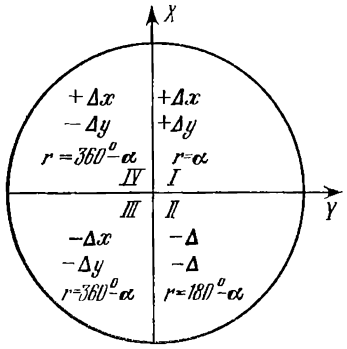


Рис. 26. Румбические углы и приращения координат в различных четвертях

где l — горизонтальное проложение стороны хода.

При вычислении по формулам (I.3.41) с использованием таблиц тригонометрических функций дирекционные углы разных четвертей выражаются через румбические углы r (рис. 26). Приращения координат имеют знаки, определяемые дирекционным углом стороны; для контроля вычислений приращений координат можно воспользоваться выражениями:

$$\Delta y = \Delta x \operatorname{tg} r; \quad \Delta x = \Delta y \operatorname{ctg} r. \tag{I.3.42}$$

В замкнутых ходах и ходах, пройденных дважды или проложенных между двумя исходными пунктами, после определения приращений координат их суммированием вычисляют линейные невязки f_x, f_y по координатным осям и находят общую линейную невязку f_l:

$$f_l = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \tag{I.3.43}$$

Относительную линейную невязку хода f_o получают по формуле

$$f_o = f_l / P, \tag{I.3.44}$$

где P — периметр хода.

В случае допустимой величины относительной линейной невязки хода невязки f_x и f_y распределяются с обратными знаками пропорционально длине каждой стороны, затем вычисляются исправленные значения приращений Δx, Δy и координаты пунктов полигона.

Линейные относительные невязки полигонов в опорных сетях не должны превышать следующих значений:

замкнутые полигоны	1/3000
разомкнутые полигоны	1/2000
дважды пройденные полигонометрические ходы (без предварительного уравнивания углов)	1/2000

Абсолютная невязка в разомкнутых ходах (при длине хода 500 м) не должна превышать 20 см; в полигонометрических ходах, разделенных на секции и примыкающих к исходному пункту — 0,8 мм.

Линейные относительные невязки в теодолитных ходах съемочных сетей должны быть не более:

замкнутые теодолитные ходы	1/1500
разомкнутые ходы	1/1000
дважды проложенные ходы	1/1000
соединительные ходы	1/1000

Вычисления приращений и координат выполняют с точностью до трех знаков после запятой (до мм). Для обеспечения указанной точности значения тригонометрических функций должны быть определены до пятого знака после запятой. В съемочных сетях значения координат пунктов можно округлять до 1 см, а дирекционных углов до 10″.

Уравнивание полигонометрических и теодолитных ходов выполняют раздельно, т. е. сначала уравнивают угловые измерения, затем приращения координат.

Уравнивание проложенных дважды висячих ходов заключается в определении средних значений дирекционных углов общих сторон и координат общих пунктов (участки хода между общими пунктами уравнивают как отдельные ходы).

Уравнивание систем полигонометрических ходов и вычисление погрешностей определения положения пунктов производится в основном на ЭВМ по программам, реализующим раздельное уравнивание дирекционных углов и координат.

В журнале вычисления должны быть указаны: название горной выработки, дата выполнения съемки, номер и страницы журнала, в котором велись записи по съемке; журнал должен быть снабжен схемой или абрисом снимаемых горных выработок.

1.3.11. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМОК

Маркшейдерские измерения (съемки) выполняют бригадой, состоящей из маркшейдеров и съемщиков (горнорабочих) маркшейдерского отдела горного предприятия, а также студентов

(эпизодически), проходящих учебную или производственную практику. Отдельные виды несложных работ выполняются съемщиками самостоятельно.

Производство маркшейдерских съемок связано с пребыванием и передвижением в условиях повышенной опасности, для которых характерны: стесненность и ограничения в выборе мест закрепления пунктов и установки приборов; разнообразие условий и сложность измерений; постоянное перемещение рабочих мест и значительное удаление исполнителей друг от друга; работа со сложными высокоточными приборами.

Безопасность работ в указанных условиях обеспечивается при строгом соблюдении общих правил поведения людей в шахте и мер предосторожности, связанных со спецификой выполнения работ. С общими правилами поведения в подземных условиях студенты знакомятся в курсе «Техника безопасности и производственная санитария», а также при оформлении на учебную и производственную практики.

К мерам безопасности, связанным со спецификой подземных съемок, следует отнести выполнение следующих требований [2].

1. В удаленных, редко посещаемых людьми выработках, а также в выработках с повышенной опасностью (неудовлетворительное состояние, плохая вентиляция, интенсивное движение транспорта и т. п.) съемки должны производиться под непосредственным руководством участкового (или главного) маркшейдера, который имеет газоопределитель.

2. В глухих забоях съемка может выполняться только при работающем вентиляторе частичного проветривания и нормальном состоянии воздушного става. Особую осторожность следует проявлять при отсутствии в забое проходчиков; на газовых шахтах заходить в такой забой и производить съемку разрешается только после измерения содержания металла с помощью газоопределителя.

3. В выработках, оборудованных концевой (или бесконечной) откаткой, а также на их приемно-отправительных площадках, съемка разрешается под непосредственным руководством маркшейдера после полной остановки транспорта. Подъемная машина (лебедка) должна быть выключена и заблокирована; о работе в указанных выработках должны быть оповещены все службы участка. Возобновление работы транспортных средств разрешается после личного уведомления маркшейдера о выходе из выработки всех исполнителей съемки. Съемку в выработках с концевой откаткой рекомендуется производить в нерабочие дни или смены.

4. При съемках в выработках, оборудованных конвейерной доставкой, установку приборов и измерения следует производить на стороне, отведенной для прохода людей.

5. При съемках в крутопадающих выработках необходимо особое внимание уделять предотвращению падения кусков породы, приборов и других предметов.

6. Маркшейдерские пункты следует закреплять в безопасных местах. Перед закреплением пункта следует осмотреть кровлю и убедиться в отсутствии нависающих глыб породы и в надежности крепления выработки. Пункты по возможности закрепляются в стороне от рельсовых путей и троллейных проводов.

7. Перед установкой прибора (по возможности в стороне от рельсовых путей) необходимо осмотреть кровлю и убедиться в ее безопасном состоянии.

8. В высоких выработках подвеску отвесов следует производить, используя лестницу, избегая касаний отвесом троллейных проводов.

9. Рабочие, освещающие передний и задний сигналы, должны следить за приближением транспортных средств (электровоза, самоходной машины и т. п.) и оповещать об этом работающего у прибора. При размещении прибора вблизи транспортных путей в выработке надо заблаговременно остановить движущийся транспорт, размахивая индивидуальной лампой поперек выработки. При возобновлении движения транспортных средств все измерения должны быть прекращены, а приборы убраны в безопасное место.

10. Следует избегать соприкасания стальной рулетки с троллейными проводами при измерении длин.

11. Нельзя производить измерение длин рулеткой через работающие машины, механизмы и движущийся транспорт.

12. Запрещается закреплять пункты, устанавливать приборы, находиться и производить измерения в зоне действия работающих машин и механизмов. Для выполнения названных операций машины или механизмы должны быть выключены, а пускатели заблокированы.

13. В газовых шахтах запрещается вскрытие и ремонт электронных приборов (светодальномера, гирокомпаса и др.).

14. При съемке очистных забоев закрепление пунктов, установку приборов и измерения необходимо производить в свободном проходе для людей; съемку рекомендуется производить в нерабочую или ремонтную смену.

Изложенные требования, являясь типовыми, не охватывают всех возможных ситуаций и особенностей каждого горного предприятия, ознакомление с которыми должно быть произведено при приеме на работу.

I.4. УГЛОМЕРНАЯ И БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКИ

Угломерная и буссольная съемки базируются на теодолитных подземных ходах, характеризуются пониженной точностью и используются в нарезных и очистных горных выработках, съемка которых необходима для правильного их изображения на МЧ (планах).

На действующем горном предприятии основные требования к выполнению горных работ заложены в проекте отработки шахтного поля. Они реализуются в проектах подготовки и отработки каждого участка и проведения каждой горной выработки в соответствии с планом развития горных работ. В указанных проектах предусматриваются: взаимное пространственное расположение существующих и проектируемых выработок, их линейные размеры, площади сечения, уклоны, элементы систем разработки и т. д. По проекту выработки на маркшейдерский план горных выработок наносится место заложения запроектированных выработок, задается их направление, т. е. решается задача перенесения в натуру предусмотренных проектом геометрических параметров выработок.

Далее выполняется съемка нарезных и очистных выработок, результаты которых отображаются на маркшейдерских планах, вертикальных проекциях и разрезах. Объем и характер работ определяется формой, сложностью залегания полезного ископаемого и применяемой системой разработки. При этом протяженность нарезных и очистных выработок незначительна, поэтому допускается выполнение съемки упрощенными угломерными приборами и инструментами (угломерами, висячей буссолью с полукругом и рулетками). Иногда съемочные работы выполняются теодолитом.

Периодически должен осуществляться контроль за проведением выработок, соблюдением их геометрических параметров. Сроки его выполнения обусловливаются потребностями производства, скоростью подвигания выработок, их состоянием и т. д.

Результаты угломерных и буссольных съемок существенно дополняются периодически выполняемыми замерами горных выработок, имеющими большое значение для горного предприятия. По результатам замеров пополняются детали маркшейдерских планов горных выработок, определяются объемы выполненных работ, а также добыча полезного ископаемого, сведения о которой используются для контроля оперативного учета добычи. Периодичность замеров устанавливается в соответствии с требованиями производства, но, как правило, месячные маркшейдерские замеры производятся на всех горных предприятиях за исключением разрабатывающих месторождения распространенных строительных материалов, на которых замеры могут выполняться реже.

Угломеры представляют собой упрощенные угломерные приборы, основанные на том же принципе действия, что и теодолиты. В разное время создано много моделей угломеров и угломеров-тахеометров. Так, например, на горных предприятиях применялись и отчасти применяются угломеры УН-10, У-3, УК-4, УТГ, УТБ-3. К сожалению, в последние десятилетия мало внимания уделяется совершенствованию угломеров, они без достаточных оснований исчезают из арсенала технического обеспечения маркшейдерских отделов и заменяются теодолитами технической точности.

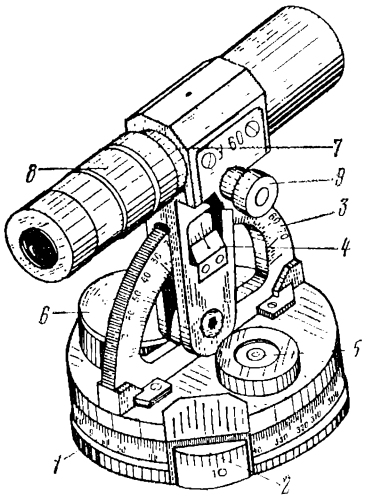


Рис. 27. Угломер У-60

Действующая Инструкция по производству маркшейдерских работ предусматривает в системе маркшейдерских подземных съемок производство угломерных и буссольных съемок нарезных и очистных выработок.

При этом применительно к современным условиям подземной разработки угольных месторождений рекомендуется использование разработанного ВНИМИ и изготовляемого в малых сериях угломера У-60. Харьковский завод точного приборостроения — изготовитель этого прибора, может надежно обеспечить потребности в нем горной промышленности.

Угломер У-60 — оптико-механический прибор (рис. 27), состоит из металлического горизонтального лимба *1* с градусными делениями по внешнему цилиндру. На алидадной части находится верньер *2*, позволяющий снимать отсчеты до 0,1°. Для измерения вертикальных углов используют металлический полукруг *3* с ценой деления 2° и индекс *4*. Для установки прибора в рабочее положение служит сферический уровень *5*, цена деления которого 0,5°. Наведение прибора в горизонтальной плоскости осуществляется специальным устройством с шестеренкой *6*. Зрительная труба *7* с внутренней фокусировкой (фокусирующее кольцо *8*) расположена эксцентренно относительно горизонтальной оси, имеет увеличение $11{,}8^{x}$ и позволяет получать обратное изображение. Закрепительный винт *9* вертикального наведения расположен справа от зрительной трубы.

Вертикальные углы измеряются в диапазоне ±70°. Диа-

метр горизонтального лимба 75 мм, вертикального — 74 мм. Прибор весьма компактен (высота 105 мм, масса прибора 0,47 кг).

В комплект прибора входят: угломер, три установочные (распорные) колонки и две марки. Колонки дают возможность устанавливать на них прибор в очистных выработках на высоте 0,40—0,85 м. Масса колонки — 1,0 кг; марка массой 0,12 кг снабжена установочным уровнем таким же, как и сам угломер.

Измерения выполняются трехштативным способом (с утерянными точками) с автоматическим центрированием. Угломер также может быть установлен на штативе или консоли со стандартным становым винтом, для этого в комплекте имеется специальная переходная бакса.

Перед началом работы угломер и марки устанавливают на колонках, при необходимости на штативах и консолях.

1.4.2. УГЛОМЕРНАЯ СЪЕМКА

Рассмотрим производство угломерной съемки в условиях лавы. Загруженность зоны очистного забоя лавы, запыленность атмосферы и быстрое ее подвигание, а также необходимость документации условий в очистном забое в процессе прокладки угломерного хода и его привязки к пунктам и сторонам теодолитных ходов, проложенных по штрекам, требуют использования угломера, рулетки и в случае необходимости измерения элементов залегания геологических контактов — горного компаса.

Съемочные работы при этом ведутся вдоль забоя лавы между пунктами теодолитных ходов на откаточном и вентиляционном штреках. Вдоль забоя лавы прокладывают угломерный ход (рис. 28) с временно закрепленными или потерянными точками *1, 2, 3, ..., n* между сторонами *18—17* и *34—33* съемочной сети на штреках. Вершины хода располагают вблизи забоя, ход должен иметь вытянутую форму с примерно равными (не менее 20 м) сторонами. Горизонтальные углы измеряют одним приемом. Отсчеты по горизонтальному кругу с помощью верньера берут с точностью до 0,1°. Наклонные длины сторон хода измеряют рабочей рулеткой (удобнее тесьмяной) дважды. Расхождение между двумя измерениями не должно превышать 1/200 измеряемой длины. При использовании угломера-тахеометра производится дальномерное измерение длин. Однако в стесненных условиях, при значительной запыленности забойной части лавы, а также при необходимости определения положения деталей в забое рулеточными замерами, дальномерное измерение длин утрачивает свои преимущества.

Углы наклона сторон хода в связи с внецентренным расположением зрительной трубы угломера измеряются дважды в прямом и обратном направлениях, а угол наклона, отнесен-

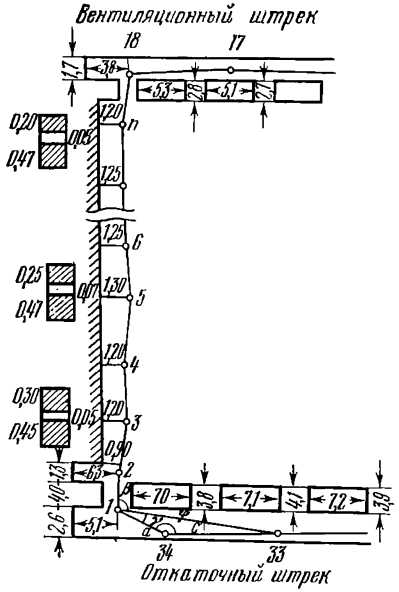


Рис. 28. Схема угломерного хода и абрис съемки подробностей

ный к центру лимба, находится как полусумма измеренных значений.

Примыкание угломерного хода к съемочной сети на штреках производится в зависимости от расположения относительно забоя лавы сторон съемочной сети, являющихся опорными для угломерного хода. На вентиляционном штреке примычный угол измеряется непосредственно на пункте *18*, а на откаточном штреке примычный угол φ на пункте *34* определяется косвенно из решения примычного треугольника *1—34—33* по формуле

$$\varphi = 180° - (1 + a/c)\,\gamma, \qquad (I.4.1)$$

где c — длина опорной стороны *34—33* съемочной сети; a — длина стороны *34—1*.

Съемка деталей забоя ведется при обратном измерении длин сторон угломерного хода методом ординат с составлением абриса в полевом журнале. При этом особое внимание следует обратить на измерение элементов залегания геологических контактов, характеристику структуры залежи (пласта), литологическую характеристику пород кровли и другие детали, требующие документации на маркшейдерских планах горных выработок.

Число зарисовок структуры пласта определяется ее изменчивостью и длиной очистного забоя. Характеристика пород кровли обязательно дается на зарисовках забоев в штреках, в лаве — по мере необходимости.

Точность используемых угломеров и методика угломерной съемки обусловливает следующие характеристики точности угломерных ходов:

средняя квадратическая погрешность измерения углов, мин	
горизонтальных	10
вертикальных	10
предельная длина хода, км	0,3
допустимое расхождение между двумя измерениями сторон	1/200
допустимая относительная линейная невязка хода	1/300

Уравнивание угломерного хода выполняется по известной методике; допускается использование графического способа получения исправленных значений координат пунктов хода.

Приведенные характеристики точности угломерных ходов позволяют использовать графическую накладку угломерного хода на план по дирекционным углам и длинам горизонтальных проложений сторон или по координатам вершин, вычисленных с точностью до 0,1 м.

Угломерная съемка механизированных лав выполняется для определения размеров, формы и расположения выработанного пространства, изучения условий залегания пласта и учета добычи. При этом одновременно осуществляется необходимый контроль положения механизированного комплекса и прямолинейности забоя лавы.

Плановое положение контурных точек забоя очистных выработок относительно пунктов съемочной сети в вентиляционном и конвейерном штреках, полученное по результатам угломерной съемки, определяется с погрешностью, не превышающей 0,8 м.

При угломерной съемке нарезных выработок в точках хода измеряются расстояния от них до стенок, кровли и почвы выработки. Условия выполнения съемок в них более благоприятны для использования угломера-тахеометра.

1.4.3. ПОДВЕСНАЯ БУССОЛЬ С ПОЛУКРУГОМ

Подвесная буссоль с полукругом, несмотря на давность первого применения, используется в современной практике маркшейдерских подземных съемок, хотя и не в качестве основного, но полезного инструмента.

Область ее применения ограничивается съемками небольших по протяженности (нарезных и очистных) горных выработок и подземных горных выработок на мелких разведочных шахтах.

Подвесная буссоль (рис. 29) состоит из круглого корпуса *1* и подвеса *2*, с помощью которого буссоль крепится к шнуру *3* и приводится в горизонтальное положение. Лимб буссоли *4* — азимутальный, с градусными делениями, возрастающими против хода часовой стрелки от 0 до 360°. В центре корпуса закреплена игла *5*, на острие которой вращается чувствительная магнитная стрелка. В нерабочем состоянии буссоли магнитная стрелка закрепляется с помощью арретира.

Перед съемкой следует проверять чувствительность стрелки. Для этого буссоль подвешивают к натянутому шнуру, освобождается арретир и когда стрелка останавливается берут отсчет по любому ее концу. Затем к стрелке подносят предмет, выводят ее из равновесия и, отведя его, после остановки стрелки берут второй отсчет. Если разность отсчетов соответствует точности отсчитывания, то стрелка обладает достаточной чувствительностью. В противном случае устанавливают причины низ-

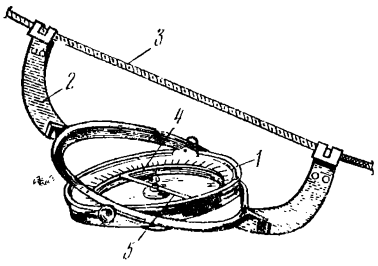


Рис. 29. Подвесная буссоль

кой чувствительности, по своему характеру они могут быть механическими и физическими.

К первым относятся дефекты иглы (погнутость, заусеницы, тупое острие) и подпятника (пыль, трещины на его поверхности), которые устанавливаются в результате осмотра через лупу иглы подпятника. В случае необходимости полируется игла и подпятник или заменяются запасными, после чего буссоль снова подвешивается на шнур для оценки чувствительности.

При недостаточной чувствительности стрелка намагничивается.

Следует иметь в виду, что результаты измерений с помощью буссоли содержат ошибки, которые необходимо учитывать. Эти ошибки вызваны следующими причинами:

несовпадением геометрической оси стрелки с ее магнитной осью;

несовпадением диаметра 0—180° лимба буссоли с вертикальной плоскостью, проходящей через шнур, на котором подвешена буссоль.

Учет указанных индивидуальных погрешностей буссоли при определении дирекционных углов сторон буссольного хода по измеренным магнитным азимутам осуществляется путем определения для данной буссоли и времени съемки величины магнитного склонения δ, которое выполняется следующим образом. С маркшейдерских знаков, соответствующих смежным точкам A и B теодолитной съемки, опускают отвесы и между ними натягивается шнур так, чтобы он слегка касался нитей этих отвесов. Около точки A подвешивают буссоль нулевым делением к точке B. Берут отсчет: по северному концу градусы и доли градуса, а по южному — доли градуса; среднее арифметическое из них представляет собой магнитный азимут $A_м$ стороны AB. Для того, чтобы убедиться в отсутствии магнитных масс, буссоль вторично подвешивают у точки B и повторно измеряют магнитный азимут того же направления. Магнитные азимуты отсчитываются с точностью $\pm 30'$; разность измеренных азимутов не должна превышать $\pm 30'$. Искомое склонение δ равно

$$\delta = \alpha - \alpha_м, \qquad (I.4.2)$$

где α — дирекционный угол направления AB, известный из теодолитной съемки; $\alpha_м$ — измеренный магнитный азимут того же направления.

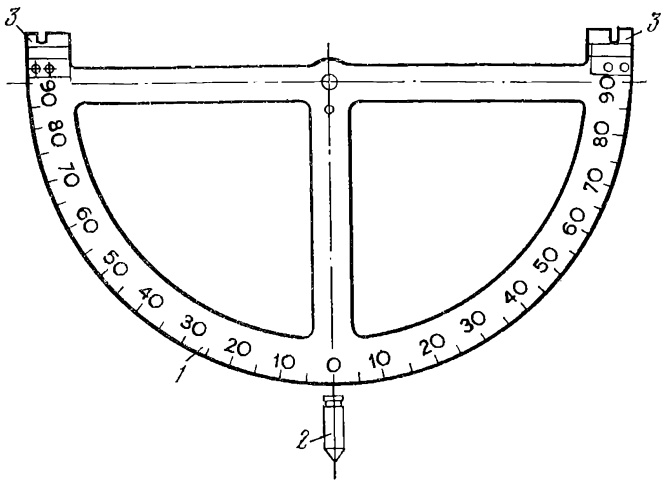


Рис. 30. Подвесной полукруг

Подвесной полукруг (рис. 30) предназначен для измерения углов наклона сторон буссольного хода. Он состоит из лимба *1* с делениями от 0 до 90° в обе стороны, отвеса *2*, нить которого закреплена в центре полукруга, и двух крючков *3* для подвешивания полукруга на шнур. Нить отвеса при любом положении полукруга в вертикальной плоскости направлена отвесно и фиксирует отсчет, равный углу наклона шнура σ. При измерениях необходимо соблюдать следующее:

точка крепления отвеса должна совпадать с центром полукруга;

линия, проходящая через штрихи, обозначенные 90°, должна быть параллельна линии, проходящей через точки подвеса полукруга к шнуру;

угол наклона по полукругу отсчитывается с точностью $\pm 15°$.

Поверка отмеченных выше необходимых условий производится путем измерения углов наклона шнура σ_1 и σ_2 при двух положениях полукруга. При этом:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}; \qquad (I.4.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2},$$

где σ — среднее значение угла без учета указанных ошибок; ε — угол между шнуром и диаметром полукруга 90—90°.

Если $\varepsilon \leqslant 30°$, то угол наклона измеряют при одном положении полукруга. В противном случае за угол наклона σ шнура

принимается среднее из измерений при двух положениях полукруга. При наклоне шнура до 30° полукруг подвешивают на середину шнура. При больших углах наклона шнура в отсчеты по полукругу следует вводить поправки за провес шнура. Однако это не делается, так как при обычном натяжении шнура (79—98 Н) и небольших длинах сторон значения поправок находятся в пределах точности отсчитывания по полукругу.

1.4.4. БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА

Производство буссольной съемки включает следующие этапы:

разбивку буссольного хода в выработке;

измерение магнитных азимутов и углов наклона;

измерение длин и съемки подробностей;

обработку и составление плана буссольной съемки.

Например, необходимо проложить буссольный ход по промежуточному штреку между точками *30* и *13* теодолитного хода в наклонных выработках. Вдоль промежуточного штрека в стойки крепи через каждые 15—20 м забивают гвозди (точки *1, 2, 3, 4*). От точки *30* до пункта *13* (рис. 31, *а*) через точки *1, 2,*

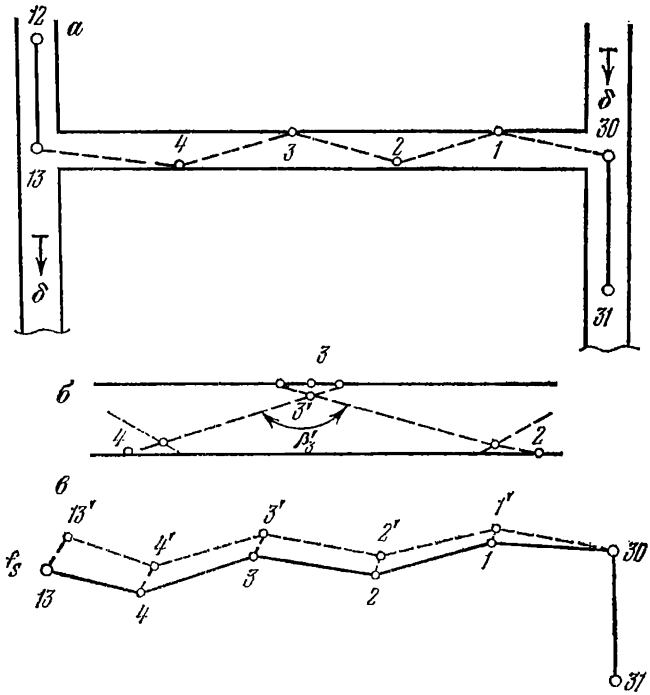


Рис. 31. Схемы буссольной съемки при измерении магнитных азимутов сторон хода (*а*) и углов буссольного хода (*б*) и план буссольного хода (*в*)

3, *4* натягивают шнур толщиной 2—3 мм. На каждом интервале натянутого шнура (*30—1*, *1—2*, ... *4—13*) измеряют магнитные азимуты дважды: в начале и в конце. В условиях нормального магнитного поля разности в повторных измерениях азимута каждого интервала не должны превышать 45′. При необходимости измеряются углы наклона шнуров с помощью подвесного полукруга. Длины сторон измеряются дважды металлической или тесьмяной рулеткой с соблюдением допусков для угломерных съемок.

При повторном измерении длин производится съемка подробностей способом ординат.

Для вычисления дирекционных углов сторон буссольного хода по измеренным магнитным азимутам определяется величина и знак магнитного δ склонения на стороне с известным дирекционным углом перед началом буссольной съемки и после ее окончания.

Приведенный способ прокладки буссольного хода применяется в условиях нормального магнитного поля. Наличие аномального магнитного поля обнаруживается по разностям магнитных азимутов сторон хода из двукратного их измерения.

В случае аномалий магнитного поля подвесная буссоль используется как угломерный прибор. Пусть в районе хода, например, вблизи точки *3* (рис. 31, *б*) обнаружена аномалия. Тогда шнуры, фиксирующие соседние стороны хода *2* и *4*, закрепляются таким образом, чтобы они пересекались (например, в точке *3′*). Буссоль подвешивается на шнурах под точкой *3′* и измеряются азимуты сторон, выходящих из нее с одним и тем же значением магнитного склонения. Следовательно, их разность будет равна величине угла $\beta_{3'}$ хода в пределах точности прибора.

При обработке результатов буссольного хода вычисляются средние значения магнитных азимутов сторон хода и их дирекционные углы. По средним длинам сторон и углам их наклона вычисляются горизонтальные проложения каждой стороны; вычисляются приращения и координаты точек хода с точностью до 0,1 м.

Накладка буссольного хода на план может быть выполнена по координатам или по дирекционным углам сторон и их горизонтальным проложениям. Вследствие неизбежных погрешностей длин и дирекционных углов конечная точка буссольного хода, в данном случае точка *13′* (рис. 31, *в*) не совпадает с точкой *13* теодолитного хода на величину $f_s = 13—13'$, называемую линейной невязкой. Точки буссольного хода займут положения *30*; *1′*; *2′*; *3′*; *4*,; *13′*. Если невязка f_s не превышает 1/200 периметра хода, она распределяется графически, исходя из предположения, что возрастание невязки пропорционально удалению точек хода от исходной точки *30*.

При распределении невязки *13—13′* на всех точках хода откладываются параллельные ей отрезки в сторону, противоположную невязке. Отрезки *1′—1*, *2′—2*, *3′—3*, *4′—4*, определяемые аналитически или графически, фиксируют положение исправленного буссольного хода *30—1—2—3—4—13*. Результаты съемки подробностей накладываются на исправленный ход.

I.5. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СЪЕМКИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Вертикальной съемкой, или нивелированием, называют совокупность измерений, выполненных в определенном порядке, для определения превышений, а затем и высот отдельных точек.

Вертикальные съемки в горных выработках производятся для определения высот точек, закрепленных в горных выработках; построения профилей и вертикальных разрезов выработок; задания направления выработкам в вертикальной плоскости. Все съемки опираются на реперы (пункты высотного обоснования), заложенные в околоствольном дворе и имеющие высоты, определенные в результате вертикальной соединительной съемки. В выработках с углом наклона, не превышающем 5—8°, съемки производятся способом геометрического нивелирования; с бóльшим углом наклона — тригонометрическим нивелированием.

Реперы закладываются в фундаментах стационарных установок, а также в коренных породах почвы, кровли и боков выработки. В качестве них могут быть использованы также постоянные пункты полигонометрических и теодолитных ходов, расположенные парами на расстоянии 20—50 м один от другого. Расстояния между смежными парами реперов должно быть не более 300—500 м.

Для опознавания реперов в выработках на стойках крепи закрепляют железные марки с нанесенными на них буквой Р и номером репера. В выработках с бетонным и металлическим креплением маркировка реперов производится масляной краской на стенках выработок. Конструкция реперов, закладываемых в почву или кровлю, может быть такой же, что и постоянных пунктов плановой подземной маркшейдерской опорной сети; в некоторых случаях сооружаются и специальные реперы.

I.5.1. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

При геометрическом нивелировании в горных выработках, так же как и при нивелировании на поверхности, используют нивелиры со штативом и нивелирные рейки.

Таблица 14

Техническая характеристика	Нормы по типам нивелиров		
	Н-05	Н-3	Н-10
Средняя квадратическая погрешность превышения на 1 км двойного хода, мм, не более	0,5	3	10
Увеличение зрительной трубы, крат, не менее	40	30	20
Наименьшее расстояние визирования (без насадки на объектив), м, не более	5	2	2
Коэффициент нитяного дальномера	100±1 %	100±1 %	100±1 %
Цена деления уровня на 2 мм:			
установочного, угл. мин.	5±1	10±2	10±2
при трубе, угл. с	10±1	15±1,5	45±5
Масса, кг, не более:			
нивелира	6	3	2
укладочного футляра	5	2,2	2

В СССР производство нивелиров регламентировано ГОСТ 10528—76. Выпуску подлежат три типа нивелиров: (табл. 14) высокоточные Н-05, точные Н-3 и технические Н-10. Числа в шифре нивелира обозначают допустимую среднюю квадратическую погрешность на 1 км двойного хода. Нивелиры всех типов в зависимости от устройства, применяемого для приведения линии визирования в горизонтальное положение, могут в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. При наличии компенсатора к шифру нивелира добавляется буква К, например Н-10К. Нивелиры типов Н-3 и Н-10 допускается изготовлять с лимбом для измерения горизонтальных углов, в этом случае к шифру нивелира добавляется буква Л, например, Н-10КЛ. Для подземных вертикальных съемок в горных выработках применяют в основном те же точные и технические нивелиры, что и на поверхности.

Нивелир Н-3 (рис. 32, *а*) относится к типу точных нивелиров с уровнем при зрительной трубе, предназначен для нивелирования III и IV классов на земной поверхности и широко применяется при геометрическом нивелировании в шахте.

Перед каждым отсчетом по рейке визирную ось нивелира устанавливают в горизонтальное положение с помощью элевационного винта по цилиндрическому уровню. Изображения половинок концов пузырька уровня через систему призм передаются в поле зрения трубы (рис. 32, *б*).

Точное приведение визирной оси трубы *7* в горизонтальное положение выполняется совмещением центра пузырька уровня *9* с нуль-пунктом ампулы с помощью элевационного *5* винта. При этом изображения половинок концов пузырька уровня

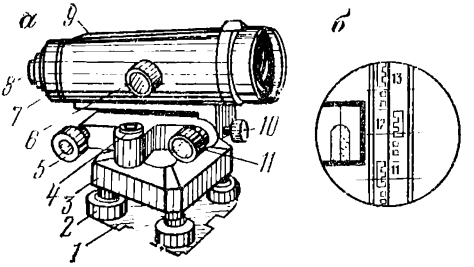


Рис. 32. Нивелир Н-3 (*а*) и поле зрения трубы (*б*):
1 — пружинящая пластина со втулкой; *2* — подъемный винт; *3* — подставка (трегер); *4* — круглый уровень; *5* — элевационный винт; *6* — фокусирующее устройство; *7* — корпус зрительной трубы; *8* — окуляр; *9* — цилиндрический уровень; *10* — закрепительный винт; *11* — наводящий винт

будут равными по длине и образуют в верхней части один овал (оптический контакт). При наклоне оси уровня контакт нарушается. В рабочее положение нивелир приводится подъемными винтами трегера *2* по круглому уровню *4*.

Нивелир Н-3К (рис. 33) относится к точным оптико-механическим нивелирам с самоустанавливающейся линией визирования. Предназначен для геометрического нивелирования на поверхности и в шахте. Его основные параметры те же, что и нивелира Н-3. Установка в рабочее положение прибора приводится подъемными винтами *6* по круглому уровню *4*. Дальнейшее приведение линии визирования в горизонтальное положение осуществляется автоматически с помощью компенсатора, вмонтированного в зрительную трубу *2*. Чувствительным элементом компенсатора является прямоугольная призма, подвешенная на двух парах скрещивающихся стальных нитей. Диапазон работы компенсатора не менее 15′, время затухания колебаний подвесной системы не более 2 с. Колебания компенсатора гасятся воздушным поршневым демпфером. Наводящее устройство зрительной трубы выполнено в виде червячного винта с бесконечным приводом, головки которого расположены по обе стороны от трубы. Закрепительный винт отсутствует. Нивелир Н-3К с горизонтальным лимбом выпускается под шифром Н-3КЛ. Цена деления шкалы лимба — 1°, отсчитывание по шкале лимба производится при помощи штрихового нониуса с погрешностью 0,1°.

Нивелир Н-10КЛ (рис. 34) с компенсатором и горизонтальным лимбом относится к техническим; содержит оптико-механический компенсатор в сходящемся пучке лучей. Чувствительным элементом компенсатора служит прямоугольная призма, подвешенная на шарикоподшипниковой подвеске. Колебания компенсатора гасятся воздушным демпфером. Зрительная труба в сочетании с компенсатором *2* дает прямое изображение

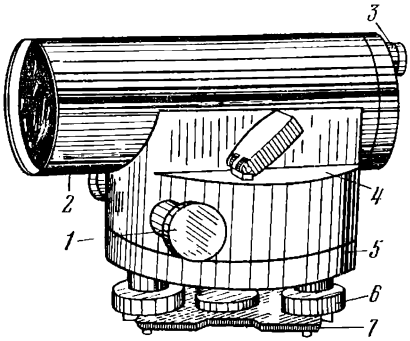


Рис. 33. Нивелир Н-3К:

1 — наводящий винт; *2* — зрительная труба с компенсатором; *3* — окуляр; *4* — круглый уровень с исправительными винтами; *5* — подставка нивелира; *6* — подъемный винт; *7* — пружинящая пластина со втулкой

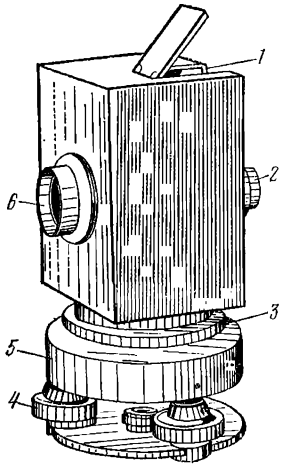


Рис. 34. Нивелир Н-10КЛ:

1 — круглый уровень; *2* — окуляр зрительной трубы; *3* — горизонтальный круг с лимбом; *4* — подъемные винты; *5* — подставка; *6* — объектив зрительной трубы

предметов; фокусировка трубы осуществляется перемещением подвижной призмы компенсатора в вертикальном направлении; оптические детали объектива и компенсатора заключены в термоизоляционный корпус, имеющий прямоугольную форму. В нижней части нивелира вмонтирован горизонтальный лимб *3* с градуированной шкалой делений через 1°. Нивелир имеет фрикционный механизм горизонтальной наводки зрительной трубки от руки.

Поверки нивелиров Н-3 и Н-10. Эти приборы должны удовлетворять следующим геометрическим условиям.

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Тремя подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180°. Если после этого пузырек уровня останется в центре ампулы, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами круглого уровня перемещают пузырек к центру ампулы на половину дуги отклонения, а затем подъемными винтами приводят его в центр. Поверку повторяют до полного выполнения условия.

2. *Визирная ось должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (главное условие).* Это условие поверяют двойным нивелированием одного и того же отрезка линии длиной 50—80 м. В конечных точках линии забивают в землю

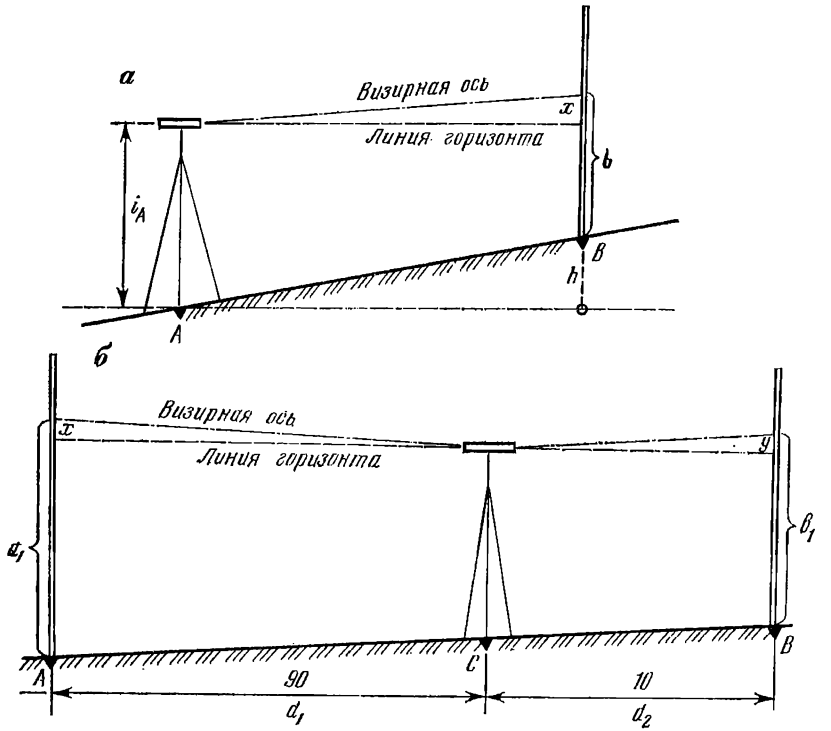


Рис. 35. Схемы измерений способом вперед (*а*) и из середины (*б*)

колышки в точках A и B (рис. 35, *а*). Нивелированием по способу вперед при установке нивелира сначала в точке A, а затем в точке B дважды определяют превышение $h=BC$. Затем измерения повторяют на точке B. При этом, если визирная ось не параллельна оси цилиндрического уровня, то отсчеты по рейке b и a будут содержать ошибку x. Таким образом, $h=i_A+x-b$ и $h=a-x-i_B$, откуда $i_A+x-b=a-x-i_B$ или

$$x=0{,}5(a+b)-0{,}5(i_A+i_B). \qquad (I.5.1)$$

Величина x не должна быть более ± 4 мм. В противном случае на второй станции с помощью элевационного винта наводят среднюю нить сетки на отсчет по рейке $a_0=a-x$, а затем вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня точно совмещают изображения половинок концов уровня, видимые в поле зрения трубы.

3. *Визирная ось должна сохранять неизменное положение при фокусировании трубы.* На ровной местности по полуокружности радиусом 50 м забивают примерно через 15—20 м ряд

колышков и каждый нивелируют дважды: из центра полуокружности и из точки, лежащей примерно в 10 м за пределами полуокружности. Дважды вычисляют превышения между начальной точкой на полуокружности и последующими. По разностям между одноименными превышениями судят о влиянии фокусирующей линзы на положение визирной оси. При колебании разностей более 4—6 мм нивелир подлежит ремонту.

Поверки нивелиров Н-3К и Н-10К. Наличие у этих нивелиров ломаных зрительных труб затрудняет измерение высоты прибора. Поэтому для проверки главного условия на местности в конечных точках линии длиной 100 м забивают колышки A и B (рис. 35, *б*). Точно посередине между ними устанавливают нивелир и определяют превышение $h=b—a$, которое не содержит погрешности прибора. Затем нивелир переносят в точку C и повторно определяют превышение $h_1=b_1—a_1$ между точками A и B.

Если разность $h—h_1=f>2$ мм, то вычисляют поправки в отсчеты по дальней x и ближней y рейкам:

$$x=\frac{d_1 f}{d_1-d_2};\quad y=\frac{d_2 f}{d_1-d_2}, \tag{I.5.2}$$

где d_1 и d_2 — соответственно расстояния от нивелира до дальней и ближней реек.

Затем перемещают сетку нитей с помощью исправительных винтов так, чтобы отсчет по дальней рейке был равным $a_1—x$. После исправления поверку повторяют. Остальные поверки аналогичны поверкам Н-3.

Зарубежные нивелиры. На горных предприятиях СССР широкое распространение получили нивелиры, изготовляемые народным предприятием «Карл Цейс Йена» (ГДР): Ni-007 с компенсатором относится к нивелирам точным (соответствует отечественному нивелиру типа Н2), Ni-025 с компенсатором и горизонтальным лимбом, относится к нивелирам точным (соответствует нивелиру типа Н-3К), Ni-050 с компенсатором относится к техническим нивелирам (соответствует нивелиру типа Н-10КЛ), а также нивелиры, выпускаемые заводом «МОМ» (ВНР): Ni-В3 с компенсатором относится к точным нивелирам (соответствует нивелиру Н-3К) и Ni-Д1 с компенсатором относится к техническим нивелирам (соответствует нивелирам типов Н-10К и Н-10КЛ). Они имеют современную конструкцию, хорошую оптику, удобны и надежны в работе, обеспечивают высокую точность нивелирования.

Нивелирные рейки. Согласно ГОСТ 11158—83, установлено три типа реек: РН-05 — нивелирование I и II классов и геодинамические полигоны; РН-3 — нивелирование III и IV классов и инженерно-геодезические изыскания; РН-10 — техническое нивелирование, строительные работы.

Рейки РН-3 имеют круглые уровни с исправительными винтами и защитным кожухом. Нивелирные рейки для подземной высотной съемки аналогичны рейкам, используемым для технического нивелирования на поверхности, и отличаются от них в основном длиной. Они имеют нанесенные на одной или двух сторонах сантиметровые шашечные деления (шкалы) с прямой (для труб прямого изображения) или обратной оцифровкой. Материалом для реек чаще всего служит сосна или ель. Шкалы на шахтных рейках новых конструкций наносятся на пластике, на световозвращающем покрытии или лавсановой пленке.

Перед началом работы рейки должны быть поверены в правильности нанесенных на них делений. Поверка реек производится при помощи контрольного метра, представляющего собой металлическую линейку таврового сечения со скошенными краями. На одном скошенном краю линейки нанесены деления через 1 мм, а на другом — через 0,2 мм. По верхнему ребру линейки передвигаются две лупы, посредством которых производятся отсчеты. Поверяемую рейку укладывают горизонтально так, чтобы ее середина не провисала. На рейку, параллельно ее краям, укладывают контрольный метр и определяют действительную длину каждого дециметрового деления и всей длины рейки. Случайные погрешности дециметровых делений рейки не должны превышать ± 1 мм. При отсутствии контрольного метра поверку реек можно произвести выверенной стальной рулеткой с миллиметровыми делениями.

1.5.2. ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Геометрическое нивелирование для построения высотных опорных сетей в горных выработках состоит в определении высот реперов и точек полигонометрических ходов. До начала нивелирования должна быть проверена устойчивость реперов, используемых в качестве исходных. Разность между контрольными превышениями и ранее установленными превышениями между реперами не должна быть более 30 мм. В подземных выработках нивелирование ведется так же, как и на поверхности. Некоторые особенности подземного нивелирования обусловлены лишь тем, что реперы и постоянные пункты могут быть заложены не только в почве, но и в кровле выработок. Возможны четыре варианта расположения заднего и переднего пунктов (рис. 36). Где бы ни был заложен пункт (в кровле или почве), рейка всегда устанавливается на определяемую точку нулем. При этом принято считать отсчеты по рейкам на реперах, расположенных в почве выработки (в данном случае B и

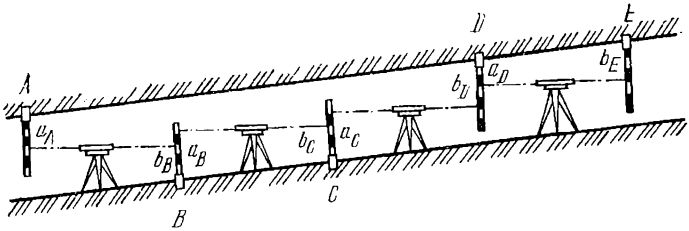


Рис. 36. Схема расположения пуиктов при геометрическом нивелировании в горной выработке

C), положительными (b_B и b_C; a_B и a_C), а отсчеты по рейкам на реперах в кровле (точки A, D, E) — отрицательными. В этом случае знак минус перед отсчетом обязательно проставляется в полевом журнале.

В опорных сетях нивелирование производится из середины при допустимом неравенстве плеч 5—8 м; расстояние между нивелиром и рейками не должно превышать 100 м.

Отсчет по рейкам берут до миллиметра; расхождения в превышениях на станции, определяемые по черным и красным сторонам реек или при двух горизонтах прибора, не должны превышать 10 мм.

Высоты реперов и точек полигонометрических ходов определяются с помощью замкнутых или пройденных в прямом и обратном направлениях висячих ходов.

Геометрическое нивелирование рельсовых путей (или почвы выработки) выполняют по пикетам. Разбивка производится тесмяной рулеткой с расстоянием между пикетами 10 или 20 м, пикеты отмечают мелом на нивелируемом рельсе (левом или правом) и обозначают на боковой стенке специальной маркой. Ходы прокладывают между реперами опорной сети в прямом или обратном направлениях.

Нивелир при работе устанавливают примерно посредине между связующими пикетами, чтобы расстояние от нивелира до пикета было не более 100 м. При каждой установке прибора берут отсчеты на несколько пикетов с точностью до 1 мм, результаты записывают в журнал (табл. 15).

Работа на станции состоит в следующем. После приведения нивелира в рабочее положение визируют на рейку, установленную на заднем связующем пикете *3*. Взяв отсчет по рейке, записывают его в графу *3* журнала. Далее визируют на рейку, установленную на переднем связующем пикете *8*, и записывают отсчет в графу *4*. Затем повторяют указанные действия по другой стороне рейки или другом горизонте прибора (ГП). Для того, чтобы убедиться, что отсчеты на связующие пикеты сняты достаточно точно, вычисляют превышения между

Таблица 15

Журнал технического нивелирования

Место работы: 6-й северный штрек
Нивелир: Н-3К № 10102

Дата: 8.10.1987 г.
Исполнитель: *Петров И. И.*

Станция	Пикет (пункт)	Отсчет по рейке, мм			Превышение, мм		Горизонт прибора, м	Высота пункта, м	Примечание
		задний	передний	промежуточный	I II	среднее			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	*3*	1481 (*1*) 1469 (*3*)	1011 (*II*)		470 470	470	—144,621	—146,090	ГП = —144,621
	8		999 (*4*)					—145,620	× 4
	4			1430 (*5*)				—146,051	—578,484
	5			1400 (*6*)				—146,021	$\Sigma_{пр}$—5,300
	6			1290 (*7*)				—145,911	Σ—583,784
	7			1180 (*8*)				—145,801	
				$\Sigma_{пр}$ = 5300				—583,784	
II	*8*	1210 1202			—130 —130	—130	—144,418	—145,620	ГП = —144,418
	12		1340 1332					—145,750	× 3 —433,254
	9			1161				—145,579	$\Sigma_{пр}$—3,583 Σ—436,837
	10			1141 1281				—145,559 —145,699	
		Σa=5362	Σb=4682	$\Sigma_{пр}$=3,583	$\Sigma \Delta z$=680	$\Sigma \Delta z_{ср}$= =340		Σ_h = —436,837	

пикетами для двух сторон реек или двух горизонтов прибора (разность в превышениях не должна превышать 10 мм).

После этого реечник снимает рейку с пикета *3* и последовательно устанавливает ее на промежуточных пикетах. При каждой установке рейки на промежуточный пикет производится визирование на нее и запись отсчета в графу *5* журнала. На этом заканчиваются работы на станции *I*. Нивелир переносят на станцию *I*, задний реечник с пикета *3* переходит на пикет *12* и становится передним, а передний, оставаясь на пикете *8*, задним.

Для определения высоты выработки часто одновременно с нивелированием головки рельсов откаточного пути производится нивелирование кровли выработки. В этом случае на каждом пикете дополнительно берут отсчеты по рейке, приложенной нулем к кровле выработки.

I.5.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Камеральная обработка геометрического нивелирования заключается в проверке полевых журналов, вычислении превышений на станциях, постраничном контроле, уравнивании вычисленных превышений, определении высот пунктов как опорной сети, так и пикетов при нивелировке путей. На каждой станции (см. табл. 15) вычисляют два превышения Δz_1 и Δz_2, по черной и красной сторонам реек или при двух горизонтах прибора (графа *6*). Среднее значение превышения находят как их среднеарифметическое (графа *7*). Превышения получают по формуле

$$\Delta z_i = a_i - b_i, \tag{I.5.3}$$

где a_i — отсчет по задней рейке; b_i — отсчет по передней рейке.

Полученный результат очевиден, когда точки расположены в почве выработки (см. рис. 36).

В остальных случаях превышения могут быть вычислены по формуле (I.5.3), если отсчетам по рейкам, обращенным нулем к точкам, заложенным в кровле выработки, придавать знак минус.

Так, например, если передняя точка находится в почве, а задняя в кровле выработки, будем иметь

$$\Delta z_i = -a_i - b_i = -(a_i + b_i). \tag{I.5.4}$$

Соответственно, когда точки расположены в кровле и почве выработки

$$\Delta z_i = a_i - (-b_i) = a_i + b_i, \tag{I.5.5}$$

и, наконец, обе точки в кровле выработки

$$\Delta z_i = -a_i - (-b_i) = b_i - a_i. \qquad (I.5.6)$$

В конце каждой страницы журнала и в конце хода производят контроль вычисления превышений

$$\Sigma a - \Sigma b = \Sigma \Delta z; \qquad (I.5.7)$$

$$\frac{1}{2} \Sigma \Delta z = \Sigma \Delta z_{ср}.$$

По сумме превышений для всего хода вычисляют фактическую невязку хода. В ходах технического нивелирования при определении высот пунктов опорной сети невязка (в мм) не должна превышать $50\sqrt{L}$, где L — длина хода, км. Фактическая невязка (если она меньше допустимой) распределяется с обратным знаком (поправки) поровну на все станции хода (см. табл. 15, графа 7). По исправленным превышениям вычисляют высоты связующих точек (пикетов) по формуле

$$z_i = z_{i-1} + \Delta z'_{ср}, \qquad (I.5.8)$$

где z_i и z_{i-1} — высоты переднего и заднего пикетов станции; $\Delta z'_{ср}$ — среднее исправленное превышение на станции.

Осуществляют контроль вычисления высот пунктов

$$z_n - z_1 = \Sigma \Delta z'_{ср}, \qquad (I.5.9)$$

где z_n и z_1 — высоты последнего и первого пунктов; $\Delta z'_{ср}$ — сумма исправленных превышений.

Для определения высот промежуточных пикетов на каждой станции определяют горизонт прибора, т. е. высоту визирного луча нивелира:

$$ГП = z_{i-1} + a_{i-1}, \qquad (I.5.10)$$

где z_{i-1} — высота задней связующей точки;
a_{i-1} — отсчет по задней рейке.

В формуле (I.5.10) отсчету a_{i-1} придается знак «+», когда рейка установлена на пикете в почве выработки, а знак «—», когда рейка приставлена нулем к кровле выработки. Отметки промежуточных будут следующими:

$$z_{i+1} = ГП + b_{i+1}, \qquad (I.5.11)$$

где b_{i+1} — отсчет по рейке, установленной на промежуточном пикете.

В формуле (I.5.11) знак «+» имеет отсчет по рейке на пикете в кровле выработки, знак «—» — в почве выработки. Контроль вычислений высот промежуточных пикетов осуществлен в графах *9* и *10* нивелирного журнала (см. табл. 15). При пе-

редаче высот на реперы и пункты опорной сети нивелирные ходы часто образуют сложные сети.

По вычисленным высотам пикетов вычерчивают профиль выработки (рис. 37), горизонтальный масштаб которого 1 : 500—1 : 2 000; вертикальный 1 : 50—1 : 200.

Методика составления профиля известна из курса геодезии. В нижней части профиля вычерчивают план — схему горной выработки, на которой указываются все реперы и постоянные точки с известной высотой. В средней части профиля приво-

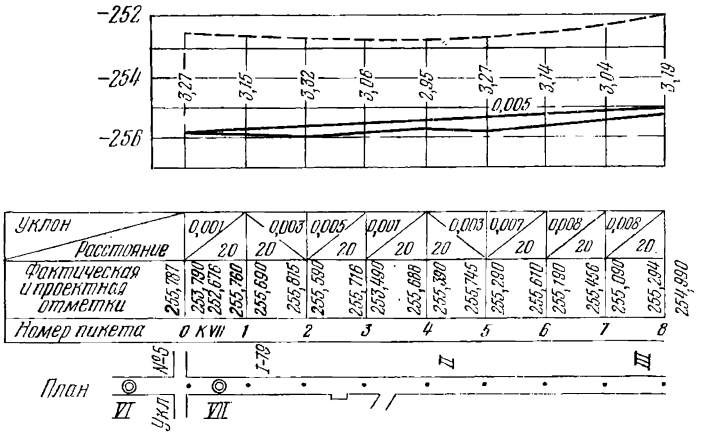


Рис. 37. Профиль рельсового пути выработки

дится таблица, в которой указывают номера реперов и пикетов; фактические и проектные высоты головки рельсов на каждом пикете и высоты реперов и постоянных маркшейдерских точек; подъемы и уклоны выработки между соседними пикетами. Фактические отметки головки рельсов выписывают в таблицу черным цветом, проектные — красным цветом, а высоты реперов и постоянных маркшейдерских точек — синим цветом.

Подъемы и уклоны выработки, записываемые в таблицу, вычисляют по формуле

$$i = \Delta z/l, \qquad (I.5.12)$$

где Δz — превышение между соседними пикетами; l — горизонтальное проложение между пикетами.

Над таблицей черным цветом вычерчивают фактический профиль пути и кровли выработки, а красным — проектный профиль пути. Для построения продольного профиля рельсовых путей целесообразно применять ЭВМ с графопостроителями.

I.5.4. ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Тригонометрическое нивелирование производится в выработках с углом наклона более 5—8°. Для производства тригонометрического нивелирования используются обычные шахтные теодолиты типа Т15. Как правило, тригонометрическое нивелирование выполняется одновременно с проложением полигонометрического хода. Точки A и B (рис. 38) заложены в кровле выработки, точки *1* и *2* — в почве. В первом случае требуется определить превышение Δz_{A-B}, во втором Δz_{1-2}. Для определения превышения Δz_{A-B} в точке A устанавливают теодолит, а в точке B вешают отвес. На отвесе отмечают точку визирования b, для чего можно использовать обычные канцелярские скрепки. Часто за точку b принимают точку входа шнура в отвес или острие отвеса. На эту точку отвеса затем наводят трубу теодолита, и отсчитывают по вертикальному кругу угол наклона визирного луча δ. На точке A измеряют рулеткой отрезок i_A — расстояние по вертикали от точки A до горизонтальной оси вращения трубы геодолита (точка a). Затем измеряют наклонное расстояние l_{ab} от точки a до точки b и отрезок V_B — расстояние по вертикали от точки B до точки b.

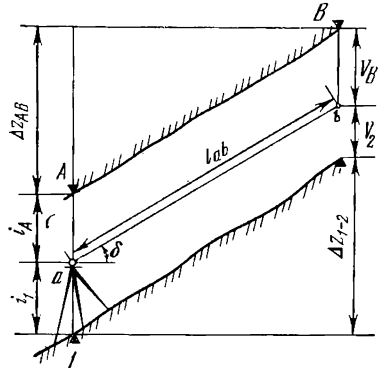


Рис. 38. Схема тригонометрического нивелирования

Угол наклона измеряют при двух положениях трубы с вычислением на каждой станции МО. Расхождение значений МО по станциям не должно превышать 1,5′.

Измерение высоты прибора i и высоты визирования V_2 производится рулеткой дважды с точностью до 1 мм (расхождение между двумя измерениями не должно превышать 5 мм). Расстояние ab измеряют стальной рулеткой по методике измерения длин сторон подземной полигонометрии. Превышение Δz_{A-B} может быть вычислено по формуле

$$\Delta z_{A-B} = l_{ab} \sin \delta + (i_A - V_B). \qquad (I.5.13)$$

Если пункты закреплены в почве (точки *1* и *2*), то формула (I.5.13) будет иметь вид

$$\Delta z_{1-2} = l_{ab} \sin \delta + (i_1 - V_2). \qquad (I.5.14)$$

Если высотам прибора i_1 и сигнала V_2, определяемым относительно кровли выработки, придавать знак «—», то во всех случаях превышение Δz можно найти по формуле (I.5.14).

Для контроля превышения следует вычислять дважды: в прямом и обратном направлениях. Для определения обратного превышения теодолит переставляют в точку B или 2 и выполняют аналогичные измерения на точку A или 1.

Разность превышений (в мм) не должна быть более 0,4 l, если l — длина линии (в м).

Ходы тригонометрического нивелирования в шахте должны быть замкнутыми или прокладываться между пунктами, высоты которых определены методом геометрического нивелирования.

Для всего хода расхождения в превышениях (в мм) не должны быть более $100\sqrt{L}$, где L — длина хода, км. Если тригонометрическое нивелирование ведется по пунктам съемочной сети (теодолитных ходов), то должны соблюдаться следующие требования: расхождения значений МО в начале и конце хода не более 3′; расхождения между двумя определениями высоты теодолита или сигнала не более 10 мм; разность в превышениях одной и той же стороны не более 1/1000 ее длины; высотная невязка хода (в мм) не должна превышать $120\sqrt{L}$ (L — длина хода, км).

I.6. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

Соединительные съемки предназначены для установления геометрической связи между съемками на поверхности и в подземных горных выработках в принятой на земной поверхности системе координат.

Соединительная съемка обеспечивает правильное и безопасное ведение горных работ, позволяет решить горнотехнические и маркшейдерские задачи. В первую очередь к ним относится составление маркшейдерских планов горных выработок в общей с поверхностью системе координат. Благодаря совместному отображению на планах поверхности и горных выработок, можно определять взаимное расположение объектов на поверхности относительно любых участков горных выработок; устанавливать границы барьерных и предохранительных целиков для охраны сооружений и природных объектов на поверхности при их подработке; проводить встречными забоями вертикальные выработки и выработки между шахтами; задавать проходку выработок между заданными точками на поверхности и в горных выработках; решать ряд других задач, возникающих при строительстве и разработке месторождений.

Для определения плановых координат x и y точек подземной съемки выполняется горизонтальная соединительная

съемка, а для высот z точек — вертикальная соединительная съемка.

Горизонтальная соединительная съемка решает две задачи: *центрирование* подземной съемки, т. е. определение плановых координат x, y исходных пунктов подземной маркшейдерской сети, и *ориентирование* подземной съемки, т. е. определение дирекционных углов α исходных сторон.

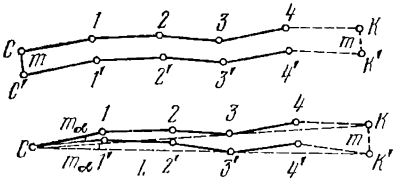


Рис. 39. Положение пунктов подземной съемки вследствие погрешностей центрирования (*а*) и ориентирования (*б*)

Ориентирование подземной съемки по сравнению с центрированием является более важной частью горизонтальной соединительной съемки.

Влияние погрешностей центрирования и ориентирования проявляется на смещении положения пунктов подземной съемки (рис. 39). Погрешность m координат начальной точки остается постоянной для всех точек хода, независимо от его формы и длины, в то время как погрешность m_α дирекционного угла начальной стороны вызывает поворот хода и погрешности положения точек возрастают по мере их удаления от исходной стороны. Если дирекционный угол исходной стороны определен с погрешностью m_α, то наиболее удаленная точка K, находящаяся на расстоянии L от начальной точки C, смещается на величину m, определяемую из выражения

$$m = m_\alpha L/\rho.$$

При $m_\alpha = 3'$; $L = 3$ км; $\rho = 3438'$ смещение точки K (точка K') составляет $m = 4{,}4$ м. Следовательно, при сравнительно малой погрешности m_α, смещение m составляет явно недопустимую величину и для ее уменьшения необходимо повысить точность ориентирования.

Центрирование подземной съемки выполняется главным образом геометрическим способом при помощи отвеса, опускаемого с поверхности в ствол до ориентируемого горизонта. Использование для центрирования съемки вертикально направленного визирного луча (оптическое проектирование) не получило распространения на практике из-за плохой видимости в стволе и недостаточной точности.

Ориентирование подземной съемки выполняется геометрическим и физическим способами. При геометрическом способе используют два отвеса, образующих вертикальную плоскость между поверхностью и шахтой; определяют дирекционный угол начальной стороны подземной съемки.

К физическим способам относятся магнитное и гироскопическое ориентирование. Магнитное ориентирование, широко применявшееся ранее, в настоящее время утратило свое значение из-за трудности учета изменений магнитного склонения в современных механизированных шахтах и может быть использовано в отдельных случаях для ориентирования подземной съемки пониженной точности.

Гироскопическое ориентирование, сходное по своей идее с магнитным, получило широкое распространение на практике и является основным способом ориентирования (особенно ориентирование подземных съемок выработок на глубоких горизонтах).

Выбор способа геометрического ориентирования съемок подземных выработок зависит от схемы вскрытия месторождения: ориентирование через штольню и наклонную выработку; через одну вертикальную выработку; через две и более вертикальных выработки.

Во всех случаях для производства горизонтальной соединительной съемки необходимо иметь на промышленной площадке шахты вблизи устья штольни, наклонного или вертикального стволов подходные пункты. В качестве подходных пунктов могут быть использованы пункты опорной геодезической сети. Если последние удалены на значительное расстояние от выработок, то подходные пункты закладывают с таким расчетом, чтобы от них до выработки можно было проложить ход не более чем с двумя-тремя сторонами.

Ориентирование подземной съемки должно быть выполнено независимо дважды одним и тем же способом или двумя разными. Установлено [2], что расхождение в результатах ориентирования одной и той же стороны не должно превышать 3′.

Центрирование подземной съемки осуществляется примыканием к опущенным в ствол отвесам, координаты которых определены относительно подходных пунктов. Расхождение в положении пункта подземной съемки (в см) по двум независимым проектированиям не должно превышать 5 см при глубине ствола $H>500$ м и $0{,}01H$ при $H>500$ м.

I.6.1. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЧЕРЕЗ ШТОЛЬНЮ И НАКЛОННЫЙ СТВОЛ

Ориентирование через горизонтальную и наклонную выработки осуществляется проложением полигонометрических ходов от пунктов опорной сети или подходных пунктов на поверхности до пунктов подземной съемки.

При ориентировании через наклонный ствол с большим углом наклона возникает ряд трудностей, вызванных необходимостью установки необходимого оборудования и измерительных при-

боров. Если угол наклона ствола составляет 70° и более, то прокладка полигона становится практически трудноосуществимой и выполняется с целью центрирования подземной съемки. Ориентирование в таких случаях рекомендуется выполнять гироскопическим способом.

Ориентирование через один вертикальный ствол. На поверхности закрепляют точки C и D, на ориентируемом горизонте

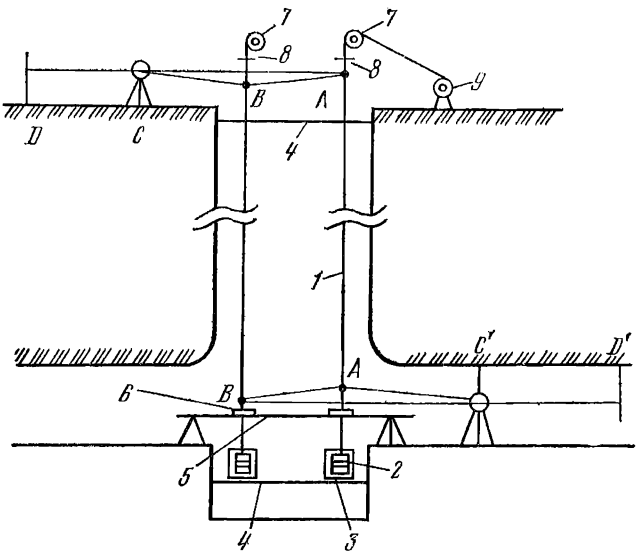


Рис. 40. Схема центрирования и ориентирования подземной съемки через один вертикальный ствол:

1 — проволока; *2* — груз; *3* — сосуд-успокоитель; *4* — полок, перекрывающий устье ствола и зумпфа; *5* — полок для закрепления тарелочки; *6* — проектировочная тарелочка; *7* — направляющий блок; *8* — центрировочная пластинка; *9* — ручная лебедка

в шахте — точки C' и D' (рис. 40). Примычные точки C и C' располагают вблизи ствола. Связь между точками на поверхности и в шахте устанавливают с помощью отвесов; отвесы опускают в ствол и закрепляют в точках A и B. Закрепив отвесы, производят измерения углов на примычных точках и длины сторон от примычных точек до отвесов и между отвесами.

По результатам измерений производят ориентирование. Вначале вычисляют дирекционный угол α_{AB} створа отвесов и координаты отвесов на поверхности, а затем по спроектированным в шахту точкам A и B и створа отвесов AB определяют дирекционный угол ориентируемой стороны $\alpha_{C'D'}$ и координаты $x_{C'}$, $y_{C'}$ примычной точки C'.

Таким образом, ориентирование через один вертикальный ствол включает решение двух задач: проектирование и примыкание.

Проектирование выполняется с помощью отвесов. Отвесы занимают вертикальное положение и их плановые координаты на поверхности и в шахте одинаковы. Определив координаты отвесов на поверхности, используют их значения для примыкания в шахте.

Примыкание на поверхности состоит в определении координат отвесов и дирекционного угла створа отвесов. Для определения дирекционного угла створа отвесов должны быть известны углы при отвесах. Эти углы могут быть измерены или вычислены. Примыкание с измерением углов при отвесах сопряжено с большими трудностями и в практике не нашло применения. Примыкание с вычислением углов при отвесах является более простым и широко используется. При примыкании к отвесам в шахте, как и на поверхности, вычисляют углы при отвесах и определяют координаты примычной точки и дирекционный угол ориентируемой стороны.

I.6.2. ЗАДАЧА ПРОЕКТИРОВАНИЯ (ЦЕНТРИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ СЪЕМКИ)

Основным способом проектирования с поверхности в шахту на ориентируемый горизонт подземной съемки через вертикальный ствол является способ отвесов. Проектирование отвесом обеспечивает передачу координат x и y с необходимой точностью без особых затруднений. Однако трудности проектирования через один вертикальный ствол существенно возрастают из-за необходимости решения этой задачи совместно с задачей примыкания.

Дело в том, что при ориентировании подземной съемки необходимо определить не только координаты x и y точек, но и дирекционные углы α сторон.

Определение дирекционных углов с требуемой точностью возможно в данном случае только при совместном решении задач проектирования и примыкания.

Для решения задач примыкания необходимо иметь не один, а два отвеса, образующих вертикальную плоскость. Примыканием к направлению AB (см. рис. 40) в этой плоскости на поверхности и в шахте определяют дирекционные углы сторон подземной съемки.

Основная трудность проектирования направления через один вертикальный ствол обусловливается сравнительно малым расстоянием между отвесами и влиянием на отвесы ряда внешних сил (движение воздуха, капеж и др.), под воздействием которых отвесы отклоняются от своего вертикального положе-

ния, образуя некоторый угол поворота створа отвесов. Среднее значение угла поворота численно равно средней погрешности θ проектирования (не более 3′), определяемой из выражения

$$\theta = \frac{e}{c}\rho, \qquad (I.6.1)$$

где e — среднее линейное отклонение отвесов от вертикального положения; c — расстояние между отвесами; ρ — коэффициент перехода от радианной меры к градусной, $\rho = 206\,265'' \approx 2{,}1'' \times \times 10^5$.

О точности решения задачи проектирования при ориентировании можно судить по средней погрешности (1.6.1). Приняв рекомендуемые Инструкцией средние погрешности примыкания на поверхности и в шахте 30″, найдем, что средняя погрешность проектирования составляет 42″. Эта точность обеспечивается, если при расстояниях между отвесами c, равными 2 м, 3 м, 4 м, 5 м, 6 м, линейные отклонения e не превышают соответственно 0,4 мм; 0,6 мм; 0,8 мм; 1,0 мм; 1,2 мм.

Достижение указанной точности во многом зависит от выбора схемы ориентирования, от тщательности производства всех видов работ в процессе проектирования.

Проволока отвеса должна быть возможно меньшего диаметра, с высоким пределом прочности на разрыв. Подвешиваемый на проволоку груз не должен создавать натяжение, превышающее 60 % предела прочности проволоки. Диаметр проволоки выбирают в зависимости от глубины ствола. При глубине ствола до 300 м и скорости движения потока воздуха, не превышающей 0,7 м/с, используют стальную проволоку диаметром 0,5—1,0 мм; при бóльшей глубине и бóльшей скорости воздушного потока применяют проволоку диаметром 1—2 мм.

Вес груза выбирают в зависимости от диаметра проволоки. Груз может быть цельнометаллическим и составным, состоящим из одной или двух штанг и комплекта чугунных дисков, имеющих радиальные прорези для надевания на штанги. Скрепление проволоки с грузом должно быть прочным без резких изгибов проволоки.

Проволока обычно хранится на барабане лебедки. Диаметр барабана и блока должен быть не менее 25 см.

Лебедку *9* (см. рис. 40) устанавливают на нулевой или приемной площадке копра. Блок закрепляют на приемной площадке. Для обеспечения неподвижности отвеса ниже блока закрепляют центровочную пластинку *8*. При ее закреплении проволоку *1* несколько отклоняют для более плотного прижимания проволоки к пластинке.

На нижнем полке *4*, перекрывающем зумпф, устанавливают успокоитель *3*. В качестве успокоителя может быть сосуд (бак)

с водой или вязкой жидкостью. Размеры сосуда должны быть такими, чтобы груз 2 не касался стенок и дна сосуда. Колебания отвеса, груз которого находится в успокоителе, значительно уменьшаются, принимая более правильную форму. При благоприятных условиях отвес становится практически неподвижным с отклонениями в пределах 0,4 мм.

Центрировочную тарелочку устанавливают на специальном полке, расположенном выше основного, перекрывающего зумпф.

Перед началом основных работ по проектированию должны быть выполнены все подготовительные работы по установке оборудования и перекрытию устья ствола и зумпфа.

Спуск отвеса производят медленно с легким грузом (3—5 кг), который на ориентируемом горизонте заменяют рабочим грузом. При замене груза следует учитывать удлинение проволоки, вызываемое увеличением массы груза. Удлинение проволоки Δl определяют по формуле

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF},$$

где P — масса груза, кг; l — длина проволоки, м; E — модуль Юнга, равный $2 \cdot 10^{11}$ Па; F — площадь поперечного сечения проволоки $1 \cdot 10^{-4}$ м^2.

Для определения удлинения Δl может быть использована формула

$$\Delta l = kPl, \qquad (I.6.2)$$

где k — удлинение 1 м проволоки при натяжении в 9,8 Н.

Коэффициент k зависит от диаметра проволоки. Если диаметр проволоки 0,5 мм; 1,0 мм; 2,0 мм, то соответственно k составит 0,0255 см; 0,0064 см; 0,0016 см.

После спуска отвесов и замены грузов проверяют не касаются ли отвесы стенок ствола и оборудования, расположенного в стволе. Проверка может быть выполнена способом посылки «почты» с поверхности в шахту или в результате сравнения расстояния между отвесами на поверхности и в шахте.

При использовании первого способа на проволоку отвеса надевают кольцо диаметром 2—3 см, изготовленное из мягкой проволоки или другого материала, и опускают с поверхности. Если кольцо не задерживаясь в стволе, достигает груза, то отвес висит свободно.

Во втором способе измеряют расстояние между отвесами на поверхности и в шахте. Измеренные расстояния сравнивают между собой, расхождение между ними не должно превышать 2 мм. Если проектирование выполняется колеблющимся отве-

сом, то расстояние в шахте измеряют между отвесами после их закрепления в проектировочных тарелочках.

Для контроля проверка может быть выполнена по времени колебания отвеса как маятника. Известно, что время t одного полупериода колебания маятника равно:

$$t = \pi\sqrt{l/g},$$

где l — длина отвеса, м; g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с^2; π — 3,1415.

Если значение t, полученное из наблюдений, соответствует вычисленному, считают, что отвес висит свободно. Если не совпадает, то отвес висит несвободно. Примерное расстояние l' от груза до места касания отвеса получают от соотношения $l' \approx t^2$.

Проектирование точек с поверхности в шахту может быть выполнено неподвижным отвесом и колеблющимся отвесом. Неподвижным считают отвес, отклонение которого, зафиксированное отсчетами по шкале в начале и конце примыкания, не превышает 0,4 мм. Примыкание к отвесам в случае их неподвижного положения осуществляется непосредственным визированием на проволоки отвесов.

Отвес, как указывалось выше, под воздействием внешних сил в стволе (движение воздуха, капеж) совершает колебательные движения. Ослабить или исключить колебания отвеса, особенно при большой глубине ствола и большой скорости движения воздуха, практически не представляется возможным. Проектирование в таких случаях выполняется колеблющимся отвесом с помощью шкал, позволяющих определять неотклоненное положение отвеса.

Шкалы M и N с миллиметровыми делениями устанавливают неподвижно вблизи отвеса на расстоянии нескольких сантиметров от отвеса с таким расчетом, чтобы колеблющийся отвес не касался шкалы (рис. 41). На расстоянии нескольких метров от шкалы устанавливают теодолит в точке C, в зрительную трубу которого наблюдают за отвесом, фиксируя его колебания отсчетами по шкале. Отсчеты берут по внешней или внутренней стороне проволоки.

Отсчеты l_i соответствуют крайним левым положениям отвеса, отсчеты r_i крайним правым положениям отвеса. Взяв 11—13 отсчетов, вычисляют средний отсчет N_0, соответствующий неотклоненному положению отвеса, по формуле

$$N_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{\Sigma l}{n} + \frac{\Sigma r}{m}\right), \qquad (I.6.3)$$

где n и m — соответственно число левых и правых отсчетов.

Для получения неотклоненного положения отвеса устанавливают вторую шкалу M и теодолит в точке D. Аналогичными наблюдениями определяют средний отсчет M_0.

Если дополнительно к шкалам установить зеркало *1*, расположив его под углом 45° к шкалам, то для определения неотклоненного положения отвеса не потребуется устанавливать второй теодолит. В этом случае средний отсчет M_0 находят по изображениям шкалы в зеркале.

Приспособлением, позволяющим определять истинное поло-

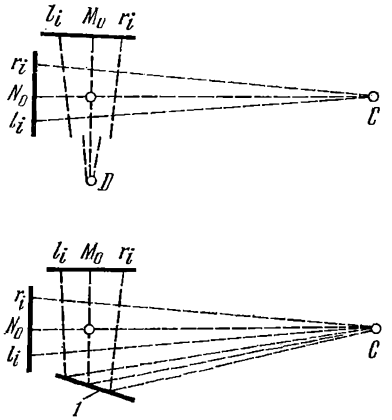


Рис. 41. Схема определения покоя отвеса

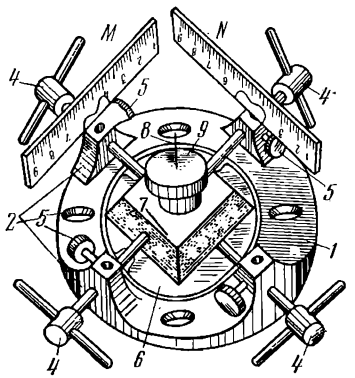


Рис. 42. Центрировочная тарелочка

жение отвеса в двух взаимно перпендикулярных направлениях является проектировочная тарелочка (рис. 42). Тарелочка устанавливается на специальном полке и надежно закрепляется. Основанием тарелочки служит кольцо *1* с четырьмя гнездами *2* для установки шкал M и N и зеркала, а также зажимных и фиксирующих винтов. Для закрепления фиксатора служат фиксирующие винты *4*, а для закрепления шкал и зеркала используют зажимные винты *5*. Фиксатор (пирамида) устанавливается в пластинку *6*, вставляемую в тарелочку. В фиксаторе имеется отверстие, в которое через щель *7* вводится проволока *8* и зажимается гайкой *9*, навинчиваемой на головку фиксатора.

При проектировании, после закрепления тарелочки и шкал, наблюдают за колебаниями отвеса и определяют средние отсчеты N_0 и M_0. Затем осторожно, не задевая шкал и зеркала, вставляют пластинку. На пластинку устанавливают фиксатор и закрепляют проволоку. Далее, действуя фиксирующими вин-

тами, перемещают фиксатор с проволокой в перпендикулярных направлениях до тех пор, пока проволока не займет положения, соответствующего средним отсчетам.

I.6.3. ЗАДАЧА ПРИМЫКАНИЯ (ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ СЪЕМКИ)

Решение задачи примыкания при ориентировании через один вертикальный ствол может быть выполнено различными способами. Наиболее распространенным из них является способ соединительных треугольников.

Вблизи ствола закрепляют точки C и D на поверхности и точки C' и D' в шахте (рис. 43). Связь между точками на по-

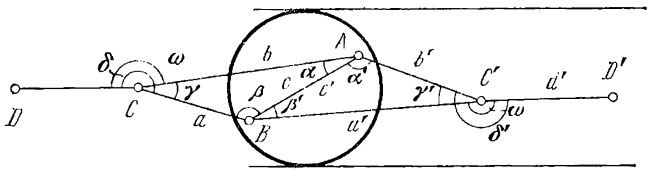


Рис. 43. Схема примыкания по способу соединительных треугольников

верхности и в шахте устанавливается с помощью отвесов. Координаты x_C, y_C примычной точки C и дирекционный угол α_{CD} определены в системе координат, принятой на поверхности. Места для закрепления примычных точек и отвесов выбирают с расчетом образования треугольников ABC на поверхности и ABC' в шахте.

Для решения задачи примыкания измеряют на поверхности примычные углы ω и δ, угол γ и стороны a, b и c треугольника ABC.

В шахте измеряют примычные углы ω′ и δ′, угол γ′ и стороны a', b' и c' треугольника ABC'.

Углы измеряют теодолитом типа Т15 тремя приемами, а теодолитами типа Т5, Т2 — не менее чем двумя приемами. Длины сторон измеряют стальной рулеткой на весу (при постоянном натяжении) не менее пяти раз с точностью отсчитывания до 1 мм. Разность между отдельными измерениями одной и той же стороны не должна превышать 2 мм. Разность измеренных на примычных точках углов δ—ω—γ и δ′—ω′—γ′ не должна превышать 25″. Получившуюся при этом угловую невязку распределяют поровну во все измеренные углы.

Углы при отвесах, необходимые для примыкания, являются углами соединительных треугольников, их значения находят из решения треугольников. Если в треугольниках острые углы α

и $\beta'<20°$, а тупые углы β и $\alpha'>160°$, то углы при отвесах вычисляют по формулам :

$$\sin\alpha=\frac{a}{c}\sin\gamma;\quad \sin\alpha'=\frac{a'}{c'}\sin\gamma';\tag{I.6.4}$$

$$\sin\beta=\frac{b}{c}\sin\gamma;\quad \sin\beta'=\frac{b'}{c'}\sin\gamma'.$$

В случае вытянутой формы треугольников, где углы α и $\beta'<2°$, а углы β и $\alpha'>178°$, используют формулы:

$$\alpha=\frac{a}{c}\gamma;\quad \alpha'=\frac{a'}{c'}\gamma';\tag{I.6.5}$$

$$\beta=\frac{b}{c}\gamma;\quad \beta'=\frac{b'}{c}\gamma'.$$

где α и β выражены в угловых секундах.

С целью контроля угловых измерений вычисляют фактическую сумму углов в треугольниках и сравнивают с теоретической суммой. Получившуюся невязку, которая не должна превышать 10″, распределяют поровну в вычисленные углы.

Для контроля линейных измерений вычисляют расстояние между отвесами по формуле

$$c^2_{\text{выч}}=a^2+b^2-2ab\cos\gamma.\tag{I.6.6}$$

Вычисленное расстояние между отвесами $c_{\text{выч}}$ сравнивают с измеренным c; разность между ними не должна превышать 3 мм.

Дирекционный угол $\alpha_{C'D'}$ и координаты примычной точки C' определяют следующим образом:

$$\alpha_{C'D'}=\alpha_{DC}+\delta-(\alpha+\alpha')-\delta'\pm3\cdot180°;\tag{I.6.7}$$

$$x_{C'}=x_C+b\cos\alpha_{CA}+b'\cos\alpha_{AC'};$$

$$y_{C'}=y_C+b\sin\alpha_{CA}+b'\sin\alpha_{AC'}.\tag{I.6.8}$$

С целью контроля вычисления повторяют, используя полигон D—C—B—C'—D'.

Как показывают исследования точность решения задачи примыкания зависит от формы соединительных треугольников и расстояния от примычной точки до отвесов. Более выгодными являются треугольники вытянутой формы, в которых острые углы не превышают 2° и отношение длины примычной стороны к расстоянию между отвесами не более трех.

В случаях, когда не удается построить треугольники с острыми углами (меньше 20°), решать задачу примыкания следует по формулам:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a\sin\gamma}{b - a\cos\gamma}; \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{b\sin\gamma}{a - b\cos\gamma}.$$

I.6.4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ ОРИЕНТИРОВАНИИ ЧЕРЕЗ ОДИН ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТВОЛ

Работы, выполняемые при ориентировании через один вертикальный ствол, подразделяются на подготовительные и основные.

К подготовительным относятся следующие виды работ, выполняемые до спуска отвесов.

Составление схемы ориентирования, выбор места и закрепление подходных и примычных пунктов применительно к выбранному способу примыкания.

Привязка подходных и примычных пунктов (точек) к опорной сети на поверхности и закрепление примычных точек в шахте.

Подготовка приборов и снаряжения (теодолиты, лебедки с проволокой, грузы, блоки, проектировочные тарелочки, средства связи и т. д.), необходимых при производстве работ.

При составлении схемы ориентирования выявляется оптимальная форма соединительной фигуры (треугольника) примыкания с возможно максимальным расстоянием между отвесами, появляется возможность снижения скорости воздушного потока в стволе (остановка работы вентилятора) и ослабления других факторов, оказывающих влияние на точность проектирования, определяются меры по безопасности работ, устанавливаются сроки выполнения работ и состав исполнителей. О тщательности подготовки и продуманности всех этапов работ во многом зависит успешное выполнение ориентировки и достижение необходимой точности.

Основные работы выполняются в процессе проектирования и примыкания. Исполнители делятся на две группы: одна группа остается на поверхности; другая с необходимым для работы снаряжением спускается в шахту. Работы, выполняемые на поверхности и в шахте, должны быть строго согласованы и выполняться в соответствии с установленной очередностью и соблюдением мер безопасности.

Отдельные виды работ выполняются в следующей последовательности.

1. Прекращают работу шахтного подъема; отделения ствола, используемые для отвесов, освобождают от подъемных сосудов.

2. Перекрывают устье ствола и зумпф сплошным настилом из досок.

3. Закрепляют лебедки, блоки и центрировочные пластинки.

4. Опускают отвесы последовательно с легким грузом и с малой скоростью (1 м/с). При спуске отвесов проволоку маркшейдер пропускает через руку. Замеченные дефекты проволоки должны быть устранены. Не допускается одновременный спуск отвесов, рекомендуется периодически (через 50—100 м) останавливать спуск отвесов для уменьшения колебаний.

5. При значительной скорости воздуха в стволе следует изолировать проволоку отвеса с помощью труб на участках сопряжения ствола с околоствольными выработками.

6. На ориентируемом горизонте легкие грузы заменяют рабочими и учитывают удлинение проволоки вследствие этого.

7. Закрепляют используемые проектировочные тарелочки и грузы помещают в успокоители.

8. Проверяют положение отвесов в стволе «почтой» и сравнением расстояния между отвесами на поверхности и в шахте. Измерение расстояния между отвесами в шахте при проектировании колеблющимися отвесами производится после их закрепления в проектировочных тарелочках.

9. На ориентируемом горизонте в шахте, установив тарелочки со шкалами, наблюдают колебания отвесов. По каждой шкале берут 11—13 отсчетов. Отвесы закрепляют по средним отсчетам, полученным из наблюдений.

10. Выполняют угловые и линейные измерения при примыкании к отвесам на поверхности и в шахте после контроля расстояния между отвесами.

11. Отвесы с легкими грузами последовательно поднимают на поверхность и оборудование демонтируют.

В процессе выполнения ориентировки надлежит неукоснительно соблюдать правила техники безопасности, особенно это относится к исполнителям, работающим на поверхности и в стволе. Вблизи ствола не должно быть посторонних, не принимающих участия в работе. Время начала спуска и подъема отвесов должно быть строго согласовано между группами, работающими на поверхности и в шахте. Сроки работ должны быть установлены совместно с техническим надзором шахты. Между группами на поверхности и в шахте должна быть установлена телефонная связь и система звуковой сигнализации.

I.6.5. СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА С ГИРОСКОПИЧЕСКИМ ОРИЕНТИРОВАНИЕМ ЧЕРЕЗ ОДИН СТВОЛ

Соединительная съемка через один вертикальный ствол, как показано выше, сводится к решению задач ориентирования и центрирования подземной съемки. При этом обе задачи решаются

совместно, что неизбежно приводит к их усложнению. Надежность и точность ориентирования, выполняемого при помощи двух отвесов, во многом зависит от тщательности и точности решения задачи проектирования. Повышение же точности проектирования при малом расстоянии между отвесами сопряжено с большими трудностями и практически не осуществимо. Это обстоятельство нашло отражение в Инструкции по производству маркшейдерских работ: ориентирование через один вертикальный ствол большой глубины (более 500 м) рекомендуется производить гироскопическим способом.

Использование гирокомпаса для ориентирования подземной съемки через один ствол позволяет решать задачи ориентирования и центрирования раздельно, что существенно упрощает проектирование. При раздельном решении задачи необходимая точность проектирования может быть достигнута без применения проектировочных тарелочек, что позволяет значительно сократить затраты труда и времени.

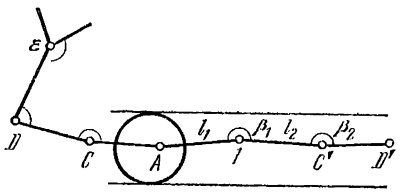


Рис. 44. Комбинированный способ ориентирования через вертикальный ствол

В случае соединительной съемки с гироскопическим ориентированием (рис. 44) дирекционный угол $\alpha_{C'D'}$ стороны $C'D'$ определяется гироскопическим способом, передача координат выполняется проектированием с помощью отвеса.

На поверхности от пунктов опорной сети прокладывается ход ε—D—C—A для определения координат отвеса; в шахте от стороны $C'D'$ — ход D'—C'—1—A с примыканием к отвесу A.

Дирекционный угол сторон полигона и координаты точки C' вычисляют по формулам:

$$\alpha_{1-C'} = \alpha_{C'D'} - \beta_{C'} \pm 180^\circ; \quad x_{C'} = x_A + l_1 \cos\alpha_{A-1} + l_2 \cos\alpha_{1-C'};$$

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{C'D'} - \beta_1 - \beta_{C'} \pm 180^\circ;$$

$$y_{C'} = y_A + l_1 \sin\alpha_{A-1} + l_2 \sin\alpha_{1-C'}.$$

Рассмотренный способ соединительной съемки с гироскопическим ориентированием содержит ряд важных преимуществ и широко используется на практике.

I.6.6. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛА

Ориентирование через два вертикальных ствола может быть выполнено, если между стволами на ориентируемом горизонте имеются горные выработки. Ориентирование через два ствола,

как и через один, состоит в определении координат точек и дирекционных углов сторон подземной съемки в системе координат, принятой на поверхности. Геометрическую связь между съемками поверхности и горных выработок устанавливают при помощи отвесов. При ориентировании через два ствола (рис. 45), в стволах закрепляют отвесы *A* и *B* (в каждом стволе по одному отвесу). На поверхности от пунктов опорной сети к отвесам прокладывают ходы *C—I—II—A*, *C—III—B*. В шахте

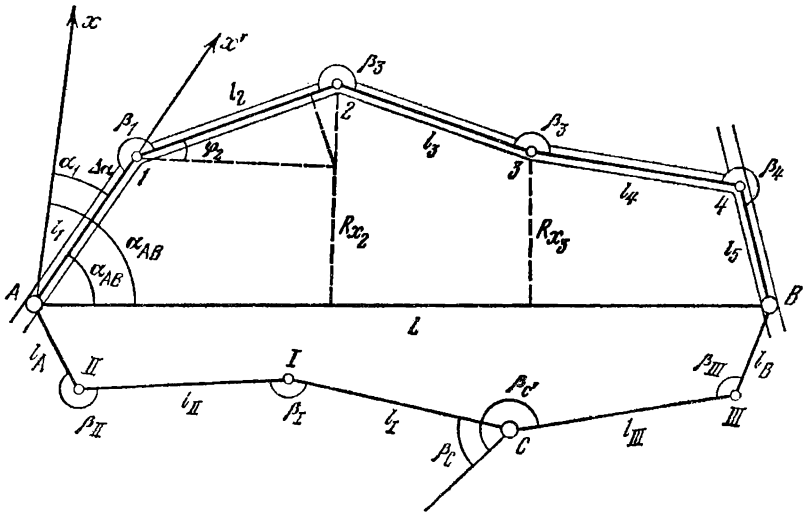


Рис. 45. Схема ориентирования подземной съемки через два вертикальных ствола

между отвесами прокладывают соединительный ход *A—1—2—3—...—B*.

Решение задачи проектирования осуществляется с помощью отвесов. Спуск и закрепление отвесов, проверку их положения в стволах выполняют с соблюдением правил безопасности, рассмотренных при изложении способа ориентирования через один ствол. Точность решения задачи проектирования (центрирование подземной съемки), как указывалось выше, зависит от расстояния между отвесами. С увеличением расстояния влияние погрешности проектирования уменьшается. В данном случае расстояние между отвесами достигает десятков и сотен метров, поэтому погрешность проектирования, определяемая по формуле (I.6.1), сравнительно мала. Например, при расстоянии 100 м и линейной погрешности проектирования 3—5 мм, погрешность проектирования составляет 6—10″. Это обстоятельство позволяет при решении задачи проектирования ограничиться

проектированием с неподвижным отвесом и лишь при расстояниях между отвесами менее 50 м прибегать к проектированию с колеблющимся отвесом с применением шкал. В этом заключается важное преимущество ориентирования через два ствола.

Задача примыкания при ориентировании через два ствола решается прокладкой полигонов на поверхности от пунктов опорной сети (подходных пунктов) к отвесам и в шахте — соединительного полигона между отвесами. В зависимости от расстояния между стволами полигоны на поверхности прокладываются от одного или от двух подходных пунктов.

Линейные и угловые измерения при прокладке полигонов на поверхности производят по нормам точности полигонометрии 1 или 2 разряда, а шахте — по нормам подземных опорных сетей.

Производство работ при ориентировании через два ствола следует организовать в такой последовательности, чтобы основная их часть (прокладка полигонов на поверхности и соединительного полигона в выработках) была выполнена до или после проектирования и примыкания к отвесам.

Вычисление элементов ориентирования через два вертикальных ствола. 1. Обработка линейных измерений. В измеренные длины сторон полигонов на поверхности и в шахте вводят поправки за компарирование, температуру, провес и угол наклона. Кроме того, вводят поправки в длины сторон за приведение их к поверхности эллипсоида (уровня моря) и на плоскость. Поправки определяют по формулам

$$\Delta l = \frac{H}{R} l; \tag{I.6.9}$$

$$\Delta l = \frac{y^2}{2R} l, \tag{I.6.10}$$

где H — средняя абсолютная отметка стороны; R — средний радиус Земли ($R=6371$ км); y — средняя ордината района съемки от осевого меридиана; l — длина стороны.

2. Вычисление координат отвесов. Исходными длинами для вычисления координат отвесов x_A, y_A, x_B и y_B служат дирекционный угол α_{CD} и координаты x_C и y_C подходного пункта. Вычисления аналогичны обработке результатам полигонометрического хода.

3. Дирекционный угол α_{AB} линии, соединяющей отвесы и расстояние L между отвесами (см. рис. 45), находят по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \tag{I.6.11}$$

$$L = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{AB}}. \tag{I.6.12}$$

4. Вычисление координат x_B' и y_B' отвеса B в условной системе координат. За начало условной системы принимают отвес A ($x_A=0$; $y_A=0$) и за ось абсцисс направление первой стороны A—1 соединительного полигона ($\alpha'_{A-1}=0$).

$$x'_B=x'_A+l_1\cos\alpha'_1+\ \ldots\ +l_5\cos\alpha'_5; \qquad (I.6.13)$$
$$y'_B=y'_A+l_1\sin\alpha'_1+\ \ldots\ +l_5\sin\alpha'_5,$$

где α_1', $\alpha'_2\ldots$, — условные дирекционные углы сторон полигона; $\alpha_1'=0$; $\alpha_2'=\alpha_1'+\beta_1\pm180°$; $\alpha_3'=\alpha_2'+\beta_2\pm180°$, ..., l_i и β_i — длина и угол стороны.

5. Вычисление дирекционного угла α'_{AB} линии, соединяющей отвесы и расстояния L между отвесами в условной системе координат осуществляется по формулам:

$$\operatorname{tg}\alpha_{AB}=\frac{y'_B}{x'_B}; \qquad (I.6.14)$$

$$L'=\frac{x'_B}{\cos\alpha'_{AB}}=\frac{y'_B}{\sin\alpha'_{AB}};\quad L'=\sqrt{x_B^2+y_B^2}. \qquad (I.6.15)$$

6. Для контроля ориентировки сравнивают расстояния L и L', вычисленные по формулам (I.6.12) и (I.6.15).

Разность в расстояниях между отвесами $\Delta L=L—L'$ не должна превышать допустимую, определяемую по формуле

$$\Delta L_{\text{доп}}=2\sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2}\left[R_{x_i}^2\right]+\mu\left[l_i\cos^2\varphi_i\right]+\lambda^2L^2}, \qquad (I.6.16)$$

где m_β— средняя погрешность измерения угла; $R_{x_i}^2$— сумма квадратов расстояний от точек соединительного полигона до створа отвесов; μ и λ — коэффициенты случайного и систематического влияния погрешностей линейных измерений ($\mu=5\cdot10^{-4}$; $\lambda=5\cdot10^{-5}$); φ_i — угол, образуется стороной полигона и створом отвесов.

l — длина стороны хода; L — горизонтальное расстояние между отвесами.

Величины $l_i\cos^2\varphi_i$ более удобно получать графически двойным проектированием.

7. Ориентирную поправку $\Delta\alpha$ и дирекционные углы сторон соединительного полигона в системе координат поверхности получают следующим образом:

$$\Delta\alpha=\alpha_{AB}-\alpha'_{AB}; \qquad (I.6.17)$$
$$\alpha_1=\alpha'_1+\Delta\alpha;\quad \alpha_2=\alpha_1+\beta_1\pm180°.$$

8. Вычисление координат точек соединительного полигона в системе координат поверхности. Перед вычислением координат точек полигона следует определить поправки Δl_i, обусловленные разностью ΔL, и ввести их в длины сторон. Поправки находят из выражения

$$\Delta l_i = \frac{\Delta L}{L} l_i.$$

Совпадение вычисленных координат отвеса B с ранее полученными при примыкании на поверхности, является дополнительным контролем правильности ориентирования.

I.6.7. МАГНИТНОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ

Магнитное ориентирование выполняется с помощью приборов с магнитной стрелкой. Магнитная стрелка в приборах подвешивается на нити (деклинатор) или накладывается на шпиль (ориентир-буссоль, зеркальная буссоль) и может свободно вращаться. Свободно колеблющаяся магнитная стрелка под воздействием магнитного поля Земли устанавливается в плоскости магнитного меридиана. Это свойство магнитной стрелки устанавливаться по направлению магнитного меридиана является основой магнитного ориентирования.

При магнитном ориентировании на поверхности выбирают сторону опорной сети, дирекционный угол $\alpha_п$ которой известен. На двух точках стороны измеряют магнитные азимуты и после внесения поправки за изменение направления магнитного меридиана во времени, находят среднее значение магнитного азимута α_m. Далее определяют разность δ по формуле:

$$\delta = \alpha_п - \alpha_m.$$

В шахте на точках ориентируемой стороны измеряют прямой и обратный магнитные азимуты, вносят поправку за изменения направления магнитного меридиана, и находят среднее значение магнитного азимута α_m. Дирекционный угол ориентируемой стороны определяют по формуле:

$$\alpha_ш = \alpha'_m + \delta + \delta_\gamma,$$

где δ_γ — поправка за сближение меридианов в точках на поверхности и в шахте.

Координаты точек подземной съемки определяют при помощи отвеса решением задачи проектирования.

Идея магнитного ориентирования нашла применение в гироскопическом, где вместо свойств магнитной стрелки используются свойства главной оси маятникового гирокомпаса совер-

шать гармонические колебания относительно положения равновесия, которое совпадает с направлением астрономического меридиана в данной точке.

I.7. ГИРОСКОПИЧЕСКОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ

I.7.1. СВОБОДНЫЙ ГИРОСКОП И МАЯТНИКОВЫЙ ГИРОКОМПАС

Определение дирекционного угла стороны гироскопическим способом основано на свойстве главной оси свободного гироскопа сохранять неизменным направление в пространстве и главной оси маятникового гирокомпаса совершать гармонические колебания, положение равновесия которых совпадает с плоскостью меридиана в данной точке.

Свободным гироскопом (рис. 46) называют гироскоп с тремя степенями свободы, центр тяжести чувствительного элемента (ЧЭ), гиромотора и кардановых колец, которого совпадает с точкой пересечения трех осей — точкой подвеса O, а суммарный момент трения по осям равен нулю. Массивный маховик-ротор *4* подвешен в двух кардановых кольцах — внутреннем *3* и внешнем *6*, составляющих карданов подвес, обеспечивающий три степени свободы вокруг трех взаимно перпендикулярных осей:

вращение ротора в подшипниках *2* вокруг главной оси X;

вращение ротора с внутренним кардановым кольцом в подшипниках *5* вокруг горизонтальной карданной оси Y;

вращение ротора с обоими кольцами в подшипниках *1* вокруг карданной оси Z.

За положительное направление оси X принимают конец оси, при наблюдении которого вращение ротора направлено против часовой стрелки. Ось свободного гироскопа, ротор которого вращается ($\sim 20\,000 \div 30\,000$ об/мин), обладает устойчивостью, т. е. способностью сохранять неизменным первоначальное направление в пространстве (независимо от вращения основания).

Свойство устойчивости главной оси свободного гироскопа можно использовать для ориентирования, однако вследствие суточного вращения Земли положение оси (относительно Земли) изменяется. Ось X, вращаясь вокруг оси Z, изменяет свое положение в горизонтальной плоскости относительно плоскости меридиана («в азимуте»), а вращаясь вокруг оси Y — в вертикальной плоскости относительно плоскости горизонта («по высоте»). Движение оси, вызванное вращением Земли, имеет закономерный характер с постоянной на данной широте скоростью.

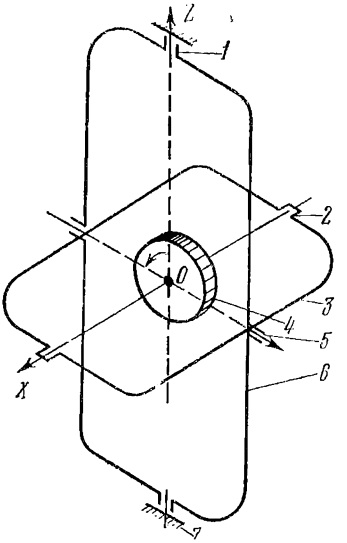


Рис. 46. Принципиальная схема свободного гироскопа:

1 — подшипники оси внешнего кольца; *2* — подшипники оси вращения ротора; *3* — внутреннее кольцо карданова подвеса; *4* — маховик-ротор; *5* — подшипники оси внутреннего кольца; *6* — внешнее кольцо карданова подвеса; *7* — корпус (основание)

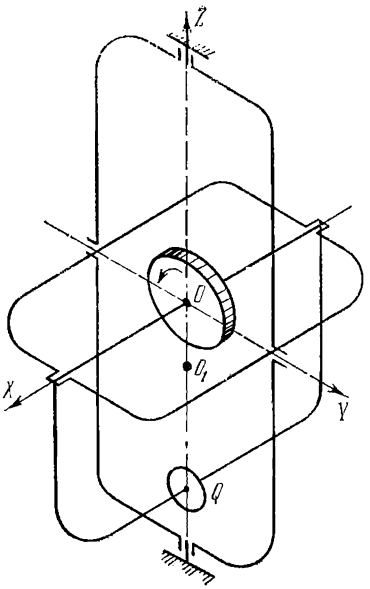


Рис. 47. Принципиальная схема маятникового гирокомпаса

Фактически угловая скорость движения оси гироскопа зависит от ряда случайных причин (трения, люфта в подшипниках, изменения положения центра тяжести и др.) и является случайной величиной. Движение оси гироскопа происходит под действием момента внешней силы в плоскости, перпендикулярной действующей силе. Поэтому для определения направления движения необходимо вектор силы повернуть на 90° вокруг оси гироскопа в направлении вращения ротора. Это движение называется прецессией. Угловая скорость $\omega_п$ прецессии пропорциональна моменту — $M_в$ внешней силы и обратно пропорциональна кинетическому моменту H гироскопа:

$$\omega_п = \frac{M_в}{H}; \quad M_в = pl; \quad H = j\Omega, \tag{I.7.1}$$

где p и l — внешняя сила и плечо силы (расстояние от точки подвеса до точки приложения силы); j и Ω — главный момент инерции и угловая скорость вращения ротора.

Угловая скорость прецессии современных свободных гироскопов составляет 0,5—1°/ч и поэтому их применение для ориентирования пока не возможно.

Маятниковый гирокомпас (рис. 47) имеет две полные (относительно осей X и Z) и одну ограниченную (относительно оси Y) степени свободы. В отличие от свободного гироскопа центр тяжести ЧЭ маятникового гирокомпаса с помощью груза Q смещен в точку O_1 вниз по оси. Под действием груза Q ось гирокомпаса X всегда будет стремиться занять положение, параллельное плоскости горизонта.

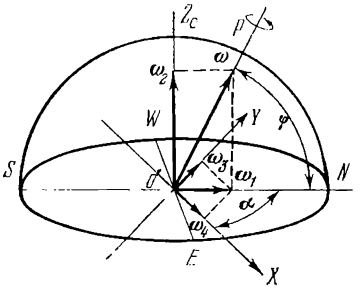


Рис. 48. Составляющие земного вращения

Действие маятникового гирокомпаса основано на свойствах гироскопа и суточном вращении Земли.

Для любой точки поверхности Земли, расположенной на широте φ, например, точки O' (рис. 48), вектор угловой скорости вращения Земли ω можно представить в виде двух составляющих по двум взаимно перпендикулярным направлениям: линии пересечения плоскостей горизонта и меридиана ω_1 и отвесной линии ω_2, то

$$\omega_1 = \omega \cos \varphi,$$
$$\omega_2 = \omega \sin \varphi. \qquad (I.7.2)$$

Горизонтальной составляющей ω_1 земного вращения называется угловая скорость вращения плоскости горизонта (в пространстве вокруг линии пересечения плоскости горизонта) и меридиана (восточная половина E горизонта всегда опускается, а западная W — поднимается). Вертикальной составляющей ω_2 земного вращения называется угловая скорость вращения плоскости меридиана в пространстве вокруг отвесной линии (северный конец меридиана всегда движется к западу). Наблюдателем, находящимся в точке O, изменения составляющих воспринимаются как изменение высоты и азимута Солнца и звезд.

Если ось гироскопа горизонтальна и отклонена на угол α к востоку от плоскости меридиана, то составляющую угловой скорости вращения Земли ω_1 можно разложить на составляющие: по карданной оси Y—ω_3; по оси X—ω_4. Таким образом,

$$\omega_3 = \omega \cos \varphi \sin \varphi;$$
$$\omega_4 = \omega \cos \varphi \cos \alpha. \qquad (I.7.3)$$

Вращение плоскости горизонта вокруг оси гирокомпаса X незначительно изменяет в пространстве угловую скорость вращения гиромотора и не оказывает действия на характер

движения оси. Вращение плоскости горизонта вокруг карданной оси Y при суточном вращении Земли вызывает непрерывное изменение угла наклона оси гирокомпаса к горизонту (восточный конец оси всегда поднимается, западный — опускается), тем самым создает момент внешней силы в гирокомпасе, и называется полезной составляющей земного вращения. Это происходит только при $\alpha=0$, т. е. в плоскости меридиана $\omega_3=0$; при любом другом положении оси ($\alpha\neq 0$) соединение свободного гироскопа с маятником обеспечивает автоматическое возникновение момента внешней силы и соответствующего прецессионного движения. Этот момент называется направляющим моментом $M_н$ гирокомпаса и может быть получен из выражений (1.7.1) и (1.7.3.):

$$M_н = H\omega\cos\varphi\sin\alpha. \qquad (I.7.4)$$

Схема маятникового гирокомпаса успешно применяется во всех маркшейдерских гирокомпасах.

I.7.2. ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ ОСИ МАЯТНИКОВОГО ГИРОКОМПАСА

Если ось X маятникового гирокомпаса горизонтальна и находится в плоскости меридиана (рис. 49, *а*), то на нее не действует момент $M_в$ силы тяжести P, однако плоскость меридиана непрерывно вращается в пространстве вокруг отвесной линии с угловой скоростью ω_2.

Северный конец оси X вследствие устойчивости оси свободного гироскопа сохраняет неизменным свое положение в пространстве и в следующий момент времени окажется восточнее плоскости меридиана. Восточная половина горизонта непрерывно опускается и наблюдателю будет казаться, что северный конец оси поднимается над плоскостью горизонта. Так как центр тяжести O_1 ниже точки подвеса O, то возникает момент $M_в$ силы тяжести, действующий в вертикальной плоскости, пропорциональный массе ЧЭ, метацентрической высоте a (расстоянию между точкой подвеса O и центром тяжести O_1) и углу наклона θ оси X к горизонту (рис. 49, *б*):

$$M_в = Pa\sin\theta = M\sin\theta, \qquad (I.7.5)$$

где $Pa=M$ — маятниковый момент гирокомпаса (наибольший момент силы тяжести P при $\theta=90°$).

Под действием момента $M_в$ ось гирокомпаса будет прецессировать (поворачиваться) в азимуте с угловой скоростью $\omega_п$, величина которой определяется из выражений (1.7.1) и (1.7.5):

$$\omega_п = \frac{M}{H}\sin\theta. \qquad (I.7.6)$$

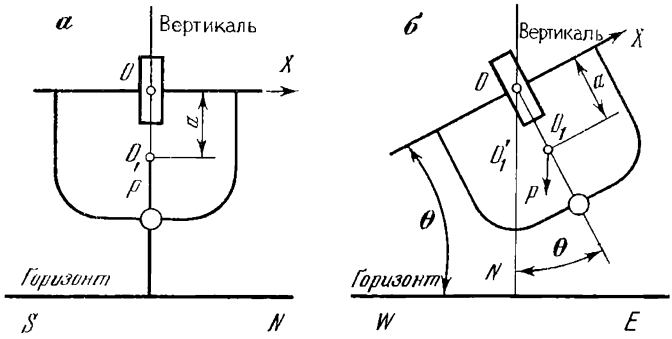


Рис. 49. Момент силы тяжести чувствительного элемента на ось маятникового гирокомпаса, находящегося в плоскости меридиана (*а*) и вне се (*б*)

Если угловая скорость прецессии $\omega_п$ оси гирокомпаса в пространстве и вертикальная составляющая ω_2 земного вращения равны и совпадают по направлению, то ось гирокомпаса будет неподвижна относительно Земли. При этом $\alpha=0$ и $\theta=\theta_0$. Такое положение оси называется положением равновесия оси гирокомпаса. Величину θ_0 найдем из выражений (1.7.2) и (1.7.6):

$$\theta_0=\rho\frac{H}{M}\omega\sin\varphi. \qquad (I.7.7)$$

Угловая скорость вращения плоскости меридиана на данной широте постоянна по величине и направлению: северный конец меридиана всегда движется на запад с угловой скоростью, равной вертикальной составляющей земного вращения — ω_2 в данной точке. Угловая скорость прецессии $\omega_п$ под действием силы тяжести переменна по величине и направлению: направление — определяется положением оси относительно го ризонта (ось прецессирует на запад, если она над горизонтом и на восток — если под горизонтом).

Ось гирокомпаса совершает колебания относительно плоскостей меридиана и горизонта вследствие двух движений в пространстве: плоскости меридиана и прецессии оси под действием силы тяжести. Траектория движения северного N конца оси лежит в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости меридиана MM (рис. 50, *а*). При этом азимуты α характеризуются горизонтальными отрезками, а углы наклона θ — вертикальными. Ось гирокомпаса совершает незатухающие гармонические элиптические колебания, положения равновесия (*I*, *II*, *III*, *IV*) которых находятся в плоскости меридиана. Эти колебания более наглядно можно показать в азимутальной плоскости (рис. 50, *б*). Положения *I* и *III*, в которых скорость

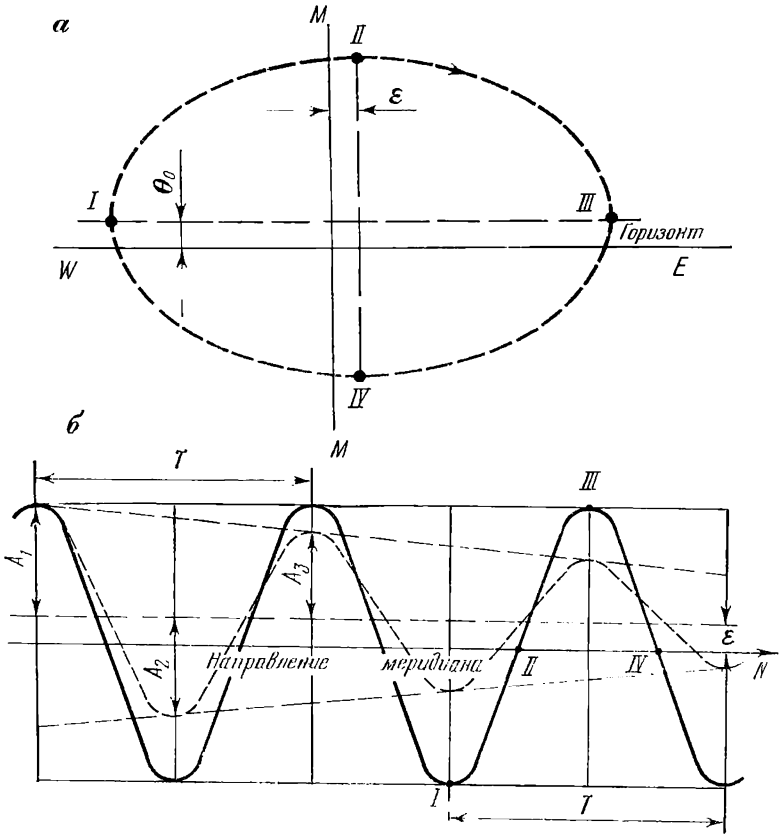


Рис. 50. Схема колебательного движения оси маятникового гирокомпаса в вертикальной плоскости, перпендикулярной меридиану (*а*) и в горизонтальной плоскости (*б*)

движения оси равна нулю, а направление изменяется на обратное, называются точками реверсии оси гирокомпаса. Промежуток времени, за который ось описывает эллипс и возвращается в начальное положение, т. е. время одного колебания, называется периодом T незатухающих колебаний гирокомпаса и выражается формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{M\omega \cos \varphi}}. \qquad (I.7.8)$$

Вследствие действия сил трения в подвесе колебания оси гирокомпаса слабозатухающие (пунктирная линия). Поэтому амплитуда колебаний оси по азимуту и по углу θ непрерывно

уменьшается, т. е. ось движется не по эллипсу, а по закручивающейся спирали.

Затухание колебаний практически постоянно во времени и характеризуется отношением предыдущей амплитуды A_{i-1} к последующей A_i. Это отношение называется фактором затухания f:

$$f = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} = \frac{A_3}{A_4} = \ldots = \frac{A_{i-1}}{A_i}. \qquad (I.7.9)$$

Так как на ось гирокомпаса действует вертикальный момент внешней силы $M_в$, положение равновесия оси отклонено от плоскости меридиана на угол $\varepsilon = \alpha'$, который может быть получен из условий: $M'_н = M_в$ и $M'_н = H\omega\cos\varphi\sin\varepsilon$.

Приняв $\sin\varepsilon = \varepsilon$ вследствие малости угла ε, получим:

$$\varepsilon = \rho M_в / M_{н\,(max)}, \qquad (I.7.10)$$

где $M_{н\,(max)} = H\omega\cos\varphi$ — максимальный направляющий момент на широте φ.

В маркшейдерских гирокомпасах с электромагнитным центрированием и центрированием на шпиле момент $M_в$ постоянный по величине и влияние его «автоматически» учитывается при определении поправки гирокомпаса. В гирокомпасах с торсионным подвесом момент $M_в$ пропорционален углу закручивания ψ подвеса:

$$M_в = m_{кр}\psi,$$

где $m_{кр}$ — удельный момент кручения подвеса (при $\psi = 1$ рад).

Для гирокомпасов с торсионным подвесом формула (I.7.10) примет вид:

$$\varepsilon = \psi / D; \qquad (I.7.11)$$

$$D = \frac{M_{н\,(max)}}{m_{кр}}, \qquad (I.7.12)$$

где D — добротность гирокомпаса.

Период затухающих колебаний $T_т$ с учетом добротности будет следующим:

$$T_т = T\sqrt{\frac{D}{D+1}}. \qquad (I.7.13)$$

Точность гирокомпаса определяется постоянством положения равновесия оси гирокомпаса «в пуске» (во время работы) и «от пуска к пуску» (при повторных пусках). Постоянство положения равновесия зависит от стабильности конструктивных параметров гирокомпаса, режима электропитания и условий эксплуатации, точности балансировки гиромотора и юстировок гирокомпаса. При вполне достижимых условиях стабильности

перечисленных выше факторов, влияющих на положение равновесия, имеются реальные возможности обеспечить точность гирокомпаса 10—15″.

I.7.3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ГИРОКОМПАСЫ

Качественные изменения методов подземных маркшейдерских съемок, которые произошли в последние десятилетия связаны с разработкой маркшейдерских гирокомпасов для гироскопического ориентирования. Их внедрение в горное производство обеспечило определение с достаточной точностью дирекционных углов сторон подземной съемки в любой точке горных выработок без остановки подъема по шахтному стволу.

Впервые гироскопическое ориентирование было выполнено разработанным ВНИМИ маркшейдерским гирокомпасом М-1 в 1950 г. на одной из шахт треста «Ленинградсланец». Маркшейдерские гирокомпасы являются одногироскопными маятниковыми. Известны и получили практическое применение три типа маркшейдерских гирокомпасов, различающихся по конструкции подвеса и способом центрирования ЧЭ.

Гирокомпасы с жидкостным подвесом и электромагнитным центрированием. К их числу относятся М-1, М-3, МУГ-2 (СССР), а также MW-1 и MW-4*а* (ФРГ), разработанные на базе морских гирокомпасов в обычном — невзрывобезопасном исполнении, они размещаются на специальной платформе из-за их большой массы и габаритов. Практическое применение этих гирокомпасов было целесообразно только на первом этапе разработки маркшейдерских гирокомпасов, предназначенных для ориентирования шахт с точностью 1—1,5′, т. е. для определения дирекционного угла первой стороны съемки у ствола на входящей вентиляционной струе (1950—1959 гг.).

Гирокомпасы с жидкостным подвесом и центрированием на шпиле. Это МВ1, МВ2, МВ2М (СССР) были разработаны в исполнении РП (рудничном, повышенной надежности) с автономным электропитанием и предназначены не только для ориентирования шахт, но и для контроля подземной маркшейдерской съемки — определения (точность 35—45″) дирекционных углов, удаленных от ствола шахты сторон съемки, расположенных на входящей вентиляционной струе (1957—1969 гг.).

Гирокомпасы с торсионным подвесом и центрированием — МВТ2, МВТ4 (СССР) и MW50*а* (ФРГ) были разработаны во взрывобезопасном исполнении, могут быть установлены в любой точке горных выработок и предназначены для построения подземных опорных сетей в шахте (применяются с 1967 г. по настоящее время).

Гирокомпасы МТ1 (СССР), КТ1, MW77 и Гиромат (ФРГ), GAK-1 (Швейцария) — производятся в обычном исполнении и

предназначены для геодезических работ на поверхности; ЧЭ гирокомпасов такого типа подвешен на специальной ленте — торсионе.

Приведем основные технические характеристики получивших широкое практическое применение современных отечественных гирокомпасов и зарубежных теодолитов и гиронасадок (табл. 16).

Таблица 16

Техническая характеристика	СССР		ФРГ				ВНР		Швейцария GAK1
	МВТ2	МВТ4	КТ1	ТК5	MW50	GM	Gi-B2	Gi-G1	
Погрешность гирокомпаса[1], угл. с	15—20	15	20	40	45	5	12	25	30
Кинетический момент, кг·м²/с	0,1	0,2	0,9	0,15	0,1	0,2	0,4	0,4	0,2
Добротность (на широте 60°)	15	15	3,5	3,5	3,5	3,5	—	3,0	3,5
Продолжительность определения гироскопического азимута стороны, мин	20	20	45	35	10—30	10	40	25	30
Энергетический ресурс, число пусков	15	10	9	20	10	10	10	26	15
Количество приборов в комплекте, шт.	3	3	5	5	2	2	5	4	4
Масса комплекта приборов, кг	38	28	85	37	23	16	98	50	35
Исполнение	РВ1В	РВ1В	Н	Н	РВ	—	Н	Н	Н

[1] Под погрешностью гирокомпаса понимают среднее квадратическое отклонение случайной составляющей (СКО) погрешности определения гироскопического азимута стороны.

В СССР планомерно ведутся работы по дальнейшему совершенствованию маркшейдерских приборов гироскопического ориентирования в направлении уменьшения веса и габаритов приборов при обеспечении необходимой технической точности измерений, повышении производительности труда маркшейдерских работ (автоматизация процессов измерений и обработки) и изготовлении гирокомпасов во взрывобезопасном исполнении[1].

Об этом свидетельствует в частности успешное участие на международной выставке «Маркшейдерские приборы и оборудование» в рамках VII Конгресса по маркшейдерскому делу

[1] *Луковатый Ю. С., Глейзер В. И., Кон М. С., Шаранов Е. М.* «Маркшейдерские гирокомпасы для ориентирования подземных съемок»/Сб. научных трудов «Методы, технические средства маркшейдерских работ и исследований сдвижений горных пород. — Ленинград, ВНИМИ, 1988, с. 43—50.

(Ленинград, 1988) новых маркшейдерских гирокомпасов «Меридиан-1» и МЦВ4, изготовляемых ВНИМИ (СССР).

В обоих гирокомпасах использован синхронный гиромотор ГСМ-0,8, характеризующийся высокой экономичностью энергопотребления.

Гирокомпас «Меридиан-1»[1] предназначен для построения маркшейдерских сетей и контроля съемок, в том числе в шахтах, опасных по содержанию газов и пыли. Применение гистерезисного гиромотора позволяет наблюдать прецессионные движения ЧЭ гирокомпаса на зеркальной поверхности ротора, что дает возможность исключить определение приборной поправки и повысить производительность работы.

СКО случайной составляющей погрешности определения гироскопического азимута стороны (погрешность гирокомпаса) составляет 20″; продолжительность измерения гироскопического азимута на широте 60° — 20 мин; масса прибора на точке стояния 23 кг.

Гирокомпас МВЦ4 служит для ориентирования сторон при подземной съемке, является первым цифровым гирокомпасом во взрывобезопасном исполнении, в котором автоматизирован процесс определения гироскопического азимута ориентируемой стороны.

Вычисление гироскопического азимута осуществляется автоматически по сигналам цифрового датчика угла в течение одного периода прецессионных колебаний ЧЭ (на широте 60° период равен 5 мин). Результат вычислений (гироскопический азимут стороны) выводится на цифровое табло.

Гирокомпас МВЦ4 — высокопроизводительный прибор, надежен и удобен в эксплуатации. СКО случайной составляющей погрешности единичного определения гироскопического азимута стороны (погрешность гирокомпаса) не более 45″, продолжительность измерений на широте 60° — не более 12 мин; масса гирокомпаса с блоком питания — 30 кг.

I.7.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА ГИРОКОМПАСАМИ С ТОРСИОННЫМ ПОДВЕСОМ МВТ2 И МВТ4

Гирокомпас МВТ2 (рис. 51) состоит из гироблока, измерительного блока — угломерной части и трегера, устанавливаемых для работы на штативе, а также автономного блока питания.

Основные блоки и узлы гирокомпаса МВТ4, в отличие от МВТ2, расположены в одном взрывобезопасном корпусе. При-

[1] *Глейзер В. И., Кон М. С., Громова Т. П., Розентулер С. Л.* «Маркшейдерский гирокомпас «Меридиан-1»/Сб. научных трудов «Совершенствование технологии маркшейдерского обеспечения безопасности и эффективности ведения горных работ на шахтах и разрезах отрасли» — Ленинград, ВНИМИ, 1986, с. 48—55.

бор во многом аналогичен гирокомпасу МВТ2, но имеет более высокую точность, а также удобнее и надежнее в эксплуатации. Основным конструктивным отличием его от гирокомпаса МВТ2 является наличие демпфирующего устройства, предназначенного для гашения вредных вибраций. Однако применение демпфера несколько усложнило конструкцию гирокомпаса.

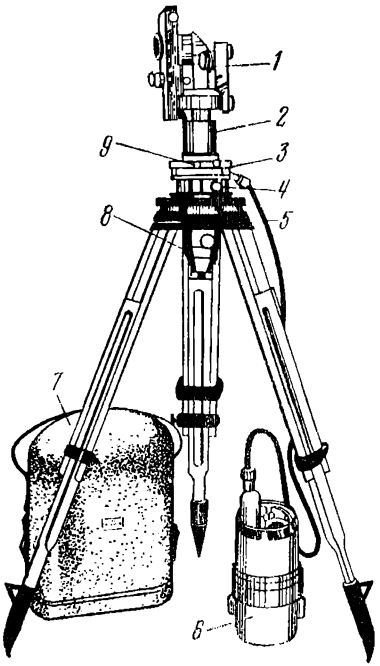


Рис. 51. Маркшейдерский гирокомпас МВТ2:

1 — угломерная часть; *2* — поворотный корпус; *3* — трегер; *4* — подъемные винты; *5* — соединительный кабель; *6* — блок питания; *7* — футляр прибора; *8* — гироблок; *9* — наводящее устройство

Определение дирекционного угла гироскопическим способом основано на свойстве оси гирокомпаса (оси вращения гиромотора) совершать затухающие гармонические колебания, положение равновесия которых, при отсутствии внешних моментов, находится в плоскости меридиана. Практически определяют положение равновесия другой линии — перпендикуляра к зеркалу на ЧЭ, находящегося под постоянным углом Δ к оси гирокомпаса, называемым конструктивной постоянной гироблока (рис. 52). Положение равновесия этой линии, называемого в дальнейшем положением равновесия ЧЭ (сокращенно ПР ЧЭ), будет, очевидно, находиться не в плоскости меридиана, а под тем же углом Δ, отсчитываемым от северного конца оси гирокомпаса до положительного конца перпендикуляра к зеркалу (с которого вращение ротора «видно» по часовой стрелке).

Визирные оси зрительной трубы ЗТ и автоколлимационной АТ, обычно, образуют между собой некоторый угол τ, называемый конструктивной постоянной измерительного блока и отсчитываемый от положительного конца оси АТ до положительного конца визирной оси ЗТ при круге «лево» (АТ слева от ЗТ). За положительные направления осей принимают их концы, выходящие из объективов труб.

Если через визирную ось ЗТ, расположенной так, что визирная ось АТ совпадает с ПР ЧЭ, свободным от влияния внешних сил, провести вертикальную плоскость, то след от пересечения этой плоскости и земной поверхности называется «гиро-

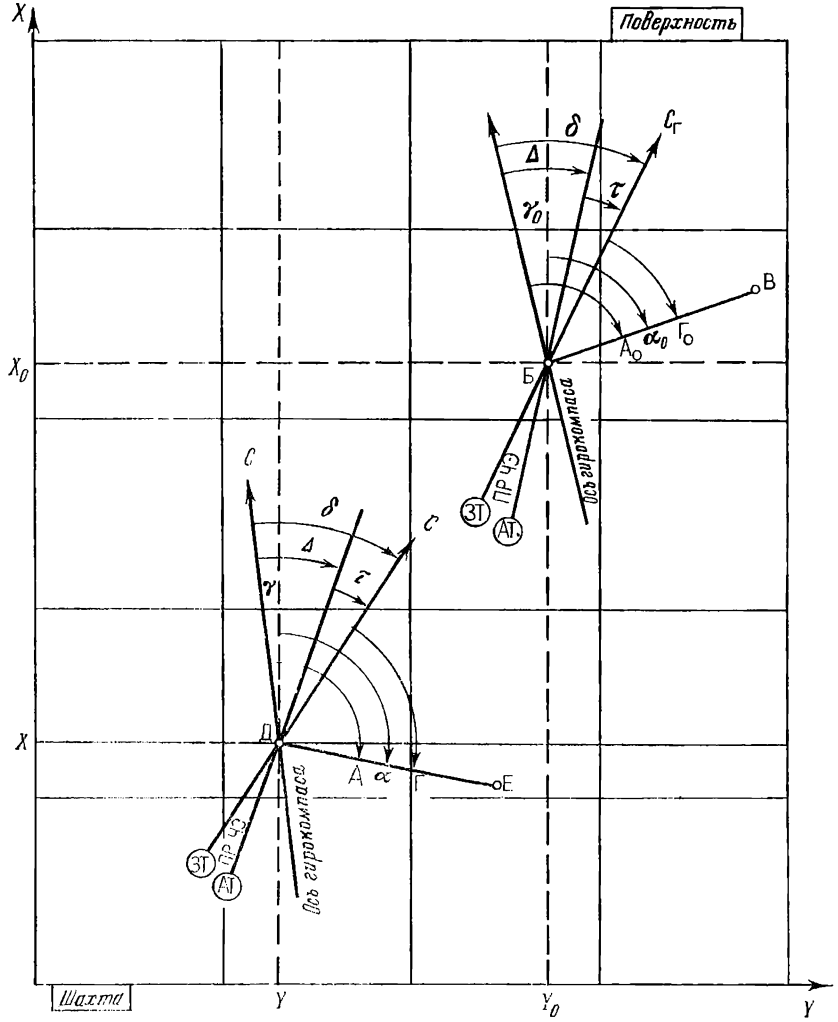


Рис. 52. Схема определения дирекционного угла стороны гироскопическим способом

компасным» (приборным) меридианом $C_г$. Положение гирокомпасного меридиана отличается от истинного C на угол $\delta = \Delta + \tau$, называемый поправкой гирокомпаса.

Поправка гирокомпаса — горизонтальный угол между осью гирокомпаса и визирной осью ЗТ в момент, когда визирная ось АТ совмещена с ПР ЧЭ. Поправка отсчитывается от северного конца оси гирокомпаса до положительного конца визирной оси ЗТ.

Поправка гирокомпаса и конструктивные постоянные принимаются положительными, если отсчитывание происходит по часовой стрелке и отрицательными — если против часовой стрелки.

Угол Γ_0 или Г, отсчитываемый от северного конца гирокомпасного меридиана по часовой стрелке до исходной БВ или ориентируемой стороны ДЕ называется гироскопическим азимутом стороны.

Для определения дирекционного угла стороны гирокомпас устанавливают вначале на поверхности в точке Б, определяют гироскопический азимут Γ_0 исходной стороны БВ (дирекционный угол α_0) и вычисляют поправку гирокомпаса δ:

$$\delta = A_0 - \Gamma_0 = \alpha_0 + \gamma_0 - \Gamma_0. \qquad (I.7.14)$$

В шахте гирокомпас устанавливают в точке Д, определяют гироскопический азимут Г ориентируемой стороны ДЕ и вычисляют дирекционный угол стороны по формуле:

$$\alpha = A - \gamma = \Gamma + \delta - \gamma, \qquad (I.7.15)$$

где A_0 и A — геодезические азимуты сторон БВ и ДЕ; γ_0 и γ — сближение меридианов в точках Б и Д.

Если гирокомпас используют для работы только на одной шахте или поправку гирокомпаса определяют на каждой шахте, то α, исходя из выражений (I.7.13) и (I.7.14), вычисляют по формуле

$$\alpha = (\alpha_0 - \Gamma_0) + \Gamma + \delta_\gamma = \Gamma + \delta_м + \delta_\gamma, \qquad (I.7.16)$$

где $\delta_м = \alpha_0 - \Gamma_0$ — «местная» поправка гирокомпаса, δ_γ — разность сближений меридианов в точках установки гирокомпаса на поверхности и в шахте, а

$$\delta_\gamma = \mu (y_0 - y), \qquad (I.7.17)$$

где y_0 и y — ординаты точек Б и Д (по плану), км; δ_γ — в угловых секундах, если μ (в с/км) равно 32,2 $\operatorname{tg}\varphi$.

Таким образом, при определении дирекционного угла стороны гироскопическим способом на каждой точке установки гирокомпаса на поверхности и в шахте определяют гироскопические азимуты исходной и ориентируемых сторон. Для этого гирокомпас центрируют на одной из точек, например Д, исходной или ориентируемой стороны ДЕ (рис. 53), устанавливают ось вращения теодолита в вертикальное положение, поворотом корпуса направляют ось гиромотора примерно (с точностью 20°) на север. После разгона гиромотора наблюдают четыре последовательные точки реверсии прецессионных колебаний,

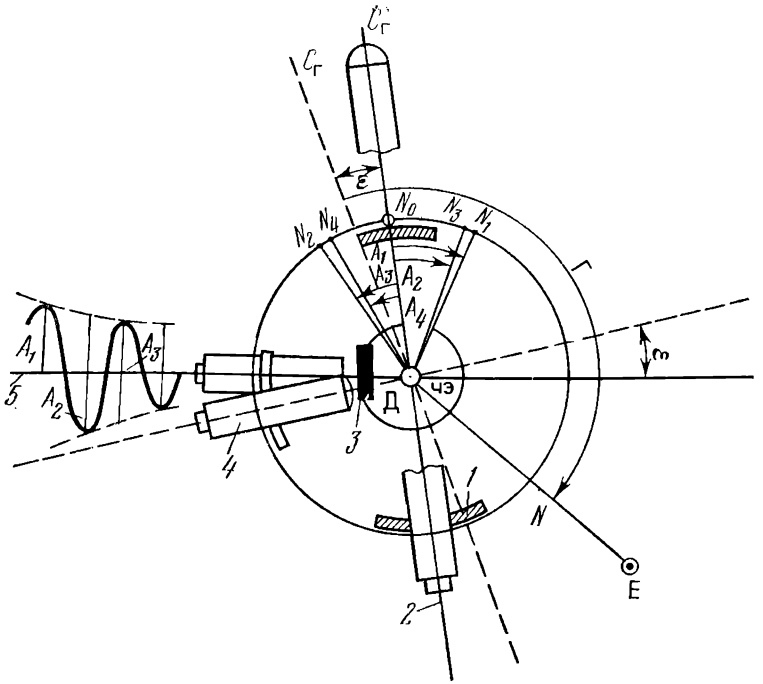


Рис. 53. Схема определения гироскопического азимута стороны:
1 — алидада; *2* — визирная ось зрительной трубы; *3* — зеркало; *4* — визирная ось автоколлимационной трубы; *5* — положение равновесия ЧЭ

определяя по лимбу гирокомпаса отсчеты N_1, N_2, N_3 и N_4 им соответствующие, и получают отсчет N_0, соответствующий ПР ЧЭ:

$$N_0 = \frac{N_0' + N_0''}{2}, \qquad \text{(I.7.18)}$$

где N_0' и N_0'' — промежуточные средние по трем последовательным точкам реверсии, вычисляемые по формулам:

$$N_0' = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4} \text{ и } N_0'' = \frac{N_2 + 2N_3 + N_4}{4}. \qquad \text{(I.7.19)}$$

Дважды (в начале и в конце пуска) определяют примычное направление N на второй пункт стороны (В или Е).

При ориентировании гирокомпасом МВТ2 с торсионным подвесом без следящей системы до включения гирокомпаса аналогично, как и при прецессионных колебаниях, по четырем точкам реверсии свободных колебаний определяют их положение равновесия n_0 и вычисляют поправку ε за закручивание подвеса

($C_г$ и $C_г'$ — направления гироскопического меридиана, определенные без учета и с учетом ε).

Гироскопический азимут стороны может быть вычислен по формуле

$$Г = N - N_0 + \varepsilon. \qquad (I.7.20)$$

Угол закручивания ψ подвеса гирокомпаса МВТ2 равен углу между положениями равновесия гармонических и свободных колебаний ЧЭ и состоит из двух углов $\psi_к$ и $\psi_т$. Тогда при добротности гирокомпаса D поправка за закручивание ε равна

$$\varepsilon = \frac{\psi_к + \psi_т}{D}, \qquad (I.7.21)$$

где $\psi_к$ — угол закручивания подвеса из-за неточного ориентирования корпуса гироблока (угол между перпендикулярами к зеркалам на корпусе гироблока и на ЧЭ в момент положения равновесия прецессионных колебаний); $\psi_т$ — угол закручивания подвеса из-за изменения нулевого положения подвеса (угол между перпендикулярами к зеркалам на корпусе гироблока и на ЧЭ в момент положения равновесия свободных колебаний);

$$\psi_к = N_к - N_0;$$
$$\psi_т = (n_0 - n_к)\, t, \qquad (I.7.22)$$

где t — цена деления шкалы в угловой мере, в поле зрения АТ.

Точки реверсии свободных и прецессионных колебаний фиксируются с помощью АТ измерительного блока (рис. 54, *а*), состоящей из окуляра *8*, объектива *2*, сетки нитей *5* и диафрагмы *7*. Луч света от лампочки *4* через прямоугольную

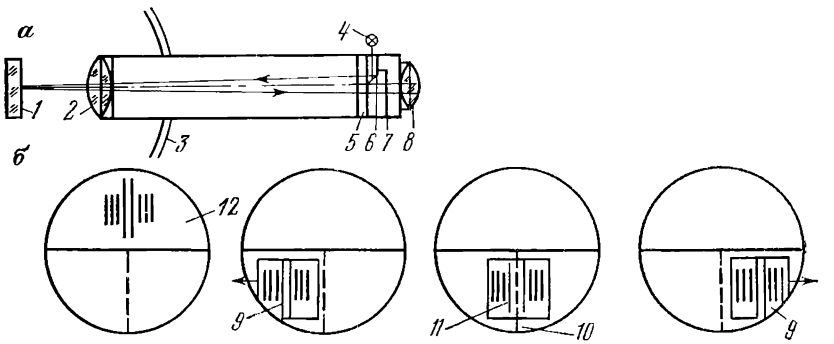


Рис. 54. Автоколлимационная труба (*а*) и поле зрения сетки нитей (*б*):
1 — зеркало на ЧЭ; *2* — объектив; *3* — алидада теодолита; *4* — лампочка; *5* — сетка нитей; *6* — прямоугольная призма; *7* — диафрагма; *8* — окуляр; *9* — движущееся отраженное изображение сетки нитей; *10* — пунктирный штрих; *11* — биссектор движущегося изображения сетки нитей; *12* — неподвижное изображение сетки нитей

призму *6* проецирует верхнюю часть сетки *12* (рис. 54, *б*) на зеркало *1* на ЧЭ. Если визирная ось трубы перпендикулярна (примерно) плоскости зеркала, отраженное изображение сетки нитей — освещенный «прямоугольник» с биссектором *9*, проецируется в нижнюю часть сетки (ход лучей показан стрелками). Зеркало и освещенный «прямоугольник» движутся вместе с ЧЭ и наблюдатель, вращая алидаду теодолита *3* с АТ вслед за движущимся изображением, все время «держит» его в поле зрения трубы. В момент реверсии «прямоугольник» с биссектором *11* останавливается, наводящим винтом алидады вводят пунктирный штрих *10* в биссектор *11* и, убедившись, что «прямоугольник» с биссектором начал движение в обратном направлении берут отсчет — N_1 по лимбу измерительного блока, соответствующий первой точке реверсии, а затем аналогично — все последующие. Наблюдения последующих точек реверсии начинают за 1—2 минуты до момента реверсии.

Освещенный «прямоугольник» находят, вращая алидаду до появления его в поле зрения трубы. Отсчет N_0, соответствующий ПР ЧЭ определяют по формуле (I.7.18).

I.7.5. ПРОИЗВОДСТВО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ

На каждом горизонте горных работ в зависимости от конкретных условий и требований возможно ориентировать одну, две. три или несколько сторон съемки. В настоящее время опробованы и внедрены в практику две схемы: ориентирование на горизонте горных работ одной стороны (собственно ориентирование); ориентирование двух—трех или нескольких сторон (сети с гиросторонами). В качестве исходных для определения поправки гирокомпаса выбирают наиболее надежно определенные стороны триангуляции или полигонометрии; ориентируемые стороны закреплены постоянными знаками.

Гироскопические азимуты исходных и ориентируемых сторон определяют, как минимум дважды: первое определение гироскопического азимута исходной стороны на поверхности производится до начала определения гироскопических азимутов ориентируемых сторон; второе — после. В шахте, по возможности, определяют прямой и обратный азимут ориентируемой стороны или дважды прямой — с выключением и повторной центрировкой гирокомпаса между определениями. Разность двух определений не должна превышать — 2′. За окончательный результат принимают среднее из двух определений.

Если на горизонте горных работ ориентируют две — три или несколько сторон съемки, то повторное определение гироскопического азимута первой ориентируемой на горизонте стороны

съемки целесообразно производить после определения азимутов всех остальных ориентируемых на горизонте сторон.

Работы по ориентированию сторон на каждом последующем горизонте производятся после их окончания на предыдущем.

Таблица 17

Рабочая страница журнала наблюдений
Пуск № 45

Точка установки пункт Б — Угол приведения 18°
Начальный отсчет 212
Точка визирования пункт В — Конечный отсчет 230

Точка реверсии	Время ч	м	с	Прецессионные колебания: отсчет °	′	″	средний °	′	″	Свободные колебания: отсчет °	′	″	средний °	′	″
1	0	00	00	10	25	54					11	5			
2		03	05	8	08	24	9	16	52		69	0		40	4
3		06	10	10	24	48	9	16	45		12	0		40	6
4		09	15	8	09	00					69	5			
							9	16	48					40	5

	Примычное направление °	′	″		°	′	″
N'	66	38	24	N''	66	38	00
		38	18			38	06
	66	38	21		66	38	03
	$N = 66°38'12''$						

			Поправка за закручивание ε °	′	″			°	′	″
n_0	40,5	$N'_к$	9	06	30	$\psi_т$	+	00	30
$n_к$	40,0	$N''_к$	9	06	18	$\psi_к$	—	10	24
$n_0—n_к$	+0,5	$N_к$	9	06	24	$\psi_т—\psi_к$	—	9	54
	60″	N_0	9	16	48	D		18,3	
$\psi_т$	+°0′30″	$\psi_к$		—10	24	ε		—0	32

	Гироскопический азимут стороны Г °	′	″
N	66	38	12
N_0	9	16	48
$N—N_0$	57	21	23
ε	—	00	32
Г	57	20	51

При построении опорных сетей с гиросторонами целесообразно увеличить число определений поправки гирокомпаса до 3—4 раз (два раза до работ в шахте и один — два — после) с последующими ежедневными контрольными определениями. В этом случае поправка $\delta_м$ вычисляется как среднее из всех определений K, включая последующие (контрольные) по формуле

$$\delta_м = \frac{\Sigma\delta'_м + \delta'_к}{K}, \qquad (I.7.23)$$

где $\delta_м'$ — значения поправок до контрольного определения; $\delta_к'$ — значения поправок из контрольных определений.

Результаты наблюдений записывают в журнале наблюдений (табл. 17), а затем вычисляют дирекционный угол α (табл. 18) по формулам, приведенным выше.

Таблица 18

Вычисление гироскопического ориентирования

Поправка гирокомпаса

Исходная сторона БВ			
Пуски 45 и 48			
	°	′	″
Γ'_0	57	20	51
Γ''_0	57	21	55
Γ_0	57	21	23
	60	28	47
Γ_0	57	21	23
$\delta_{ср}$	+3	07	24

Поправка за разность сближений меридианов

Пункты Б и Д		
Пуски 45 и 46		
y_0	+	86,5
y	+	84,0
$y_0 - y$	+	2,5
M		56,25
δ_γ	+	2′21″

Дирекционный угол ориентируемой стороны α Ориентируемая сторона ДЕ

	Пуски 46 и 47		
	°	′	″
Γ'	126	48	15
Γ''	126	48	55
Γ	126	48	35
$\delta_{ср}$	+3	07	24
$\Gamma + \delta_{ср}$	129	55	59
δ_γ	+	2	21
α	129	58	20
M_α		0	38

1.8. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

Вертикальными соединительными съемками обеспечивается производство вертикальных съемок на поверхности и в подземных горных выработках от единого, в частности, принятого в СССР исходного уровня — нуля Кронштадского футштока (Балтийская система высот). Такая увязка съемок совершенно необходима, так как позволяет решить многие горнотехнические задачи: определение глубины разработок в различных точках

шахтного поля, составление сводных геологических разрезов по данным геологической документации на поверхности и в горных выработках, определение взаимного по высоте положения горных выработок соседних шахт; охрана сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок и т. д.

Вертикальная соединительная съемка состоит в передаче высоты с того или иного исходного репера на поверхности на исходные реперы подземной съемки.

Высоты исходных реперов, расположенных в пределах горного отвода на земной поверхности, определяются геометрическим нивелированием IV класса от ближайших реперов или марок государственной нивелирной сети. В случаях, когда подземные выработки соединяются с земной поверхностью штольной или наклонным шахтным стволом, вертикальная соединительная съемка производится через эти выработки геометрическим или тригонометрическим нивелированием (см. раздел I.5).

Передача высот через вертикальные выработки как с земной поверхности, так и с одного эксплуатационного горизонта на другой может быть произведена длинной шахтной лентой или глубиномером (длиномером). Передачу высоты необходимо производить (для контроля) двумя различными способами или дважды одним способом (при различной установке приборов или различном порядке измерений). Из полученных результатов определяют среднее: при этом расхождение Δh (в мм) не должно превышать

$$\Delta h = (10 + 0{,}2H), \qquad (I.8.1)$$

где H — глубина шахтного ствола, м.

Вначале передают высоту на подходной репер $R_п$, заложенный около устья шахтного ствола. В околоствольном дворе закладывают реперы $R_{пп}$, которые впоследствии служат исходными при создании высотного обоснования в горных выработках.

Закладка реперов производится в почве, кровле, стенках выработки или фундаментах стационарных установок. Высоты допускаются передавать также на пункты, заложенные в околоствольных выработках для производства горизонтальной соединительной съемки. В околоствольном дворе шахты закладывают не менее трех реперов.

1.8.1. ПЕРЕДАЧА ВЫСОТЫ ТОЧКИ ДЛИННОЙ ЛЕНТОЙ

Шахтные ленты, изготовляемые из высококачественной стали, имеют длину 100, 200, 400 и даже 1000 м. Ленту, намотанную на барабан лебедки, свободным концом с нулевым делением

перекидывают через направляющий блок и с малым грузом (до 5 кг) опускают в ствол. На горизонте околоствольного двора малый груз заменяют на рабочий, создающий натяжение равное или близкое ее натяжению при компарировании. На поверхности и околоствольном дворе устанавливают нивелиры технической точности, а на реперах $R_п$ и $R_ш$ — нивелирные рейки (рис. 55). Затем, прикладывая к ленте миллиметровые линейки, берут отсчеты $N_п$ и $N_ш$ по целым делениям ленты и $n_п$ и $n_ш$ — по линейке. Линейки прикладывают к ленте, совмещая их нулевые деления с ниже расположенным целым делением ленты; тогда отсчеты, соответствующие горизонтам инструментов, будут $N_п+n_п$ и $N_ш+n_ш$. Отсчеты по рейкам $a_п$ и $a_ш$ берут обычным способом. Для исключения влияния возможного смещения ленты, визирование на нее на поверхности и в околоствольном дворе следует производить в один и тот же момент времени (по сигналу или сверенным часам). Одновременно с этим замеряется температура воздуха на поверхности $t_п$ и на горизонте околоствольного двора $t_ш$. Высотная отметка $z_ш$ репера $R_ш$ в шахте определяется по формулам:

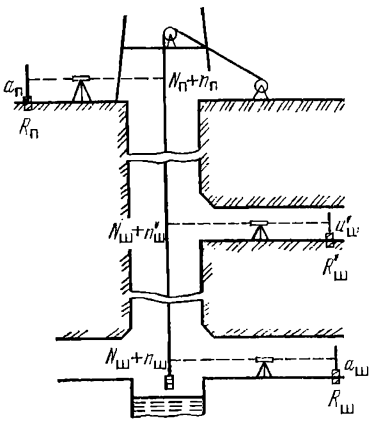


Рис. 55. Схема передачи высоты точки длинной лентой

$$z_ш = z_п - \Delta z; \qquad (I.8.2)$$

$$\Delta z = (N_п + n_п) - (N_ш + n_ш) + (a_ш - a_п) + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4, \qquad (I.8.3)$$

где Δl_1 — поправка за компарирование ленты; Δl_2 — поправка за тепловое расширение ленты; Δl_3 — поправка за удлинение ленты от разности масс грузов, принятых при измерении и компарировании; Δl_4 — поправка за удлинение ленты вследствие собственной массы.

Необходимость введения поправок вызвана тем, что деления на ленте наносятся при определенной температуре и натяжении, при отсутствии действия собственной массы ленты. При этих же условиях производится компарирование ленты. На ленту, опущенную в горную выработку, действует другое натяжение и температура, изменяющие ее длину. Поправка Δl_1 за компарирование ленты принимается по паспорту или по дан-

ным непосредственного компарирования на местном компараторе.

Поправка Δl_2 (в мм) за тепловое расширение ленты определяется по формуле

$$\Delta l_2 = \alpha l (t - t_0), \tag{I.8.4}$$

где α — температурный коэффициент линейного расширения ленты (для стали $\alpha = 0{,}00001$); $l = N_п - N_{пн}$ — участок ленты, на котором производятся измерения, м; $t = 0{,}5\,(t_п + t_ш)$ — средняя температура воздуха в стволе, °С; t_0 — температура компарирования ленты, °С.

Поправка Δl_3 (в м) определяется по известной формуле Гука:

$$\Delta l_3 = \frac{l\,(Q - Q_0)}{2 \cdot 10^6 F}, \tag{I.8.5}$$

где Q — масса рабочего груза, кг; Q_0 — масса груза (по паспорту ленты) при компарировании, кг; F — площадь поперечного сечения ленты по паспорту или измеряется см^2.

Поправка Δl_4 за удлинение ленты вследствие собственной массы может быть определена так же как Δl_3 по формуле (I.8.5), если вместо $Q - Q_0$ подставить $Q_{ср}$ — среднее натяжение ленты под действием ее массы. Натяжение Q' под действием собственной массы на поверхности равно массе части ленты, опущенной в шахтный ствол, а на уровне подвешенного груза равно нулю. Таким образом, среднее натяжение

$$Q_{ср} = \frac{Q'}{2} = \frac{lF\gamma}{2}.$$

Выразив площадь F в дм^2, l — в дм и приняв $\gamma = 7{,}8$ кг/дм^2, получим $Q_{ср}$ (в кг):

$$Q_{ср} = \frac{7{,}8 \cdot 10 lF}{2 \cdot 100} = \frac{7{,}8lF}{20}.$$

Подставив $Q_{ср}$ (вместо $Q - Q_0$) в формулу (I.8.5), будем иметь

$$\Delta l_4 = \frac{lQ_{ср}}{2 \cdot 10^6 F} = \frac{7{,}8l \cdot l \cdot F}{20 \cdot 2 \cdot 10^6 F}$$

или после сокращений

$$\Delta l_4 = \frac{l^2}{5 \cdot 10^6}. \tag{I.8.6}$$

Измерения и вспомогательные работы при передаче высоты выполняются бригадой из шести человек (инженер-маркшейдер, техник и четверо рабочих), двое рабочих должны находиться на поверхности, а другие — в околоствольном дворе. Руководит всей работой инженер-маркшейдер, который с двумя рабочими находится на поверхности.

I.8.2. ПЕРЕДАЧА ВЫСОТЫ ДЛИНОМЕРОМ ДА-2

Конструктивно длиномер ДА-2 (рис. 56) состоит из ручной лебедки и барабана *1* с намотанной на нем проволокой. На одной оси с барабаном находится мерный диск *2*, установленный в станине *3*.

Проволока направляется с барабана на мерный диск системой роликов *4* и огибает его под углом 270°. Барабан лебедки жестко соединен с горизонтальной осью прибора и вращается рукояткой *5*. Мерный диск соединен со счетчиком оборотов *6*, по которому отсчитываются сотни, десятки и единицы полных оборотов диска.

Длина окружности диска равна 1 м. Поэтому по счетчику оборотов определяют целое число метров пути, пройденного

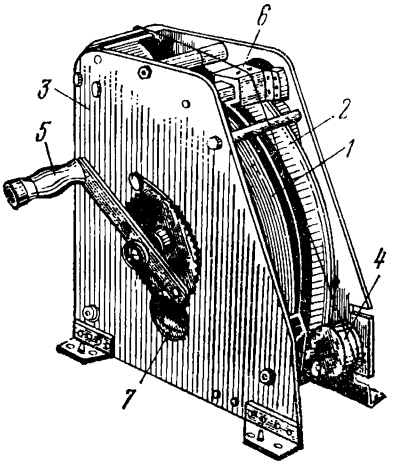


Рис. 56. Длиномер ДА-2

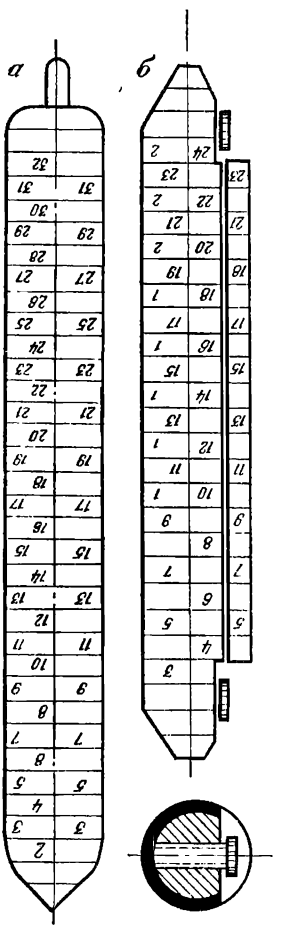


Рис. 57. Рейки к длиномеру ДА-2

концом проволоки. Для получения долей оборотов окружность одной реборды диска разделена на 100 делений, каждое из которых равно 1 см. Десятые доли делений (1 мм) оцениваются на глаз.

Мерный диск изготовлен из металла с небольшим коэффициентом теплового расширения. Для учета температуры диска к нему прикреплен термометр 7. На нижний конец проволоки подвешивается груз-рейка (рис. 57, *а*), представляющая собой стальной цилиндр, залитый свинцом. На поверхности цилиндра нанесены сантиметровые деления, оцифрованные в шахматном порядке. Такое устройство груза-рейки и ее оцифровка позволяют брать отсчеты даже при ее вращении.

В комплект прибора входит также контрольная рейка (рис. 57, *б*), надеваемая на проволоку на 1—2 м выше груза-рейки. Контрольная рейка изготовлена из алюминия и крепится на проволоке двумя закрепительными винтами.

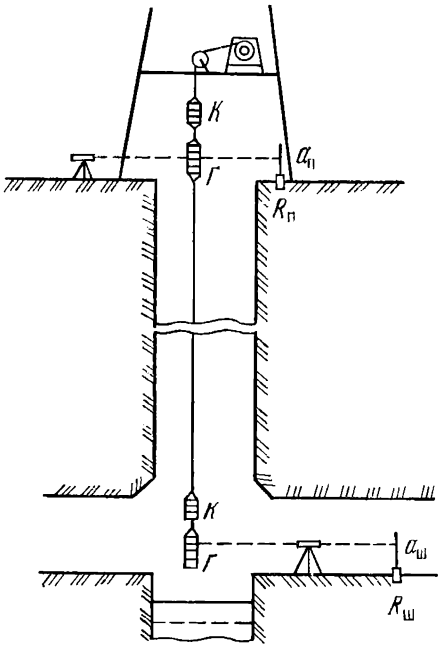


Рис. 58. Схема передачи высоты длиномером ДА-2

Перед началом измерений длиномер устанавливают на приемной площадке; нивелиры — на поверхности и околоствольном дворе; проволоку с грузом, перекинутую через блок (или непосредственно с прибора), опускают вниз (рис. 58). Когда груз-рейка *Г* достигает горизонта нивелира на поверхности, спуск прекращают, и берут отсчеты: $N_п$ — по счетчику; $n_п$ — по грузу-рейке и $a_п$ — по рейке, установленной на репере $R_п$. Когда контрольная рейка *К* займет положение груза-рейки — отсчеты $K_п$, $k_п$ и $a_п$. Далее продолжают спуск проволоки и, когда груз-рейка и контрольная рейка последовательно достигнут горизонта нивелира в шахте, берут соответственно отсчеты: $N_ш$, $a_ш$, $n_ш$ и $K_ш$, $k_ш$ и $a_ш$. Этим заканчивается первый полуприем. Второй полуприем измерений выполняют при подъеме груза-рейки, изменив предварительно начальное положение груза-рейки и горизонты нивелиров.

В начале и конце работы измеряют температуру воздуха в околоствольном дворе и на поверхности, а также температуру мерного диска.

Высоту $R_ш$ в каждом полуприеме вычисляют по формуле

$$z'_{R_ш} = z_{R_п} - \Delta z, \tag{I.8.7}$$

где Δz — в каждом полуприеме определяют из выражений:

$$\Delta z = \frac{1}{2}(\Delta z_1 + \Delta z_2);$$

$$\Delta z_1 = (N_п + n_п) - (N_ш + n_ш) + a_ш - a_п; \tag{I.8.8}$$

$$\Delta z_2 = (K_п + k_п) - (K_ш + k_ш) + a_ш - a_п.$$

Если расхождения значений Δz, полученных в первом и во втором полуприемах, не превышают допустимого, то вычисляют среднее арифметическое и вводят в него поправки (в м):

за диаметр проволоки

$$\Delta d_п = 0{,}001\pi d\,(N_п - N_ш), \tag{I.8.9}$$

где d — диаметр проволоки, мм;

за тепловое расширение проволоки, вызванное разностью температуры на поверхности и в шахте

$$\Delta t_п = \alpha_п (N_п - N_ш)(t_{ср} - t_п); \tag{I.8.10}$$

$$t_{ср} = \frac{t_п + t_ш}{2}, \tag{I.8.11}$$

где $\alpha_п$ — коэффициент линейного расширения металла проволоки (для стали $\alpha_п = 0{,}0000115$); $t_п$, $t_ш$ — температура воздуха соответственно на поверхности и в околоствольном дворе;

за тепловое расширение окружности диска, вызванное разностью температуры диска при компарировании и момент измерений

$$\Delta t_д = \alpha_д (N_п - N_ш)(t_д - t_0), \tag{I.8.12}$$

где $\alpha_д$ — коэффициент линейного расширения металла диска; $t_д$, t_0 — температура диска соответственно при измерении и компарировании;

за компарирование диска

$$\Delta K = (N_п - N_ш)(l - 1), \tag{I.8.13}$$

где l — длина окружности мерного диска по паспорту завода, м.

Окончательно высоту репера $R_ш$ вычисляют по формуле

$$z_{R_ш} = z_{R_п} - \Delta z_{ср} + \Delta d_п + \Delta t_п + \Delta t_д + \Delta K. \tag{I.8.14}$$

I.9. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Проектом разработки месторождения, исходя из геологических особенностей и правил технической эксплуатации, заранее определяются места закладки (засечки), направление, способ крепления и сечение основных горных выработок. Для откаточных выработок, кроме того, устанавливаются величина уклонов и радиус закруглений, местоположение закруглений и т. д. В целях ускорения работ по проведению выработок, последние часто осуществляются так называемыми встречными и догоняющими забоями.

Маркшейдерские работы при проведении горных выработок включают: указание места заложения (рассечки) выработок; задание направления для проведения выработок; закрепление и перенос направлений; контрольные наблюдения за проведением выработок по заданному направлению, с соблюдением проектного профиля и паспорта крепления.

Особенно важное значение имеет проведение выработок по направлению (в горизонтальной и вертикальной плоскостях). Методы задания направлений в значительной мере определяются условиями производства, элементами залегания пластов и характером разреза пород по направлению проводимой выработки. Так, часто выработки проводят, придерживаясь какого-либо естественного ориентира (например, плоскости напластования почвы или кровли пласта). Такой ориентир, называется «проводником» и в данном случае говорят, что выработка проводится по проводнику. Наличие проводника значительно облегчает задание направления. Так например, при наличии проводника для проведения штрека в наклонном пласте необходимо задавать направление забою штрека только по вертикали.

При проведении бремсберга, наклонного ходка и прочих выработок по падению пласта следует задавать одно направление только в горизонтальной плоскости и т. д.

При проведении квершлагов, ортов и других выработок, где нет указанных «проводников», необходимо задавать направления в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Решение приведенных выше задач рассмотрим на ряде наиболее типичных примеров.

I.9.1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ЗАДАНИЮ НАПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ

Рассмотрим решения некоторых общих задач, часто встречающихся при задании направлений горным выработкам.

Задача 1. Даны координаты пункта $A(x_A, y_A, z_A)$ и пункта B (x_B, y_B, z_B) (рис. 59). Следует определить:

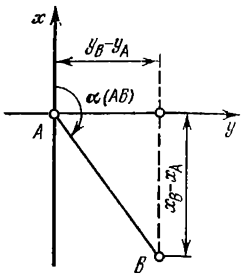


Рис. 59. Схема решения обратной задачи

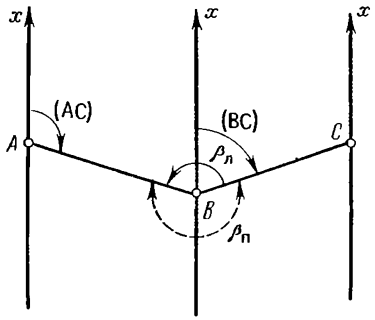


Рис. 60. Схема определения угла между направлениями

дирекционный угол направления с пункта A на пункт B;

горизонтальное проложение линии, соединяющей пункты A и B;

угол наклона той же линии;

длину линии, соединяющей пункты A и B.

Решение. Дирекционный угол $\alpha(AB)$ направления с A на B определяем по формуле

$$\operatorname{tg}(AB)=\frac{y_B-y_A}{x_B-x_A}. \tag{I.9.1}$$

Горизонтальное проложение s_{AB} линии AB может быть вычислено из следующих выражений:

$$s_{AB}=\frac{y_B-y_A}{\sin(AB)}=\frac{x_B-x_A}{\cos(AB)}; \tag{I.9.2}$$

$$s_{AB}=\sqrt{(y_B-y_A)^2-(x_B-x_A)^2}. \tag{I.9.3}$$

Найдем угол наклона δ линии AB:

$$\operatorname{tg}\delta=\frac{z_B-z_A}{s_{AB}} \tag{I.9.4}$$

или уклон

$$i=\frac{z_B-z_A}{s_{AB}},$$

Длина l_{AB} наклонной линии AB может быть определена по формулам:

$$l_{AB}=\frac{s_{AB}}{\cos\delta}; \tag{I.9.5}$$

$$l_{AB}=\sqrt{(y_B-y_A)^2+(x_B-x_A)^2+(z_B-z_A)^2}, \tag{I.9.6}$$

Задача 2. Определить левый $\beta_л$ и правый $\beta_п$ по ходу горизонтальные углы между направлениями AB и BC с известными дирекционными углами (рис. 60).

Решение. Углы определяются из выражений

$$\beta_л = (BC) - (BA);$$

$$\beta_п = BA - (BC). \qquad (I.9.7)$$

Задача 3. Прямая AB задана координатами $A(x_A, y_A)$ и дирекционным углом (AB). Соответственно DC задана дирек-

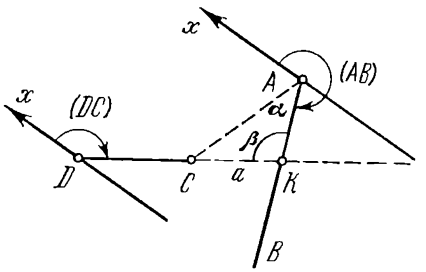


Рис. 61. Схема определения координат точки пересечения двух прямых

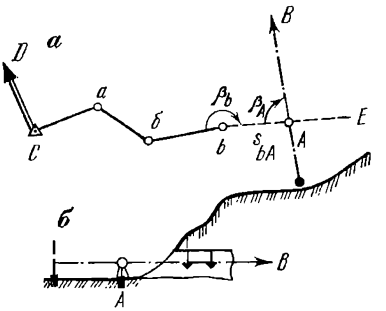


Рис. 62. Схема задания направления штольне:
а — план; *б* — разрез по оси проектируемой штольни

ционным углом (DC) и координатами точки $C(x_C$ и $y_C)$. Определить координаты точки пересечения двух прямых AB и DC (рис. 61).

Решение. Координаты точки пересечения $K(x_K$ и $y_K)$ могут быть определены из решения треугольника CAK:

$$x_K = x_C + a\cos(DC); \qquad (I.9.8)$$

$$y_K = y_C + a\sin(DC),$$

где

$$a = \frac{AC\sin\alpha}{\sin\beta}.$$

Вначале следует предварительно определить дирекционный угол (AC) по формуле (I.9.1) и длину AC по формуле (I.9.2). Для определения углов α и β пользуются выражением (I.9.7).

Кроме того, координаты точки K могут быть определены из совместного решения уравнений пересекающихся прямых:

$$x_K = \frac{x_C \operatorname{tg}(DC) - x_A \operatorname{tg}(AB) - y_C + y_A}{\operatorname{tg}(DC) - \operatorname{tg}(AB)}; \qquad (I.9.9)$$

$$y_K = \frac{y_C \operatorname{ctg}(DC) - y_A \operatorname{ctg}(AB) - x_C + x_A}{\operatorname{ctg}(DC) - \operatorname{ctg}(AB)}.$$

I.9.2. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВЫРАБОТКАМ, ПРОХОДИМЫМ С ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Решение данной задачи рассмотрим на двух простых примерах.

Пример I. Проектом горных работ предусмотрено проведение штольни из точки $A(x_A$ и $y_A)$ по направлению AB (рис. 62). Требуется указать на местности положение точки A и направление для проведения штольни.

Решение. По плану приблизительно определяют место закладки штольни, куда от ближайшего триангуляционного или полигонометрического пункта C прокладывают теодолитный ход $Cабb$.

По результатам измерений углов и длин сторон хода вычисляют дирекционные углы всех его сторон и координаты вершин, в том числе дирекционный угол $(bб)$ и координаты x_b и y_b. По координатам точек A и b по формулам (I.9.1) и (I.9.2) вычисляют дирекционный угол и горизонтальную проекцию линии bA, т. е. (bA) и s_{bA}.

Затем по формулам (I.9.7) определяют углы:

$$\beta_b = (bA) - (bб);$$

$$\beta_A = (AB) - (Ab).$$

После этого в точке b устанавливают теодолит и по вычисленному углу β_b трассируют направление bE, по которому откладывают вычисленное расстояние s_{bA}. Полученная в результате этого точка будет искомой точкой A. Отложив теодолитом в точке A угол β_A, задают направление штольни в горизонтальной плоскости. Для проведения штольни с заданным уклоном (или подъемом) пользуются осевыми реперами, ватерпасом или профилемером.

Пример 2. Пусть требуется на поверхности указать место заложения шурфа, проходка которого должна быть осуществлена с условием соединения с некоторой подземной выработкой в точке b (рис. 63). Маркшейдерские работы в этом случае, как и в примере 1, начинаются с проложения в район предполагаемой закладки шурфа теодолитного полигона $Cаб$. Одновременно по горной выработке прокладывают теодолит-

ный ход к точке b, в котором сторону $5—b$ располагают по оси выработки.

Далее, вычислив координаты точки $б$ и b, по формулам (I.9.1), (I.9.2) и (I.9.7) определяют: дирекционный угол $(бb)$, горизонтальное проложение $s_{бb}$, а также горизонтальные углы $\beta_б$ $(абb')$ и β_b $(бb'5)$. После этого в точке $б$ на поверхности устанавливают теодолит и по вычисленному углу $\beta_б$ ставят веху E, и откладывают вычисленное горизонтальное проложение $s_{бb}$. Полученная в результате этого точка b' будет являться искомым центром закладываемого шурфа. Отложив теодолитом в точке b' угол β_b, определяют направление оси выработки $b5$, а следовательно, и направление одной из осей горизонтального сечения шурфа. Глубина шурфа определяется по разности отметок точек b и b'.

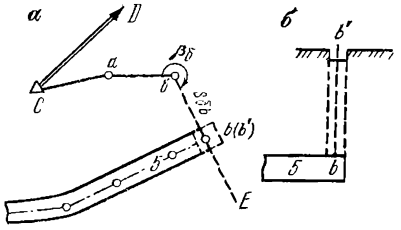


Рис. 63. Схема задания направления шурфу:
а — план; *б* — разрез по оси проектируемого шурфа

I.9.3. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК ВСТРЕЧНЫМИ И ДОГОНЯЮЩИМИ ЗАБОЯМИ

Как уже указывалось выше, проведение выработок встречными и догоняющими забоями применяется главным образом для ускорения работы. В этом случае выработку начинают проходить одновременно из двух или нескольких точек, увеличивая тем самым скорость проведения пропорционально числу действующих забоев. Задача маркшейдера состоит в том, чтобы указать направление для проведения с расчетом последующего смыкания забоев по оси запроектированной выработки.

Указанную задачу рассмотрим опять на двух примерах — задание направления встречными забоями квершлагу и встречными и догоняющими забоями бремсбергу. В первом случае направление должно задаваться в двух плоскостях — вертикальной и горизонтальной, во втором случае — только в горизонтальной плоскости, так как в вертикальной плоскости направление контролируется висячим или лежачим боком залежи.

Пример 1. Участковый квершлаг CD пройден в толще пород между штреками пластов l_2 и l_4 (рис. 64, *а*). Проектом предусмотрено проведение квершлага AB одновременно из точек A и B (встречными забоями).

Решение. Допустим, что на квершлаге CD сохранились три пункта *I*, *II* и *III*, закрепленные постоянными маркшейдерскими знаками. На плане наносим ось проектируемого квершлага и определяем по плану координаты точек A и B (x_A, y_A; x_B, y_B).

Задача маркшейдера заключается в вынесении точек A и B квершлага в натуру, т. е. закреплении их в штреках, пройденных по пластам l_2 и l_4. С этой целью на штреках закладывают подходные пункты *1* и *2*, между ними и постоянными знаками (*I*, *II* и *III*) прокладывают теодолитные ходы.

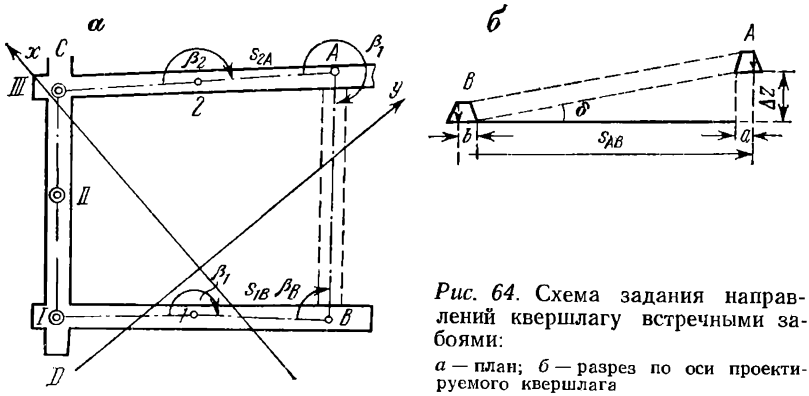


Рис. 64. Схема задания направлений квершлагу встречными забоями:
а — план; *б* — разрез по оси проектируемого квершлага

По результатам измерений углов и длин сторон хода вычисляют дирекционные углы сторон *I—1* и *III—2* и координаты точек *1* и *2* (x_1, y_1; x_2, y_2). Для определения в натуре точек A и B следует вычислить углы β_2 и β_1 и длины сторон s_{2A} и s_{1B}. Кроме того, для задания направления квершлагу необходимо определить углы β_A и β_B и длину стороны s_{AB}. С этой целью вычисляют по формулам (I.9.1) и (I.9.2) дирекционные углы и горизонтальные проложения сторон s_{1B}, s_{2A} и s_{2A}, s_{AB}. Затем по формулам (I.9.7) вычисляют углы:

$$\beta_1 = (1B) - (1I); \quad \beta_A = (AB) - (A2)$$
$$\beta_2 = (2A) - (2III); \quad \beta_B = (BA) - (B1).$$

Закрепив в натуре пункты A и B, устанавливают под ними теодолит, и, отложив на лимбе углы β_A и β_B, задают направление квершлагу в горизонтальной плоскости.

Для определения направления квершлага в вертикальной плоскости, между пунктами A и B прокладывают нивелирный ход, в результате чего определяют превышение Δz пункта A над пунктом B. Квершлаг по направлению от B к A необходимо проходить с подъемом $\Pi = \operatorname{tg}\delta$, где δ — угол наклона

почвы квершлага (рис. 64, *б*). Подъем (или уклон) квершлага находят по формуле

$$П = \frac{\Delta z}{s_{AB} - (a + b)}, \qquad (I.9.10)$$

где s_{AB} — горизонтальное положение между пунктами A и B, вычисляемое по формуле (I.9.2); a и b — расстояния от пунктов A и B до соответствующих боков штреков, измерямые тесьмяной рулеткой.

Для проведения квершлага с заданным подъемом пользуются ватерпасом, профилемером или осевыми реперами.

Пример 2. Имеется действующий бремсберг *I—II—III*; *III—A*, *II—C* и *I—B* — соответственно вентиляционный, промежуточный и коренной штреки (рис. 65). Бремсберг *ACB* (проектируемый) проводится одновременно из точек *A*, *B* и *C* в направлениях, указанных стрелками.

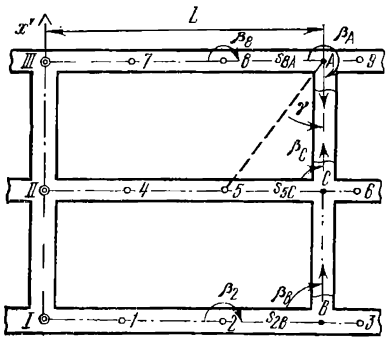


Рис. 65. Схема задания направления бремсбергу встречными и догоняющими забоями

Решение. Будем использовать условную и общерудничную системы координат. В первом варианте на осях существующего бремсберга закладывают три постоянных знака *I*, *II* и *III*. Совмещают ось x' с осью бремсберга и принимают начало условной системы координат в точке *I*. Допустим, что при проходке бремсберга *ACB* приняты следующие условия:

ось бремсберга должна быть параллельна оси действующего бремсберга;

расстояние между осями бремсбергов должно быть равно L, м.

На коренном, промежуточном и вентиляционном штреках от пунктов *I*, *II* и *III* прокладывают теодолитные ходы: *I*, *1*, ..., *3*; *II*, *4*, ..., *6*; *III*, *7*, ..., *9*. Затем вычисляют условные координаты y_2, y_5, y_8, и условные азимуты (*2—3*), (*5—6*) и (*8—9*). Горизонтальные проложения длин сторон определяют следующим образом:

$$s_{2B} = \frac{L - y_2}{\sin(2 - 3)}; \qquad (I.9.11)$$

$$s_{5C} = \frac{L - y_5}{\sin(5 - 6)};$$

$$s_{8A} = \frac{L - y_8}{\sin(8-9)},$$

так как $y_A = y_C = y_B = L$.

Находят углы β_B, β_C и β_A:

$$\begin{aligned} \beta_B &= 360^\circ - [(2-3) + 180^\circ]; \\ \beta_C &= 360 - [(5-6) + 180^\circ]; \\ \beta_A &= 360^\circ - (8-9), \end{aligned} \qquad \text{(I.9.12)}$$

так как ось проектируемого бремсберга BA параллельна оси действующего.

Для решения рассматриваемой задачи в общерудничной системе координат допустим, что на действующем бремсберге сохранились три постоянных маркшейдерских знака I, II и III. От них по штрекам проложены теодолитные ходы и определены общерудничные координаты подходных пунктов *2*, *5*, *8* и дирекционный угол (*5*—*6*). Затем по плану определяют общерудничные координаты точек *A* и *B*. Для задания в натуре (на коренном и вентиляционном штреках) точек *A* и *B* необходимо определить углы β_2, β_8 и горизонтальные проложения s_{2B} и s_{8A}. С этой целью по формуле (I.9.1) предварительно находят дирекционные углы (*2B*), (*8A*) и (*AB*) и по формуле (I.9.2) — горизонтальные проложения s_{2B} и s_{8A}. Затем по формуле (I.9.7) получают углы β_2, β_8, β_A и β_B. Для задания на промежуточном штреке точки *C* следует предварительно вычислить координаты точки *C*, которые могут быть определены из выражения (I.9.8) или по формуле (I.9.9). В первом случае необходимо решить треугольник *5AC*. Будем иметь горизонтальное проложение:

$$s_{5C} = \frac{s_{5C} \sin\gamma}{\sin\beta_C}, \qquad \text{(I.9.13)}$$

где s_{5C} определяется по формулам (I.9.1) и (I.9.2), а углы γ и β_C из выражений:

$$\begin{aligned} \gamma &= (5-A) - (B-A); \\ \beta_C &= (BA) - [(5-6) \pm 180^\circ]. \end{aligned} \qquad \text{(I.9.14)}$$

Подобная задача возникает и при углубке вертикальных и наклонных шахтных стволов; с задачами данного типа приходится часто иметь дело и при тоннельном строительстве.

Из приведенных примеров видно, что точность сбойки выработки в основном зависит от точности измерения углов и длины сторон теодолитного хода.

Практическое выполнение работ по заданию направления горным выработкам рассмотрим по элементам:

задание направления в горизонтальной плоскости;

задание направления криволинейным участкам выработок;

задание направления в вертикальной плоскости.

Задание направления в горизонтальной плоскости. Для решения этой задачи откладывают в натуре угол поворота выработки, который, как указывалось выше, задается проектом или рассчитывается маркшейдером при проведении выработок встречными забоями.

В исходной осевой точке *B* (рис. 66) центрируют теодолит, с помощью которого задают угол β. При этом возможно, что расстояние от точки *B* до боковой стенки штрека окажется меньше предельного для визирования зрительной трубы. В этом случае вместо угла β следует отложить на лимбе угол β+180° и закрепить в выработке точку *K*. Если расстояние и в этом случае меньше предельного для визирования, следует визировать невооруженным глазом, используя прицел трубы. Линия, проходящая через отвесы, опущенные с точек *B* и *K*, обозначит временное направление оси выработки.

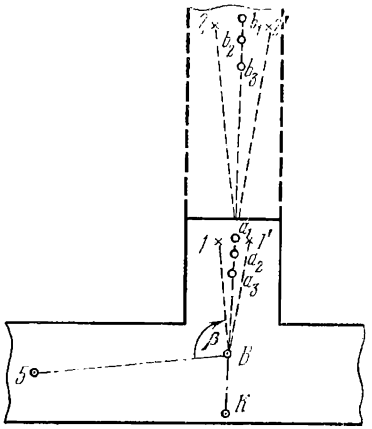


Рис. 66. Схема задания направления прямолинейного участка выработки в горизонтальной плоскости

Указанные пункты следует использовать для проходки первых метров выработки. Когда забой выработки переместится от точки *B* на 8—10 м, необходимо задать выработке постоянное направление тремя точками. С этой целью под точкой *B* вновь устанавливают теодолит и задают в натуре угол β. При этом порядок действий будет следующий. После того как теодолит установлен в точке *B*, совмещают нуль лимба с нулем алидады и наводят трубу теодолита на точку *5*. Далее, освободив закрепительный винт алидады, вращают трубу по часовой стрелке до тех пор, пока отсчет по горизонтальному кругу не будет равен углу β. Установив на лимбе указанный отсчет и закрепив горизонтальный круг, по направлению визирной оси отмечают точку *1*. Переведя трубу через зенит, все операции повторяют.

Если измерения не содержат коллимационную ошибку, то при втором положении круга будет получена точка *1*; в противном случае — точка *1′*. Разделив расстояние между точками *1* и *1′* пополам, закрепляют осевую точку a_1. После этого в створе точек *B* и a_1 закрепляют еще две точки a_2 и a_3 (в кровле выработки временным маркшейдерским знаком). В точках a_1, a_2 и a_3 подвешиваются отвесы, которые фиксируют заданное направление выработки. Расстояние между соседними осевыми точками должно быть от 2 до 5 м. Закрепив точки, определяющие заданное направление, маркшейдер обязан произвести контрольное измерение отложенного угла и расстояний между вставленными точками.

Нередко направление выработки задают не по оси, как в рассмотренном случае, а параллельно ей, например по оси пути или вблизи стенки выработки, с таким расчетом, чтобы при задании направления можно было установить теодолит на консоли. В этих случаях проходчикам сообщают расстояния от заданного направления до стенок выработки (так называемые скобы). В наклонных и крутых выработках при задании направления рекомендуется устанавливать основную ось теодолита в вертикальное положение по накладному уровню. При этом в крутых выработках направление задают теодолитом с внецентренной трубой. Задание направления в этом случае осуществляется следующим образом.

Предположим, что в крутопадающей выработке необходимо задать направление *BA* под углом ω к направлению *5B* (рис. 67). Для этого вычисляют углы для задания направления при двух положениях трубы:

$$\alpha = \omega - \gamma; \quad \beta = \omega + \gamma. \tag{I.9.15}$$

Угол γ может быть вычислен по приближенной формуле

$$\gamma = \rho \frac{e}{s_{5B}}, \tag{I.9.16}$$

где $\rho = 206265''$; e — эксцентриситет внецентренной трубы; s_{5B} — горизонтальное положение опорной стороны.

Установив подставку на штативе так, чтобы линия, проходящая через два подъемных винта трегера, была по возможности перпендикулярна задаваемому направлению, откладывают на лимбе угол α, переводят трубу через зенит и по направлению визирного луча закрепляют на верхняке временную точку *1*; таким же образом по углу β закрепляют точку *1′*. Разделив отрезок *1—1′* пополам, отмечают точку *K* и уничтожают временные точки *1* и *1′*. По направлению *KB* проходят выработку, как и в первом случае в 8—10 м от точки *B*. Постоянное направление выработки указывают точками a_1, a_2 и a_3. Для этого, отложив на лимбе углы α и β, визируют в выработку, устанав-

ливают подъемными винтами пузырек накладного уровня на середину и закрепляют временные точки *2*, *3*, *4*, *2′*, *3′* и *4′*. Разделив расстояния между ними пополам, закрепляют точки a_1, a_2, a_3 и уничтожают временные точки.

По мере подвигания забоя выработки отвесы следует переносить ближе к забою; перенос направления производится че-

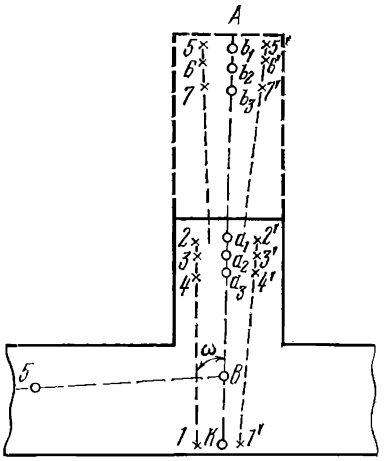


Рис. 67. Схема задания направления крутопадающей выработке в горизонтальной плоскости

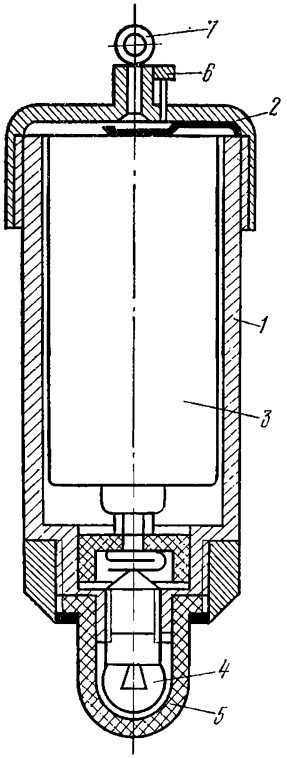


Рис. 68. Разрез светящегося отвеса

рез 40 м в горизонтальных и пологих выработках и через 20 м — в наклонных и крутых.

Для этого устанавливают теодолит под точкой a_1 (см. рис. 66), визируют на отвес в пункте *B* и откладывают на лимбе угол 180°. Вдоль визирного луча закрепляют вторую группу точек и т. д.

Во втором случае, когда применяется теодолит с внецентренной трубой (см. рис. 67), предварительно вычисляют углы:

$$\alpha_1 = 180° - \gamma; \quad \beta_1 = 180° + \gamma, \qquad \text{(I.9.17)}$$

где $\gamma = \rho \dfrac{e}{s_{Ba_1}}$.

Отложив на лимбе вычисленные по формулам (I.9.17) углы, задают в выработке сначала временные точки, а по ним закрепляют новую группу осевых точек.

Проходчики осуществляют контроль за проходкой выработки по заданному направлению.

Опустив с закрепленных осевых точек отвесы и дав им успокоиться, наблюдатель занимает такое положение, чтобы он видел все три нити отвесов совпадающими. Полученное таким образом направление проектируют на грудь забоя и проверяют правильность проходки. Светящиеся отвесы ОС-1 и ОС-2 служат для наблюдения из забоя выработки створа. В цилиндрическом корпусе *1* такого отвеса (рис. 68) с крышкой *2* помещен сухой элемент *3*, а в нижней части корпуса расположена электролампочка *4* (1,5 Вт), которая закрыта прозрачным колпачком *5* из цветного органического стекла. В верхней части корпуса находится винт включения света *6* и ушко *7* для подвески его на шнуры. Светящийся отвес виден невооруженным глазом на расстоянии от 60 до 80 м. При использовании светящихся отвесов, точки (указатели направления) допускается располагать на расстоянии 80 м от забоя (между ними должно быть не менее 10 м).

В последние годы широкое применение на шахтах получили световые УНС-2 и лазерные ЛУН-7 и ЛУН-9 указатели направлений, разработанные ВНИМИ.

Световой указатель направления УНС-2 (рис.69) в конструктивном отношении представляет собой светопроекционный прибор, состоящий из оптической трубы *1*, внутри которой находятся объектив, диафрагма с крестообразной щелью, электролампа и конденсатор. Труба снабжена кольцом *2* для фокусирования объектива, имеется накладной уровень *3* и наводящее устройство *4*. В комплекте прибора имеется трансформатор для преобразования напряжения шахтной осветительной сети. Посредством установочной доски *5* УНС-2 крепится к верхнякам деревянной или металлической крепи. Направления задают проектированием световой марки на забой выработки.

Для установки прибора по заданному направлению служат отвесы на трех маркшейдерских точках, которые должны быть выставлены предварительно по этому направлению с помощью теодолита. Прибор центрируется под одной из этих точек и направляется по двум другим. По мере подвигания забоя производится перестановка прибора через каждые 70—80 м.

Лазерный указатель направления ЛУН-7 (рис. 70) представляет собой светопроекционный прибор с лазерным источником света, выполненный во взрывобезопасном исполнении. Он состоит из проектора *1*, трегера *2* и блока питания *3*. Ос-

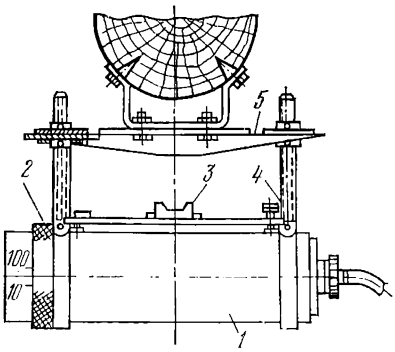


Рис. 69. Световой указатель направления УНС-2

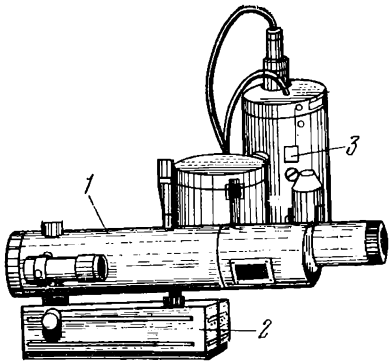


Рис. 70. Лазерный указатель направления ЛУН-7

новной частью указателя является проектор с источником света — лазерной трубкой ЛГ-56, заключенной во взрывобезопасный корпус вместе с коллимирующей системой. Для задания направления на расстоянии не более 40 см от стенки выработки закрепляется маркшейдерская точка, под которой предполагается установить лазерный указатель направления. На этой точке с помощью теодолита откладывают расчетный угол и полученное направление закрепляют тремя временными знаками, при этом крайний знак должен быть удален от исходного не менее чем на 25 м при длине лазерного луча до 300 м и 50—100 м при длине луча 300—500 м. Под исходной точкой к стойкам крепи или к стенке выработки на высоте около 2 м укрепляют кронштейн, входящий в комплект лазерного указателя. На кронштейне устанавливают указатель и подключают его к источнику электропитания. В начале грубо наводят световой пучок на предварительно выставленные отвесы, а затем, после закрепления прибора, с помощью наводящего устройства уточняют наводку. Световой пучок создает линию направления выработки, отчетливо видимую в условиях шахтной атмосферы. Он проектируется на забой в виде яркой световой марки красного цвета, отчетливо видимой на расстоянии до 500 м. Максимальный диаметр световой марки достигает 80 мм.

Лазерный указатель ЛУН-7 имеет автоматический поджиг, позволяющий включать приборы на расстоянии, что очень удобно в эксплуатации и увеличивает сроки службы источника света. Последняя модель лазерного указателя направлений ЛУН-9 имеет то же техническое назначение, что и предыдущее, но при меньшей массе, увеличенных сроках службы излучателя лазера и дальности действия светового луча.

Применение светящихся отвесов и указателей направлений особенно удобно, когда проходка осуществляется проходческим комбайном. В этом случае на машине, параллельно ее оси, закрепляют специальное визирное или экрано-линзовое устройство.

Задание направления криволинейным участкам выработки. Сопряжение откаточных выработок производится по кривой определенного радиуса. Элементы закруглений, т. е. начало и конец кривой и величина радиуса, заранее устанавливаются проектом. Задача маркшейдера в данном случае состоит в том, чтобы, руководствуясь проектом, произвести разбивку кривой в натуре, т. е. указать направление для проведения выработки на закруглении.

Наиболее распространенными для задания направления криволинейным участкам выработок являются способы перпендикуляров и радиусов.

Способ перпендикуляров. Пусть между точками *5* и *7* (рис. 71) должна быть пройдена криволинейная выработка, радиус оси которой $R=12{,}5$ м, а центральный угол кривой $\alpha=74°30'$. Для этого по оси выработки проектируют полигон *5—6—7*, в котором точки *5* и *7* являются началом и концом закругления. Число точек выбирается с учетом обеспечения взаимной видимости каждой пары этих точек в натуре.

Зная R и α, нетрудно вычислить длину хорд s_{56} и s_{67} и горизонтальные углы при вершинах *5*, *6* и *7* (β_5, β_6 и β_7). По вычисленным углам β задают направление каждой хорды. Положение конечной точки хорды определяют по вычисленной длине s. Проходчикам передают эскиз выработки, на котором через каждые 1—2 м указаны длины перпендикуляров от хорды до стенок проводимой выработки, которые определены графически по составленной схеме криволинейного участка выработки в крупном масштабе (1 : 50; 1 : 100).

Способ радиусов отличается от описанного выше тем, что расстояния от хорды до стенок выработки задаются не по перпендикулярам, а по направлению радиусов закругления (рис. 72, *а*). При деревянной и металлической крепи, кроме того, крепильщикам сообщают расстояния между стойками по внутренней $l_в$ и наружной $l_н$ стенкам выработки (рис. 72, *б*). Указанные расстояния вычисляют по формулам:

$$l_н = l + \Delta l = l + l\frac{s}{2R};$$

$$l_в = l - \Delta l = l - l\frac{s}{2R}, \qquad \text{(I.9.18)}$$

где l — расстояние между осями рам на прямолинейном участке (по паспорту крепления); Δl — «разнос» стоек крепи; s —

Рис. 71. Схема задания направления способом перпендикуляров

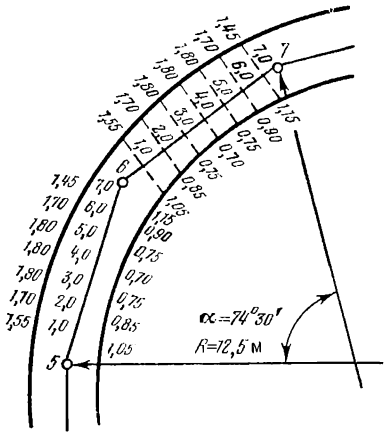
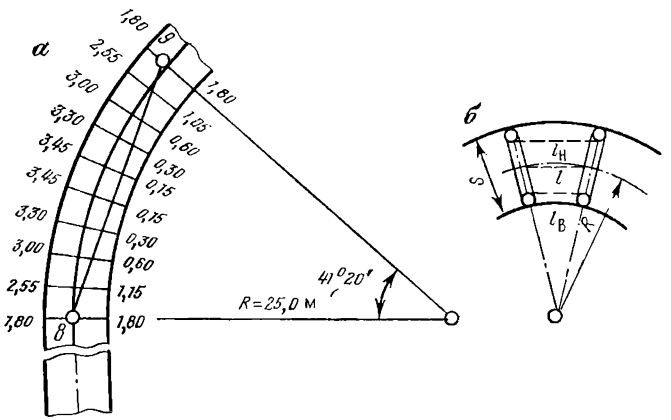


Рис. 72. Схема задания направлений способом радиусов (*а*) и расстояния между стойками (*б*)



ширина выработки (по паспорту); R — радиус закругления криволинейного участка.

Задание направления в вертикальной плоскости. В зависимости от уклона или угла наклона выработки применяются различные способы задания направления в вертикальной плоскости.

При углах наклона выработок до 5—6° ($i=\pm 0{,}1$), задание направления в вертикальной плоскости осуществляется с помощью боковых реперов, указателей направлений типа УНС и ЛУН, нивелиров-уклономеров и других приборов.

Боковые репера закрепляют по правой и левой стенкам выработки на высоте C (1—1,5 м) от проектного положения почвы выработки или головки рельсов. Порядок закрепления реперов следующий. Вначале, отложив расстояние C (рис. 73) на стенке выработки, закрепляют начальный репер R_1. Далее

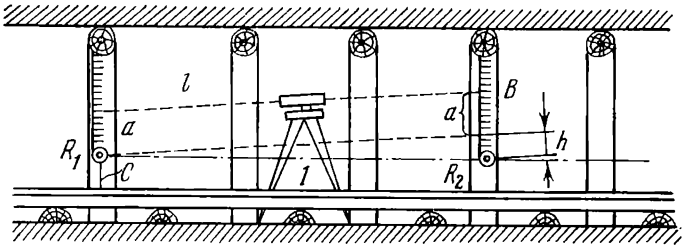


Рис. 73. Схема задания направления выработке в вертикальной плоскости нивелиром с помощью боковых реперов

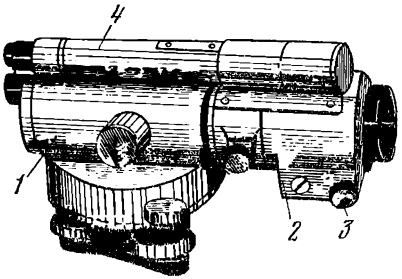


Рис. 74. Нивелир-уклономер

с помощью нивелира, установленного в точке *1*, берут отсчет *a* по рейке на репере R_1 и на расстоянии 5—6 м от этого репера на той же стенке фиксируют точку *B*, которая является проекцией визирного луча нивелира. Измерив расстояние *l* между нивелирной рейкой на репере R_1 и точкой *B*, по заданному уклону *i* вычисляют превышение $h=il$. Отложив от точки *B* по вертикали отрезок, равный $a+h$, определяют положение второго репера R_2. Створ R_1 и R_2 определяет в натуре линию заданного уклона. Аналогично устанавливают реперы на противоположной стенке выработки.

Для задания направления световым указателем направления (УНС-2) пользуются накладным уровнем *3* (см. рис. 69). Для этого наводящим винтом *4*, имеющим деления в тысячных долях уклона, задают проектный уклон и изменением высот поддерживающих штанг приводят пузырек уровня на середину. Тогда горизонтальный штрих световой марки будет указывать на забое линию проектного уклона. По заданной вертикальной «скобе» *c* — расстоянию от горизонтального штриха марки до почвы выработки ведется контроль соблюдения уклона при проходке. Диапазон накладного уровня ±0,02 с ценой деления 0,001.

Для задания уклона лазерным указателем направления (ЛУН-7) используется оптическая система в виде клинового компенсатора, которая обеспечивает заданный наклон луча в пределах ±2°. Установка заданного уклона осуществляется с помощью специального кольца, расположенного перед коллиматором, на котором нанесены деления в тысячных уклона.

Для задания направления в вертикальной плоскости при проведении горизонтальных выработок применяют нивелир-уклономер (рис. 74), состоящий из выпускаемого серийно нивелира *1* (*Н-3К*), и клиновой уклонной насадки *2* (ПД-10).

Нивелир с закрепленной насадкой устанавливают на штативе в выработке (обычно по оси) и с помощью наводящего винта *3*, наблюдая в микроскоп *4*, устанавливают на шкале уклонов отсчет, соответствующий проектному уклону выработки. В этом случае визирная линия нивелира будет указывать проектное направление выработки в вертикальной плоскости.

Для вождения проходческих машин по заданному уклону во ВНИМИ разработан ряд приборов, основными из которых являются:

уклономер с сообщающимися сосудами УСС;

цифровой уклономер УП;

автоматический стабилизатор уклона АСУ.

Уклономер УСС (рис. 75) предназначен для вождения проходческих щитов и комбайнов по заданному уклону. Устройство уклономера основано на использовании принципа сообщающихся сосудов. Уклономер представляет собой два сосуда, соединенных металлической трубкой *1*. Трубку уклономера прикрепляют к вертикальной перегородке, расположенной по продольной оси проходческой машины. При этом большой сосуд *2* (напорный) располагают в передней части машины, а малый сосуд *3* со шкалой — у пульта управления. Установку уклономера, его крепление и заливку жидкостью производят при непосредственном участии маркшейдера. Уровень жидкости по шкале малого сосуда устанавливается в зависимости от заданного уклона (подъема). Наименьшее деление шкалы соответствует 0,005. При движении проходческой машины машинист следит за тем, чтобы отсчет по шкалам прибора сохранялся равным его проектному значению или отличался от него на величину, не превышающую допустимой.

Уклономер УЦ (рис. 76) предназначен для вождения проходческих щитов по заданному уклону. Чувствительным элементом (ЧЭ) УЦ является маятник. При наклоне корпуса уклономера *1*, прикрепленного к машине, отклонение фиксируется на циферблате стрелкой *2*. Циферблат имеет градуировку в тысячных долях уклона. Маятник, имеющий две степени свободы, укреплен на ведущем валике, а стрелка на ведомом. Между этими валиками имеется двухступенчатая зубчатая передача. Передача снабжена пружинным компенсатором люфта. Маятник имеет масляный демпфер и арретирующее устройство.

Автоматический стабилизатор уклона АСУ предназначен для автоматического подвигания комбайнов и щитов по задан-

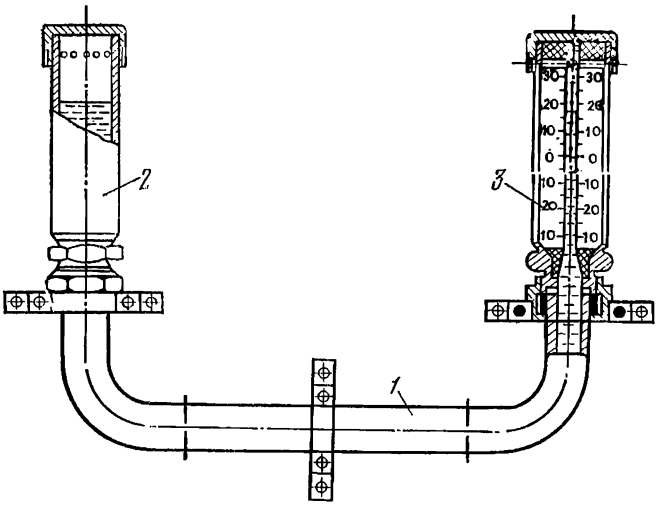


Рис. 75. Уклономер УСС

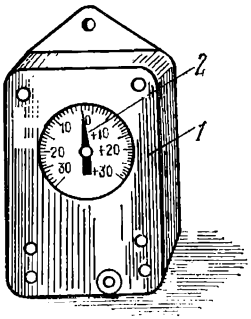


Рис. 76. Уклономер УЦ

ному направлению без участия машинистов. Во время движения машины АСУ удерживает ось вращения рабочего механизма под определенным углом наклона к горизонту, соответствующим заданному уклону выработки, чем и обеспечивается соблюдение профиля на значительном протяжении выработки. АСУ состоит из электролитического датчика, ионного реле и электромагнитного сервопривода.

Электрический датчик представляет собой цилиндрический уровень, в металлическом корпусе которого укреплены два изолированных друг от друга контакта. Внутри уровня находится токопроводящая жидкость и воздушный пузырек. Датчик прикрепляют к подъемной части машины: при положении подъемной части машины, обеспечивающим проходку выработки по заданному уклону, пузырек уровня датчика находится на середине; при отклонении от этого положения пузырек уровня перемещается с середины и в диагонали моста

жидкостного сопротивления датчика возникает ток, передающийся на сетку одного из тиратронов ионного реле. Реле срабатывает, включает анодную цепь, и сервопривод переводит золотник домкрата подъема. Цепь включена до тех пор, пока подъемная часть машины не займет первоначальное положение.

К маркшейдерскому обеспечению проведения выработок, оборудуемых стационарными конвейерами, предъявляются следующие дополнительные требования:

приборно заданные направления должны соответствовать точности полигонометрических ходов опорной сети;

отклонения крепи выработки от заданного направления не должно превышать 5 см;

съемка боков выработки от заданного направления должна выполняться не реже чем через 10 м.

При углах наклона выработок свыше 6° задание направления в вертикальной плоскости осуществляют осевыми или боковыми реперами, устанавливаемыми с помощью теодолита.

Задание направления выработке осевыми реперами производят следующим образом. Теодолит центрируют под точкой осевого репера *1* и устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный заданному углу наклона выработки δ (рис. 77). На ближайшей к забою точке *1* вешают отвес и, визируя в трубу, перемещают отвес до совмещения верха головки отвеса со средней горизонтальной нитью сетки. Закрепив в этом положении отвес, измеряют вертикальное расстояние h'_1 от точки *1* до верха головки отвеса. Затем переводят трубу через зенит, устанавливают на вертикальном круге отсчет $360° - \delta$, визируют на отвес и, совместив верх головки отвеса со средней нитью сетки, измеряют расстояние h''_1 от точки до верха головки отвеса. Переместив отвес по вертикали с таким расчетом, чтобы расстояние от точки до верха головки отвеса было равно $h_1 = \frac{h'_1 + h''_1}{2}$, производят контрольное измерение угла наклона. При правильной установке верха головки отвеса на точке *1* контрольное значение угла наклона должно быть в пределах точности измерений совпадать с заданным углом δ. Закрепив трубу теодолита, окончательно устанавливают осевой репер на точке *1* и по направлению визирного луча *1—1* устанавливают головки отвесов на точках *2* и *3*. Закрепленные таким образом отвесы в точках *1*, *2* и *3* обозначают проектное направление выработки в вертикальной плоскости.

Задание направления выработке боковыми реперами осуществляется в следующем порядке. Между исходными и боковыми реперами под точкой направления помещают теодолит в точке *A* на штативе или консоли (рис. 78). На вертикальном

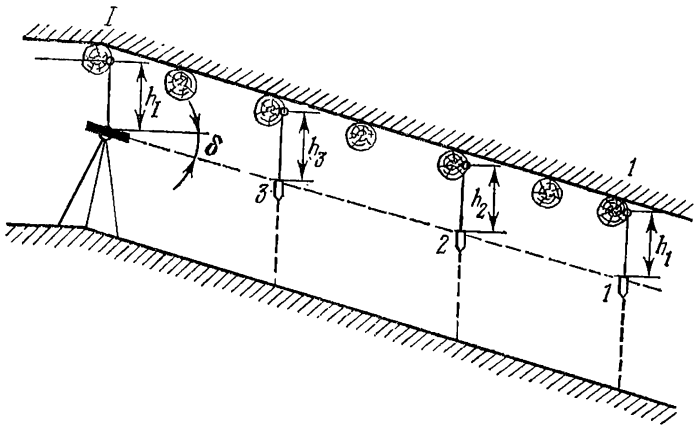


Рис. 77. Схема задания направления выработке осевымн реперами

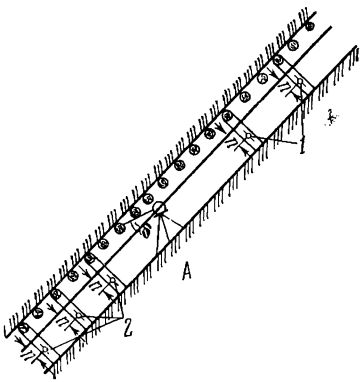


Рис. 78. Схема задания направления выработке боковыми реперами

круге прибора устанавливают отсчет, равный заданному углу наклона δ. Затем визируя по направлению на исходные реперы *1* и вновь задаваемые *2*, отмечают на стойках крепи горизонт визирного луча.

Таким же образом фиксируют горизонт визирного луча при втором положении трубы. Затем находят средний горизонт визирования. После этого, для каждого репера определяют поправки Δh по формуле

$$\Delta h = \frac{b^2}{2l} \operatorname{tg} \delta,$$

где b — расстояние от теодолита до стенки выработки, м, на которой выставлен данный репер, определяемое с точностью ±0,05 м; l — расстояние от точки стояния теодолита до выставленного репера, измеряемое вдоль стенки выработки с точностью ±0,1 м.

Поправки Δh откладывают от среднего горизонта по нормали вниз к наклонной оси выработки, если репер находится от теодолита в направлении восстания выработки, и вверх, если репер расположен от теодолита по падению выработки и фиксируют исправленный горизонт визирования. Далее от исправленного горизонта визирования на исходных реперах измеряют расстояние n, которое необходимо для фиксирования положения вновь закрепляемых боковых реперов.

I.9.5. КОНТРОЛЬ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ПРОЕКТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ, ПРОФИЛЯ И СЕЧЕНИЯ ПРОВОДИМЫХ ВЫРАБОТОК

Контроль за соблюдением проектного направления, профиля и сечения проводимых выработок осуществляется путем периодического их осмотра, замеров, горизонтальных и вертикальных съемок. Если при маркшейдерском контроле обнаружено, что выработка проводится не по проекту, то маркшейдер должен остановить работы для исправления допущенных отклонений от проектного задания.

Для исправления допущенного искривления выработки в горизонтальной плоскости прежде всего производят детальную съемку искривленного участка. По результатам съемки составляют план выработки в крупном масштабе (1 : 100—1 : 200), на котором намечают ее новую конфигурацию. По составленному проекту графически определяют нормальное расстояние от сторон подземного хода до новой оси выработки. Приборный контроль соблюдения проектного уклона (профиля выработки) осуществляется путем нивелирования рельсовых путей. Результаты нивелирования наносят на профиль, руководствуясь которым, маркшейдер дает указание горному надзору по исправлению профиля. Последнее достигается подрывкой почвы или подсыпкой под шпалы. Величина подсыпки или подрывки на отдельных пикетах определяется по разности проектных и фактических отметок.

При укладке путей по проектному уклону обычно пользуются проходческим шаблоном ПШТ (рис. 79).

При работе шаблон устанавливают на рельс губками *8* и *5* так, чтобы губка *5* была обращена в сторону подъема, и закрепляют прибор пружинами *7*. Уровень *1* шаблона предварительно с помощью специального устройства устанавливают на проектный уклон пути. После этого передний конец рельса перемещают в вертикальной плоскости, пока пузырек уровня не займет среднее положение. В таком положении рельс закрепляется. Шаблон ПШТ позволяет не только контролировать уклон, но и определять ширину колеи рельс. Для проверки состояния путей и выявления необходимости его ре-

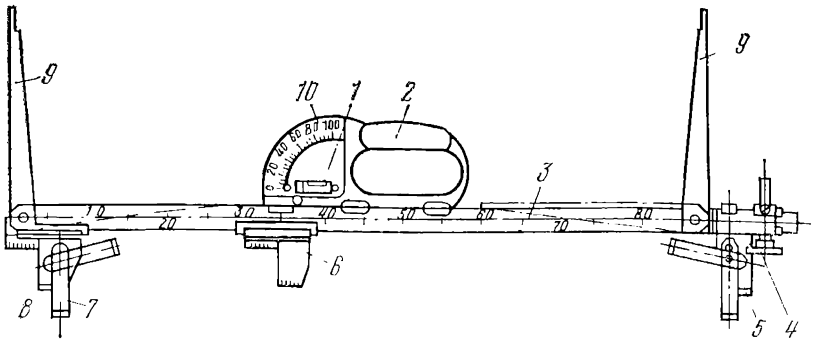


Рис. 79. Проходческий шаблон ПШТ:
1 — уровень; *2* — скоба; *3* — трубчатая штанга; *4* — выдвижной упор; *5* — подвижная губка; *6* — средняя губка; *7* — откидная пружина; *8* — крайняя губка; *9* — откидная визир-стойка; *10* — квадрат с градусной шкалой

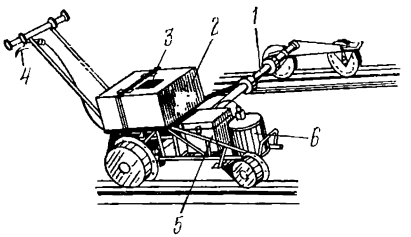


Рис. 80. Путеизмерительный комплекс ПКШ-2

монта, маркшейдерская служба периодически производит вертикальную съемку транспортных путей по основным откаточным выработкам. Для этих целей ВНИМИ разработан путеизмерительный комплекс ПКШ-2 (рис. 80), с помощью которого определяются и регистрируются на диаграммной ленте три основных параметра съемки рельсового пути: продольный профиль, возвышение одного рельса над другим и расхождения расстояний между рельсами против паспорта. Комплекс представляет собой тележку *1* с шириной колеи 900, 1520 мм, на которой в специальном взрывобезопасном футляре *2* с окном для снятия показателей съемки *3* размещены датчики измеряемых параметров и рычаг самописца *4*. Имеются также блок питания *5* и ящик с запасными частями *6*.

Перед началом съемки производят юстировку МО на всех датчиках, проверяют наличие диаграммной бумажной ленты, устанавливают по схеме размеры пикетажных расстояний, которые должны будут зафиксированы на ленте рычагом. Установив комплекс в 5—7 м от начального пикета и включив питание, начинают движение с постепенным увеличением скорости, чтобы, начиная с первого пикета, обеспечить оптимальную скорость (примерно 3—4 км/ч). На всех пикетах и стрелочных переводах фиксируют параметры пути на подвижной ленте самописца. Прокатку комплекса производят в прямом и обратном направлениях, затем обрабатывают результаты записи.

Важное значение имеет также контроль за соблюдением проектного сечения выработки и паспортных характеристик крепления, так как превышение проектных сечений приводит к удорожанию проходки и поддержания выработок; занижение сечений, особенно в откаточных выработках, может быть причиной аварий и несчастных случаев. При контроле за соблюдением проектного сечения выработки и паспортных характеристик ее крепления обращается особое внимание на соблюдение проектных расстояний между стенками выработки и подвижным составом шахтного транспорта.

1.10. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Маркшейдерскими чертежами (МЧ) называют графические документы и материалы, составляемые по результатам топографических, геологических и маркшейдерских съемок, маркшейдерских замеров и геологических зарисовок.

На чертежах, отображаются горные и разведочные выработки, форма, условия залегания и качество полезного ископаемого, а также рельеф и ситуация земной поверхности территории деятельности горного предприятия.

МЧ используются для решения многих производственных задач, а именно: планирования разведочных горных работ; решения вопросов охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ; подсчета запасов, учета добычи, потерь полезного ископаемого и его разубоживания. По чертежам можно судить, насколько правильно и безопасно ведутся горные работы, следить за приближением горных работ к опасным зонам и своевременно принимать профилактические меры и др.

В маркшейдерской практике широко используются проекции на плоскость, разрезы и профили, а при изображении сложных геологических структур или сложных узлов горных выработок — объемные графики.

Проекции — графики, представляющие собой изображение тех или иных объектов на плоскости. Вид проекции определяют в зависимости от применяемых правил проецирования.

В маркшейдерской практике используют главным образом ортогональные проекции (особенно проекции с числовыми отметками). При построении объемных графиков используются косоугольные аксонометрические или аффинные проекции. При решении горно-геометрических задач, связанных с определением угловых величин — стереографические или линейные проекции.

Планы — чертежи, составленные в ортогональной проекции на горизонтальную плоскость. Планы отображают земную

поверхность и горные выработки, на них указываются высоты (координата z) опорных и характерных точек. В необходимых случаях на плане строятся горизонтали земной поверхности или изогипсы поверхности геологического контакта (почвы или кровли залежи). Следовательно, маркшейдерские планы представляют собой изображение объектов с числовыми отметками в проекции.

Вертикальные проекции — чертежи, построенные в ортогональной проекции на вертикальную плоскость. Вертикальные проекции используют в тех случаях, когда проецирование на горизонтальную плоскость вызывает большие искажения и приводит к недостаточно детальному изображению объекта, например, горные выработки, пройденные по залежи крутого падения.

Проекции на наклонную плоскость — чертежи, построенные в ортогональной проекции на наклонную плоскость, параллельную залежи полезного ископаемого. Такого рода чертежи строят для изображения очистных выработок при разработке наклонных и крутых пластов для построения некоторых горно-геометрических графиков. В случае изменения падения или простирания пласта, можно использовать несколько наклонных плоскостей, параллельных отдельным участкам пласта.

Разрезы — графики, представляющие собой изображение деталей объекта некоторой секущей плоскости.

В качестве секущих могут быть использованы любые плоскости в зависимости от назначения разреза. Наибольшее применение находят вертикальные и горизонтальные геологические разрезы. Вертикальные геологические разрезы чаще приурочивают к линиям разведочных и горно-эксплуатационных выработок, а горизонтальные — к горно-эксплуатационным горизонтам шахты или рудника.

Профили — графики, изображающие в заданном вертикальном сечении контуры (контакты) объектов. В маркшейдерской практике часто профили строятся вдоль транспортных линий на земной поверхности и в горных выработках для характеристик уклонов и их отклонений от проектных. При этом, как правило, вертикальный масштаб в 10 раз крупнее горизонтального.

Эскизы представляют собой приблизительное изображение объектов, составляются от руки, т. е. без линейки и других чертежных принадлежностей. Такие эскизы, например, маркшейдер составляет в журналах наблюдений при производстве съемок горных выработок, остатков полезного ископаемого на складах и др.

По своему назначению маркшейдерская графическая документация делится на комплекты чертежей земной поверхности

и горных выработок. Перечень и содержание чертежей, их масштабы зависят от геологического строения и способа разработки данного месторождения и определяются Инструкцией по производству маркшейдерских работ.

В состав *чертежей земной поверхности* каждого горного предприятия входят следующие группы.

Чертежи, отражающие рельеф и ситуацию земной поверхности.

1. План земной поверхности территории производственно-хозяйственной деятельности горного предприятия в масштабе 1 : 1000—1 : 10 000.

2. План застроенной части земной поверхности (города, поселка) в масштабе 1 : 1000—1 : 2000.

3. План промышленной площадки в масштабе 1 : 500—1 : 1000.

4. Планы участков земной поверхности, отведенных под склады полезного ископаемого, породные отвалы или хранилища отходов обогатительных фабрик в масштабе 1 : 200—1 : 5000.

5. Планы участков рекультивации земель, нарушенных горными разработками в масштабе 1 : 200—1 : 5000.

6. Картограмма расположения планшетов съемки земной поверхности.

Чертежи, отражающие обеспеченность горного предприятия пунктами маркшейдерской опорной и съемочной сети.

1. План расположения пунктов маркшейдерской опорной сети на земной поверхности.

2. План расположения пунктов разбивочной сети и осевых пунктов шахтных стволов.

3. Абрисы и схемы реперов и центров пунктов опорной сети.

Чертежи отводов горного предприятия.

1. План земельного участка горного предприятия в масштабе 1 : 1000—1 : 10 000.

2. План горного отвода предприятия в масштабе 1 : 1000—1 : 10 000.

Чертежи горных выработок.

1. Чертежи горных выработок, отражающие вскрытие, подготовку и разработку месторождения.

2. Чертежи капитальных горных выработок и транспортных путей в них.

3. Чертежи по расчету предохранительных целиков.

4. Горно-геометрические графики.

Каждый комплект имеет в своем составе исходные и производственные чертежи графической документации. Исходные чертежи составляют непосредственно по результатам

съемок; они являются основными техническими и юридическими документами.

К производственным чертежам относятся копии и репродукции с исходных, дополненные при необходимости специальным содержанием и предназначенные для решения текущих задач предприятия.

Маркшейдерская графическая документация должна отвечать следующим требованиям:

1) быть составленной в единой системе координат;

2) наглядно отображать объекты (горные выработки и геологию месторождения) и содержать все необходимые данные о них;

3) быть удобной для производства измерений, необходимых при определении угловых и линейных величин, не прибегая при этом к громоздким дополнительным построениям и вычислениям;

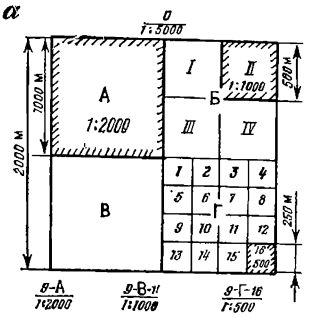
4) отвечать требованиям динамичности, т. е. отражать систематическое развитие горных работ и новые данные по геологии месторождения.

Исходные маркшейдерские чертежи земной поверхности, создаваемые на участке менее 20 км^2, и чертежи, горных выработок при открытом и подземном способах разработки месторождений полезных ископаемых, составляются в разграфке квадратных планшетов. При этом исходным форматом для разделения на планшеты является лист в масштабе 1 : 5000, охватывающий площадь 2×2 км.

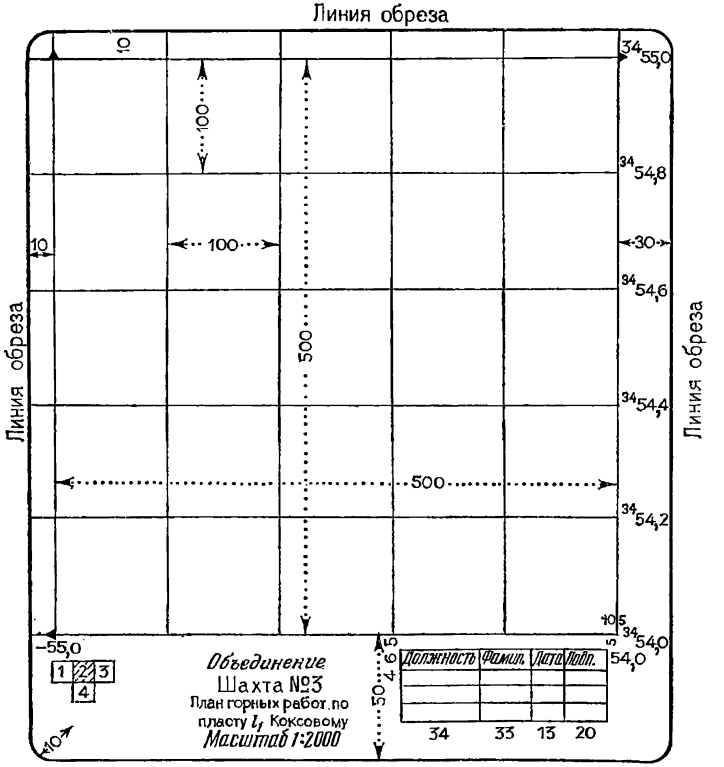
Рассмотрим разделение листа масштаба 1 : 5000 на планшеты масштабов 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 и их номенклатуру (рис. 81, *а*). Размеры планшетов с учетом полей определяются следующим образом: масштаб 1 : 5000—440×460 мм; масштабы 1 : 2000—1 : 500—540×560 мм. В основу разграфки планов земной поверхности масштабов 1 : 5000 и 1 : 2000, создаваемых на участках площадью более 20 км^2 принят лист карты масштаба 1 : 100 000. Последний делится на 256 частей масштаба 1 : 5000; его номенклатура состоит из номенклатуры листа 1 : 100 000 и взятого в скобки номера листа масштаба 1 : 5000. Например, М-38-39(255). Лист масштаба 1 : 5000 делится на девять частей для съемки масштаба 1 : 2000, обозначаемых первыми строчными буквами русского алфавита. Номенклатура листа в масштабе 1 : 2000 состоит из номенклатуры листа в масштабе 1 : 5000 с добавлением соответствующей буквы, например, М-38-39(255-*а*). На планшеты (рис. 81, *б*) тщательно наносится основа графических построений — координатная сетка сплошными линиями толщиной 0,1 мм размером 100×100 мм. Разбивку сетки выполняют с помощью координатографа или специальных линеек с точностью 0,2 мм. Исходные планы карьеров, а также планы подземных горных

Рис. 81. Разграфка и номенклатура планшетов масштаба 1 : 5000—1 : 500 (*а*) и внешнее оформление планшетов (*б*)

а



б



выработок при размерах шахтного поля менее 1 км^2 разрешается составлять на листах любого удобного размера с произвольным ориентированием сетки координат относительно рамки.

Все маркшейдерские чертежи выполняются в принятых условных обозначениях в соответствии с ГОСТ 2.853—75, ГОСТ 2.854—75; ГОСТ 2.855—75; ГОСТ 2.856—75; ГОСТ 2.857—75.

В зависимости от начертания маркшейдерские условные знаки можно разделить на четыре основные группы:

масштабные (контурные) применяются при изображении объектов, которые могут быть вычерчены в масштабе чертежа;

внемасштабные используются при изображении объектов, которые из-за малых размеров не могут быть вычерчены в масштабе чертежа;

разномасштабные (линейные) необходимы при изображении вытянутых объектов, длина которых может быть показана в масштабе чертежа, а ширина — только условно;

пояснительные служат дополнением к контурным, внемасштабным и линейным знакам. К ним относятся внутриконтурные знаки, цифровые обозначения и пояснительные подписи.

Исходные чертежи подземных горных выработок пополняют не реже одного раза в месяц. Пополнение разрешается вести в карандаше, закрепление изображаемых объектов тушью выполняют по мере проложения подземных полигонометрических ходов, но не реже двух раз в год.

Изображение подземных горных выработок, проводимых вблизи и в пределах границ опасных зон, барьерных и предохранительных целиков на рабочих планах выполняют в туши в течение суток после завершения съемки.

На исходных планах земной поверхности временные объекты разрешается тушью не закреплять; на планах горных выработок можно не закреплять тушью геологические нарушения, элементы залегания которых определены предположительно, и изогипсы пластов при недостаточности данных при их изображении.

I.10.1. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Состав чертежей земной поверхности приведен выше, он одинаков для всех месторождений, разрабатываемых подземным способом.

В состав подземных графических документов входят следующие чертежи:

планы горных выработок по каждому пласту;

планы горных выработок по каждому слою при разделении мощных пластов на слои;

проекции горных выработок на вертикальную плоскость по каждому пласту с углами падения 60° и более;

планы горных выработок по основным транспортным горизонтам горных работ;

совмещенный план горных работ масштаба 1 : 2000—1 : 5000;

сводные планы горных работ масштаба 1 : 2000—1 : 5000;

планы околоствольных выработок масштаба 1 : 200—1 : 500;

планы очистных выработок масштаба 1 : 500—1 : 1000;

профили по основным откаточным выработкам масштабов: горизонтальный 1 : 500—1 : 2000, вертикальный 1 : 50—1 : 1000;

планы и разрезы к расчету предохранительных целиков под охраняемыми объектами;

графики по проверке состояния шахтных стволов;

планы и разрезы к подсчету запасов;

планы проектные, аварийные, вентиляционные и отражающие размещение энергетического оборудования шахты;

горно-геометрические графики и другие специальные чертежи.

Основными из этой группы чертежей являются планы горных работ по отдельным пластам или слоям (при слоевых системах разработки), составляемые в масштабе 1 : 1000—1 : 2000.

На плане горных работ (рис. 82) наносят: сетку прямоугольных координат; постоянные и временные пункты планового и высотного обоснования съемок по всем выработкам; все горные выработки с указанием положения забоев на первое число каждого месяца, разведочные и технические скважины; высоты характерных точек и горных выработок; контуры очистных работ на начало каждого месяца с указанием способа отбойки и управления кровлей; углы падения; кливаж; мощность и структуру пласта; тектонические и другие нарушения в пласте; места очагов пожаров, суфляров, выбросов пыли и газа, прорывов воды или плывунов; изоляционные и вентиляционные перемычки, кроссинги; технические границы и границы барьерных и предохранительных целиков и т. д.

Планы горных выработок составляют по данным маркшейдерских съемок в следующей последовательности.

На планшет с разбитой координатной сеткой наносят пункты маркшейдерской опорной и съемочной сети с помощью координатографа или циркуля-измерителя.

Предельная погрешность положения пункта относительно координатной сетки не должна превышать 0,4 мм. Правильность нанесения двух соседних пунктов проверяется измерением на плане расстояния между ними. Погрешность взаимного положения соседних пунктов не должна превышать 0,6 мм.

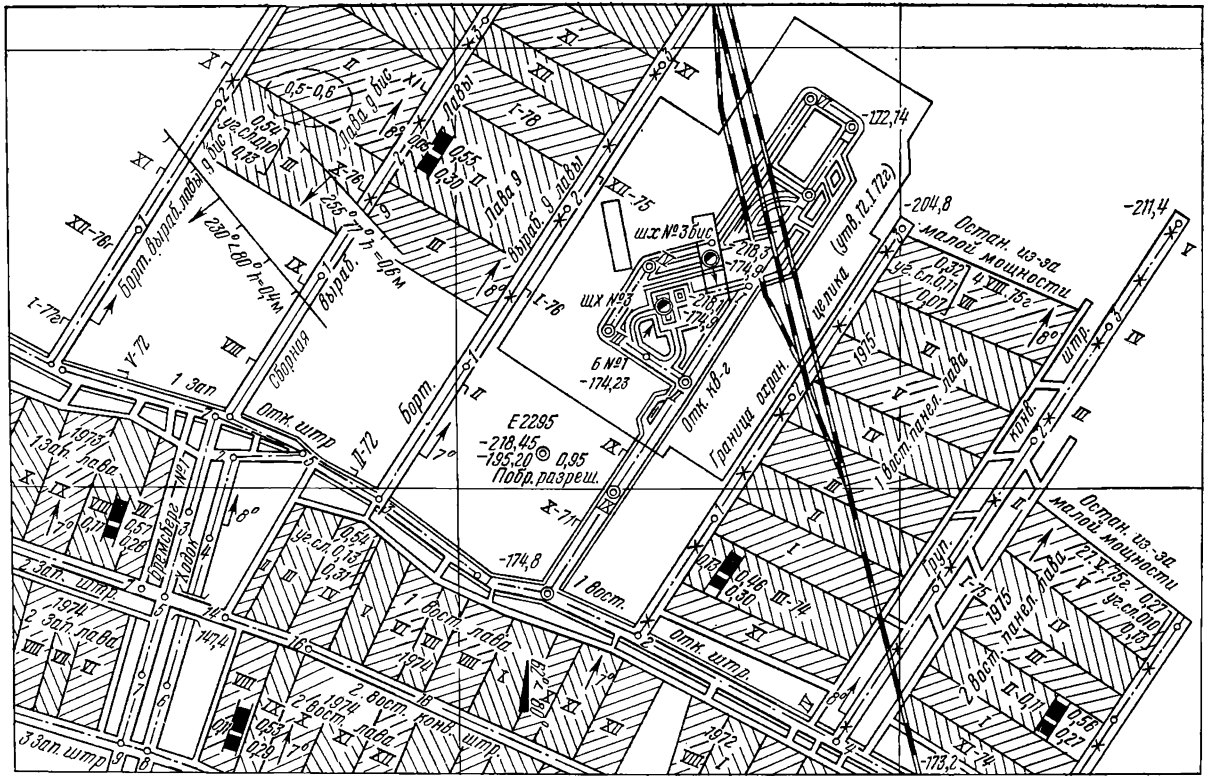


Рис. 82. Участок плана горных выработок по пласту

По абрисам строят контуры горных выработок. Положения четких контурных точек по отношению к ближайшим пунктам опорной и съемочной сетей должны быть нанесены с погрешностью, не превышающей 0,6 мм. По результатам съемок указывают положение очистных забоев на первое число каждого месяца. Далее на план наносят все перечисленные выше объекты. После проверки планов, составленных в карандаше, их вычерчивают в туши в строгом соответствии с действующими условными знаками.

При крутом падении пластов планы горных работ дополняются проекциями на вертикальную плоскость и вертикальными или горизонтальными разрезами вкрест простирания пласта, составляемыми в масштабе основных планов.

На планах горных работ при крутом падении, в отличие от аналогичных планов при пологом падении, очистное пространство не заштриховывается, целики угля не закрашиваются, а контуры выемки по месяцам и годам и даты выемки не подписываются. Кроме того, при большой загрузке плана разрешается не показывать второстепенные горные выработки (печи, просеки и пр.). Все эти данные, а также структура, мощность и падение пласта указывают на вертикальной проекции, которую обычно выбирают параллельно простиранию пласта. При изменяющемся простирании пласта проектирование осуществляется на вертикальную ломаную плоскость.

Вертикальные разрезы вкрест простирания пласта строят через 100 или 200 м при спокойном залегании пласта, чаще при нарушенном. На разрезах показывают линии контактов угля с боковыми породами, подготовительные горные выработки, целики угля, очистные выработки, линии горизонтов с отметками и т. д.

Часто план горных работ, проекцию на вертикальную плоскость и разрезы вкрест простирания пласта размещают на одном планшете (рис. 83). План горных выработок в этом случае располагают в верхней части планшета так, чтобы линия господствующего простирания изображаемого участка пласта была параллельна верхней рамке планшета. Координатную сетку при таком расположении плана наносят под углом к рамкам планшета, поэтому на одной из линий координатной сетки стрелкой показывают стороны света (С—Ю).

Вертикальную проекцию располагают на планшете ниже плана, в средней части планшета. При этом ее стремятся расположить таким образом, чтобы точки в горизонтальной и вертикальной проекциях находились на одной вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости проекции. В нижней части планшета располагают горизонтальные и вертикальные разрезы вкрест простирания пласта. При таком расположении плана построение вертикальной проекции и разрезов облегча-

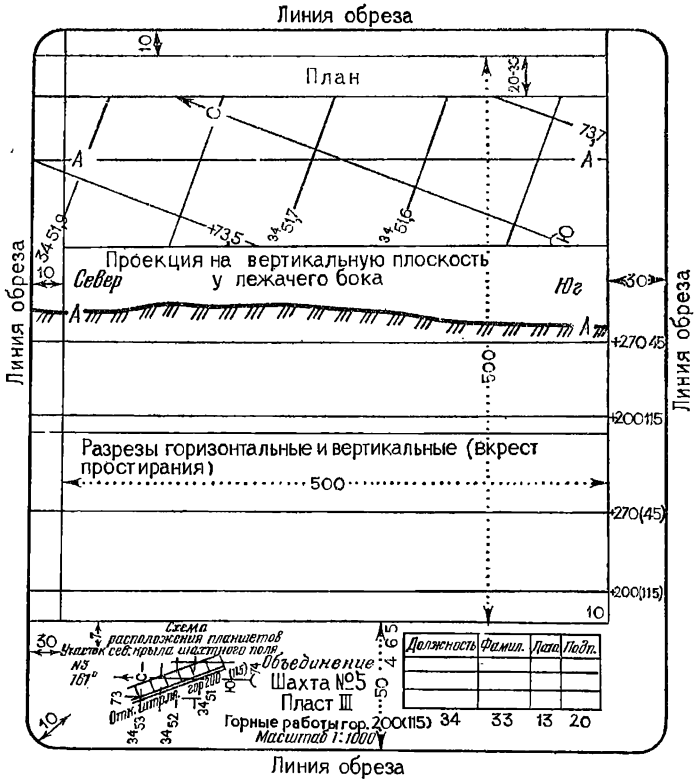


Рис. 83. Планшет маркшейдерских планов на мощных крутых пластах

ется и графический материал становится более удобным для пользования. Иногда в верхней части планшета дополнительно строят профиль основного откаточного штрека.

При разработке мощных крутых пластов горизонтальными или поперечно-наклонными слоями на плане горных работ и проекции на вертикальную плоскость невозможно изобразить горные выработки всех слоев вследствие их перекрытия. Поэтому на плане и проекции на вертикальную плоскость в этом случае показывают только выработки верхнего и нижнего слоев, а для всех остальных слоев строят отдельные планы. В силу небольших размеров послойных планов обычно на одном стандартном планшете располагают планы всех слоев блока в порядке их отработки. На каждом таком плане слоя отображаются подготовительные и очистные выработки с указанием времени их прохождения, линии контактов угля с боковыми породами, нарушения, пункты подземных съемок и т. д.

В нижней части планшета вычерчивается схема, на которой в мелком масштабе указывают положение вынимаемого блока по отношению к основным горным выработкам.

При разработке свиты крутых пластов малой и средней мощности, а также при разработке мощных пластов составляют погоризонтные планы, на которых показывают основные выработки, пройденные на данном горизонте по углю и породе.

Совмещенный план горных работ составляют при разработке свиты сближенных пластов для взаимной увязки горных работ по различным пластам. На этих планах изображают все горные выработки, пройденные по пластам, и соединяющие их выработки по породам. Для большей наглядности горные выработки по каждому пласту вычерчивают определенным цветом.

Сводные или, как их называют иначе, обзорные планы горных работ составляют по отдельным пластам, на которых изображают горные выработки в целом по пласту, по состоянию на фиксированный момент времени.

На плане околоствольных выработок кроме всех выработок околоствольного двора изображают откаточные пути, крепь выработок, исходные точки маркшейдерских съемок и высотные реперы. По наиболее характерным местам околоствольного двора в масштабе плана или крупнее делают поперечные разрезы.

Планы очистных выработок составляют с целью учета добычи и потерь угля, а также контроля за состоянием линии очистного забоя. На этих планах изображают все подготовительные и нарезные выработки на данном участке пласта (слоя) с указанием времени их проведения; контуры очистной выемки по месяцам с характеристикой выработанного пространства; контуры непромышленных участков и разного рода геологические нарушения; мощность и структуру разрабатываемого пласта (слоя); контуры всех оставленных целиков; пункты теодолитных и буссольных ходов и другие объекты. При наклонном и крутом падении пластов для удобства пользования планы очистных выработок часто составляют в проекции на плоскость пласта.

Профили по откаточным выработкам строят для характеристики состояния уклонов откаточных путей и контроля его основных элементов.

Проектные, аварийные вентиляционные планы, а также схемы энергетического снабжения шахты выполняют на копиях с исходных маркшейдерских планов. На каждом таком плане наносят специфические объекты, а именно: на проектном плане — проект развития горных работ; на плане вентиляции — разного рода вентиляционные перемычки и двери, расположение стацио-

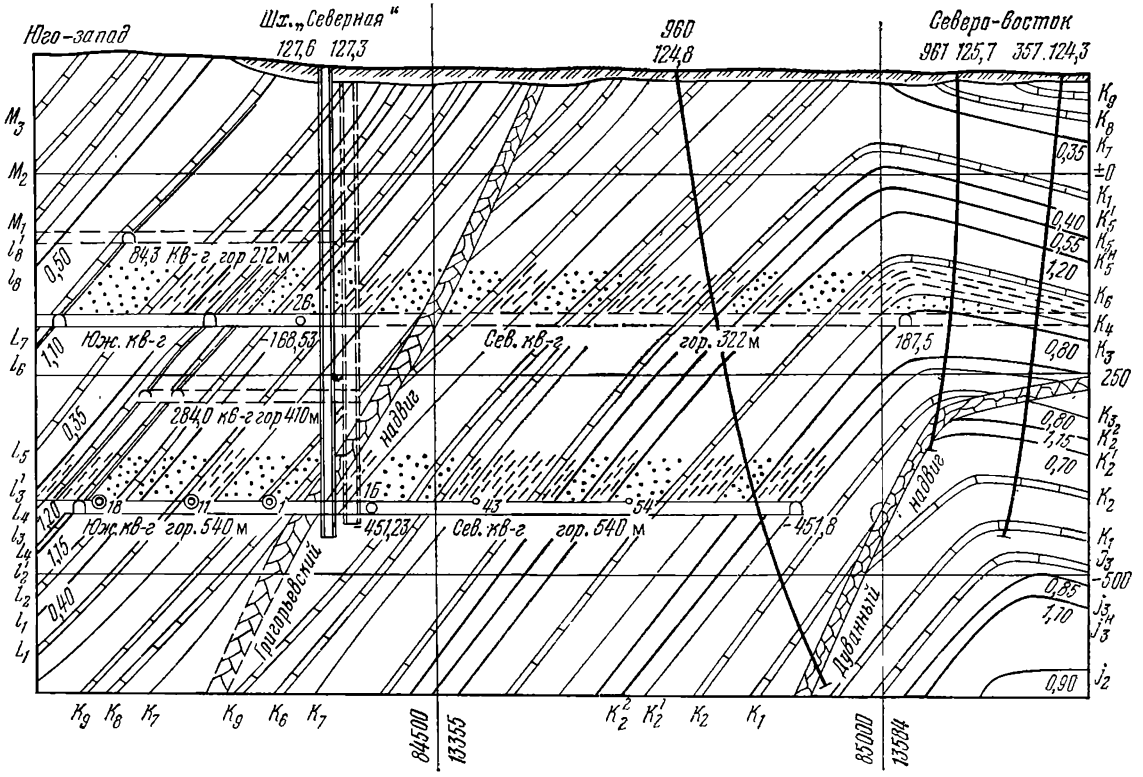


Рис. 84. Вертикальный разрез вкрест простнрания пластов

нарных и других вентиляторов, показывают направление входящей и исходящей струи воздуха и т. д.

Из горногеометрических графиков при разработке угольных месторождений используют в основном пластовые гипсометрические планы и вертикальные разрезы вкрест простирания пластов в масштабе 1 : 2000 — 1 : 5000. На гипсометрических планах наносят все горные выработки и скважины, пересекающие угольный пласт или пройденные по пласту с указанием отметок пласта, изогипсы почвы или кровли пласта, выходы пластов на земную поверхность, геологические нарушения и элементы залегания пласта.

С целью максимального использования фактической информации линии вертикальных разрезов приурочивают, как правило, к основным вскрывающим выработкам (стволам, квершлагам, бремсбергам, уклонам и скважинам). На разрезах (рис. 84) наносят: линии горизонтов высотной сетки; вертикальные линии, соответствующие пересечениям плоскости разреза с линиями сетки координат; профиль земной поверхности и контуры выходов угольных пластов на поверхность или под наносы; разведочные и горные выработки; контуры залежи полезного ископаемого и другие характеристики геологической ситуации.

Помимо перечисленной выше маркшейдерской графической документации, используемой на шахтах, удобен для пользования также комплект так называемых обменных планов для вышестоящих организаций и горноспасательных частей. В комплект обменных планов шахты входят копии с исходных планов поверхности и горных работ. Каждая организация имеет указанный комплект планов в двух экземплярах: один находится в организации, а другой — на пополнении в маркшейдерском бюро шахты. Пополненный комплект планов через определенный промежуток времени обменивается на устаревший. Сроки пополнения (обмена), составление и оформление обменных планов производятся в соответствии со специальными инструкциями.

I.10.2. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ РУДНОЙ ШАХТЫ

Перечень и содержание маркшейдерской графической документации рудной шахты определяется геологическим строением и способом разработки месторождения.

При разработке пологопадающих жил и пластов средней и малой мощности маркшейдерские графические документы мало чем отличаются от чертежей, используемых на угольных шахтах, т. е. по каждой залежи имеется план горных выработок в проекции на горизонтальную плоскость и разрезы вкрест прости-

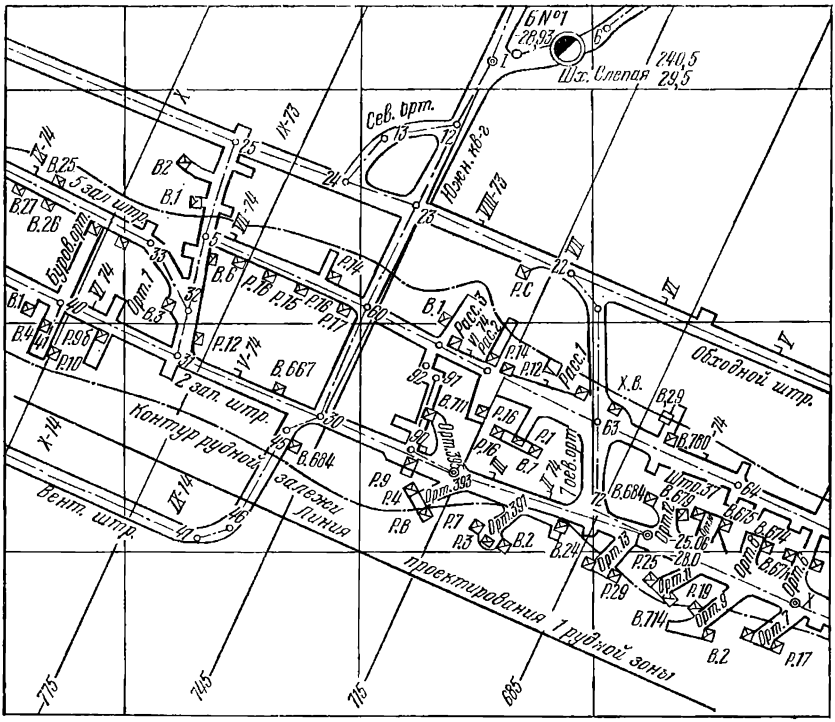


Рис. 85. План горных выработок по транспортному горизонту рудной шахты

рания по основным вскрывающим выработкам в масштабах 1 : 1000—1 : 2000.

При разработке рудных залежей большой мощности и групп крутопадающих жил и линз маркшейдерские планы горных работ составляют по основным горизонтам в проекции на горизонтальную плоскость (рис. 85). Погоризонтные планы дополняются проекциями горных выработок на вертикальную плоскость (рис. 86) и вертикальными разрезами вкрест простирания залежи (рис. 87) через каждые 10—20 м и более в зависимости от сложности, формы разрабатываемых рудных залежей и проводимых в них горных выработок.

Планы, проекции горных выработок на вертикальную плоскость и разрезы на рудных шахтах изготовляют, как правило, на отдельных планшетах, их масштаб зависит от формы и размеров залежи, системы ее разработки (от 1 : 500 до 1 : 1000).

Требования по составлению, содержанию таких планов и размеров, а также оформлению планшетов те же, что и для соответствующих планов угольной шахты. Некоторые особенности

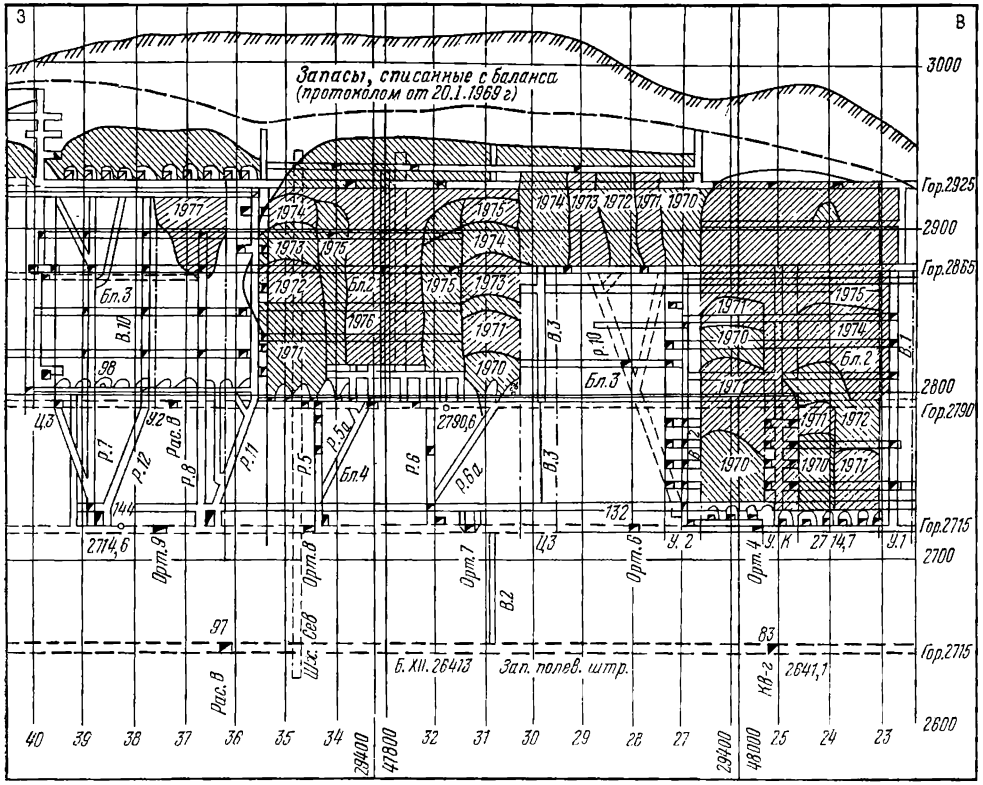
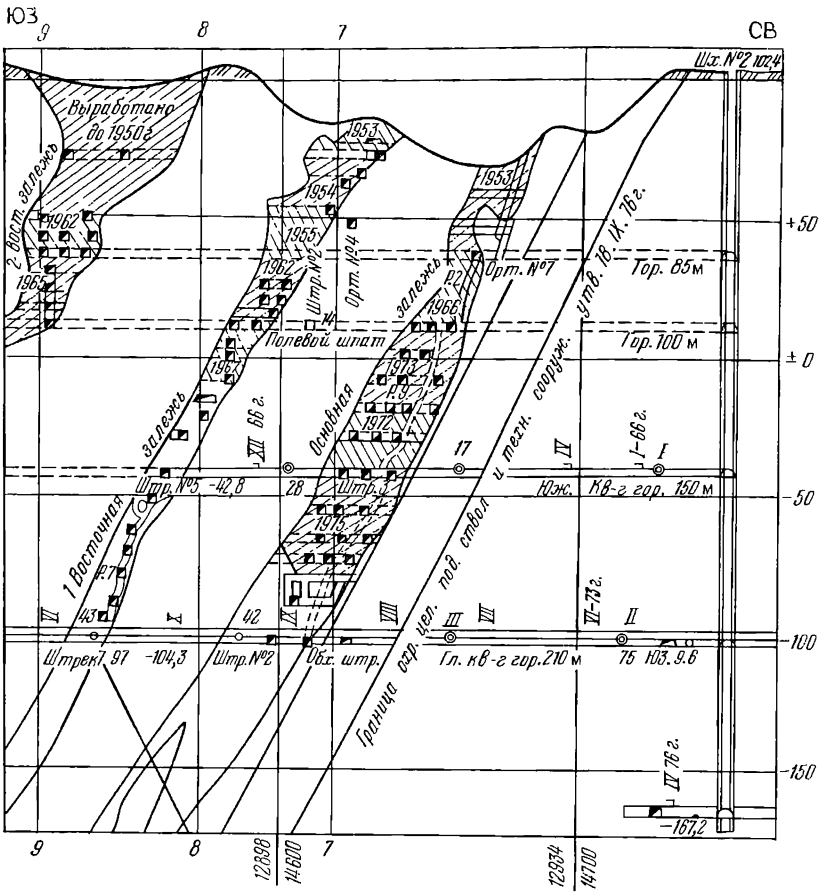


Рис. 86. Проекция на вертикальную плоскость горных выработок рудной шахты


ЮЗ
СВ
9
8
7
Выработано до 1950 г.
2 вост. залежь
1962
1963
1953
1954
1955
1964
Штр. №2
Орт. №4
Орт. №7
Гор. 85 м
Полевой штрек
Гор. 100 м
Основная
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005

планов на угольных месторождениях, то при разработке мощных рудных залежей в связи с усложнением систем разработки возникают значительные различия в составе комплекта и содержании планов очистных работ (планы горных работ эксплуатационных блоков). Кратко остановимся на них.

Планы горных работ эксплуатационных блоков предназначены для непосредственного решения задач (задание направлений выработкам, подсчет добычи и потерь и т. д.), возникающих при подготовке и отработке блока. Планы блоков составляются в общерудничной системе координат по данным маркшейдерских съемок и замеров в масштабе 1 : 200—1 : 500. Комплект планов зависит от применяемой системы разработки. Он обычно включает:

часть плана основного горизонта в пределах блока;

проекцию на вертикальную плоскость;

подэтажные планы нарезных выработок и очистных работ горизонта скрепирования и подсечки камер, горизонта воронок и т. д.);

поперечные разрезы вкрест простирания по профильным линиям (осям камер).

На рабочих планах блоков основных и подэтажных горизонтов, проекциях на вертикальную плоскость и разрезах должны быть отражены:

все капитальные, подготовительные, разведочные, нарезные и очистные выработки с показанием времени их проведения по месяцам. Для очистных выработок указывается способ разработки полезного ископаемого (обрушение, закладка и т. д.);

углы наклона по наклонным подготовительным выработкам и высоты основных выработок в характерных местах, но не реже чем через 200 м;

постоянные и временные точки теодолитных ходов и реперы нивелирования с их номерами и высотами;

данные, характеризующие форму и условия залегания полезного ископаемого (границы рудной залежи, контуры непромышленных и безрудных участков, углы падения и мощности рудных тел, геологические нарушения и т. д.);

характеристики целиков (в том числе и предохранительные);

очаги пожаров, крупные вывалы, прорывы плывунов и т. д.;

положение следов плоскостей вертикальных проекций и линий разрезов.

Рабочие планы эксплуатационных блоков должны пополняться не реже одного раза в месяц.

I.10.3. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ ОТКРЫТОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ

При открытом способе разработки полезного ископаемого обязательный комплект маркшейдерских графических документов включает следующие чертежи по горным работам:

планы горных выработок по горизонтам горных работ карьера в масштабе 1 : 500 — 1 : 2000 (рис. 88);

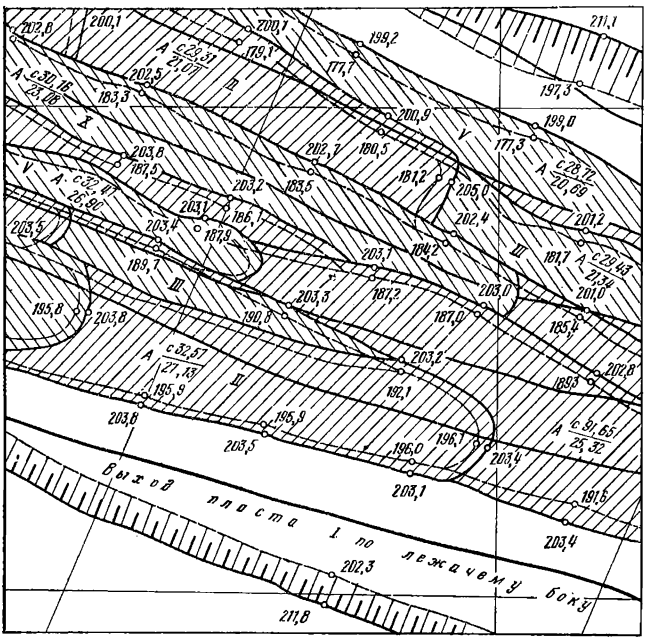


Рис. 88. Участок поуступного плана горных выработок

планы горных выработок полигонов на приисках в масштабе 1 : 2000;

вертикальные разрезы вкрест простирания залежей полезного ископаемого для карьеров (рис. 89), по разведочным линиям и вкрест подвигания фронта работ драги или гидравлики для приисков в масштабе плана горных выработок;

сводный план горных выработок карьера в масштабе 1 : 1000 — 1 : 2000 (рис. 90) или участка россыпи прииска в масштабе 1 : 100 000 — 1 : 250 000;

оперативные планы горных выработок полигонов на приисках в масштабе 1 : 500 — 1 : 1000;

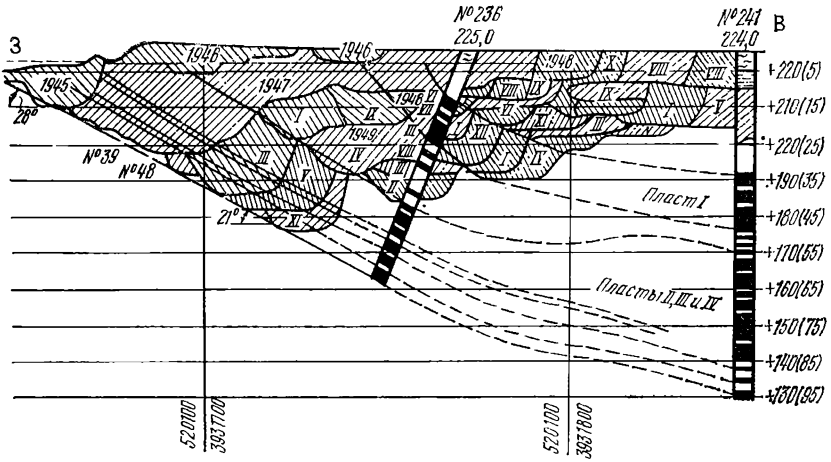


Рис. 89. Вертикальный разрез по профильной линии угольного карьера

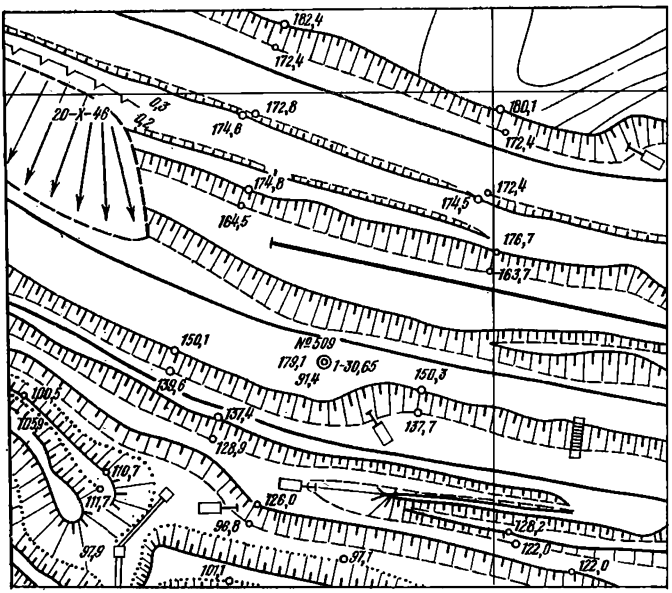


Рис. 90. Участок сводного плана горных работ угольного карьера

профили по железнодорожным путям и автомобильным дорогам на карьерах и профили руслоотводных и других канав для приисков в масштабах: горизонтальный 1 : 500—1 : 2000; вертикальный 1 : 50 — 1 : 200;

планы дренажных выработок для карьеров в масштабе 1 : 1000—1 : 5000;

планы породных отвалов и складов полезного ископаемого с расположением подъездных путей в масштабе 1 : 500—1 : 5000;

планы и разрезы для расчета зон особого значения и предохранительных целиков под охраняемыми объектами в масштабе не мельче 1 : 2000 (для протяженных объектов не мельче 1 : 10 000);

копии с планов горных работ для составления плана развития горных работ; подсчета запасов; учета состояния и движения запасов; учета потерь и разубоживания полезного ископаемого и др.;

горногеометрические графики: гипсометрические планы висячего и лежачего боков залежи полезного ископаемого; планы изомощностей (вскрыши, полезного ископаемого, песков, торфов и т. д.); планы изосодержаний отдельных компонентов.

Планы горных выработок составляют по данным маркшейдерских и геологических съемок на стандартных планшетах в системе координат, принятой для данного района. На этих планах наносят опорную маркшейдерскую сеть, проектные контуры горных работ данного горизонта, горные выработки по горизонту (траншея и уступ — для карьеров, границы отработанных площадей — для приисков), разного рода геологические данные, горнотехнические сооружения, границы выработанных участков за каждый месяц, линии вертикальных разрезов и т. д.

Вследствие наличия на плане горных выработок большого числа показателей он представляет собой богатейший материал для суждения о вынимаемом слое. По этим планам производят подсчет объемов вскрыши, добычи и потерь полезного ископаемого. Кроме того, они служат основой для составления перечисленных выше производных планов и разрезов, а также позволяют производить проверку правильности ведения горных работ.

Планы горных выработок пополняются не реже одного раза в месяц, на карьерах рекомендуется пополнять их после каждого массового взрыва.

Важными маркшейдерскими графическими документами являются вертикальные разрезы; по ним устанавливаются фактические размеры берм, углы откоса уступов, связь горных работ с геологией месторождения, соотношение между вскрышей и добычей и т. д. Разрезы иногда используют также для подсчета вскрыши, добычи и различных видов эксплуатационных запасов. Расстояние между разрезами составляет от 10 до 20 м на сложных месторождениях и до 100 м на более простых.

На вертикальных разрезах изображают профиль поверхности; профиль вскрытой и отработанной части залежи полезного ископаемого на момент составления или пополнения разреза; линии горизонтов; границы наносов и контакты полезного ископаемого с вмещающими породами; геологические нарушения; границы выработанных участков за каждый месяц; разведочные и эксплуатационные скважины с указанием их высот и мощности полезного ископаемого и т. д.

Вертикальные разрезы составляют в масштабе, принятом для планов горных выработок. Горизонтальный и вертикальный масштабы разрезов должны быть одинаковы, кроме вертикальных разрезов по разведочным линиям для приисков, где вертикальный масштаб в десять раз крупнее горизонтального.

Вертикальные разрезы строят также на стандартных планшетах в соответствии с установленными условными обозначениями. Разрезы как и планы горных выработок пополняются не реже одного раза в месяц.

Сводные планы горных выработок представляют собой совмещенное изображение в проекции на горизонтальную плоскость всех уступов на карьерах и всех участков гидравлического полигона на приисках. Сводный план карьера при использовании аэрофототопографического метода съемки является исходным планом, на основе которого пополняются планы по горизонтам горных работ. При наземных методах съемки он пополняется ежемесячно на основе планов по горизонтам. На сводный план наносится та же ситуация, что и на планы по горизонтам. Кроме того, изображается рельеф и ситуация земной поверхности в проектных границах карьера (прииска). Поскольку положение забоев непрерывно изменяется, то сводный план зачастую делается в карандаше, чтобы можно было вносить в него изменения, не пересоставляя заново. Он копируется в туши на кальку или другой прозрачный материал. На крупных карьерах сводные планы ведут раздельно для вскрышных и добычных уступов.

Оперативный план горных выработок полигона составляется по отдельным горным участкам и служит для подсчета объемов горных работ, выполненных за отчетный период (вскрыша и перевалка торфов, оттайка вечной и сезонной мерзлоты, переработка горной массы драгами и др.). На оперативный план наносят все данные, характерные для планов горных выработок, а также технический проект текущего года (в карандаше).

Большинство современных карьеров имеет сложную систему подземных дренажных горных выработок. Для их характеристики составляются особые планы — планы дренажных выработок, масштаб которых 1 : 1000—1 : 5000, и пополняются по мере необходимости.

Для решения большого круга вопросов, связанных с организацией и ведением отвального хозяйства, составляются планы

породных отвалов и складов полезного ископаемого. Масштаб планов отвалов пустых пород — 1 : 2000 — 1 : 5000, а планов складов полезного ископаемого — 1 : 500 — 1 : 1000. На этих планах наносят координатную сетку; горизонтали участка поверхности земли, служащего основанием отвала; пункты теодолитных ходов, реперы и пикеты нивелирования с их высотами; линии разрезов; контуры нижней и верхней бровки отвала; координаты характерных точек отвала; шурфы и точки опробования; железнодорожные пути и т. д. Пополнение планов внешних породных отвалов производится ежемесячно или ежеквартально; планы внутренних породных отвалов, а также складов полезного ископаемого пополняются ежемесячно.

Остальные маркшейдерские графики, необходимые при открытой разработке, принципиально не отличаются от аналогичных графиков при подземной разработке угольных и рудных месторождений.

Как и при подземном способе разработки, на каждом горнопромышленном предприятии, ведущем разработку открытым способом, составляется комплект обменных планов, в который входят копии планов горных выработок, сводного и вертикальных разрезов.

I.10.4. НАГЛЯДНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ ЧЕРТЕЖИ И МОДЕЛИ

Рассмотренные выше планы горных выработок, составленные в проекции с числовыми отметками, обладают хорошими метрическими свойствами, но при густой и сложной сети горных выработок не создают единого зрительного представления о пространственном расположении выработок в целом по шахте (руднику).

Более наглядными, легко воспринимаемыми получаются планы в аксонометрической проекции. Правда, в связи с худшими их метрическими свойствами они не могут заменить планы горных выработок, но с успехом применяются для составления ряда специальных планов. Так например, наглядные графики могут служить хорошей основой для вентиляционных и аварийных планов, планов энергооборудования шахты и т. д.

Составление планов в аксометрической проекции подробно рассматривается в курсе «Горная геометрия». Более удобными для построения наглядных планов являются параллельные проекции с аффинными преобразованиями. Для их построения в настоящее время имеются специальные приборы — аффинографы.

На ряде месторождений со сложными геологическими и горными условиями для пространственного (объемного) представления об условиях залегания полезного ископаемого и способах его разработки строят специальные объемные модели. Применя-

емые объемные модели можно разделить на две группы: статистические и динамические.

Статистические модели используют как иллюстративный материал, они дают наглядное представление о месторождении на определенный момент времени. В этих моделях допускают небольшие отклонения от действительности с тем, чтобы более четко выразить основные особенности участка. Для изготовления статистических моделей используют дерево, скульптурную глину, картон, стекло, пластмассу и другие материалы.

Динамические модели являются рабочими, их используют как дополнение к маркшейдерским планам, вследствие чего их строят более точно, видоизменяя и пополняя с учетом новых данных об участке. Модели этого типа представлены серией маркшейдерских или геологических планов и разрезов, нанесенных на листы из прозрачного материала (органического стекла, винипроза и т. д.). Листы по координатной сетке ориентированы между собой и вставлены в специальные рамы-ящики горизонтально, если данные съемок и разведки сосредоточены по горизонтальным сечениям (погоризонтные, поуступные планы и т. д.), или вертикально — при наличии этих данных по вертикальным плоскостям. Рекомендуемое расстояние между сечениями на модели составляет 20—50 мм. Размеры моделей определяются размерами участка, однако не следует их делать громоздкими — более 1—1,5 м. Для создания большей объемности подбирают соответствующее освещение модели, обычно располагая источник освещения в нижней части, чтобы можно было наблюдать модель сразу через все прозрачные листы. При соблюдении равенства горизонтальных и вертикальных масштабов и при правильном расположении листов, модели дают хорошее представление об условиях залегания полезного ископаемого и способах его разработки.

I.10.5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

До настоящего времени основой для маркшейдерской графической документации служит чертежная бумага высшего качества (марки В), обыкновенная чертежная бумага (марки О), миллиметровая бумага (марки *г*), калька и светочувствительная бумага.

На бумаге марки В изготовляют исходные маркшейдерские графические документы и некоторые производные от них. Чертежную марки О и миллиметровую бумагу используют для составления планов и разрезов очистных блоков, профилей по откаточным выработкам, эскизов и других чертежей. На прозрачной бумаге изготовляют копии с исходных планов, которые в дальнейшем используют для размножения светокопированием

на светочувствительной бумаге. Ввиду большой деформации бумаги; даже для бумаги высшего качества достигает 1 : 100 (относительное сжатие), а для других материалов еще больше, применяемая для исходных и некоторых производных маркшейдерских графиков, бумага предварительно наклеивается на жесткую (картон, фанеру, дюраль) или мягкую (коленкор, бязь) основу. Срок службы таких планов значительно удлиняется, вследствие уменьшения износа и разного рода повреждений. Однако описанные выше материалы, применяемые для оформления маркшейдерской графической документации, имеют ряд существенных недостатков. Это, прежде всего, непрозрачность материалов, на которых составляются исходные планы горных выработок, что не позволяет одновременно наблюдать изображения различных пластов, слоев, горизонтов и земной поверхности, проекции которых перекрываются. Также составление совмещенных планов требует значительных затрат времени, планы в конечном счете оказываются сильно перегруженными, что затрудняет работу. Размножение планов применяемыми в настоящее время способами требует больших дополнительных затрат, так как необходимо предварительное копирование плана на прозрачную бумагу.

С учетом указанных и других недостатков в последние годы на шахтах и рудниках стали широко применяться прозрачные синтетические материалы полиэтилентерефталатные пленки типа лавсана, производство которых освоено отечественными заводами и зарубежными фирмами.

Приведем характеристики этих материалов, рекомендуемых Инструкцией по производству маркшейдерских работ на основании исследований ВНИМИ.

Лавсановая пленка глянцевая и пленка с глянцевым чертежным слоем. Толщина первой пленки 50—100 мкм, второй — 75 мкм; ширина рулона соответственно 620—1500 мм и 1180 мм. Прозрачность обеих пленок 95 %. Изображение на пленку следует наносить тушью «Пингвин», а для работы со второй, кроме того, можно использовать тушь «Калибри» или казеиново-спиртовую. Перед работой пленку следует обезжирить сухим тальком. Старое изображение можно удалить ватным тампоном, смоченным водой.

Пленки рекомендуется использовать для изготовления планов горных выработок карьеров.

Чертежная лакированная лавсановая пленка ПНЧ-КТ-1 и ПНЧ-КТ-2 с химическим матированием поверхности (одно- и двухсторонняя). Толщина пленки 50—120 мкм, ширина рулона 620—1500 мм. Прозрачность пленки 70 %. Пленка обладает хорошими чертежными свойствами при работе карандашом Т и тушью «Калибри» и «Пингвин». Перед работой пленку также обезжиривают тальком; старое изображение удаляется тампо-

ном, смоченным водой или спиртом с небольшим количеством стирального порошка.

Пленки рекомендуются для изготовления исходных, производных и рабочих планов, горных выработок.

Чертежная термотемплетная пленка ЧТП-1 и ЧТП-2 с матированной одно- и двухсторонней поверхностью. Толщина пленки 50—100 мкм, ширина рулона 620—1500 мм. Прозрачность пленки 70 %. Изображение на пленку можно наносить карандашом и тушью «Калибри», «Пингвин» или казеиново-спиртовой. Обработку поверхности пленки перед черчением выполняют также тальком, а старое изображение удаляют с пленки ватным тампоном смоченным в воде или спирте с небольшим количеством стирального порошка.

Пленки рекомендуется для изготовления производных планов горных выработок.

Пленка лавсан с односторонней механически матированной поверхностью. Пленка выпускается толщиной 75—100 мкм и шириной 880 мм. Прозрачность пленки 70 %; обработка поверхности перед черчением осуществляется гексаном или этиловым спиртом. Изображение на пленке закрепляется тушью «Калибри» или «Пингвин»; старое изображение удаляется с пленок скальпелем или дихлорэтаном. Пленка рекомендуется для изготовления исходных и производных планов горных выработок.

Синтетическая бумага контур СБ-1 и СБ-2 с матированной односторонней или двухсторонней поверхностями. Толщина бумаги 40 мкм, ширина рулона 640 мм. Прозрачность бумаги 70 %. Обработка поверхности бумаги перед черчением, применяемая тушь и способы удаления изображения те же, что и для пленок ЧТП-1 и ЧТП-2. Бумага применяется для изготовления производных документов.

Армированная бумага представляет собой лавсановую пленку с припрессованной на нее бумагой. Для армирования используется бумага пониженной плотности и толщины. Припрессовывание осуществляется на специальных машинах и может быть с одной и двух сторон. Из армированной бумаги изготовляют планшеты размером 60×60 или 60×80 см, которые используют для изготовления производственных документов и рабочих планов. Чертить на бумаге можно как обычной, так и тушью «Калибри».

Перед использованием синтетической пленки она должна пройти деформационную стабилизацию. Для этого пленку отрезают от рулона и хранят в развернутом виде не менее трех месяцев или пропускают два раза через светокопировальный аппарат при температуре барабана 80—90 °С, заправив пленку так, чтобы лаковый чертежный слой не соприкасался с барабаном. Пленка, на которой изготовляется план, должна быть обрезана по формату ровно; не допускаются какие-либо пометки, пятна.

I.10.6. СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Как указывалось выше, на современном горном предприятии имеется большой комплект горной графической документации, на ведение которой участковый маркшейдер затрачивает до 30 % своего рабочего времени.

Значительные резервы снижения этих затрат заключены в совершенствовании методики и техники составительских и чертежно-оформительских работ.

Для механизации составительских работ при изготовлении маркшейдерских чертежей могут быть использованы следующие методы и приемы.

Разбивка координатной сетки на планшетах обычно выполняется специальными линейками ЛБЛ и Дробышева, а пункты маркшейдерского обоснования наносятся с помощью поперечного масштаба и циркуля. Значительной экономии времени можно достичь в результате применения для этих целей координатографов.

Координатограф с микрометренным устройством БК-2 изготовляется в СССР.

В последнее время широко используют стандартные планшеты на лавсановой основе с изображением на них координатной сетки и зарамочного оформления. Эти операции выполняют методом офсетной печати. Для построения наглядных маркшейдерских графиков целесообразно применять специальные приборы — аксонографы, аффинографы, стереавтографы и другие, подробно описанные в курсах «Горная геометрия» и «Фотограмметрия».

Широкие перспективы открываются в направлении использования для составления геолого-маркшейдерских графиков ЭВМ. В этом случае в ЭВМ вводят исходную информацию, в виде результатов маркшейдерско-геологических съемок и данных опробования; ЭВМ перерабатывает информацию и выдает результаты в виде графиков, например планов изомощностей, изосодержаний, гипсометрических планов и др.

При оформлении графических документов почти половина времени затрачивается на вычерчивание повторяющихся элементов.

В последнее время появились принципиально новые технические средства, позволяющие резко снизить трудоемкость создания графических документов за счет монтажа чертежей из унифицированных и заранее изготовленных типовых элементов. К ним относятся переводные самоприклеивающиеся изображения (ИПС) и деколи. При помощи ИПС можно переносить на чертеж площадные условные знаки, цифровые и буквенные надписи, рамки и т. п. Они представляют собой листы синтетической пленки, на которой с одной стороны нанесены трафарет-

ной печатью многократно повторяющиеся графические изображения (буквы алфавита, цифры и др.) с клеем. Выбрав необходимое изображение, пленку накладывают на чертеж и притирают сверху ручкой скальпеля или лопаточкой из твердого дерева. В 1969 г. был предложен принципиально новый вид переводных изображений — деколи, которые представляют собой пленочный материал с разработанным подслоем. На такую пленку, получившую название «деколь-копир», специальными фотомеханическими приемами наносится изображение для перевода, углубленное на толщину подслоя. В эти углубления закатывается краска. Многократная накатка краски позволяет использовать одну и ту же пленку несколько раз, причем изображение может быть разных цветов, в зависимости от того, какого цвета использованная краска. Для того чтобы изображения не старились во время хранения, листы деколей покрывают защитной пленкой.

Деколи позволяют получать изображения на всех видах бумаги, карандашной и полотняной кальке и пластиках. При переводе изображений с деколей поверхность чертежа накрывают предохранительным листом из прозрачной бумаги (карандашной кальки марки Д). В листе вырезают прямоугольное отверстие размером, равным величине переводимого изображения, затем отгибают или полностью снимают с деколи защитную пленку и накладывают деколь на чертеж так, чтобы переводимый знак находился против вырезанного в защитной бумаге отверстия.

Деколь нужного изображения вместе с защитной бумагой ориентируют в соответствующем месте чертежа, после чего переводят необходимое изображение на чертеж. Для правильного расположения букв в словах можно сделать разграфку.

Качество перевода изображения проверяют, не снимая деколи с чертежа и не нарушая ее ориентировки; деколь отгибают и оценивают изображение перевода; при необходимости перевод изображения повторяют.

В процессе перевода изображений надо экспериментально определить силу нажима, так как слишком сильное давление может привести к раздавливанию изображения, а недостаточное — к получению серого, нечеткого изображения. Утолщенные элементы знаков и изображений с деколей, на которые недавно накатана краска, получают при более слабом нажиме, чем для элементов тонких знаков или изображений с деколей.

Следует соблюдать осторожность и определенную последовательность перевода изображения на бумагу. Мелкие знаки и тонкие штрихи высыхают через несколько минут, а для высыхания жирных штрихов требуется более четырех часов. Предохранительная бумага не прилипает к липкой рабочей поверхности деколи, что обеспечивает легкое перемещение деколи по чертежу и защиту переведенных изображений от смазывания.

Для закрепления переведенных изображений рекомендуется покрывать их спиртовым раствором лака С-8. В состав раствора входит одна часть лака и две части спирта; он наносится кисточкой сразу после перевода изображения и закрепляет его. Высыхает лак быстро (в течение нескольких минут), на него хорошо ложится тушь и краска. Раствор лака, нанесенный на бумажную и полотняную кальку, глянцевые пленки, улучшает их чертежные свойства и способствует улучшению восприятия изображения, переводимого с деколей. Чертеж, исполненный с применением деколей и зекрепленный лаком, можно чистить резинкой.

Использованную форматку деколей можно восстановить. Процесс восстановления состоит из смыва остатков краски, восстановлении рабочего слоя и накатки новой краски. Срок хранения деколей с краской не менее одного года, без краски — пяти лет. В последнее время широкое признание получили термотемплеты и клеевые темплеты — средства временного закрепления изображения путем монтажа его вместе с несущей подложкой (в качестве подложки может быть использована пленка и бумага). Термотемплеты закрепляются за счет термоклеевых свойств специальной чертежной основы, например, термотемплетной чертежной пленки ЧТП с использованием специального приспособления — терморучки.

Клеевые темплеты закрепляются за счет «невысыхающего» клея; оба вида темплетов могут демонтироваться с плана и наклеиваться вновь.

Темплеты могут быть использованы при решении следующих маркшейдерских задач:

оформление титульных листов различной производной документации на пластике;

монтаж сводных планов (дубликатов исходных);

оформление журналов, схем, диаграмм, профилей и др.;

отображение расположения используемого оборудования на плане горных выработок и т. д.

1.10.7. РАЗМНОЖЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Для составления ряда специальных планов (проектных, вентиляционных, энергоснабжения и т. д.), а также для изготовления обменных планов, представляемых в вышестоящие организации, маркшейдерскому бюро горного предприятия необходимо иметь копии с исходных маркшейдерских планов.

Получение копий в маркшейдерской практике обычно производится путем копирования «на просвет» или светокопированием.

За последние годы появились новые способы и средства копирования. К ним в первую очередь относятся термокопирование, электрография и офсетная печать.

В фотолаборатории размножение небольших планов разрезов и схем осуществляется методами обычной фотографии (фоторепродуцирование). С методикой производства фоторепродукционных работ можно ознакомиться в любом руководстве по фотографии, на остальных же способах остановимся несколько подробнее.

Копирование «на просвет», т. е. получение изображения чертежа на бумаге или другом материале производится путем непосредственного его копирования с оригинала. Если копирование выполняется на прозрачную основу (восковку, прозрачную пленку и т. д.), то на оригинал (план) накладывают лист прозрачного материала и вместе с планом прикрепляют к чертежной доске. После этого на прозрачный материал переносят все детали чертежа карандашом или тушью.

Если план надо скопировать на плотную чертежную бумагу, то сначала копию делают на кальке или восковке, а затем все контуры с нее передавливают на плотную бумагу. Для того чтобы при перенесении на плотную бумагу все точки линии были отчетливы, нужно между копией на восковке и белой бумагой проложить лист бумаги, одна сторона которого натерта порошком карандашного графита.

Если оригинал плана выполнен не на жесткой основе, то копирование на плотную чертежную бумагу лучше всего производить при помощи светокопировального стола. Крышкой его служит толстое зеркальное стекло; ниже в специальном ящике устанавливают сильные электрические лампы. На стол кладут оригинал плана рисунком кверху, а на него — чистый лист чертежной бумаги; оба листа прижимают к поверхности стекла грузиками. Электрический свет освещает снизу оригинал, в результате чего контуры плана просвечиваются на чистом листе бумаги. Видимые контуры обводят карандашом, а затем при необходимости закрепляют тушью.

Светокопирование, т. е. получение изображения при помощи света на поверхностях, покрытых светочувствительными веществами, является простейшей формой фотографии. Если бумагу, покрытую веществом, химически изменяющимся под действием света, положить под вычерченным на кальке планом на яркий свет, то свет, проникая сквозь свободные от изображения участки плана, вызывает изменения светочувствительного слоя бумаги. После проявления и закрепления (фиксирования) на бумаге получается копия плана. Основной задачей светокопировального дела была разработка состава светочувствительного слоя, наносимого на бумагу, от свойств которого зависит технология обработки светокопий в процессе их изготовления. Наи-

большее распространение в маркшейдерской практике получила диазотипная (озалидовая) бумага.

Светочувствительный слой диазотипной бумаги содержит диазосоединения, азокомпоненты фенольного типа и кислоту. Под действием света, диазосоединения разрушаются под прозрачными участками плана, а под непрозрачными — остаются без изменения, давая едва заметное изображение. Отпечатанная светокопия на диазотипной бумаге проявляется в камерах парами аммиака, которые создают щелочную среду, необходимую для сочетания диазосоединения с азокомпонентом. В результате этого на копии через несколько минут появляется позитивное изображение чертежа из азокрасителя в виде темно-синих, темно-фиолетовых или темно-коричневых линий на светлом фоне.

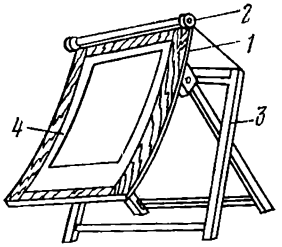


Рис. 91. Светокопировальная рама КР

Диазотипная светочувствительная бумага отечественного производства изготовляется в виде рулонов длиной 20, 40, 60 и 100 м. Размотка светокопировальной бумаги и разрезание ее должны производиться в помещениях при слабом электрическом (с лампой мощностью не более 40 вт) или дневном свете. Рулоны светокопировальной бумаги должны храниться в темной и сухой кладовой в упакованном виде. Для упаковки лучше всего использовать черную плотную бумагу. При соблюдении этих требований светочувствительная бумага сохраняет свои свойства до шести месяцев.

Копирование светокопий производят с помощью светокопировальных рам (рис. 91), изготовляемых Харьковским заводом маркшейдерских инструментов. Заводом выпускаются рамы двух размеров: малые КР-1 и большие КР-2. Указанные светокопировальные рамы состоят из двух основных частей: рамы *1* с брезентовой крышкой, натяжного устройства *2* с раздвижной подставкой *3*. На стекло *4* светокопировальной рамы накладывают оригинал, вычерченный предварительно на прозрачной основе (полотняной кальке, восковке или прозрачной пленке), лицевой стороной к стеклу; на оригинал кладут светочувствительную бумагу светочувствительным слоем к оригиналу. После этого оригинал и бумагу покрывают брезентовой крышкой и с помощью натяжного устройства плотно прижимают к стеклу. Затем раму выставляют на свет, где и происходит процесс копирования. Продолжительность экспозиции при копировании планов зависит от силы источника света, качества светокопировальной бумаги и кальки. При недостаточной экспозиции получается изображение плана на темном фоне, а при передержке линии плана обесцвечиваются. После окончания процесса копирования

на диазотипной бумаге копии свертывают в рулончики (нетуго) и помещают в герметически закрытый проявочный шкаф с решетчатым дном, под которым помещен открытый сосуд с крепким 25 %-м раствором нашатырного спирта. Продолжительность проявления зависит от концентрации газообразного аммиака и устанавливается по образованию окрашенных линий на светлом фоне.

Использование для целей светокопирования естественного света вносит значительные неудобства и малопроизводительно, поэтому для копирования чертежей удобнее всего электрический свет. Для этой цели изготовляют специальные светокопировальные аппараты. Простейшим является установка, состоящая из описанной выше светокопировальной рамы и какого-либо сильного источника света. Под действием света, направленного на светокопировальную раму, происходит печатание копии.

Выпускаются и более совершенные светокопировальные аппараты. К их числу относится настольный аппарат марки СКМН-1000-200, предназначенный для контактного светокопирования с одновременным проявлением светокопий щелочным раствором. Аппарат состоит из следующих основных частей: электропривода; транспортирующего, экспонирующего и проявляющего устройств. Прибор снабжен вентилятором для обеспечения необходимого температурного режима осветителя. Принцип работы заключается в следующем: прозрачный оригинал, сложенный с диазоматериалом, с помощью транспортирующего устройства движется вокруг осветителя, который состоит из шести люминесцентных ламп, размещенных внутри стеклянного цилиндра. С помощью специальных съемников оригинал и диазоматериал отделяются от цилиндра и выводятся на решетку. Конец экспонированного диазоматериала оператор заправляет в проявляющее устройство, в котором диазоматериал увлажняется щелочным раствором и после химической реакции на нем воспроизводится изображение оригинала.

Термокопирование осуществляют на специальной термореактивной бумаге инфракрасными лучами. Копии этим методом можно получить с оригиналов, выполненных тушью, типографской краской или карандашом на любой основе белого цвета. Для термокопирования выпускаются аппараты типа «Термокопир», с помощью которых за 10 с можно получить готовую копию, ее формат 210×297 мм.

Термореактивная бумага состоит из трех слоев: прозрачной основы, особого химического состава и защитного слоя. Чертеж изображением вверх накладывают на бумагу и оба листа помещают на несколько секунд под лучи инфракрасной лампы. Термореактивная бумага реагирует на изменения температуры. Черные линии поглощают тепло и передают его на бумагу, изменяя ее цвет; белый фон отражает тепло и цвет термореактив-

ной бумаги не изменяется. Полученная таким образом копия не требует дополнительной обработки.

Существенным недостатком термореактивной бумаги является то, что она сохраняет свою тепловую активность после получения копии и со временем темнеет.

Электрография, т. е. получение изображения на бумаге с помощью электростатического заряда. Полупроводниковому слою, нанесенному на тонкопроводящую пластину, в темноте сообщается электростатический заряд. После этого на заряженный слой с помощью специальной оптической системы проецируется изображение. На освещенных местах полупроводниковый слой становится проводником, в результате чего заряд исчезает.

На пластине получается скрытое электростатическое изображение, которое проявляется с помощью заряженного порошка и переносится на приложенную к пластине бумагу путем осаждения на ней заряда, противоположного по знаку заряду пластины. Изображение закрепляется на бумаге в результате нагревания или с помощью специального закрепителя.

Для электрографического копирования выпускаются аппараты «ЭРА» кассетного типа и «РЭМ» ротационного типа. Копирование возможно как с прозрачного, так и с непрозрачного материала практически на любую бумагу, что является особенно важным. К существенным преимуществам метода относятся также высокая производительность и «сухой» метод проявления. Основным недостатком аппарата «ЭРА» является малый формат копий (228×407 мм), что ограничивает его применение. Правда, в настоящее время созданы аппараты, позволяющие получать копии размером 420×594 мм, но и это недостаточно для размножения горной графической документации. Аппараты типа РЭМ позволяют получать копии на рулонной бумаге шириной 600 мм, а длина может быть любая. В этих аппаратах скрытое электростатическое изображение формируется на барабане, поверхность которого покрыта селеном. Аппараты типа «РЭМ» рекомендуется применять для размножения горной графической документации.

Кроме электрографических аппаратов и машин на селеновых пластинах и барабанах существует второе перспективное направление — электрография с применением полупроводниковых бумаг. Для контактного электрографического копирования на полупроводниковой бумаге требуется гораздо более простое и компактное оборудование, чем громоздкие ротационные установки. Кроме того, не требуется дефицитных селеновых пластин и проявляющих порошков.

Офсетная печать — наиболее экономичный и простой полиграфический способ размножения документов, применяемый при картографических работах. Она обеспечивает цветное изображение и высокое качество графической документации. Внедрение

офсета позволяет значительно сократить расходы ручного труда на раскраску, изготовлять совмещенные цветные планы, отображать дополнительную информацию (нагрузку) или уменьшить ее и т. д. Офсетной печати планов на картографических предприятиях предшествует подготовка расчлененных издательских оригиналов, которая осуществляется непосредственно на горных предприятиях.

Расчлененные издательские оригиналы содержат информацию только в одном цвете и называются поэтому оригиналами определенных красок (ООК), например оригинал красной краски (ОКК), оригинал черной краски (ОЧК) и т. д. С них изготовляются печатные формы соответствующих красок. Вычерчивание каждого ООК производят на синтетических чертежных пленках толщиной 70—100 мкм, с односторонним чертежным покрытием.

Поверхность пленки должна быть без вмятин, царапин, надломов, не допускаются какие-либо пометки, пятна, линии карандаша. Штриховые элементы, особенно надписи и фоновые закраски, должны быть хорошо залитыми черной тушью без просветов и разрывов. При отображении фоновых элементов больших площадей для получения хорошей оптической плотности необходимо трехкратное покрытие черной тушью с проверкой на светостоле. Толщина линий штриховых элементов должна быть не менее 0,15 мм.

Размеры всех ООК не должны отличаться от соответствующих размеров исходного материала по сторонам более 0,15 мм, а по диагонали — 0,20 мм. Изготовленные ООК контролируют на совмещение путем наложения одного на другой на светостоле, отклонение контуров не должно быть более 0,2 мм. Оформление графической документации надписями и внемасштабными условными обозначениями производится деколями многократного применения.

Копии, полученные различными способами, при необходимости обрезают, склеивают или фальцуют.

1.10.8. УЧЕТ И ХРАНЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

При разработке месторождения на горном предприятии накапливается большое количество первичной, вычислительной и графической маркшейдерской документации. Для удобства пользования и обеспечения сохранности документации на каждом предприятии необходимо организовать надлежащий ее учет, хранение. Для учета документации в маркшейдерском бюро предприятия имеется специальная инвентарная книга, в которой фиксируются все маркшейдерские документы (исходные), изготовленные непосредственно на самом предприятии, а также полученные от других организаций.

Инвентарная книга соответственно видам документации должна содержать три раздела: первичная документация; вычислительная документация; графическая документация.

В разделе первичной документации должны быть указаны номера журналов, их названия, даты начала и окончания записей в них, места и объекты съемок, число страниц, места хранения журналов. Раздел вычислительной документации содержит номера журналов, их названия, даты начала и окончания съемок или измерений, к которым относятся вычисления, даты начала и окончания записей в них, число страниц, место хранения. В разделе графической документации должны быть указаны названия планов, разрезов или профилей, масштабы, система координат и высот, основа составления (по съемке или на основе других планов и т. д.), даты составления, периодичность пополнения, состояния документов, форматы и места их хранения.

Каждому документу, заносимому в книгу, присваивается инвентарный номер. На планах инвентарный номер проставляется в виде специального штампа в левом нижнем углу на лицевой и обратной сторонах, а на журналах — у корешка переплета на обложке и на первой и последней страницах. На копиях указывается инвентарный номер их оригиналов с добавлением буквы К (копия).

Страницы инвентарной книги должны быть пронумерованы, книга сшита и скреплена подписью руководителя отдела и печатью горного предприятия.

Проверка наличия документов по инвентарной книге производится один раз в год и, кроме того, в случае передачи дел главного маркшейдера другому лицу.

Вся маркшейдерская документация хранится непосредственно на предприятии в отдельном изолированном помещении. Оно должно быть огнестойким, сухим, светлым и хорошо вентилируемым.

В помещении маркшейдерского отдела или архивном помещении первичная документация хранится в конторских или книжных шкафах, вычислительная и графическая документация — в несгораемых шкафах (сейфах). Рабочие планы в шкафах хранятся в развернутом виде. Планшеты на жесткой основе и выполненные на лавсане хранятся в картонных конвертах и ставятся на полки в шкафах вертикально на ребро.

Копии с исходных планов на прозрачной пленке, полотняной кальке или восковке, предназначенные для размножения планов светокопированием, сворачивают в рулончики и хранят в специальных панелях.

Оригиналы для офсетной печати хранятся в картонных конвертах, один конверт с оригиналами всех цветов составляет комплект. Если обменный план разделен для печати на несколько частей, то он хранится в нескольких конвертах. Такое хранение

в конвертах значительно упрощает работу при переиздании офсетных планов. Остальные копии с планов на кальке и светочувствительной бумаге складывают по форме листа размером 297×210 мм и в зависимости от их назначения сортируют по папкам. Каждая такая папка нумеруется, а на обратной стороне передней обложки дается опись содержания папки.

Документы, утратившие свое значение и подлежащие уничтожению, по согласованию с местными органами Госгортехнадзора сжигаются в присутствии комиссии (главный инженер и маркшейдер горного предприятия и представитель руководящей организации), о чем составляется соответствующий акт. В инвентарной книге против каждого уничтоженного документа делается соответствующая отметка.

Материалы исходной маркшейдерской документации не выдаются за пределы маркшейдерского отдела. Разрешение пользоваться маркшейдерскими документами или снимать копии с них для работников предприятий дает главный маркшейдер, а для работников других организаций — начальник предприятия. За учет, хранение, полноту и достоверность маркшейдерской документации, а также за своевременное изготовление и корректуру несет полную ответственность главный маркшейдер предприятия. За обеспечение же надлежащих условий хранения маркшейдерской документации несет ответственность руководитель предприятия. После ликвидации (консервации) горного предприятия вся маркшейдерская документация сдается по инвентарной книге в вышестоящую организацию, о чем специальной комиссией составляется акт.

I.11. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МАРКШЕЙДЕРСКИХ ЗАМЕРАХ

Замеры горных выработок и складов, их документация составляют значительную часть в общем объеме маркшейдерских работ на горном предприятии. Замеры осуществляются от съемочных сетей, их производство главным образом связано с выполнением съемок пониженной точности.

В результате замеров получают данные, необходимые для пополнения и детализации маркшейдерской графической документации, определения и контроля объемов выполненных горных работ, контроля оперативного учета добычи полезного ископаемого, учета потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче, управлении запасами и т. д.

Посредством замеров контролируется правильность ведения некоторых видов горных работ — соблюдение требований паспортов крепления подготовительных и очистных выработок, а также размеров целиков около подготовительных выработок и т. д.

Необходимость в замерах возникает в связи с тем, что съемочные сети создаются с отставанием от непрерывно подвигающихся забоев горных выработок и не дают необходимого представления о положении и состоянии горных выработок на отчетный период.

Кроме того, ряд данных, необходимых для работы горного предприятия, может быть получен в результате линейных измерений меньшей точности, например, определение положения и размеров целиков, мест засечки нарезных выработок и т. п.

Периодичность замеров определяется потребностями производства и регламентируется нормативными отраслевыми документами, например, месячные замеры.

I.11.1. ЗАМЕРЫ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Замеры в подготовительных выработках. Производство замеров в подготовительных выработках включает:

измерение длины и подвигания выработок с целью определения и контроля объема выполненных горноподготовительных работ;

измерение длины линии забоев и контроль соответствия фактических сечений подготовительных выработок проектным сечениям;

определение положения и размеров нарезных выработок и целиков с последующим использованием этих данных для пополнения планов горных выработок, подсчета потерь и т. д.;

определение положения и элементов залегания геологических контактов (напластования, тектонических разрывов, трещиноватости) структуры пласта и других геологических объектов.

Положение указанных объектов определяется относительно мест пересечения выработок, точек теодолитной съемки или от специальных замерных точек, отмеченных в натуре тем или иным способом (затесками, краской, металлическими пластинками и др.) в зависимости от вида крепления. Положение этих замерных точек, в свою очередь, устанавливается путем измерения рулеткой их отстояний от ближайших точек теодолитной съемки.

В отчетные периоды от замерных или опорных точек тесьмяной или металлической рулеткой измеряются расстояния до забоя выработки по полезному ископаемому и породе, до последней рамы крепи и до конца уложенных откаточных путей. Разность результатов измерений на конец и начало отчетного периода дает величину подвигания забоя выработки за отчетный период по полезному ископаемому и породе, приращение длины закрепленной части выработки и откаточных путей. Пусть L_1 и l_0 — расстояния забоя выработки соответственно на начало и

конец отчетного периода, тогда подвигание D забоя за отчетный период будет в виде

$$D = L_2 - L_1. \qquad \text{(I.11.1)}$$

Одновременно на составляемом эскизе показывают расстояния до соседних выработок, пересекающих данную; положение нарезных выработок; положение и размеры целиков; положение и характеристику геологических объектов и т. д.

По данным замеров и документации на маркшейдерский план горных выработок наносятся в карандаше не только второстепенные выработки и связанные с ними детали, но и подвигание основных подготовительных выработок. В результате съемок уточняется конфигурация замеренных участков основных выработок на плане и затем закрепляется тушью.

При замерах значительное внимание уделяется контролю соответствия фактических сечений подготовительных выработок проектным. На закрепленных участках сечение выработок измеряется вчерне и в свету. При этом в выработках трапецеидального сечения (рис. 92) измеряются: высота h_0 от кровли до почвы выработки, высота h от верхняка до головки рельсов, ширина A вчерне и ширина a в свету по низу верхняка, ширина C вчерне и c в свету на уровне верхней кромки вагонетки, ширина B вчерне и b в свету на почве выработки, величина зазоров r между стойками и верхней кромкой вагонетки. Кроме того, измеряются зазоры между крепью и стенками выработки, расстояние от головки рельсов до контактного провода, а если в выработках подвешены трубы, кабели и другое оборудование, то измеряется и величина зазоров между стенками вагонетки и этим оборудованием.

При наличии в снаряжении проходческой бригады ватерпаса контролируется соблюдение проектного уклона откаточного пути на проложенном за отчетный период участке, а также глубина водосточных канавок и их ширина k по верху и k' по дну.

На незакрепленных участках подготовительной выработки измеряется ее ширина (вверху, внизу, посередине) и средняя высота. В случае выхода сечения выработки за пределы залежи, измеряется длина обнажения залежи в забое (включая раскоску) и мощность залежи.

В случае обнаружения недопустимых отклонений сечения и уклона от проектных значений выработка бракуется.

Замеры и контроль сечений подготовительных выработок криволинейного очертания производится разными способами, обычно полярным или способом линейных засечек. При наличии необходимого оборудования может быть использован в этих целях фотоаппарат со щелевой камерой.

В полярном способе (рис. 93, *а*) используется рулетка и градуированный полукруг (тип транспортира), закрепленный на

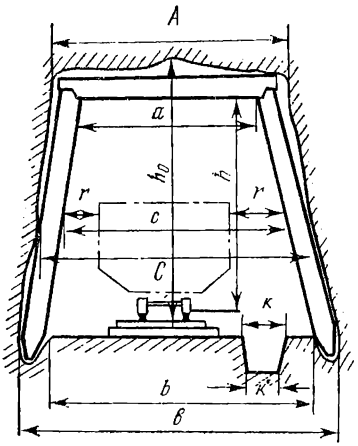


Рис. 92. Параметры сечения трапецендальной выработки

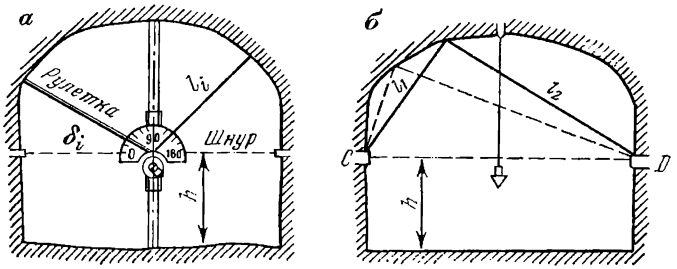


Рис. 93. Съемка (замер) криволинейного сечения выработки

вертикально установленной распорной стойке на высоте h по оси выработки. Измерения сводятся к измерению рулеткой расстояний от центра полукруга до периметра выработки и угла наклона полотна рулетки в разных ее положениях. По высоте центра h полукруга, измеренным расстояниям l_i и их углам наклона δ_i определяется фактическое сечение выработки.

Способ линейных засечек (рис. 93, *б*) сводится к измерению расстояний l_1 и l_2 в каждой засечке до определяемой точки контура выработки от произвольно выбранных точек C и D. По высоте h последних относительно почвы выработки и совокупности расстояний l_1 и l_2 строится фактическое сечение выработки.

Помимо замеров сечений вновь проводимых выработок маркшейдер совместно с представителями технадзора, ответственными за состояние горных выработок, контролирует состояние эксплуатируемых главных подготовительных выработок. Этот контроль сводится к выборочному замеру сечений выработки, проверке состояния крепи и чистоты выработок, к съемке сечений в местах вывалов породы и проверке сечений после перекрепления выработок, а также к выборочной проверке уклона откаточных путей и т. д.

Мощность и структура залежи являются основными ее показателями, используемыми при решении многих производственных задач, поэтому их оценке при замерах уделяется большое внимание. При этом часто в расчетах используются мощности залежи по характерным направлениям: по нормали m к залежи, по горизонтальному направлению $m_г$ вкрест простирания залежи и по вертикали $m_в$. Для пластовых залежей наибольший интерес представляет нормальная мощность m, связанная с горизонтальной (вкрест простирания) $m_г$ и вертикальной $m_в$ следующей зависимостью:

$$m = m_г \sin \delta = m_в \cos \delta, \qquad (I.11.2)$$

где δ — угол падения пласта.

Кроме приведенных геометрических характеристик мощности залежи часто используют характеристики мощности залежи, связанные с технологией работ, а именно:

полная геологическая мощность — расстояние от кровли до почвы залежи, включая все породные прослойки;

полная полезная мощность — разность полной геологической мощности и суммарной мощности породных прослойков;

вынимаемая (рабочая) мощность — суммарная мощность пропластков полезного ископаемого и прослойков пустой породы, заключенных между кровлей и почвой выработки;

вынимаемая полезная мощность — разность вынимаемой мощности и суммарной мощности прослойкой пустой породы, не идущих в добычу.

В случае значительной мощности залежи непосредственное измерение нормальной мощности затруднительно, поэтому ее определяют косвенно, при этом исходной является измеренная мощность $m_{изм}$ залежи вдоль секущей выработки или обнажения. Вертикальная мощность $m_в$ залежи в данной точке является величиной постоянной в любом вертикальном разрезе и устанавливается в разрезе, проходящем через секущую выработку. Если известна вертикальная мощность и угол падения залежи, то искомую нормальную мощность m находят по выражению (I.11.2).

Замеры в очистных выработках. Целью производства замеров в очистных выработках является определение длины линии очистных забоев, их подвигания за отчетный период и выявления деталей очистного пространства с целью получения необходимой информации для пополнения планов, контроля паспортов крепления очистных выработок, подсчета добычи полезного ископаемого, потерь и т. д.

Прямолинейная форма и небольшая длина линии очистных забоев позволяет последнюю определять непосредственно в результате измерений рулеткой. При этом среднее значение длины

линии забоя находят как среднее арифметическое из всех промеров, выполненных в течение отчетного периода.

Подвигание очистного забоя за отчетный период в этом случае получают как среднее из разностей расстояний от замерных точек до забоя на конец и начало отчетного периода, измеренных по обоим штрекам, между которыми заключен забой.

При значительной длине линии очистного забоя конфигурация последнего определяется путем съемки пониженной точности (угломерная и буссольная съемки, замеры рулеткой). Положение линии забоя (по результатам съемки) наносят на замерный план, по которому находят площадь выемки, подвигание и длину забоя. Последняя вычисляется по формуле:

$$L_{ср} = F/D_{ср}, \qquad (I.11.3)$$

где F — площадь выемки, м^2; $D_{ср}$ — среднее подвигание линии забоя за отчетный период, м, вычисляется как среднее из ряда измерений по простиранию залежи между положением линии забоя на начало и конец отчетного периода.

При потолко-уступной форме забоя замеры линии забоя включают измерения длины уступов и расстояний между ними.

Замеры и съемки очистных забоев сопровождаются документацией деталей очистного пространства. К ним относятся: положение и размеры оставленных целиков; сведения о креплении и поддержании выработанного пространства; характеристика залегания, мощности и структуры пласта.

Мощность хорошо выдержанных пластов в очистной выработке измеряется через 15—20 м по простиранию и падению пласта. В случае изменчивой мощности, она измеряется по более густой сетке (5—10 м). Помимо элементов залегания, мощности и структуры пласта при замерах и съемках очистных выработок документируются положение, элементы залегания, размеры тектонических разрывов, пережимов пласта, изменчивость литологии пород кровли и т. д.

I.11.2. ДОКУМЕНТАЦИЯ ЗАМЕРОВ

В процессе производства замеров ведется замерная полевая книжка, в которой с указанием даты и места производства замеров составляются с необходимой детальностью эскизы (абрисы) выработок и записываются выполненные измерения.

На основании полевой документации (со ссылками на источники) заполняется и ведется книга замеров, по которой составляют замерный (рабочий) чертеж в масштабе 1 : 500 — 1 : 1000 для участка (блока).

Замерный чертеж иногда выполняется в плоскости пласта. Его преимуществом является точная передача площадей и линейных элементов. Вместе с тем следует отметить и существен-

ный недостаток замерных чертежей — это отсутствие необходимой геометрической связи с основными маркшейдерскими чертежами, для которых рабочий план является исходной документацией при их детализации.

С учетом этого обстоятельства замерные (рабочие) чертежи могут быть в виде плана при пологом и наклонном залегании пластов и в виде вертикальной проекции в условиях крутого их залегания.

I.11.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАМЕРОВ ПРИ МАРКШЕЙДЕРСКОМ КОНТРОЛЕ ОПЕРАТИВНОГО УЧЕТА ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Оперативным учетом добычи полезного ископаемого называется учет ее по числу и массе (нетто) вагонеток, скипов, вагонов или по данным непосредственного взвешивания на вагонных весах полезного ископаемого, поступающего из горных выработок за смену, сутки, месяц.

Контроль оперативного учета добычи на горном предприятии состоит в выполнении маркшейдерской службой ряда специальных работ:

определения добычи полезного ископаемого по результатам месячных замеров (съемки) подготовительных, нарезных и очистных выработок;

замер (съемка) остатков полезного ископаемого на складах, дозировочных площадках, бункерах и других заполненных емкостях на начало и конец отчетного периода.

Добыча полезного ископаемого за отчетный период по шахте в целом находится из соотношения

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \qquad \text{(I.11.4)}$$

где Q_1 — масса полезного ископаемого, отправленного по данным бухгалтерского учета потребителям (в том числе и израсходованного на собственные нужды горного предприятия); Q_2, Q_3 — остатки полезного ископаемого на складах, дозировочных площадках, в бункерах, а также погруженного в вагоны, но не проведенного по расходу, соответственно на начало и конец отчетного периода (месяца).

Объемы выполненных горных работ оцениваются объемами отбитых пустых пород и полезного ископаемого. При этом пустые породы даются в объемной мере ($м^3$), а полезное ископаемое преимущественно в весовой мере (т). Поэтому задачами маркшейдерской службы также являются:

участие в определении дважды в год средней массы полезного ископаемого в вагонетках, скипах и других емкостях, по числу которых ведется оперативный учет добычи;

определение средней плотности полезного ископаемого в целике методом пробной вырубки;

определение средней массы свеженасыпного и находящегося на складе полезного ископаемого, а также оценка его уплотнения на складе в зависимости от срока хранения и высоты склада.

Выражение (I.11.4) пригодно для надежного контроля оперативного учета добычи полезного ископаемого по горному предприятию в целом, но не позволяет контролировать оперативный учет добычи на эксплуатационных участках. Эта задача решается по результатам замеров на участках горных выработок.

Точность определения объемов добычи полезного ископаемого по замерам горных выработок и складов невысока ($\sim 3\ \%$) по сравнению с результатами взвешивания отгруженного полезного ископаемого потребителям. Погрешность определения его средней массы в целике и на складах находится на уровне замеров.

При высокой точности определения массы отгруженного полезного ископаемого Q_1 и небольшом его количестве на складах (около 10 % Q), контроль оперативного учета его добычи по предприятию в целом является надежным. Таким образом, можно улучшить маркшейдерский контроль оперативного учета добычи по эксплуатационным участкам, суммируя добычу на участках (оперативный учет), определяющую добычу по шахте. По формуле (I.11.4) находится месячная добыча шахты по замерам складов; разность между ними распределяется в качестве поправок на участки пропорционально их добыче, в результате чего и на участках выполняется маркшейдерский контроль.

Задачи указанного контроля маркшейдерская служба горного предприятия решает совместно с геологической службой и отделом технического контроля (ОТК). При этом определение характеристики полезного ископаемого в массиве является основной задачей геологической службы. Характеристика качества добытого полезного ископаемого, особенно отгружаемого потребителю, дается ОТК. Точная оценка объемов отработанных частей залежи (залежей) и складированного полезного ископаемого является геометрической основой маркшейдерского контроля.

Добыча полезного ископаемого на участках подсчитывается в целях контроля оперативного учета, по результатам замеров раздельно по подготовительным и очистным выработкам. В объемной мере добыча из подготовительных выработок равна произведению средней площади обнажения полезного ископаемого в забое подготовительной выработки на ее подвигание в отчетный период. Добыча полезного ископаемого из очистной выра-

ботки равна произведению площади выемки за отчетный период на среднюю полезную вынимаемую мощность пласта (залежи) на площади.

Для контроля оперативного учета добычи шахты за отчетный период по замерам складов полезного ископаемого производится съемка последних. Способ съемки определяется размерами и формой склада. При этом часто применяются: тахеометрическая съемка, способ профилей и замеры рулеткой, известные из геодезии. Складу при его образовании стремятся придать правильную геометрическую форму, удобную для съемки, поэтому сложную поверхность склада перед съемкой полезно выравнивать.

С целью учета рельефа площадки склада независимо от способа его съемки заблаговременно составляется топографический план площадки в масштабе не менее 1 : 1000 с высотой сечения рельефа 0,25—0,50 м. При этом закрепляются на периферии склада съемочные точки с учетом их долговременной сохранности и использования при периодических замерах (съемках). С топографического плана площадки снимаются светокопии, которые используются при очередных замерах для графических построений и подсчета объема склада.

Тахеометрическая съемка применяется при определении объема больших складов полезного ископаемого сложной формы; масштаб съемки не мельче 1 : 1000. В качестве исходных пунктов для съемки используются пункты съемочной сети, съемочные и переходные точки, закладываемые на площадке склада, на поверхности отвалов, на эстакадах и других сооружениях, расположенных около склада. Сгущение осуществляют проложением тахеометрических ходов между постоянными пунктами на расстояния не более 200 м. Расстояние между реечными точками 10—15 м; при съемке складов с невыравненной сложной поверхностью расстояние между реечными точками сокращается до 5—10 м. При высоте складов сложной формы до 5 м высота сечения рельефа на планке составляет 0,25—0,50 м, а при высоте более 5 м — 1 м.

Объем отвалов находят по формуле трапеции по горизонтальным или вертикальным параллельным сечениям. При этом горизонтальный масштаб сечений равен масштабу плана, вертикальный масштаб крупнее — 1 : 100—1 : 200.

Способ профилей применяют при замерах эстакадных и железнодорожных складов полезного ископаемого, характеризующихся вытянутой формой штабелей и относительно простой поверхностью. При этом способе производства замеров на площадке склада производится разбивка поперечников в виде параллельных равноудаленных (5 м) друг от друга линий, перпендикулярных оси склада (штабеля). На концах линий (при необходимости на одном конце) закрепляются опорные точки. Координаты опорных пунктов и точек перегиба на попереч-

никах определяются теодолитной съемкой и нивелированием. При нивелировании отвала вдоль поперечников может быть использован подвесной полукруг. В последующих периодических замерах съемка профилей производится в направлении поперечников. При подсчете объемов складов емкостью 7000—10 000 м³ учитываются все поперечники, разбитые через 5 м. При большей емкости складов можно использовать поперечники через 10 м.

Замеры рулеткой применяются при определении небольших складов емкостью до 1000—1500 м³, а также более крупных складов, имеющих правильную форму. В этом способе наряду с рулеткой целесообразно использовать висячий полукруг и нивелирные рейки. Результаты замера (конфигурация, размеры отвала) наносят на копию плана площадки склада.

Объемы складов различной формы можно определять по формуле правильного многогранника с параллельными основаниями и произвольным числом плоских боковых граней (призматоид):

$$V = \frac{H}{6}(F_1 + 4F_2 + F_3), \qquad (I.11.5)$$

где H — высота тела; F_1 — площадь нижнего основания тела; F_2 — площадь его сечения, делящего H пополам; F_3 — площадь верхнего основания (для конуса, пирамиды $F_3 = 0$); площадь F_2 определяется по плану или непосредственно замером в натуре.

Точность определения объема складов полезного ископаемого зависит от способа замеров, формы и размеров складов. По данным сравнения результатов эталонных и обычных замеров средние квадратические погрешности одного замера составляют:

замеры рулеткой ($V = 400$—7000 м³) — 6—14 %;

тахеометрическая съемка ($V = 3000$—6000 м³) — 1,5—4 %;

способ профилей — до 3,5 %.

Объем остатков полезного ископаемого на конец отчетного периода в бункерах и других емкостях с фиксированным объемом находится по степени их заполнения.

Добыча полезного ископаемого за отчетный период в весовой мере (т) определяют следующим образом:

по замерам горных выработок как произведение объема на плотность полезного ископаемого в целике;

по замерам складов и других емкостей как произведение объема на плотность полезного ископаемого в отбитом (насыпном) виде.

Раздел II
МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

II.1. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ НА КАРЬЕРАХ

Под открытыми горными работами понимают разработку месторождений полезных ископаемых непосредственно с дневной поверхности при естественных внешних условиях. К ним принято относить наземно-карьерные разработки (с применением экскаваторов, бульдозеров, гидромониторов) и подводные разработки дна различных водоемов, морей и океанов (с применением драг, земснарядов, грейферов). В настоящее время открытые горные работы в СССР получили весьма широкое применение при добыче основных видов полезных ископаемых (железные руды, уголь, россыпные, золото, платина, алмазы, строительные материалы и др.) и составляют от 60 до 100 % всего объема добычи. Основное преимущество открытых работ перед подземными — неограниченные возможности механизации трудоемких работ с использованием мощного оборудования, высокая производительность и безопасность труда, низкая себестоимость руды.

Маркшейдерские работы на открытых разработках имеют ряд особенностей, обусловленных специфическими условиями их производства: большая площадь распространения горных работ, быстрое продвижение уступов и значительная глубина карьеров (до 600 м), а также многочисленные и многообразные вспомогательные (специальные) работы, связанные с взрывными работами, с трассировкой транспортных путей, с устройством гидротехнических сооружений, с устойчивостью бортов и др.

Возможность выполнения работ на поверхности, т. е. при естественном освещении, с одной стороны, облегчает полевые маркшейдерские работы, с другой, ставит их в зависимость от внешних условий. Кроме того, на многих карьерах имеются подземные выработки с комбинированной отработкой месторождения и дренажем, поэтому в обязанности маркшейдера входит выполнение всего комплекса подземных съемок.

Все это свидетельствует о многообразии видов маркшейдерских работ на карьерах, большом объеме и протяженности

маркшейдерских съемок, сложности и разнообразии горнотехнических задач, в решении которых участвует маркшейдер. Это требует от маркшейдера знаний технологии открытых горных работ, применяемых машин и механизмов, а также всех видов маркшейдерских работ, выполняемых на этих предприятиях. Виды маркшейдерских работ зависят прежде всего от способа ведения открытых разработок на данном предприятии, поэтому ниже будут рассмотрены маркшейдерские работы на карьерах при дражной, гидравлической и морской разработке россыпей. Основными видами маркшейдерских работ на карьерах являются: создание опорной сети в районе горных работ; создание сети рабочего (съемочного) обоснования; съемка подробностей; производство специальных маркшейдерских съемок и работ; составление комплекта маркшейдерских планов и графиков; учет движения запасов, добычи и потерь полезных ископаемых.

II.1.1. СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ СЕТИ НА КАРЬЕРАХ

Плановая и высотная геодезическая основа на открытых разработках создается методами триангуляции или полигонометрии и нивелированием.

Опорная сеть на карьерах создается на основе с классификацией геодезических сетей СССР, принятой в 1962 г., в соответствии с которой геодезические сети подразделяются следующим образом:

государственные геодезические сети (триангуляция, полигонометрия и нивелирование I, II, III, IV классов);

сети сгущения триангуляционные и полигонометрические сети 1 и 2 разрядов).

Как правило, опорная сеть на территории деятельности предприятия представляет собой сеть сгущения, созданную на основе государственной геодезической сети. Конструкция опорных сетей в зависимости от формы залежей, рельефа местности, характера горных работ может быть в виде цепи треугольников, центральной системы, четырехугольников, вставок в угол и т. д.

При создании аналитической сети сгущения соблюдаются следующие требования.

	1 разряд	*2 разряд*
Длина стороны, км	2—5	0,5—3
Средняя квадратическая ошибка, угл. с	5	10
Невязка в треугольниках, угл. с, не более	20	40
Минимальный угол в треугольнике, угл. градус		
в цепочке	30	30
в сплошной сети	20	20
Относительная погрешность (определяемая длиной стороны в наиболее слабом месте)	1/2000	1/1000

Выходные (базисные) стороны могут измеряться базисным прибором БП-3, светодальномерами ТД-1, ДТ-62 или другими приборами, равноценными по точности. Учитывая большую разновидность и объем маркшейдерских работ на карьере, территория деятельности каждого отдельно расположенного горного предприятия независимо от размеров и глубины разработок должна быть обеспечена не менее чем двумя пунктами опорной сети, а на крупных карьерах — тремя пунктами.

При построении опорных сетей должны соблюдаться следующие условия:

равномерное размещение пунктов на отвалах и бортах карьеров;

обеспечение видимости каждого пункта на обширной территории горных работ;

обеспечение возможно более длительного срока сохранности пунктов;

наиболее близкое расположение пунктов от неподвижных бортов;

учет перспектив развития горных работ и рекультивации земель.

Вид опорной сети, порядок и методика производства работ, нормы точности и способ закрепления пунктов сети регламентируются Инструкцией по производству маркшейдерских работ.

Для обеспечения необходимой точности маркшейдерских работ, взаимное положение пунктов плановой опорной сети должно быть определено с ошибкой не более 0,1 мм в масштабе основного маркшейдерского плана вне зависимости от того, к какому классу триангуляции или полигонометрии относятся эти пункты.

При отсутствии в районе карьера пунктов главной геодезической основы сеть опорных пунктов строят в виде самостоятельных сетей 1 и 2 разрядов. При этом в сети треугольников измеряют не менее двух базисных сторон, удаленных друг от друга не более чем на десять треугольников. Триангуляционные опорные сети могут быть заменены полигонометрическими.

Полигонометрический способ создания опорной сети пунктов применяют в том случае, если территория, прилегающая к карьеру, застроена, залесена или имеет спокойный рельеф. Для того, чтобы пункты полигонометрии имели соответствующую точность, прокладывают полигонометрические сети 4 класса, 1 и 2 разрядов, опирающуюся на пункты триангуляции государственной геодезической сети. Полигон должен иметь по возможности вытянутую форму, особенно в средней части, с углами не менее 135° и средней длиной сторон соответственно 0,5, 0,3 и 0,2 км. При прокладывании полигонометрии должны использоваться высокоточные приборы, обеспечиваю-

щие угловую невязку (в угл. с) в замкнутых ходах, не превышающую соответственно $5\sqrt{n}$, $10\sqrt{n}$ и $20\sqrt{n}$ (n — число измеренных углов), и линейную относительную невязку хода 4 класса, равную 1 : 25 000. Предельная длина хода между исходными пунктами не должна превышать 10 км, а между узловыми точками 5—7 км. Полигонометрические сети сгущения должны опираться на аналитические сети 1 и 2 разрядов. Линейная относительная невязка ходов не должна превышать 1/10 000 для полигонометрии 1 разряда и 1/5000 для полигонометрии 2 разряда. На карьерах пересеченной местности рекомендуется применять малогабаритные светодальномеры, средняя относительная ошибка которых не превышает 1/25 000, а невязка хода — 1/15 000.

Пункты высотной опорной сети определяются нивелированием III и IV классов. На территории деятельности каждого отдельно расположенного предприятия должно быть заложено не менее двух реперов; взаимное положение пунктов по высоте должно быть определено с ошибкой не более 1 см независимо от класса нивелирования, к которому они относятся. При совместном уравнивании сетей опорных пунктов необходимо применять ЭВМ.

II.1.2. СОЗДАНИЕ СЕТИ ПУНКТОВ РАБОЧЕГО (СЪЕМОЧНОГО) ОБОСНОВАНИЯ

Рабочим (съемочным) обоснованием на карьерах называют сеть пунктов и точек, равномерно расположенных на территории карьера, используемых для съемки подробностей и решения различных горнотехнических задач. Съемочные сети состоят из основных пунктов и определяемых дополнительно к ним съемочных точек.

Пункты планового съемочного обоснования определяются на основе аналитических сетей (в виде цепочек треугольников, центральных и других простых систем), геодезическими засечками; полярным способом; теодолитными ходами; разбивкой прямоугольной сетки и профильных линий; аналитической пространственной фототриангуляцией.

Выбор способа создания съемочного обоснования зависит от рельефа местности, размеров, конфигурации и глубины карьера и системы разработок. В ряде случаев применяют комбинацию из перечисленных способов. Плотность пунктов сетей рабочего обоснования карьера, включая пункты опорной сети, может быть различной. Исходя из опыта топографической съемки, она должна составлять: не менее 10 пунктов на 1 км^2 съемки масштаба 1 : 2000 и 16 пунктов при съемке в масштабе 1 : 1000. При съемке застроенных территорий число основных пунктов съемочной сети определяется в процессе рекогносци-

ровки. Число съемочных точек определяется в процессе съемки в зависимости от способа и масштаба съемки, от сложности контуров и глубины карьера, но так, чтобы было обеспечено соблюдение оптимальных расстояний от прибора до реечных точек.

Плановое съемочное обоснование развивается на основе опорной сети в единой системе координат. Средняя квадратическая погрешность положения точек съемочного обоснования относительно пунктов опорной сети не должна быть более 0,2 м при съемке 1 : 1000, а в масштабе 1 : 2000 — 0,3 м. Погрешность определения высоты точек во всех случаях не должна превышать 0,1 м. Точки съемочного обоснования закрепляются постоянными или временными центрами.

Постоянными центрами закрепляются съемочные точки, расположенные на бортах нерабочих уступов, за контурами промышленных запасов, на старых устоявшихся внутренних и внешних отвалах — в местах, обеспечивающих длительную их сохранность.

Временными центрами съемочные точки закрепляются в пределах рабочей части карьера, на рабочих уступах, на внутренних и внешних отвалах и т. д.

Постоянные знаки представляют собой железные трубки, рудничные рельсы или металлические стержни, забетонированные в скважину или котлован. Глубина скважины (котлована) должна быть на 0,5 м больше глубины промерзания, но не менее 1 м. Временными знаками могут быть железные трубки, стержни, рудничные рельсы или деревянные колья длиной от 0,2 до 0,5 м (в зависимости от крепости пород), забиваемые вровень с поверхностью земли. Центр металлического знака отмечается крестом или керном, а деревянного — гвоздем.

Высотное съемочное обоснование создают путем определения высот всех точек планового съемочного обоснования. При необходимости закладывают дополнительно специальные пункты высотного обоснования (реперы), располагая их в местах, обеспечивающих длительную сохранность (выездные траншеи, породные отвалы, водонапорные баки и т. д.). В этом случае реперы закрепляют постоянными знаками.

Высоты съемочных точек определяют геометрическим нивелированием технической точности или тригонометрическим нивелированием, а также методом пространственной аналитической фототриангуляции. Нивелирные ходы прокладывают между пунктами опорной высотной сети; при этом длина хода не должна быть более 4 км. Техническое нивелирование производят при двух горизонтах прибора или с двухсторонней рейкой при одном горизонте. Разрешаются висячие ходы, проложенные в прямом и обратном направлениях; расстояние между рейкой и нивелиром допускается не более 150 м.

Невязка в нивелирных ходах (в мм) не должна превышать величины $50\sqrt{L}$ (L — длина хода в одном направлении, км). Если на 1 км хода имеется более 15 штативов, то невязка (в мм) не должна превышать $12\sqrt{n}$ (n — число штативов в ходе).

При тригонометрическом нивелировании полярным способом превышения определяют дважды: в прямом и обратном направлениях или с двух различных пунктов. Расхождения между прямым и обратным превышением (в см) должно быть не более $0{,}3l$, при расстояниях до 1000 м, $0{,}02l$ при расстояниях более 1000 м, но не более 2000 м. Невязка f_h в тригонометрическом ходе должна быть не более величины, определяемой по формуле

$$f_h = 0{,}04\,[l]/\sqrt{n}, \qquad \text{(II.1.1)}$$

где $[l]$ — длина хода, м; n — число линий хода. При расстояниях от исходного пункта до определяемых тригонометрическим нивелированием более 700 м в превышения вводят поправки (со знаком «+») за кривизну земли и рефракцию по формуле

$$f = 0{,}42\,d/R, \qquad \text{(II.1.2)}$$

где d — горизонтальное проложение до определяемого пункта, м; R — радиус Земли, равный 6370 км. Точность тригонометрического нивелирования определяется по формуле

$$m_h = \sqrt{\frac{m\delta L^2}{\rho^2 \cos^4 \delta} + m_L^2 \operatorname{tg}^2 \delta}\ , \qquad \text{(II.1.3)}$$

где m_L — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального расстояния; m_δ — средняя квадратическая погрешность измерения углов наклона δ.

Аналитические сети на карьерах часто строят в виде центральных систем и цепочек треугольников (так называемые микротриангуляционные цепочки), а также прямых и обратных засечек, опирающихся на стороны триангуляции или полигонометрии маркшейдерской основы.

Микротриангуляционная цепочка представляет собой цепь треугольников со сторонами не менее 200 м и не более 1000 м, проложенную между двумя сторонами или пунктами триангуляции (полигонометрии). Микротриангуляцию рекомендуется применять на карьерах вытянутой и сложной формы, с внутренними отвалами или неотработанными участками, затрудняющими применение других способов.

Треугольники, образующие аналитические сети, должны приближаться к равносторонним. Углы при определяемых точ-

ках должны быть не менее 30° и не более 150°. Измерению подлежат все углы в треугольниках теодолитом с точностью не ниже 30″, невязка углов в треугольниках не должна превышать 1′. Относительная погрешность наиболее удаленной стороны не должна быть более 1/2000. Предельная длина цепочки треугольников между исходными пунктами не должна превышать 1,5, 3,0 и 6,0 км при съемке в масштабах 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000. В рядах или системах треугольников разрешается определять не более семи пунктов.

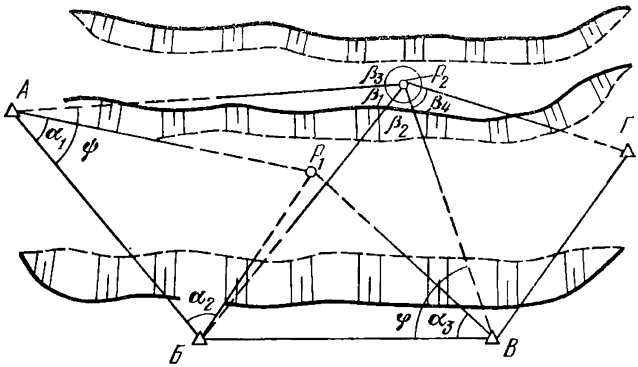


Рис. 94. Схема прямой и обратной засечек

Прямые, боковые и обратные засечки применяют в тех случаях, когда пункты съемочной сети значительно удалены от пунктов опорной сети (не более 1500 м при съемке в масштабе 1 : 1000; 2000 м при съемке в масштабе 1 : 2000 и 3000 м при масштабе 1 : 5000), при сложной конфигурации и большой глубине разработки, а также при малой площади уступов. При прямой засечке пункт P_1 вставляется в опорную сеть с трех известных пунктов *А*, *Б* и *В* (третий для контроля) измерением углов α_1, α_2, α_3 (рис. 94). При обратной засечке измеряют углы β_1, β_2, β_3 и на вставляемом пункте P_2 между направлениями на три известных пункта *А*, *Б* и *В*. Для контроля рекомендуется измерить угол β_4 на четвертый пункт *Г*. Требования к виду треугольников и точности измерения углов такие же, что и в предыдущем способе. Камеральная обработка результатов измерений осуществляется с применением ЭВМ. Расхождение в координатах, определенных в результате решения двух треугольников при малой засечке и двух вариантов засечек при обратной засечке не должно превышать при съемке масштаба 1 : 1000 — 0,6 м, при съемке масштаба 1 : 2000 — 0,8 м и съемке масштаба 1 : 5000 — 2 м.

Наиболее рациональные варианты обратной засечки определяют предварительным расчетом квадратической погрешности положения определяемого пункта m_{P_2} по формуле:

$$m_{P_2} = \frac{m_\beta l_{BP_2}}{206 \sin(\varphi + \psi)} \sqrt{\left(\frac{l_{BP_2}}{l_{BB}}\right)^2 + \left(\frac{l_{AP_2}}{l_{BA}}\right)^2}, \qquad \text{(II.1.4)}$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения β_1 и β_2 (обычно принимают $m_\beta = 15''$); l — длина соответствующих сторон, км. Углы φ и ψ измеряют на плане с округлением

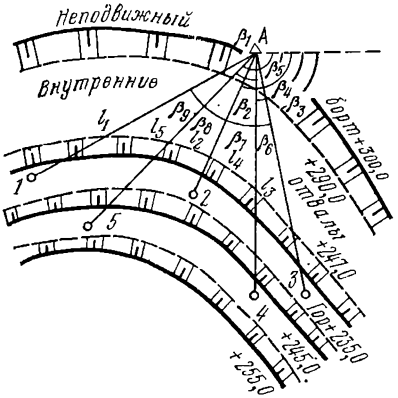


Рис. 95. Схема полярного способа

до 1°. В результате предрасчета выбирают такие варианты, в которых погрешность m_{P_2} минимальна.

Полярный способ применяется на крупных карьерах, где участки горных работ значительно удалены от пунктов геодезической основы (до 2000 м). Для измерения расстояний l_1, l_2, ..., l_5 (рис. 95) (до вставляемых пунктов *1*, *2*, ..., *5*) съемочного обоснования рекомендуется использовать малогабаритные светодальномеры (ТД-2, СМ-3) или радиодальномеры, обеспечивающие точность измерения длин не ниже 1/1000.

При измерении длин на пункте геодезической основы *A* устанавливается дальномер, а на определяемых точках отражатели. Средняя погрешность измерения при полярном способе не должна превышать ±0,1 м. Полярные углы β_i для каждой точки должны измеряться независимо дважды (от двух исходных направлений или от одного направления с измерением левого и правого углов). Расхождение между значениями определяемых дирекционных углов должно быть не более 45″ при расстояниях до 1000 м и 30″ — до 2000 м. Одновременно изме-

ряют вертикальные углы для приведения измеренных расстояний к горизонту и определения высот. В измеренные линии также должны быть введены поправки за приведение к поверхности референц-эллипсоида и за редуцирование на плоскости проекции Гаусса.

Теодолитные ходы прокладывают на карьерах с вытянутым фронтом работ и широкими рабочими площадками уступов. Ходы прокладывают между пунктами опорной сети (*I*, *II*, *III*) или между опорным пунктом *3* и стороной (*3—I*) с известным дирекционным углом (рис. 96, *а*). Также теодолитные ходы могут быть в виде замкнутых полигонов (рис. 96, *б*).

Длина теодолитного хода не должна превышать 2,0 км при масштабе съемки 1 : 1000; 2,5 км при масштабе съемки 1 : 2000 и 6 км при масштабе 1 : 5000; длины сторон не должны быть менее 100 м и более 300 м при съемке масштаба 1 : 1000 и 400 м при масштабе 1 : 2000. Измерение длин сторон производят компарированной лентой или рулеткой в прямом и обратном направлениях или оптическими дальномерными приборами типов ОТД, АД-1, насадками ДД-3, ДАР-100 и специальной рейкой ДР-3, а также определяют косвенно и аналитически. Разность между двумя независимыми измерениями линии не должна превышать 1 : 1000 ее длины. Измерения углов выполняют двумя полными повторениями или приемами теодолитами с точностью не ниже 30″. Угловая невязка в теодолитных ходах (в угл. с) не должна превышать $f_\beta = 30\sqrt{n}$, где n — число углов теодолитного хода. При температуре воздуха во время измерений, отличающейся от температуры компарирования более чем на 5°, вводят поправку за температуру. При угле наклона линий свыше 1° вводят поправку за наклон линии. Относительная линейная невязка теодолитного хода обычной точности не должна превышать 1 : 3000.

В тех случаях, когда рабочая площадка уступа неудобна для непосредственного измерения линий (навалы породы, загруженность механизмами и транспортными средствами) и отсутствуют дальномерные приборы, используют косвенный способ определения линии, предложенный проф. А. И. Дурневым, который состоит в следующем.

На внутренних отвалах или на противоположном борту карьера выбирают вспомогательные точки *A*, *B*, *C* и т. д. (рис. 97). На уступе, где прокладывается теодолитный ход (*1*, *2*, *3*, ..., *II*), измеряют углы α_1; β_1; α_2; β_2; ...; α_n; β_n и рулеткой или лентой линии *I—I* и *n—II* (как исходный и контрольный базисы). В треугольнике *I* по измеренным величинам α_I и β_1 и стороне *К—1* вычисляют сторону a_1, используя которую в треугольнике *II* вычисляют стороны a_2 и *1—2* и далее в треугольнике *III* — стороны *2—3* и a_3. Переходят от одного пучка за-

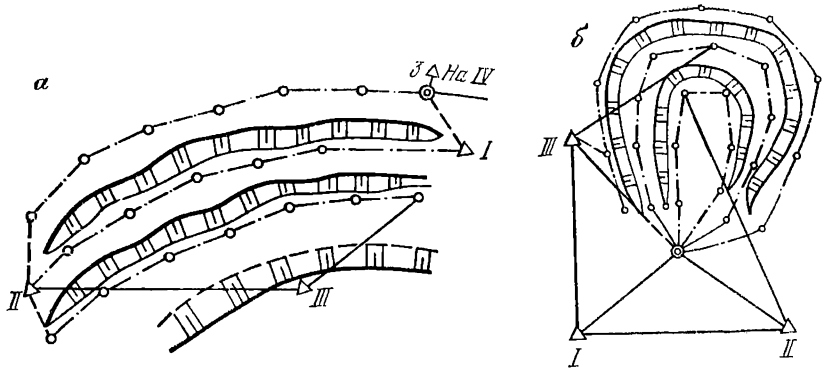


Рис. 96. Теодолитные ходы сложной формы

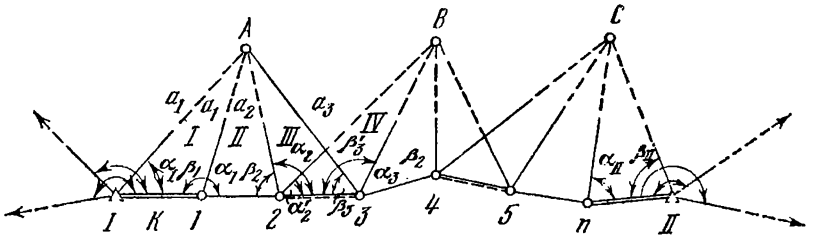


Рис. 97. Схема косвенного способа определения длин линий полигона

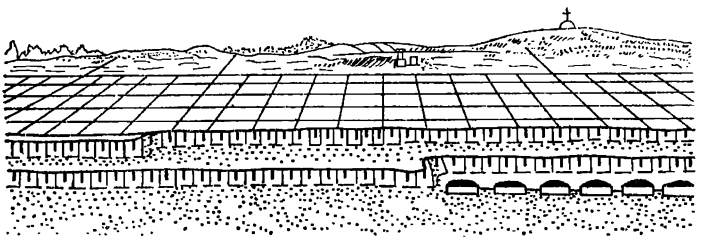


Рис. 98. Эксплуатационная сетка

сечек к другому через связующие стороны *2—3*, *4—5*, вычисляют все стороны теодолитного хода между исходными пунктами *I* и *II*. Контролем проложения служит сравнение длины ранее измеренной и вычисленной стороны *n—II*, а также известной длины между пунктами *I* и *II* и вычисленной длины теодолитного хода. Углы измеряют теодолитами типа Т5 двумя приемами или теодолитами типа Т15 двумя повторениями.

Эксплуатационные сетки применяют для съемки верхних уступов при спокойном рельефе поверхности района работ. Эксплуатационная сетка представляет собой квадратную или прямоугольную сетку, на пересечении линий которой закладываются пункты съемочного обоснования. Стороны прямоугольной сетки располагают по координатным осям плана или параллельно (перпендикулярно) направлению подвигания фронта горных работ карьеров (рис. 98). Длины сторон отдельных квадратов или прямоугольников принимают от 50 до 200 м в зависимости от масштаба съемки и скорости подвигания уступов. Для съемки подробностей основные квадраты разбиваются на меньшие со сторонами, равными 5—40 м. Плановое положение угловых точек главной (внешней) фигуры сетки на местности определяют по данным проекта от пунктов маркшейдерской опорной сети засечками, полярным способом или теодолитными ходами. Вершины прямоугольников на сторонах главной фигуры находят по проектным длинам сторон прямоугольников. Второстепенные (заполняющие) пункты сетки, находящиеся на линиях, параллельных основным направлениям, определяют с помощью двух теодолитов способом пересекающихся лучей (перпендикулярной засечкой). Длины визирного луча при определении вершин сетки основных и заполняющих не должны быть более 800 м. Правильность разбивки сетки проверяется контрольным провешиванием сторон или диагоналей сетки с помощью теодолита. Заполняющая сеть пунктов разбивается на участках ближайшей разработки; вершины прямоугольной сетки (основные пункты) закрепляются в натуре постоянными знаками, а заполняющие — временными. Линии прямоугольной сетки, перпендикулярные направлению фронта работ, могут быть использованы также для подсчета объемов выработанного пространства и решения других задач.

Способ профильных (створных) линий применяют при развитии горных работ в одном направлении с неподвижным положением одного из бортов карьера и небольшой глубине разработки. Он состоит в том, что на неподвижном борту карьера разбивают параллельные профильные линии, которые постоянно закрепляют минимум двумя створными пунктами (*1—1′*, *2—2′*, *3—3′*, *4—4′*) (рис. 99). Координаты этих пунктов получают привязкой к пунктам опорной сети. Передние створные точки *1*, *2*, *3*, *4* должны быть расположены на одной базисной

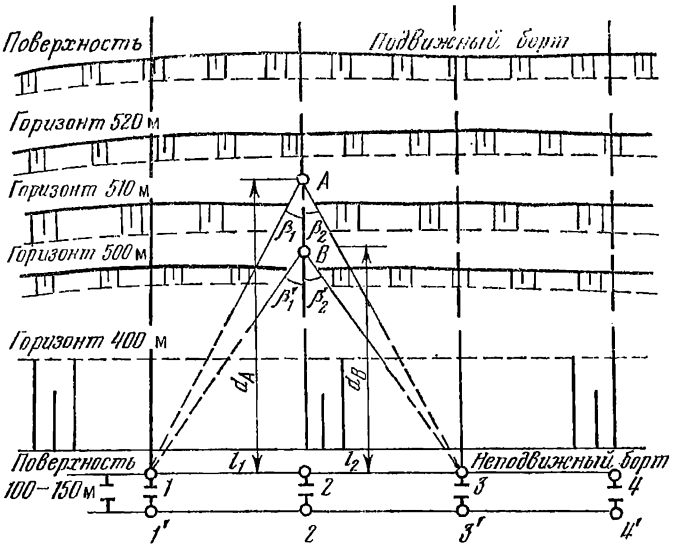


Рис. 99. Схема способа профильных (створных) линий

прямой, перпендикулярной направлению профильных линий, и примерно параллельно простиранию бортов уступов карьера.

На створных точках устанавливают высокие вехи. При определении контуров снимаемых объектов на уступах в створе профильной линии (например, *2—2′*) на глаз или с помощью прибора вставляют точки съемочного обоснования точек *B*, *A* и т. д. Для получения координат вставляемых точек на них измеряют углы β_1, β_2, в прямоугольных треугольниках *B32* и *A32* вычисляют расстояния d_B, d_A. По расстояниям d_A, d_B и дирекционному углу профильной линии вычисляют приращения координат точек *B* и *A*. Расстояние от передних створных точек профиля до вставляемых точек на уступах должно быть не больше десятикратного расстояния между створными точками *2—2′*, *3—3′* и т. д.

Способ аналитической пространственной фототриангуляции наиболее эффективен на крупных карьерах, где широко используется аэрофотосъемка. В этом случае заранее производится маркировка (белыми геометрическими фигурами) точек съемочного обоснования, так чтобы их легко можно было опознать при камеральной обработке фотопленки. Фотоснимки, на которых отображены пункты опорной сети и определяемые точки (маркированные) съемочного обоснования, измеряют на стереокомпараторе, определяя их координаты в системе координат снимка. Затем (обычно на ЭВМ) вычислят их истинные координаты *X*, *Y*, *Z*.

II.1.3. СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ КАРЬЕРА

Основной целью съемки подробностей является наиболее полное графическое отображение и точный учет всех видов работ на карьере: горных, геологоразведочных, строительных и т. д.

Съемку подробностей выполняют с точек съемочного обоснования. При съемке на карьерах определяют положения верхних и нижних бровок уступов и рабочих площадок, навалов вскрышных пород и осыпей на уступах; дренажных и водоотливных поверхностных сооружений и подземных горных выработок; внутренних отвалов вскрышных пород; разрезных траншей; оползней; подземных горных выработок для массовых взрывов; геологических нарушений; контактов горных пород геологоразведочных выработок мест взятия проб; основных механизмов; транспортных путей; сооружений и зданий и т. д.

Съемка указанных объектов должна обеспечить точность определения их положения на плане со средней ошибкой относительно ближайших точек съемочного обоснования не более 0,5 мм в масштабе плана. Средняя ошибка определения высоты пикетов относительно ближайших точек высотного обоснования не должна превышать 0,2 м.

Исходя из условий разработок (глубина, размеры, форма карьера) и обеспечения необходимой точности при съемке подробностей, применяют тахеометрическую, мензуальную, ординатную и стереофотограмметрическую (наземную и воздушную) съемки.

Сроки проведения съемки подробностей зависят от характера месторождения и условий работы. В большинстве случаев контрольную дополнительную съемку производят в конце каждого месяца или подекадно. Для контроля ранее выполненных съемок, пересоставления плана горных работ или решения ответственных горнотехнических задач проводят массовую (разовую) съемку всего карьера или значительной его части.

Съемка подробностей на карьерах и замерно-съемочные работы занимают большой удельный вес при производстве специальных работ. Обычно для выполнения текущих полевых и камеральных съемочных работ используют различные теодолиты, нивелиры, мензулы, кипрегели, угломеры, чертежные приборы.

При съемке подробностей на карьере широко применяется тахеометрическая съемка, недостатками которой являются: трудоемкость вычисления превышений, трудность установки рейки в малодоступных местах; необходимость отображения объектов съемки при камеральной обработке. Для того, чтобы уменьшить указанные недостатки, необходимо использовать тахеометры-автоматы и графопостроители.

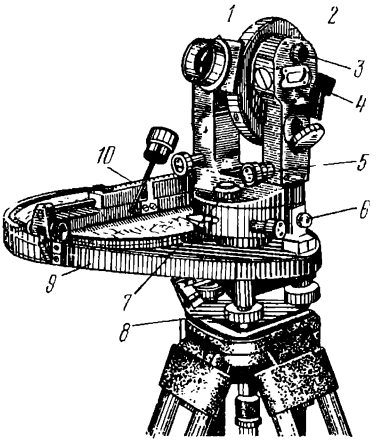


Рис. 100. Тахеометр Дальта 020 с топографическим столиком Карти 250:
1 — зрительная труба; *2* — вертикальный круг; *3* — наводящее устройство вертикального круга; *4* — цилиндрический уровень вертикального круга; *5, 6* — закрепительные винты соответственно вертикального и горизонтального круга; *7* — круглый уровень горизонтального круга; *8* — подъемные винты; *9* — картографический столик; *10* — съемная линейка

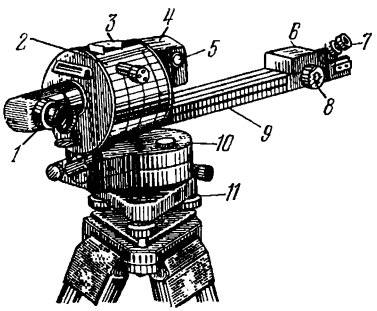


Рис. 101. Тахеометр BRT-006:
1 — окуляр оптической трубы; *2* — вертикальный круг; *3* — закрепительный винт; *4* — неподвижная пентапризма; *5* — регулировочный винт; *6* — подвижная пентапризма; *7* — лупа; *8* — наводящее устройство пентапризмы; *9* — базисная линейка; *10* — горизонтальный круг; *11* — подставка

Авторедукционный тахеометр Дальта 020, изготовляемый Народным предприятием «Карл Цейс Йена» (ГДР) (рис. 100) с вертикальной рейкой и картографическим столиком Карти 250, позволяет с помощью диаграммы, расположенной в поле зрения трубы, по рейке производить непосредственное определение превышений и горизонтальных проложений. На картографическом столике объекты съемки изображаются графически.

В тех случаях, когда необходимо одновременно производить съемку на больших площадях при хорошей погоде, весьма производительна мензульная съемка с применением авторедукционного кипрегеля КБ-1. Графическую съемку вытянутых объектов и профилей откоса можно выполнять с помощью натурпантографа В. М. Зубова, при этом снимаемый контур обводится концом канатика с рычагом, а в это время самописец вычерчивает снимаемый контур в заданном масштабе.

При съемке недоступных откосов профилями используют базисный редукционный тахеометр BRT-006 или приборы с базисом при приборе ТДС, Д-1М, ТТ-7 и другие. При камеральной обработке материалов съемки, накладке на план точек применяют тахограф, полярный координатограф и нониусные транспортиры.

Внутрибазисный редукционный тахеометр BRT-006 (рис. 101) изготавливается Народным предприятием «Карл Цейс Йена» (ГДР), имеет дальномер двойного изображения, с переменным базисом, с постоянным параллактическим углом. В отличие от аналогичных приборов (Телеметр, Д-1М, Телетоп), BRT-006 измеряемые расстояния автоматически редуцирует на горизонтальную плоскость. Постоянная пентапризмы прибора расположена под некоторым углом, соответствующим параллактическому; горизонтальный и вертикальные круги имеют цену деления 5′, точность отсчитывания на глаз соответствует 0,5′.

BRT-006 позволяет выполнить съемку недоступных точек на откосах уступов (в камерах) на расстоянии от 2 до 60 м с относительной ошибкой 1/100—1/200.

Тахеометрическая съемка является наиболее распространенным способом съемки подробностей на карьере. Она применяется как при разовой, так и при дополнительной съемке всех видов открытых горных работ, особенно на крупных карьерах с большой глубиной разработки, с уступами сложной конфигурации и внутренними отвалами, в случае недоступных расстояний для непосредственного измерения длин. Тахеометрическая съемка выполняется с помощью повторительных теодолитов-тахеометров с точностью отсчета по вертикальному кругу не ниже 1′ или тахеометром-автоматом, а также авторедукционными тахеометрами типа Дальта 020 с вертикальной рейкой. Для съемки недоступных точек следует применять тахеометры с внутрибазисным дальномером BRT-006 или Д-1М.

Сущность и порядок производства тахеометрической съемки изложены в курсе геодезии, поэтому рассмотрим только некоторые особенности тахеометрической съемки на карьерах.

Предельное расстояние от прибора до реечной точки зависит от снимаемых контуров и не должно превышать 300 м для планов масштаба 1 : 5000, 200 м — для 1 : 2000 и 150 м — для 1 : 1000. При съемке теодолитом с увеличением зрительной трубы 25$^{\times}$ и более расстояния могут быть увеличены на 50 м. Реечные точки (пикеты) должны устанавливаться во всех характерных местах сложного контура, и не реже чем через 30 м для планов масштаба 1 : 2000 и 20 м — 1 : 1000, а в случае контуров, близких к прямолинейным соответственно 40 и 30 м.

Длины сторон тахеометрических ходов измеряются мерной лентой или дальномером. При тахеометрической съемке вследствие деления работ на полевые и камеральные и разрыва во времени между ними особое внимание следует обращать на тщательность оформления журнала полевых измерений и точное составление абриса, имеющих важное значение для правильного отображения результатов съемки на плане. Для составления абриса в масштабе плана удобно пользоваться спе-

циально разграфленными бланками и тахеометрическими кругами Дробышева.

При камеральной обработке тахеометрической съемки реечные точки на план наносят с помощью транспортира с нониусом, тахографа или полярного координатографа; ошибка нанесения реечных точек на план не должна превышать 0,5 мм.

Мензульную съемку применяют на карьерах в тех случаях, когда в короткий срок необходимо выполнить съемку значительной территории и получить отображение объектов съемки на плане непосредственно в поле; ее используют обычно как контрольную на территории карьера и производят один раз в год.

Мензульную съемку выполняют в соответствии с Инструкцией по производству маркшейдерских работ. Порядок сгущения сети съемочного обоснования, определение превышений и расстояний, нормы предельных расстояний до пикетных точек, нормы точности те же, что и при тахеометрической съемке.

Зависимость мензульной съемки от метеорологических условий и времени года ограничивает возможности применения.

Ординатную съемку подробностей (способ перпендикуляров) применяют при наличии съемочного обоснования в виде теодолитных ходов, прямоугольной сетки или профильных линий. При ординатной съемке измеряют длины перпендикуляров (ординат), восставленных из характерных точек снимаемого контура на стороны теодолитных ходов или прямоугольной сетки. Перпендикуляры восставляют на глаз или при помощи эккера (при длине ординат от 15 до 30 м). Одновременно измеряются рулеткой ординаты и отрезки от стороны теодолитного хода до основания перпендикуляра. Измерения длин при ординатной съемке производят с точностью до 0,1 м. Ординаты измеряют во всех характерных точках контура; пикетные точки получают в результате геометрического нивелирования технической точности.

Результаты замеров записывают в полевой журнал и на абрисе. Камеральная обработка ординатной съемки состоит в графическом отображении на плане снятых контуров по ординатам.

Стереофотограмметрическая съемка. В настоящее время все большее распространение получают наземная стереофотограмметрическая и аэрофототопографическая съемки.

Аэрофототопографическая съемка наиболее эффективна в случае крупных карьеров, со сложной конфигурацией уступов и с внутренними и внешними отвалами. Она позволяет уменьшить объем полевых работ, обеспечивает высокую точность, производительность работ и полную объективность результатов съемки, дает возможность снимать недоступные для непосредственных измерений участки местности.

II.1.4. ЗАДАЧИ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАРЬЕРА И ПРОВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ

Строительство карьера осуществляют в соответствии с проектом, составленным специальными проектными организациями. Проект включает пояснительную записку и комплект чертежей, которые содержат все необходимые данные для проведения маркшейдерских работ. К проекту прилагается геологический отчет с подсчетом запасов полезного ископаемого и отчет о топографо-геодезических работах, выполненных на участке строительства (крупномасштабные топографические планы; схемы триангуляции и полигонометрии, каталог координат, оценка точности проведенных работ и др.).

При строительстве карьера маркшейдер подробно изучает проект строительства, особенно его графическую часть; топографогеодезические материалы; расположение пунктов и реперов геодезической основы на местности; устанавливает в натуре границы горного отвода и рудничного поля; разбивает геометрические элементы промышленных зданий и сооружений на поверхности и в карьере; производит трассировку транспортных путей и обслуживает буро-взрывные работы; выполняет весь комплекс маркшейдерских работ при проведении подземных дренажных выработок; задает направления траншеям; устанавливает расположение вскрышных и эксплуатационных уступов; руководит построением целиков под сооружениями, расположенными вблизи бортов; ведет систематический контроль оперативного учета вынутой пустой породы и полезного ископаемого; составляет и систематически пополняет на основе маркшейдерских съемок комплект планов и графиков, необходимых в процессе строительства горного предприятия и при сдаче его в эксплуатацию.

II.1.5. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТРАНШЕЙ

В зависимости от характера пород, в которых проводится траншея, рельефа, а также от имеющихся средств механизации применяют различные способы проходки траншей. Во всех случаях маркшейдер в натуре разбивает ось траншеи, верхние бровки, поперечники и задает уклон подошвы траншеи.

Работы, связанные с разбивкой трассы траншей, маркшейдер должен выполнять на основе проектных планов, разрезов и других графиков. На проектных планах, составленных в крупном масштабе (1 : 500—1 : 1000), должны быть приведены координаты точек примыкания, дирекционные углы первоначальных направлений, расстояния между вершинами углов

поворота оси с углами поворота и радиусами сопрягающих кривых.

На поперечных разрезах должны быть указаны очередность проведения заходок, их сечение, угол откоса, а также железнодорожные пути и размеры дренажных канав (геометрические размеры полезно сочетать с геологическими). На проектных продольных разрезах (профилях) по траншеям указываются фактические и проектные отметки, а также проектные уклоны.

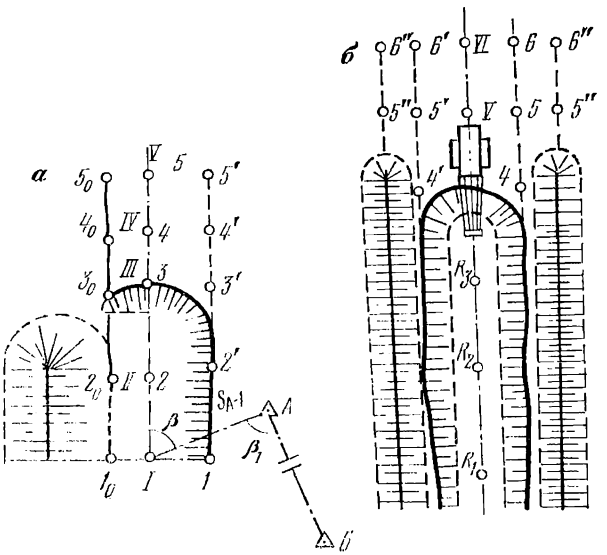


Рис. 102. Способы проходки траншей

Наиболее распространенными способами проходки траншей являются следующие:

1) проходка по крутому склону с отвалом породы под откос или с погрузкой на транспорт (рис. 102, *а*);

2) проходка с выемкой породы на себя — драглайном и последующей его разгрузкой на борту траншеи (рис. 102, *б*);

3) проходка с отвалом породы на борта или погрузкой на транспорт, расположенный на борту траншеи.

Задание направления трассе траншеи в первом способе проходки выполняется в определенной последовательности.

1. По известным координатам точки A, углу β_1 и расстоянию S_{A-1} определяют в натуре начальную точку оси трассы *I*.

2. Для минимума земляных работ предварительно по углу β разбивают направление оси траншеи *I—2—3* и закрепляют временными пикетами через 50—100 м;

3. По заданному уклону и проектным отметкам подошвы траншеи находят нулевые отметки точек линии пересечения выхода подошвы траншеи со склоном горы и закрепляют их пикетами 1_0, 2_0, 3_0, 4_0;

4. По определенной в натуре линии нулевых точек разбивают окончательное направление оси траншеи I—II—III—IV—V и закрепляют его деревянными кольями с установкой вех через 20—30 м;

5. Отмечают верхнюю бровку траншеи пикетами $1'$, $2'$, $3'$, $4'$, $5'$.

В местах поворота траншей разбивают сопрягающие кривые.

При проходке траншей вторым способом ось бровки траншей сразу разбивают и закрепляют деревянными кольями, а также отмечают вехами, которые указывают направление движения экскаватора при проходке.

Уклон траншеи задают с помощью нивелира и закрепляют реперами $R_1R_2R_3$, закладываемыми вдоль оси траншеи (или с некоторым смещением) через каждые 20—30 м. Торец установленных реперов (кольев) должен соответствовать проектным отметкам. Для удобства пользования реперами и контроля за соблюдением проектного уклона на конце реперов укрепляют Т-образные визирки. Одновременно с осями траншеи производят разбивку пути, расположенного на бровке траншеи.

После взрыва маркшейдер производит тахеометрическую или мензульную съемку котлована и выброшенной взрывом породы. По плану и профилям, составленным в результате съемки, подсчитывается объем взорванной горной массы одним наиболее рациональным способом.

После массового взрыва приступают к экскаваторным работам по оформлению траншеи; маркшейдер выполняет свои функции в том же объеме и порядке, как это было указано выше.

II.1.6. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ТРАССИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ

При строительстве и эксплуатации карьеров необходима разбивка различных видов транспортных путей: железнодорожных, автомобильных, воздушно-канатных, конвейерных и т. п. Исходными проектными материалами, на основе которых производится разбивка транспортных путей, являются:

план железнодорожной трассы с координатами точек ее примыкания, дирекционный угол начального направления, расстояния между вершинами углов поворота и радиусы сопрягающих кривых;

продольный и поперечный профили трассы с указанием фактических и проектных отметок, а также проектных уклонов;

план расположения переводных стрелок с координатами центров переводов (математических центров);

для транспортных подъемников координаты начальной и конечной точек подъемника и предельный угол подъема;

для воздушно-канатного транспорта координаты мест опор, их высота и предельный угол наклона канатов и данные для сооружений автоматической погрузки и разгрузки емкостей.

Маркшейдер выполняет при этом следующие работы: перенесение в натуру оси трассы транспортных линий; разбивку закруглений, отводов, стрелочных переводов и углов наклона транспортных линий; определение местоположения опор воздушно-канатной линии и контроль сохранности их проектной высоты при установке; разбивку сооружений автоматической погрузки и разгрузки вагонеток; разбивку элементов верхней и нижней площадки при сооружении капитальных уклонов; производит горизонтальную и вертикальную съемку; съемку и документацию рельсовых путей, автодорог, транспортных линий и др.; наблюдения за передвижными транспортными линиями, с отображением каждого их нового положения на плане.

II.1.7. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Буровзрывные работы на открытых горных разработках выполняются отдельными скважинами, группами скважин (блоками) или массовыми взрывами. Наиболее распространенным способом в настоящее время является взрывание блоками панелей длиной более 100 м и в поперечнике равными ширине уступа (заходки). Маркшейдерские работы при этом включают: подготовку графических и аналитических материалов для составления проекта взрыва; перенос проектного положения скважин выработок на уступы; съемки устьев скважин, пробуренных в пределах блока, и контрольного замера глубины скважин; съемки бортов, откосов, уступов, зданий и сооружений, находящихся в непосредственной близости от границ опасной зоны; съемки блоков после взрыва.

На проектном плане (выкопировки с основного плана) блоки в масштабе 1 : 500—1 : 1000 указывают устья скважин, их глубины и высоты, верхние и нижние площадки, откосы, уступы, высоты бровок, границы блока, контакты полезного ископаемого и вмещающих горных пород, крупные трещины и геологические нарушения, границы взрывоопасной зоны и предметов, расположенных в ее пределах. Проектные планы блоков при необходимости сопровождаются вертикальными разрезами по линиям скважин с указанием контура откосов и литологического состава пород.

Вынос проекта в натуру осуществляется полярным или способом перпендикуляров. Углы откладываются с ошибкой 5′; расстояния менее 50 м измеряются дальномером; перпендикуляры измеряют с ошибкой до 1 дм.

После взрыва скважин выполняют маркшейдерскую съемку, по результатам которой определяют углы развала и объем взорванной горной массы, линию откола и коэффициент разрыхления.

Окончательно количество взорванной горной массы определяют после уборки взорванной породы, съемки и нанесения на

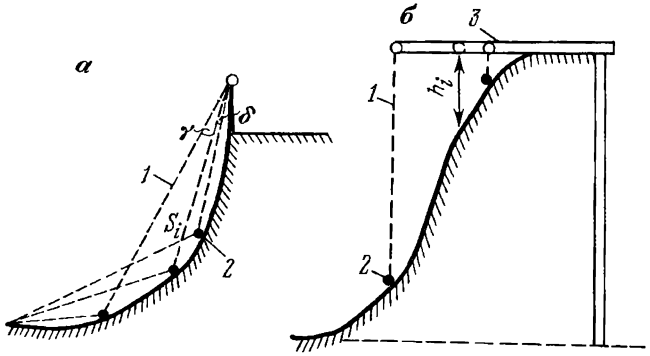


Рис. 103. Схема съемки эклиметром (*а*) и рейкой с рулеткой (*б*)

план вертикальных разрезов нового положения верхней и нижней площадок, бровок и откоса уступа. При этом выполняется съемка способом ординат или тахеометрическая. При сложной конфигурации высоких малодоступных откосов выполняют профильную съемку. В случае отсутствия приборов с внутрибазисными дальномерами (BRT-006, Д-1М) используется эклиметр (угломер) на подставке и рулетке или телескопическая штанга. При использовании эклиметра маркшейдер с верхней (нижней) бровки уступа визирует на характерные точки откоса уступа и измеряет вертикальные углы γ и δ (рис. 103, *а*). В этом случае для определения расстояния S_i к рулетке (шнуру) *1* привязывается шарообразный груз *2*, который в процессе спуска совмещают с точками визирования. При сложной конфигурации уступа к грузу привязывают шнур, и рабочий, стоящий у нижней бровки уступа, натягивая шнур, укладывает груз на точки визирования, а маркшейдер по рулетке отсчитывает расстояния. Иногда удобней угломер устанавливать у нижней бровки. При профильной съемке откоса телескопической штангой с рулеткой на верхней площадке уступа по нормали к ее бровке располагают штангу *3* (рейку)

(рис. 103, *б*). С конца штанги через ролик опускают рулетку *1* с грузом *2* на нижнюю бровку уступа. По штанге берут отсчет, соответствующий горизонтальному проложению, а по рулетке определяют расстояние h_i от штанги до снимаемой на откосе точки.

По плану и разрезу определяют основные показатели взрыва: производительность скважин, удельный расход взрывчатых веществ, полноту отрыва пород или полезного ископаемого по подошве блока, степень дробления, объем горной массы и полезного ископаемого, выданных из блока.

II.1.8. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НА КАРЬЕРАХ ТРАНСПОРТНО-ОТВАЛЬНЫХ МОСТОВ С РОТОРНЫМИ И МНОГОКОВШОВЫМИ ЭКСКАВАТОРАМИ

Транспортно-отвальный мост представляет собой агрегат, который объединяет в один непрерывный производственный процесс экскавацию, транспортировку и размещение породы в отвале. Основными частями транспортно-отвального моста (рис. 104) являются: *1* и *2* — соответственно отвальная и забойная опоры; *3* и *4* — отвальная (разгрузочная) и забойная фермы (консоли); *5* — пролетное строение; *6* — главный конвейер; *7* — главная ферма. При работе транспортно-отвальный мост сочленяется с роторными или многоковшовыми экскаваторами.

Комплекс съемочно-контрольных работ маркшейдера при эксплуатации транспортно-отвальных мостов с роторными и многоковшовыми экскаваторами включает: съемку уступов; контроль горизонтальной подвижности моста; контроль вертикальной подвижности моста; контроль за угловой подвижностью моста при отработке тупика карьера; контроль за деформациями металлоконструкций транспортно-отвальных мостов.

Съемка уступов. При работе на карьерах транспортно-отвальных мостов в комплексе с многоковшовым или роторным экскаваторами маркшейдерская съемка уступов является важной для определения объемов горных работ. Съемка выполняется одним из рассмотренных выше способов. Кроме известных способов съемки откосов можно применить и косвенный — по параметрам роторного колеса.

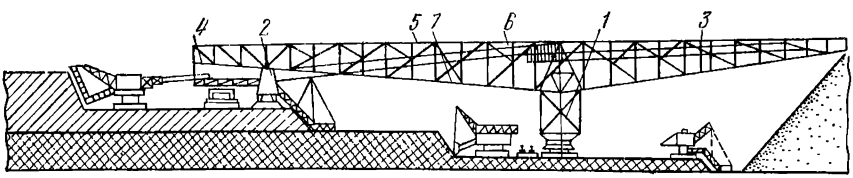


Рис. 104. Транспортно-отвальный мост

Маркшейдерский контроль за горизонтальной подвижностью связан с телескопичностью пролетного устройства, т. е. возможностью изменения расстояния между опорами (верхней и нижней) транспортно-отвального моста, указанного в паспорте каждого агрегата. Величина горизонтальной подвижности и характер изменения ее при движении моста вдоль забоя зависят от расстояния между осями путей отвальной и забойной опор.

Для контроля за расстояниями между осями путей опор прокладываются теодолитные ходы вдоль рельсовых путей или непосредственно по их осям. От линии теодолитных ходов по профилям способом ординат производят домеры до осей пути. Створы сторон теодолитного хода выносят с помощью приборов и отмечают шнуром или рулеткой. Положение профилей, по которым производятся домеры, отмечают на рельсах мелом или краской. Результаты полевых работ обрабатываются и наносятся на крупномасштабный план масштаба 1 : 500—1 : 1000, и расстояние между осями путей опор может определяться графически дальномером, засечками и другими способами. Ошибка в измерении расстояний между осями путей опор не должна превышать 0,3 м.

Контроль за вертикальной подвижностью проводится с целью сохранения превышения путей (головок рельсов) опор транспортно-отвального моста в пределах, установленных для данной конструкции моста вертикальной подвижности, а также наблюдения за величиной свободного зазора между разгрузочной (отвальной) консолью моста и поверхностью отвала (до 3 м).

Контроль за вертикальной подвижностью выполняется геометрическим нивелированием технической точности путей опор, расположенных вдоль фронта работ. Рейка при нивелировании устанавливается на головки рельсов против меток на профилях, нанесенных при определении горизонтальных расстояний между опорами. Нивелирные ходы при этом должны опираться на реперы высотной основы карьера. По результатам нивелирования составляют совмещенный продольный профиль путей опор, по которым определяют превышения между ними, сравнивая их с проектными. В случае несоответствия допустимой вертикальной подвижности опор моста даются рекомендации по ее устранению, а также вычисляются продольные и поперечные уклоны путей и для оценки сравниваются с проектными.

В случае необходимости исправления профиля пути маркшейдер на рабочей площадке уступа устанавливает сторожки с указанием на них проектных отметок.

Для контроля за зазором (зависанием) между концом отвальной формы и поверхностью отвала на консоли укрепляется рейка. Изменение наклона ферм моста приводит также к умень-

шению или увеличению приемной способности отвала, что может вызвать снижение эффективности работы моста.

Приемная способность отвала может быть заранее рассчитана, если известна высота Z конца консоли моста, которая определяется как

$$Z=Z_H+\sum_{i=1}^{i=n}\Delta H_0, \tag{II.1.5}$$

где Z_H — начальная высота консольной формы; ΔH_0 — изменение положения консольной фермы в вертикальной плоскости в начале и конце перемещения. Таким образом,

$$\Delta H_0=\Delta h(1+N)-\Delta h_в N, \tag{II.1.6}$$

где Δh — разность средних высот путей опоры отвальной части в начале и конце перемещения; $\Delta h_в$ — разность средних высот путей опоры вскрышной части моста; N — коэффициент, зависящий от основных параметров моста:

$$N=L_к/L_п, \tag{II.1.7}$$

где L_k — длина консольной части моста; $L_п$ — длина пролетной части моста.

Учитывая важность и ответственность маркшейдерского обеспечения транспортно-отвальных мостов, контрольные замеры маркшейдер должен производить не реже трех раз в месяц.

Контроль за угловой подвижностью моста, т. е. углом отклонения оси моста от нормального положения к фронту работ (в косое положение), при отработке тупиковой (пограничной) части карьера и криволинейных участков проводится с целью определения величины допустимого опережения экскаваторной опоры относительно отвальной и необходимого соотношения скоростей передвижения мостовых опор с тем, чтобы не превысить нормы угла подвижности φ для данного типа моста. Нормальное соотношение скоростей V_1 и V_2 передвижения на криволинейном участке устанавливают по среднему радиусу кривизны R и длине пролетной части моста П по формуле

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{R}{R-П}. \tag{II.1.8}$$

Опережение Q экскаваторной опоры может быть определено геометрически (рис. 105) по допустимому углу поворота моста φ и величине пролета моста (нормаль a) по формуле:

$$Q=a\operatorname{tg}\varphi=a_1\sin\varphi, \tag{II.1.9}$$

где a_1 — величина пролета по косому направлению.

Разность a_1 и a характеризует величину изменения пролета, которая не должна превышать установленную для данной конструкции моста. Маркшейдер в процессе работы моста при отработке тупика должен систематически выполнять съемку, контролируя соблюдение установленных параметров. Угол поворота φ маркшейдер может определить графически с плана, на котором нанесено положение моста по результатам съемок, и сравнить его с приведенным в паспорте моста.

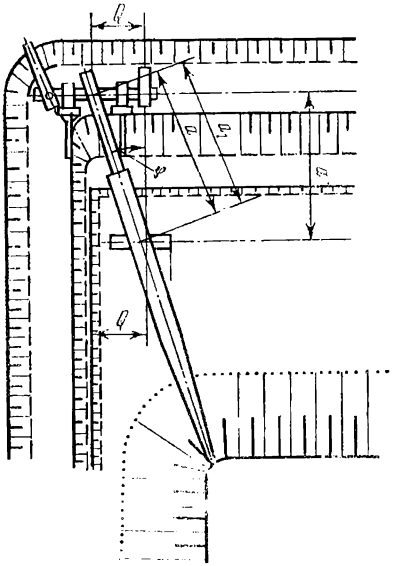


Рис. 105. Схема отработки тупика транспортно-отвальным мостом

Контроль за деформациями металлоконструкций транспортно-отвальных мостов. С целью предупреждения опасного нарастания деформации несущих и опорных металлоконструкций производят съемку их в вертикальной и горизонтальной плоскостях для определения: упругих деформаций в конструкциях при максимальной их динамической нагрузке во время работы; остаточных деформаций в нерабочем состоянии моста. Наиболее ответственной является съемка главной фермы и особенно ее консольной части.

Для определения величины деформации ферм перед съемкой в масштабе 1 : 100 составляют план и вертикальные проекции верхнего и нижнего поясов по проектным размерам элементов фермы и сопоставляют их с фактическим положением ферм (поясов), полученным в результате контрольной съемки, устанавливая их деформацию.

Вертикальную съемку выполняют периодически, в установленные предприятием сроки. Горизонтальную же съемку выполняют в особых случаях и при остановке работ на зимний период.

При *горизонтальной съемке* на верхнем и нижнем поясах моста разбивают осевую линию и отмечают ее на балках, в местах наибольшей устойчивости от деформации (над опорами моста). Определение измененного положения точек *1*, *2*, ..., *19* (рис. 106) на узлах моста производят измерением перпендикуляров (ординат) к оси, с помощью рулетки или горизонтально уложенной рейки (ординатометр). Измеряются также расстоя-

ния последовательно между всеми точками *1—19* l_1, l_2, ..., l_{19} вдоль оси с помощью стальной компарированной рулетки с миллиметровыми делениями при постоянном натяжении. Графическое совмещение полученных результатов измерений с проектными данными позволяет определить величину деформации.

Определение деформаций ферм моста в вертикальной плоскости производится, как правило, геометрическим нивелированием по узловым точкам *1*, ..., *19* относительно исходного горизонта (головка рельс), связанного с нивелирным репером. Высота исходного горизонта передается с помощью стальной ру-

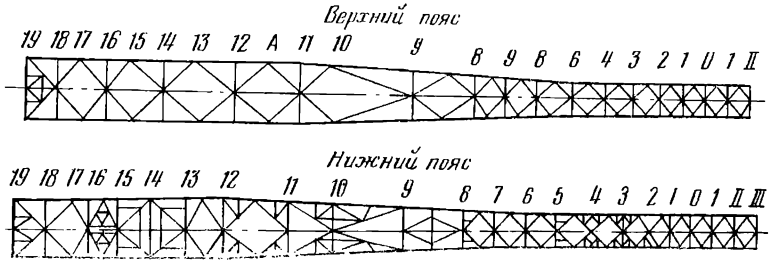


Рис. 106. Схема контроля за деформацией металлоконструкций

летки на репер, заложенный на отвальной опоре на горизонте нижнего пояса фермы. Дальнейшее нивелирование выполняется замкнутым ходом, невязка не должна превышать $5 \cdot 10^{-3}$ м. На основе сопоставления проектного профиля с фактическим, составленных в масштабе 1 : 100, выявляются величины вертикальных деформаций ферм моста. Специальными инструкциями регламентируются порядок производства контрольной съемки и ее точность, а также и другие способы определения деформаций конструкций моста.

II.1.9. МАРКШЕЙДЕРСКИЙ УЧЕТ ОБЪЕМОВ ВСКРЫШИ И ДОБЫЧИ

Объем вскрыши и добычи на карьере определяется с целью контроля оперативного учета вскрыши и добычи. На основании маркшейдерского учета вскрыши и добычи уточняется выполнение плана горным предприятием.

Маркшейдерские данные об объеме вскрыши и добычи являются основой для начислений заработной платы рабочим. Учет вскрыши и добычи в основном производится по крупномасштабным рабочим планам и профилям масштаба 1 : 500, составленным по результатам съемок и замеров горных работ на

начало и конец отчетного периода. Учет объемов вскрыши осуществляют в установленные календарные сроки (подекадно, помесячно).

Выбор способа подсчета объемов произведенной вскрыши зависит от рельефа поверхности, характера горных работ, вида маркшейдерской съемки. Применяют способы вертикальных и горизонтальных сечений, среднего арифметического объемной пролетки, трехгранной призмы и другие. Вычисления выполняют по следующим формулам:

способ вертикальных параллельных сечений

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} l_2 + \ldots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} l_{n-1}, \qquad \text{(II.1.10)}$$

где $S_1, \ldots, S_n$ — площади сечений; $l_1, \ldots, l_{n-1}$ — расстояния между сечениями;

способ горизонтальных сечений

$$V = \frac{S_в + S_н}{2} h_{ср}, \qquad \text{(II.1.11)}$$

где $S_в$, $S_н$ — площади верхнего и нижнего сечений; $h_{ср}$ — средняя высота захода (блока);

способ объемной полетки

$$V = S \sum_{i=1}^{n} h_i, \qquad \text{(II.1.12)}$$

где S — площадь прямоугольника полетки; h_i — высота слоя вынутых (взорванных) пород в каждой вершине прямоугольника; n — число прямоугольников в контуре подсчета. Если объем горной массы, вынутой за месяц, определяют по маркшейдерским съемкам до взрыва (в целике) и после взрыва в тех же контурах блока, то общий объем взорванной горной массы может быть определен следующим образом:

$$V_р = V_{р'} + \Delta V_р, \qquad \text{(II.1.13)}$$

где $V_{р'}$ — объем горных пород после взрыва в пределах видимого контура при съемке в целике; $\Delta V_р$ — поправка за обобщение этого контура. Она равна

$$\Delta V_р = (0{,}03h^2 + 0{,}7h^2) L, \qquad \text{(II.1.14)}$$

где h — средняя высота блока (уступа), м; L — длина блока, м. Съемка объема блока в целике $V_ц$ и после взрыва $V_р$ дает возможность определить коэффициент разрыхления:

$$K_р = V_р / V_ц, \qquad \text{(II.1.15)}$$

знать который необходимо при планировании горных работ и при расчете оплаты за выполненные объемы работ. Сущест-

вуют и другие способы [2] определения объемов горной массы за календарный срок, зависящие от применяемой технологии работ (взрывы на неубранные горные породы, при несовпадении даты съемки с началом и концом отчетного периода и др.).

При разработке уступов полезного ископаемого маркшейдерский контроль за оперативным учетом добычи осуществляют в основном тремя способами:

определением добычи (в массиве) по маркшейдерским съемкам и замерам выработанной площади уступов;

замерами остатков на складах, в вагонах, дозировочных площадках и др.;

непосредственным взвешиванием всей добычи или выборочно на железнодорожных и других весах.

II.1.10. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРЕ

В задачи маркшейдера при составлении плана развития горных работ входят сбор и оформление материалов по выполнению плана развития горных работ за прошедший период; подготовка исходных данных для распределения плана горных работ (вскрыши и добычи) по участкам (уступам) на новый плановый период; составление календарного плана развития горных работ с графическим его оформлением; оформление всей графической части плана работ.

Основные графические материалы, прилагаемые к производственному плану горных работ, состоят из сводного плана горных работ карьера масштаба 1 : 2000—1 : 5000 с нанесенным на нем планом развития горных работ; календарных планов по уступам (горизонтам) масштабов 1 : 500—1 : 1000; разрезов (профилей) карьера горных работ по уступам масштабов 1 : 500—1 : 2000; планов развития карьеров, нанесенных на топографическом плане масштаба 1 : 5000; паспортов управления угольными (рудными) и породными уступами и внутренними отвалами породы с указанием расположения экскаваторов на уступах и отвалах. Составленные планы развития горных работ со всеми приложениями представляются в вышестоящую организацию для утверждения. Проектная длина фронта работ (заходок), обеспечивающая план календарной добычи (год, квартал, месяц), определяется по формуле

$$L = \frac{Q + П + B}{KmA}, \qquad \text{(II.1.16)}$$

где Q — плановая годовая добыча полезного ископаемого; $П$ — проектные потери; B — переходящие запасы отбитого полезного ископаемого на конец планируемого периода; K — коэффициент выхода угля из горной массы, который определяется делением

добытого товарного угля за данный период на объем общей массы угля в целике пласта, отработанной за этот же период; m — мощность пласта или высота уступа (при мощных пластах); A — ширина заходок.

После определения общей длины линии забоя производят разбивку добычи по кварталам и месяцам, распределяя его по участкам, уступам и механизмам. Контур планируемых разработок можно определить по площади годовой отработки по формуле

$$S = \frac{Q + П}{m\gamma} = LA, \qquad (II.1.17)$$

где γ — объемный вес угля, т/м³.

Планирование вскрышных работ имеет цель обеспечить план добычи полезного ископаемого вскрытыми запасами с необходимым резервом (переходящими запасами). Необходимое количество вскрытых запасов в этом случае

$$Q_н = Q_п + П + \Delta B; \qquad (II.1.18)$$

$$\Delta B = B - B_1, \qquad (II.1.19)$$

где $Q_н$ — количество подлежащих вскрытию запасов за планируемый период; Q — планируемая добыча; П — проектные потери; B и B_1 — остатки вскрытых запасов соответственно на конец и начало планируемого периода.

При планировании добычи и вскрыши для контроля подсчитывается их соотношение, т. е. коэффициент вскрыши

$$K = V/Q_н, \qquad (II.1.20)$$

где V — объем вскрыши за планируемый период.

Определение объема вскрыши производят способом параллельных сечений по профилям (разрезам) или другим способом.

При определении объема вскрышных работ предварительно рассчитывают количество уступов и их элементы. При этом особенно точно должна быть определена ширина рабочей площадки уступов, которая выбирается учетом рационального и безопасного размещения на площадке всего оборудования, необходимого для ведения горных работ.

Ширина рабочей площадки B (рис. 107) складывается из ширины развала породы X при взрыве, зоны безопасной эксплуатации транспортной линии C и охранной бермы уступа Б. Ширина развала горной породы может быть определена опытным путем или по формуле

$$X = 1{,}41H\sqrt{\frac{K\frac{A}{H}\sin(\beta - \delta)}{\sin\delta\sin\beta}}, \qquad (II.1.21)$$

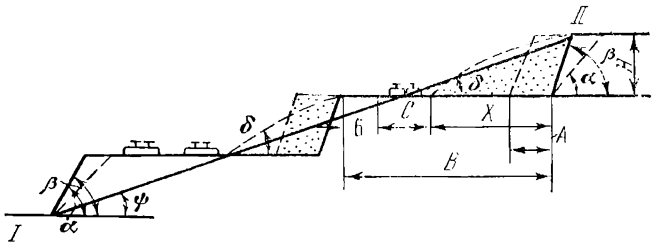


Рис. 107. Элементы рабочей площадки уступа

где K — коэффициент разрыхления пород; A — ширина заходки экскаватора; H — высота уступа; β — угол откоса уступа; δ — угол развала породы (между пунктирной и горизонтальной жирной линиями). Величина C принимается равной ширине транспортной линии в зависимости от характера ее и количества линий (одноколейных или двухколейных).

Охранную берму уступа рассчитывают по формуле

$$Б = H(\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}\beta), \qquad (II.1.22)$$

где α — угол естественного обрушения пород уступа.

Угол ψ, образуемый горизонтом и линией I—II, соединяющей точку на верхней бровке верхнего уступа карьера и точку нижней кромки нижнего уступа, называется углом погашения борта карьера. Его величина должна соответствовать установленному для конкретных условий разработки.

План переэкскавации горной породы составляют при наличии внутренних отвалов, исходя из объемов пустой породы, подлежащей перевалке из нижних породных уступов. Расчет перевариваемых пород производят по разрезам на 1 м угольного забоя. Кроме переэкскавации пород, сваленных с нижних уступов, производят также перевалку оползневых пород на внутренних отвалах и пород от селективной добычи и др. Таким образом, формула определения основных объемов переэкскавации имеет следующий вид:

$$V = V_1 + V_2 + V_3, \qquad (II.1.23)$$

где V_1 — объем пород основной вскрыши с нижних уступов; V_2 — объем пород от оползней внутренних отвалов; V_3 — объем пород от селективной добычи угля.

При многократной переэкскавации одной и той же породы объем перемещаемой породы с каждым разом уменьшается за счет размещения части породы на экскаваторных площадках. Это необходимо учитывать при планировании.

При определении объема работ по переэкскавации весьма важно установить коэффициент перевалки (переэкскавации) K,

который равен отношению суммы объемов переваленной породы в отвал и первоначального объема породы, вынутой из массива. Знание коэффициента перевалки дает возможность правильно планировать и контролировать организацию процесса переэкскавации и размещение породы в выработанном пространстве.

При размещении вскрышных пород на внешнем борту или сбрасывании их в очистное пространство, а затем перемещении на внутренние отвалы маркшейдер на основе проекта и плана этих работ с учетом основных параметров экскаваторов и состояния горных пород на плане (масштаба 1 : 1000—1 : 2000) намечает направление хода экскаватора и графически определяет координаты точек поворота хода. Затем, решая обратную задачу, маркшейдер вычисляет дирекционные углы и расстояния прямолинейных участков (отрезков) трассы экскаваторов.

Разбивку в натуре линий трассы и точек ее поворота производят от пунктов съемочной основы. В конце каждого месяца и на дату прекращения работы экскаваторов на данной заходке маркшейдер производит съемку навалов, например тахеометрическую, на основе которой составляют профили, пополняют планы и подсчитывают объемы работ, выполненные каждым экскаватором на каждой заходке.

Учет объема работ может производиться автоматически при помощи специальных счетчиков, установленных на экскаваторах.

II.1.11. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Под рекультивацией земель понимают приведение нарушенных промышленностью земель в состояние, пригодное для народнохозяйственного использования. Рекультивация земель является важнейшей проблемой современности, неотъемлемой частью комплекса мер по охране природы и воспроизводству природных ресурсов.

По неполным данным в СССР до настоящего времени рекультивировано около 800 000 га земель, что составляет незначительный процент от всех земель, нарушенных при добыче руды и других полезных ископаемых. Если учесть, что в СССР в ближайшее время ежегодно будет подвергаться открытым разработкам около 35 000 га земель, то становится ясным значение восстановления нарушенных земель.

Назначение рекультивированных земель различно: сельскохозяйственное — восстановление пашни, сенокоса, пастбища и многолетних насаждений; лесохозяйственное — насаждение леса различных пород и различного назначения (промышленное, лесопарковое, зеленых зон отдыха и охоты); водохозяйст-

венное — создание водоемов многоцелевого назначения (рыбоводства, хозяйственно-питьевых, коммунально-бытовых, технических, для лечебно-гигиенических нужд); строительное — создание площадок для промышленного, гражданского и прочего строительства, оборудование мест для отвалов промышленного строительства и бытового мусора, а также отходов обогащения.

Основными задачами маркшейдерской службы при проведении рекультивационных работ земель являются: подготовка планово-графической документации, необходимой для разработки проекта рекультивации; выполнение съемочно-замерных работ в период осуществления проекта горнотехнических работ при рекультивации и определение их объема; производство контрольных съемок, организация наблюдений за оседанием пород и составление комплекта планово-графической документации на рекультивированные участки земли, необходимого для передачи участков для использования в народном хозяйстве.

На первом (подготовительном) этапе маркшейдерская служба подготавливает исходную графическую документацию (планы и вертикальные разрезы), предназначенную для составления проекта рекультивации и последующего контроля за его осуществлением. Масштаб планов и высота сечения рельефа должны быть следующими: для сельскохозяйственного и строительного направления — 1 : 1000 и 1 : 2000 с высотой сечения рельефа 0,5 и 1 м; для лесохозяйственного, водохозяйственного и других направлений — 1 : 2000 или 1 : 5000 с высотой сечения рельефа 1 или 2 м.

Маркшейдерская работа на последующих технологических этапах рекультивации связаны с замерами и определением вида и последовательности проведения горнотехнических работ. На всех этапах разработки залежи полезного ископаемого открытым способом при вскрыше, формировании отвалов породы, добыче и рекультивации, строгому маркшейдерскому контролю подлежит полнота съема (зачистка) и качество складирования плодородного слоя с определением его объема, так как от него, в основном, зависит плодородие рекультивируемых земель. В соответствии с установленными нормами вскрышные породы по степени их пригодности (плодородности) для биологической рекультивации классифицируются следующим образом.

1. Пригодные: плодородные — гумосовые слои, пригодные под пашни; потенциально плодородные — лёссы, лёссовидные суглинки и другие пригодные под сенокосно-пастбищные угодья и садоводство.

2. Малопригодные — тяжелые суглинки, пески и другие, пригодные для лесонасаждений.

3. Непригодные (фитотоксичные) — богатые сульфидами, солончаки, скальные породы, конгломераты и другие.

Текущие маркшейдерские работы. Подготовительным этапом текущего маркшейдерского обслуживания мероприятий по рекультивации является трассировка подъездных путей, дорог, дренажных канав, электролиний и др. В зависимости от вида дальнейшего хозяйственного освоения планировка рекультивируемой территории может быть сплошной или частичной. Выравнивание поверхности (рис. 108) должно удовлетворять примерно нулевому балансу земляных работ, который маркшейдер

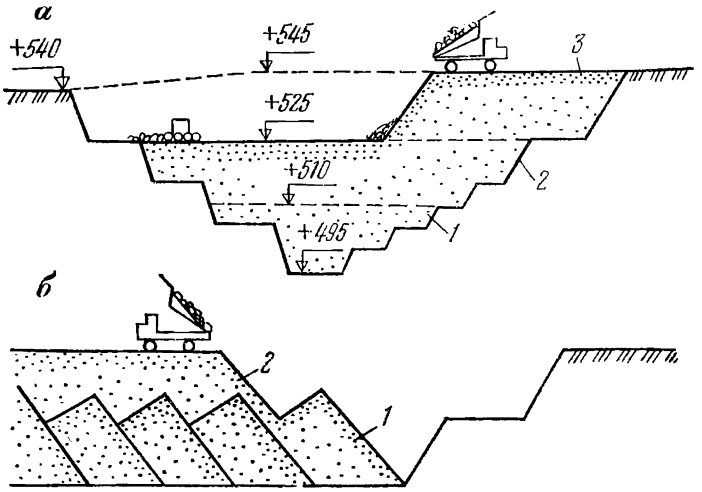


Рис. 108. Схема засыпки отработаиных карьеров:
а — горизонтальными слоями; *б* — комбиннрованная; *1, 2, 3* — последовательность засыпки

определяет по планово-графической документации. Планируемые участки должны иметь правильные геометрические контуры площадью не менее 10 га, ширину примерно 200 м. Планировку поверхности отвалов следует проводить в два этапа: сначала — общую; через один-два года после осадки — окончательную. При сплошной планировке с подсыпкой плодородного и потенциально плодородного слоев на участках, предназначенных для возделывания сельскохозяйственных культур, уклон не должен превышать 1—2°. При уклоне 3—4° участки могут использоваться для полеводства (покосы, сады) при выполнении специальных противоэрозионных работ. Участки отвалов, предназначенные для лесохозяйственного пользования, могут иметь продольный уклон площади, равный 10°, а поперечный — не более 4°. При рекультивации отвалов террасами (рис. 108, *б*) их обратный уклон в сторону вышележащей террасы допускается до 2°. Параллельно с планировкой поверхности отвала произво-

дится выполаживание откосов для их использования в хозяйственных целях. Так, при облесении угол откоса отвала не должен превышать 18°, а при посадке садов — 10—11°. Откосы скальных пород выполаживать часто нецелесообразно. Для соблюдения перечисленных выше требований, а также определения объемов перемещенных земляных масс и в целях контроля за планировкой и мощностью насыпки плодородных слоев мощностью более 1,5 м выполняют тахеометрическую съемку (тригонометрическое нивелирование). При слоях подсыпки мощностью менее 1,5 м следует осуществлять нивелирование площади, руководствуясь требованиями Инструкции по производству маркшейдерских работ. При этом необходимо учитывать сле-

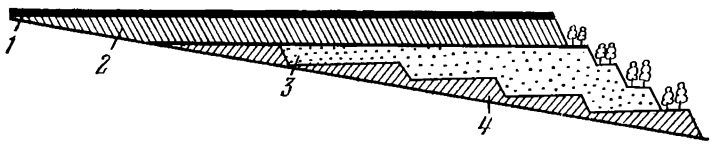


Рис. 109. **Разрез рекультивированного отвала:**
1 — плодородный слой почвы; *2* — четвертичные суглинки; *3* — меловые, песчаные, песчано-глинистые отложения; *4* — сланцы и кварциты

дующее: если вскрышные породы в отвале нетоксичны и рекультивация проводится под пашню, то на планируемую его поверхность вначале насыпается слой потенциально плодородных пород мощностью не менее 1 м, а затем она покрывается плодородным слоем не менее 0,4—0,5 м после усадки (укатывание). Если же основание токсично, то вначале наносится экранирующий (изоляционный) слой в виде нетоксичной глины мощностью не менее 0,4 м с обязательным прокатыванием (рис. 109). Затем отсыпают потенциально плодородные породы мощностью до 1,5 м и сверху почвенный слой не менее 0,4—0,5 м. При использовании земель под покосы наносится только слой потенциально плодородных пород мощностью 0,8—1,4 м. Во всех случаях после отсыпки слоев производится нивелирование площади, пополняется план, определяется объем перемещенной горной массы и с обязательными контрольными наблюдениями за осадкой пород.

После завершения горнотехнической рекультивации должны быть составлены исполнительные планы в масштабах 1 : 1000 или 1 : 2000, а также послойные (структурные) разрезы. Они могут быть составлены по результатам поэтапной (планировка, подсыпка слоев и др.) съемки или полной съемки. Эти графические документы прикладываются к актам передачи организациям, принимающим рекультивированные участки.

II.2. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ, БУЛЬДОЗЕРНЫХ, СКРЕПЕРНЫХ И ЭКСКАВАТОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Россыпные месторождения полезных ископаемых — это рыхлые отложения обломочного материала из разрушенных коренных пород, с зернами или кристаллов полезных минералов золота, платины, алмазов, вольфрама и других (промышленным содержанием).

В рыхлых отложениях россыпей выделяют три слоя: торфы, пески и плотик. Торфами называют породы верхнего слоя, не содержащие в промышленных концентрациях полезных ископаемых. Их мощность бывает от нескольких дециметров до многих десятков метров. Плотиком считают коренные осадочные или изверженные горные породы, образующие основание (постель) россыпи. К пескам относят пласт рыхлых отложений между торфами и плотиком, содержащий промышленную концентрацию полезных ископаемых.

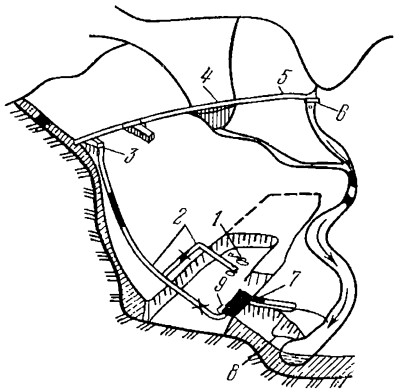


Рис. 110. Схема гидравлической разработки при естественном напоре воды:

1 — гидромонитор; *2* — водопроводные трубы; *3* — водосборник (ларь); *4* — сплоток; *5* — водоприемная канава; *6* — плотина; *7* — промывочный прибор; *8* — породный отвал (хвосты); *9* — сборный колодец

Гидравлическим способом чаще всего разрабатывают (рис. 110) локальные россыпи в осложненных рельефных условиях (лощины, террасы, седловины и др.). Этот способ состоит в отбойке, рыхлении и транспортировке в отвалы и на промышленный прибор размытых горных пород (полезных ископаемых) при помощи мощной напорной струи воды (скорость струи достигает 50 м/с), формируемой специальным прибором — гидромонитором. В зависимости от способа подачи воды к гидромониторам различают гидравлики с естественным, искусственным или комбинированным напором.

При естественном напоре воды, создаваемом разностью высот водосборника и гидромонитора, не используют насосные установки; гидравлики могут работать только при положительной температуре.

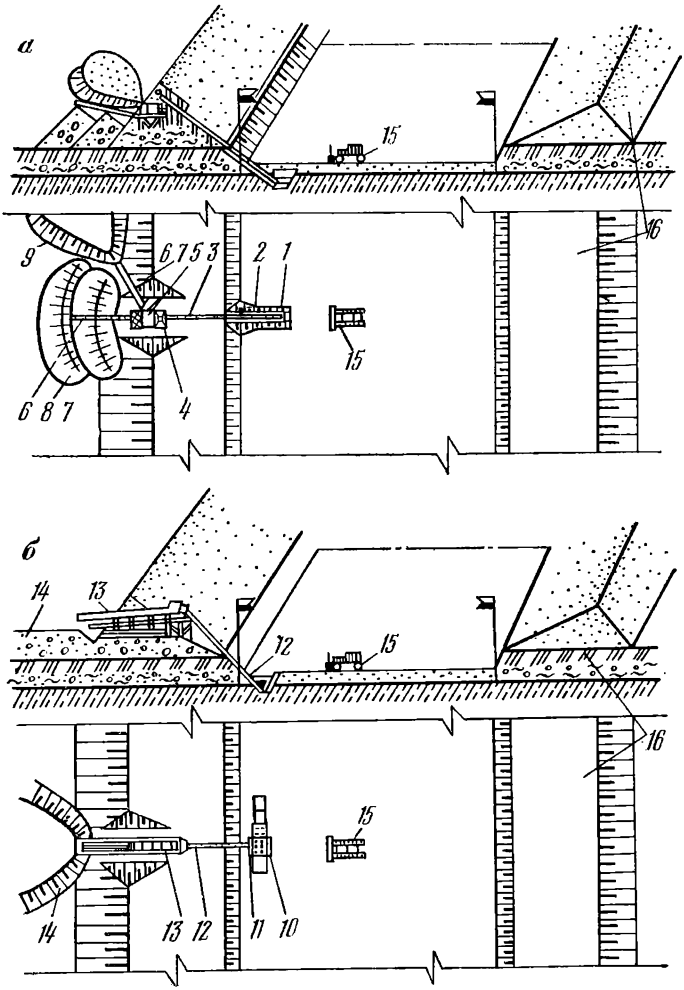


Рис. 111. Схемы разработки россыпи в контурах полигона с применением: *а* — скрубберного промывочного прибора; *б* — гидроэлеваторной установки; *1* — бункер-питатель; *2* — траншея под конвейер; *3* — эстакада под конвейер; *4* — головная часть прибора; *5* — грохот; *6* — шлюз; *7* — галечный отвал; *8* — галечный стаккер; *9* — эфельный отвал; *10* — горизонтальный грохот гидровашгерда; *11* — наклонный желоб; *12* — всасывающий пульповод гидроэлеватора; *13* — шлюз; *14* — отвал; *15* — бульдозер; *16* — торфовый отвал

Скреперно-бульдозерным способом разрабатывают в основном долинные неглубокие, необводненные как талые, так и мерзлотные залежи полезного ископаемого послойно (рис. 111).

Экскаваторным способом производят разработку с более глубоким залеганием и талых россыпей.

Основными этапами освоения россыпных месторождений, требующими данных обеспечения маркшейдерской службой, являются: начальные изыскательские и геологоразведочные работы; горноподготовительные и строительные работы; разработка россыпи.

II.2.1. НАЧАЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Для выбора способа и определений условий разработки россыпи производят начальные комплексные изыскания, к ним относятся: гидрометрические работы, выявляющие водные ресурсы и изменение этих ресурсов в течение года; метеорологические работы, связанные с изучением климатических условий; инженерно-геологические работы, определяющие характер грунтов россыпи (гранулометрический и структурный состав, мерзлотность и др.). Все эти работы выполняются параллельно с разведкой россыпи.

В начальный период после предварительной и геофизической разведки и общей оценки россыпи в качественном и количественном отношении, производят детальную разведку и доразведку.

Детальная разведка проводится шурфами, скважинами, канавками с необходимой густотой по разведочным линиям. На основе материалов разведки выполняют всестороннюю оценку месторождения, выявляя содержание полезного ископаемого и его компонентов с учетом запасов полезного ископаемого при оконтуривании россыпи с промышленным содержанием. Оконтуривание полигона проводят как по площади, так и по мощности. При этом на разрезах и планах отражаются структурное и литологическое размещение торфов, песков и плотика.

II.2.2. МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

К горноподготовительным работам на гидравлических и других полигонах относятся: очистка от леса, вскрыша торфов, изыскание и строительство гидросооружений, вскрытие месторождений, оттайка мерзлоты и др.

Применение гидравлик требует выполнения наибольшего объема горноподготовительных работ, которые включают проведение маркшейдерско-геодезических изысканий и строительство многочисленных горнотехнических объектов: рытье различных канав (траншеи); сооружение дамб и плотин, напорных ларей (водосборников), сплотков, трубопроводов и др. При использовании гидравлик с естественным напором воды основными объектами являются (рис. 112): водоприемная (дерива-

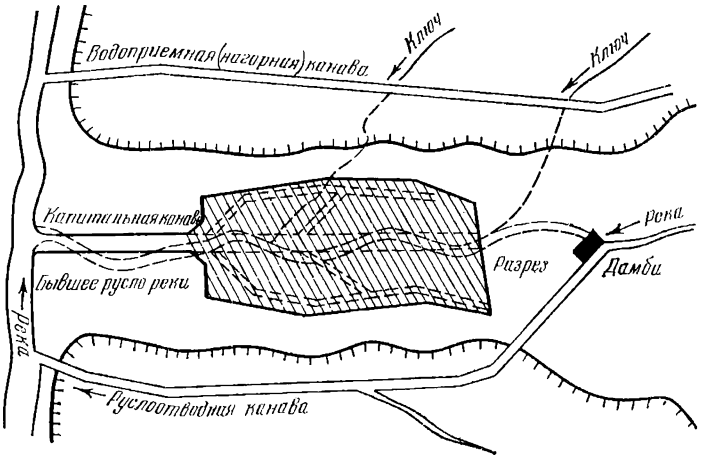


Рис. 112. Схема расположения канав

ционная) канава служит для снабжения водой гидромониторы и промывочные устройства; капитальная (дренажная) канава — для приема (стока) грунтовых и поверхностных вод и сброса их ниже участков добычных работ; проводимая по тальвигу, руслоотводная канава — для отвода речек от полигона (разреза) с целью снижения его обводненности; нагорная канава преграждает путь ручьям, родникам, поверхностным водам к полигону.

Маркшейдер, приступая к изысканиям, должен ознакомиться с отчетом геологоразведочных работ, изучить технический проект горных работ. Основой для предварительных изысканий служат топографические карты района в масштабе 1 : 25 000, план поверхности с изогипсами плотика в масштабе 1 : 2000, на которых указывают ориентировочное положение трасс объектов изысканий.

Изыскание основных объектов проводят в два этапа: предварительные (рекогносцировочные) и детальные.

При предварительных изысканиях на местности, используя барометр-анероид и простые угломерные приборы (эклиметр, бусоль с диоптрами и др.), рассматривают несколько вариантов и выбирают оптимальный из них (с минимальной длиной и с соответствующим уклоном), для которого производят детальные изыскания.

При изыскании деривационной канавы необходимо обеспечить уклон ее в открытом грунте в пределах от 0,0015 до 0,0025 и максимальный проектный напор воды, под которым она будет поступать к гидромониторам. Известно, что напор воды

в основном зависит от величины превышения Δz водосборника (ларя) над положением гидромонитора на плотике полигона:

$$\Delta z = z_{пр} - z_{пл}, \qquad (II.2.1)$$

где $z_{пр}$ — высота водосборника; $z_{пл}$ — высота плотика. Превышение Δz, полученное в результате нивелирования, должно соответствовать проектной величине Δh:

$$\Delta h = H_{max} + h_1, \qquad (II.2.2)$$

где H_{max} — максимальный напор для данной гидравлики; h_1 — потеря высоты (напора) по трассе.

Детальные изыскания включают: проложение теодолитного хода по оси со съемкой подробностей вдоль всей трассы канавы; нивелирование поперечников и оси трассы с разбивкой пикетов через 10—20 м; составление плана трассы в масштабе 1 : 2000 продольного и поперечных разрезов с нанесением верхних слоев горных пород.

При строительстве промывочного прибора маркшейдер проверяет: соответствие проекту расположения основных его узлов; бункера, шлюзов, эстакад и др.; горизонтальность верхних площадок и основных узлов прибора; соблюдение проектных размеров котлована под бункер, зумпфа, траншеи под эстакаду; превышение площадки, головки и шлюзов прибора относительно поверхности песков и горизонта плотика; уклоны скруббера, эстакады и шлюзов. Превышения определяются геометрическим нивелированием.

При сдаче сооружения в эксплуатацию маркшейдер должен представить следующие документы: схему маркшейдерской основы с каталогом координат пунктов; план полигона или разреза в масштабе 1 : 1000 или 1 : 2000, пополненного разведочными выработками, контурами месторождения и границами выработок; гипсометрический план плотика в границах гидравлического разреза, а при необходимости и полигона; план расположения всех трасс и сооружений (в масштабе обзорного плана россыпи с описанием канав и дамб за пределами месторождения); поперечные профили трасс канав по линиям разведки; разрез по тальвегу россыпи; продольные профили основных канав; все прочие материалы маркшейдерских изысканий; акты о сдаче всех объектов изыскания и сооружений в эксплуатацию.

Задачами, которые необходимо решить маркшейдерской службе при вскрытии россыпи, являются: пополнение пунктов съемочного обоснования и перенесение в натуру проектного контура полигона или разреза; выполнение съемок выработок и пополнение планов вследствие изменения ситуации и рельефа; определение объемов вскрытых торфов на гидравлических раз-

резах; определение средних расстояний транспортирования торфов за контур полигона.

При гидравлической разработке россыпи (рис. 113) в зависимости от способа вскрытия меняются и задачи маркшейдера. При вскрытии канавой, по которой осуществляется подход к плотику россыпи и подача размытых пород к промывочному прибору, маркшейдер на основании результата геометрического нивелирования и графического материала определяет возмож-

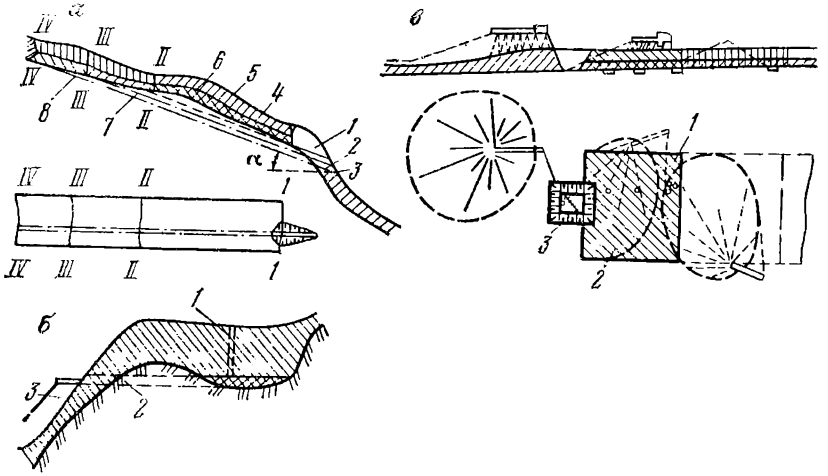


Рис. 113. Схема вскрытия россыпи при гидравлической добыче:

а — канавой: *1, 2, 3* — первая, вторая и третья канавы; *4* — запасы, вскрытые первой канавой; *5* — запасы, вскрытые второй канавой; *6* — запасы, вскрытые третьей канавой; *7, 8* — углубка канавы для вскрытия участков соответственно I—III и III—IV; *б* — котлованом: *1* — граница вскрытых запасов; *2* — вскрытые запасы; *3* — котлован; *в* — штольней; *1* — восстающая штольня; *2* — штольня; *3* — промышленный прибор и отвал

ность создания уклона канавы α, достаточного для транспортирования разжиженных песков, содержащих гальку различной крупности самотеком. При вскрытии котлованом маркшейдер на основании натурных измерений и графического материала намечает место заложения котлована, в месте минимальной высоты плотика. При переносе контура котлована на местность размер его определяется габаритами гидромониторов, землесосов, параметрами «приямка» для сбора разжиженных песков и площадки для сбора валунов. Ширина котлована может быть определена по формулам:

$$A = a_1 + 2a_2; \qquad \text{(II.2.3)}$$

$$A_1 = A + 2h \operatorname{ctg} \gamma, \qquad \text{(II.2.4)}$$

где A — ширина котлована на уровне рабочего горизонта, м; A_1 — ширина котлована на поверхности, м; a_1 — габариты ос-

новного оборудования, м; a_2 — величина безопасного расстояния оборудования от стенки котлована, м; h — глубина котлована, м; γ — угол откоса бортов котлована, угл. градус.

При проходке котлована маркшейдер контролирует объем вынутой породы. При вскрытии штольней, проводимой для выдачи размытых пород на поверхность к промывочному прибору, маркшейдер намечает место закладки штольни и задает направление ей в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При проходке контролирует ее направление, а особенно соблюдение проектного уклона штольни.

Бульдозерно-скреперную послойную вскрышу торфов производят обычно на мерзлых россыпях по мере оттайки торфов и песков за счет солнечной радиации на значительных площадях.

Проектный контур полигона переносят на местность относительно пунктов маркшейдерской основы и разведочных выработок. Элементы выноса определяются графически на планах в масштабе 1 : 1000 или 1 : 2000.

В процессе вскрыши торфов маркшейдер определяет по результатам съемок объем вскрытых пород за каждый отчетный период. При послойной вскрыше торфов съемку выполняют по пикетам эксплуатационной сетки.

Экскаваторами вскрывают торфы на участках полигона большой мощности. Маркшейдер отмечает на полигоне границы работ и одновременно задает направления перемещений экскаваторов. На участках полигонов с большой мощностью торфов выполняют тахеометрическую съемку, а объем вскрыши определяют способом вертикальных параллельных сечений. При мощности вскрываемых торфов менее 1,5 м съемку ведут по эксплуатационной сетке, а объем определяют способом среднего арифметического.

При вскрыше торфов на широких полигонах возникает необходимость перевалки или переэкскавации торфов через весь вскрываемый участок в конечные законтурные отвалы. Нередко возникает необходимость перевалки (переэкскавации) торфов из отвалов прошлых лет, оказавшихся на площадях с промышленными запасами.

Объем переэкскавации может быть определен следующим способом. На схеме вскрыши определяют общую площадь сечений вскрываемого пространства полигона $S_ц$ и площадь сечения части отвала, не подлежащей перемещению S_0. Коэффициент переэкскавации определяют из отношения

$$K_{пэ} = \frac{S_ц - S_0}{0{,}01 S_ц}. \qquad (II.2.5)$$

Объем переэкскавации за месяц получают как произведение фактического объема вскрыши (соответствующего объему

выработанного пространства) на коэффициент переэкскавации

$$V_{пэ} = V_в K_{пэ}. \qquad (II.2.6)$$

II.2.3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ В ПЕРИОД РАЗРАБОТКИ РОССЫПИ

Маркшейдерское обеспечение процесса разработки песков или горной массы (при гидравлической разработке россыпи) заключается в выполнении следующих видов работ: текущее планирование горных работ; перенос элементов технического проекта и системы разработки на местность; производство пополнительных съемок полигонов и разрезов; подсчет объемов добытой горной массы или песков; контроль и учет потерь и разубоживания песков и движения промышленных запасов; пополнение маркшейдерских планов и графиков и отраслевых таблиц учета добычи, потерь, разубоживания и движения промышленных запасов; решение специальных задач.

Маркшейдер принимает непосредственное участие в составлении календарного годового плана горных работ с поквартальной и месячной разбивкой плана добычи горной массы или песков и полезного компонента. За основу принимается проект горных работ, данные о геологическом строении россыпи и содержания полезного компонента в различных ее участках, а также производительность добычных средств.

Для подсчета календарного и месячного плана добычи полезного компонента и объема песков или горной массы используют проектное число добычных средств и их производительность, определяют плановый объем песков или горной массы и количество полезного компонента. Маркшейдер совместно с геологом выбирает участки полигона или разреза, с таким расчетом, чтобы обеспечить выполнение квартального и месячного плана добычи горной массы или песков и полезного компонента (при этом должна соблюдаться сплошность отработки). Полученные значения площадей квартальных и месячных участков полигона наносят на маркшейдерские планы масштабов 1 : 1000 и 1 : 2000. Объемы подсчитывают с учетом эксплуатационных коэффициентов на намыв полезного компонента, мощности песков, горной массы и объемов добычи.

При переносе элементов технического проекта и системы разработок в натуру характер работ и их объем зависят от сложности систем разработок и горнотехнических условий. На полигонах со скреперно-бульдозерной и экскаваторной разработкой песков маркшейдер выносит, закрепляет на местности и систематически контролирует контуры полигона, направления движения добычных землеройных машин, очередность погаше-

ния запасов (снизу вверх по россыпи и от контуров полигона к загрузочному бункеру промприбора). При гидравлической разработке в разрезе, при системе с попутными забоями маркшейдер, кроме «постановки» линий забоев (диагональной, перпендикулярной), задает также направления канавам. При постановке линии забоя в боковых системах (продольных и поперечных) объем работ увеличивается вследствие сложности контуров линии забоя и почвенной канавы, каждая из которых должна обеспечивать эффективную транспортировку размытой горной массы к промприборам.

Пополнительная съемка горных выработок производится ежемесячно (подекадно) с целью пополнения планов масштабов 1 : 2000, 1 : 1000 и определения объемов извлеченной горной массы, а также для маркшейдерского контроля за полнотой отработки полезного ископаемого и исполнением проекта. Предельная погрешность определения объемов вынутых на полигоне за месяц торфов или песков не должна превышать 6 %.

В зависимости от разработки, размеров и форм выработанного за месяц пространства горных выработок применяются следующие способы: нивелирование площади по пикетам прямоугольной сетки с повторным нивелированием; тахеометрическая съемка; наземная стереофотограмметрическая съемка и способ профильных линий. Наиболее часто при определении объемов применяют первый и последний способы, а при съемке контуров и других объектов — способ эксплуатационной сетки и тахеометрическую съемку.

Основными объектами маркшейдерских съемок являются верхняя и нижняя бровки забоя и бортовых откосов, отвалы вскрышных пород, рельеф поверхности песков и плотика, канавы, сооружения, места взятия проб, структура пород, контуры балансовых и забалансовых запасов, зоны многолетней мерзлоты и таликов и др.

Съемка полигонов на россыпях, разрабатываемых послойно, со среднемесячной углубкой не более 1,5 м выполняется полярным способом по контурным элементам и нивелированием площадей по пикетам эксплуатационной сетки. Последняя проектируется и разбивается на полигоне или мелком гидравлическом разрезе так же, как и на рудном карьере. При этом для правильного выбора густоты сетки полигоны по степени изменчивости мощности вынимаемого слоя условно разделяются на две группы. Показателем K изменчивости мощности h вынимаемого слоя считают среднюю погрешность аналогии этой мощности для ячеек сетки 10×10 м или среднее отклонение измеренной мощности для такой же ячейки от средних значений, определенных по более густой сетке. Оптимальные размеры квадратов сетки для нивелирования рекомендуется определять по таблице, приведенной в приложении 11 Инструкции

по производству маркшейдерских работ. Для нивелирования площади погрешность взаимного положения двух смежных исходных пунктов (в м) или реперов не должна превышать значения $20\sqrt{L}$ (L — длина нивелирного хода, км).

Величину K, равную $h\sqrt{S}$, вычисляют предварительно по проектным данным, по формуле $K = \frac{V}{\sqrt{S}}$, где S — площадь разработки, м²; V — объем вскрыши за месяц, м³; h — средняя мощность вынимаемого слоя, м.

Средняя погрешность определения мощности по одному квадрату сетки со сторонами 10 м составляет величину для полигонов со слабой изменчивостью около $m_{h_a} \approx 0{,}1$ м, для полигонов с сильной изменчивостью $m_{h_a} \approx 0{,}3$ м. Величина погрешностей аналогии мощности m_{h_a} определяется опытным путем.

Поверхность полигона нивелируют по пикетам перед началом горных работ и в конце отчетного периода. Вычисленные высоты пикетов выписывают на план возле точек, соответствующих положению пикетов сетки на местности.

Для ускорения разбивки сетки часть ее вершин закрепляют на бортах полигона или разреза вехами, в виде створов, а разбивку пикетных колышков производят по мерному шнуру (рис. 114). Каждый пикетный колышек на плане подписывают дробью, числитель которой — номер створа, а знаменатель — номер колышка.

Весьма эффективно применение рейки переменной длины, позволяющей определить непосредственно по ее шкале высоты пикетов сетки при нивелировании площадей. Метод основан на согласованности цифровой системы рейки с изменениями рельефа местности, т. е. чем ниже точка местности, тем меньше значение отсчета по рейке (рис. 115). В этом способе высота пикета вычисляется по формуле $H_2 = H_1 - a + b$, где a и b — отсчеты по рейке на исходном репере и, соответственно, на пикете, а H_1 — отметка исходного репера. Перед нивелированием площади по пикетам рейку переменной длины любой конструкции «настраивают» по пикетам на исходном репере так, чтобы отсчет по шкале совпал с четырьмя послед-

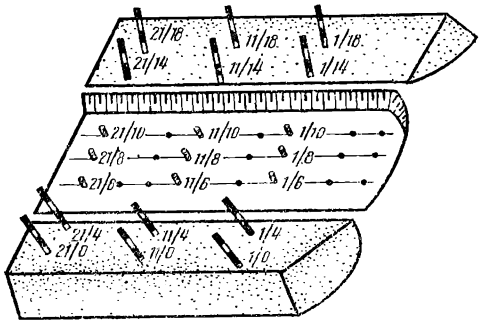


Рис. 114. Схема нивелирования поверхности полигона по шнуру

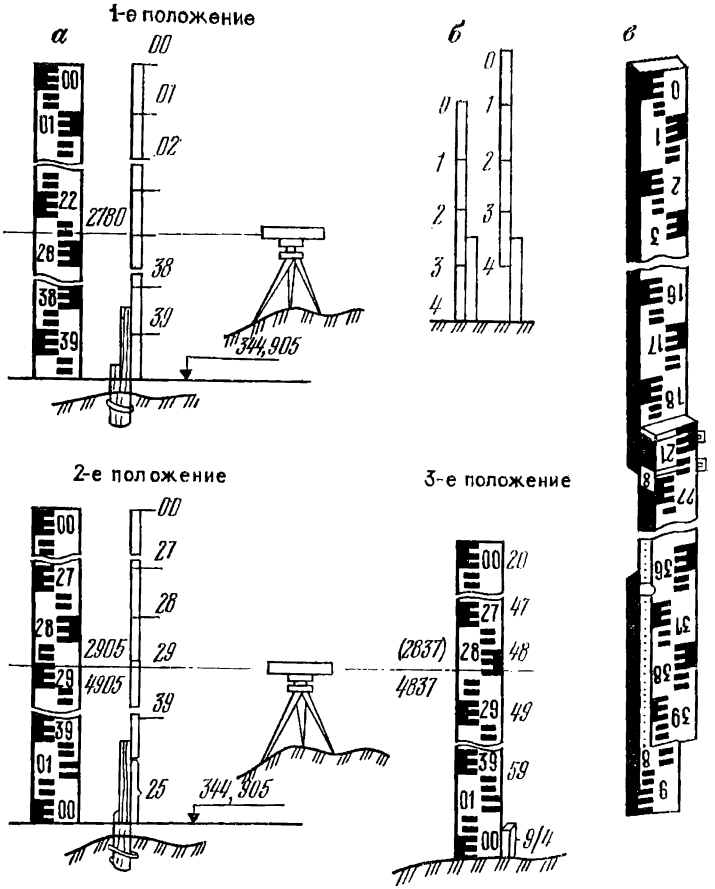


Рис. 115. **Нивелирование с рейкой переменной длины:**
а — схема настройки рейки переменной длины на высоту репера и определения высоты поверхности полигона; *б* — вид сбоку рейки с приставкой; *в* — рейка РНО (ВНИМИ)

ними цифрами значения высоты этого репера. При настройке рейку устанавливают на репер нулем вверх. Берут отсчет. Вычисляют разность между отметкой репера и отсчетом по рейке. На величину этой разности передвигают по рейке приставку. Числа метров на шкале рейки должны соответствовать значениям целых метров высот репера и пикетов. Например, отсчет по рейке на репере 2780, отметка репера 344, 905 (1-е положение); разность отметки и отсчета равна 344, 905—2,780=342,125 м. Передвигаем приставку по рейке на 125 мм. Вновь ставим рейку нулем вверх и берем отсчет, он должен быть равен 342, 905 (2-е положение). На цифре 2 на рейке

укрепляем табличку с цифрой 4 (на вышенаходящиеся метровые деления рейки соответственно табличке «3» вместо «1» и т. д.). При переносе рейки на пикеты отсчеты по ним будут равны высотам пикетов (3-е положение). При переходе на другую станцию рейку необходимо вновь настраивать на высотную отметку переходной точки.

II.2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ИЗВЛЕЧЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

В зависимости от метода и глубины разработки месторождения, способа съемки и конфигурации границ выработанного пространства применяют следующие методы определения объемов извлеченной горной массы: метод среднего арифметического, методы горизонтальных и вертикальных сечений и объемной палешки и др.

При съемке по сетке объем добычи подсчитывают методом среднего арифметического по формулам:

$$V = S_{ср} h_{ср}; \tag{II.2.7}$$

$$h_{ср} = \frac{\Sigma h_i}{n}; \tag{II.2.8}$$

$$H_i = H_н - H_к, \tag{II.2.9}$$

где $S_{ср}$ — площадь выработки в ее среднем горизнтальном сечении, м^2; $h_{ср}$ — средняя мощность извлеченного слоя, м; h_i — выемочная мощность за месяц на пикете; n — число измерений; $H_н$ и $H_к$ — высоты пикета на начало и конец отчетного периода.

Часто среднюю мощность определяют как разность средних высот по полигону на начало и конец периода измерений $H_{н_{ср}}$ и $H_{к_{ср}}$:

$$h_{ср} = \frac{\Sigma H_н}{n} - \frac{\Sigma H_к}{n}. \tag{II.2.10}$$

При точной съемке контуров полигона в масштабе 1 : 5000 и нивелировании по квадратной сетке со стороной 10 м объем горной массы можно вычислить по формуле

$$V = \Sigma h s, \tag{II.2.11}$$

где Σh — сумма значений мощности слоя извлеченных пород за месяц на всех пикетах квадратной сетки, расположенных внутри контура полигона; s — площадь, тяготеющая к скважине.

В данном случае площадь выработанного пространства на плане не определяют. Сумма значений мощности, выраженная в сантиметрах, равна величине объема в кубических метрах.

Объем экскаваторной выработки на полигоне определяют в зависимости от вида съемки и формы выработанного пространства обычно одним из двух способов: способом среднего арифметического (по аналогии с бульдозерными разработками) или вертикальных параллельных сечений.

При послойных способах выемки торфов и песков в конце каждого промывочного сезона по результатам съемки производят контрольный подсчет объема горной массы, вынутой за сезон. Разность между результатом контрольного подсчета и отчетными данными не должна превышать

$$V_к - V_{отч} \leqslant \frac{0{,}06V_к}{n}, \qquad (II.2.12)$$

где $V_к$ — объем торфа (песков), вынутых за промывочный сезон, м³; $V_{отч}$ — то же по данным отчета, м³; n — число месяцев в промывочном сезоне.

II.2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ РАССТОЯНИЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ БУЛЬДОЗЕРАМИ И СКРЕПЕРАМИ

Для планирования объемов вскрыши и добычи, установления норм выработки и определения заработной платы машинистам землеройных машин маркшейдер определяет расстояния транспортирования горной массы.

Среднее расстояние транспортировки торфов в отвал бульдозерами и тракторными колесными скреперами определяют как сумму средних расстояний в пределах полигона и торфяного отвала. Среднее расстояние транспортировки в пределах полигона определяют на плане подсчета объемов с применением прозрачной палетки (рис. 116). Если вскрышу торфов производят с разносом бортов на всем их протяжении, то применяют палетку с сеткой квадратов размера 20×20 м в масштабе плана. Палетку накладывают на план так, чтобы одно из направлений сетки совпало с границей полигона, примыкающей к отвалу. На палетке указывают цифровое или буквенное обозначение ее рядов. Среднее расстояние транспортировки вычисляют по формуле

$$d_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i \Sigma h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}, \qquad (II.2.13)$$

где d_i — расстояние от середины ряда с номером i до контура отвала, м; Σh_i — сумма мощностей вынутого слоя для ряда палетки с номером i, м; n — число рядов палетки.

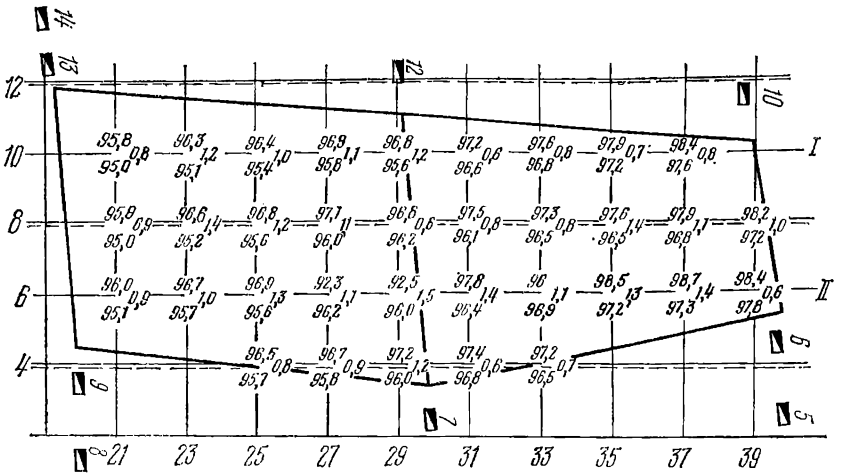


Рис. 116. План подсчета объема добытой горной массы

Если торфы размещаются на обоих противоположных бортах полигона, то его делят на плане пополам и расстояние транспортирования определяют отдельно для каждой его половины.

Среднее расстояние транспортирования в пределах отвала определяют по его характерным вертикальным сечениям, составленным в результате съемки.

При укладке торфов в отвал наклонными слоями в начальный период центр разгрузки O_1 находят из условия $AO_1 = 2/3\,AB$ (рис. 117, *а*). Впоследствии центр разгрузки O_2 определяют из условия равенства площадей BO_2FC и O_2DEF. Затем на профиле измеряют расстояние $d_1(d_2)$ — расстояние от точки $O_1(O_2)$ до контура полигона.

При укладке торфов в отвал горизонтальными слоями центры O_1 и O_2 разгрузки торфов определяют как центры тяжести фигур $ABCD$ и $BEFC$ (рис. 117, *б*) — вертикальных сечений слоев отвала, отсыпанных за отчетный период. Среднее расстояние транспортировки торфов в отвал определяется как средневзвешенное из всех расстояний, определенных для отдельных фигур сечений:

$$d_{2_{\text{ср}}} = \frac{\Sigma d_{i2} S_i}{\Sigma d_{i2}}. \qquad \text{(II.2.14)}$$

В качестве весовых величин принимают площади профильных сечений.

Если полигон вскрывают с помощью выездных траншей, то для определения среднего расстояния транспортирования в пре-

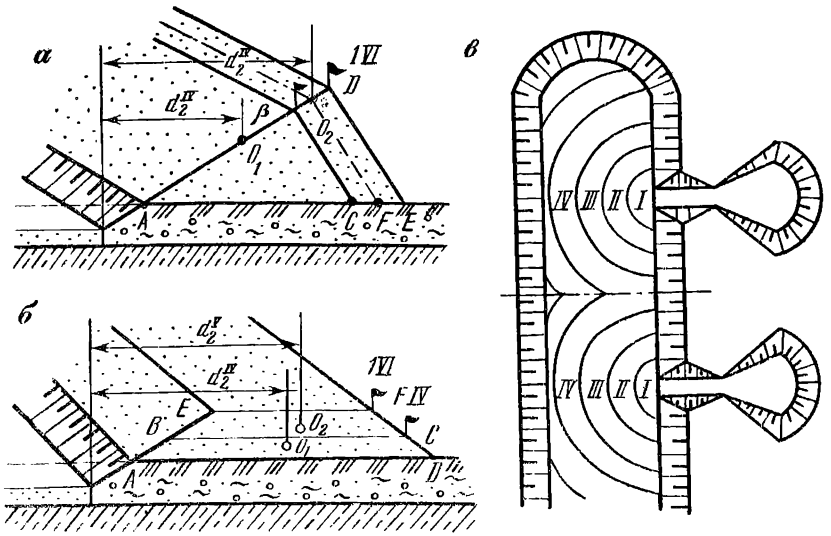


Рис. 117. Схема определения среднего расстояния транспортировки торфов: *а* — при укладке торфов наклонными слоями; *б* — при укладке торфов в отвалы горизонтальными слоями; *в* — с помощью круговой палетки при вскрыше выездными траншеями

делах полигона используют круговую палетку (рис. 117, *в*), в виде концентрических колец I, II, III, IV с шириной (по радиусам) 20 м в масштабе плана. Центр палетки совмещают на плане с началом выездной траншеи. В пределах каждого кольца палетки вычисляют сумму углубок и измеряют расстояние от его середины до центра палетки. В этом случае среднее расстояние транспортирования торфов в пределах полигона вычисляют по формуле (II.2.13).

Во всех случаях общее среднее расстояние транспортировки торфов в пределах полигона и отвала определяют по формуле

$$d_{\text{общ}} = d_{1\,\text{ср}} + d_{2\,\text{ср}}. \qquad \text{(II.2.15)}$$

В общее значение среднего расстояния транспортирования вводят поправку за подъем или уклон бульдозерного пути более 3°. На каждый метр подъема горизонтальное расстояние увеличивают на 4 м, а на каждый метр спуска — уменьшают на 3 м. Общая высота подъема или спуска определяется разностью средних высот центра разгрузки и поверхности полигона у подножия отвала.

При транспортировании песков пути движения бульдозера сходятся к бункеру промывочного прибора. Поэтому в этом случае применяют круговую палетку. Ее центр совмещают на

плане с местом разгрузки — центром бункера прибора на плане. Среднее расстояние транспортирования определяют только в пределах полигона уже известным способом.

II.3. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДВОДНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

II.3.1. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДРАГАМИ

Под подводной разработкой месторождения понимают добычу полезных ископаемых, расположенных в донных отложениях водоемов (водохранилищ, запруд, рек, озер, морей и океанов) с помощью мощных добычных плавучих сооружений: драг (чер-

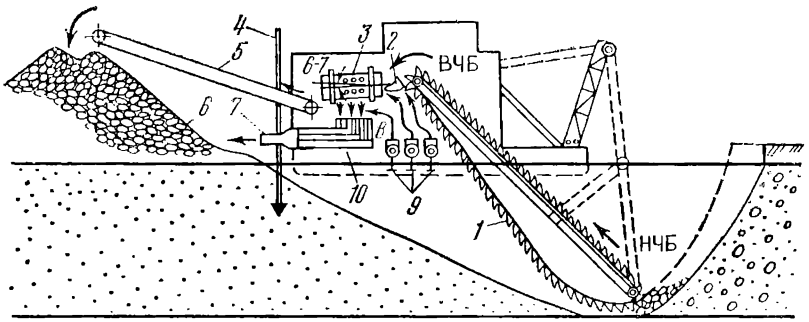


Рис. 118. Конструктивная схема драги:

1 — черпаковая рама с цепью ковшей; *2* — завалочный люк; *3* — дражная бочка; *4* — свая; *5* — отвалообразователь (стакер); *6* — галечный отвал; *7* — эфельные колоды; *8* — шлюзы; *9* — насосы завалочного люка, бочки, шлюзов; *10* — понтон; *11* — эфельный отвал; ВЧБ, НЧБ — соответственно верхний и нижний черпаковые барабаны

паковых), земснарядов (землесосных, гидроэлеваторных, эрлифтовых). При разработке континентальных россыпей, как правило, применяют драги. Драга (рис. 118) — плавучее сооружение с комплексом агрегатов, осуществляющих в определенной последовательности добычу (черпанье) полезного ископаемого, отделение его концентрата от пустой породы (обогащение) и удаление пустой породы в галечные и эфельные отвалы.

В СССР в настоящее время используются в основном несколько типов драг — с емкостью черпаков 150, 210, 250, 380, 600 м^3 и глубиной черпанья соответственно 9, 11, 12, 30, 50 м передвижением вперед (подшагивание) с помощью свай (свайные драги) или канатов (канатные драги). Полная механизация всех процессов обусловливает высокую производительность

и экономичность дражного способа добычи. Учитывая, что стоимость современной драги высока, для рентабельного ее использования в данных условиях, необходимо весьма тщательно проводить разведку и инженерно-технические изыскания (см. раздел II.2.1). На основе этих работ маркшейдером составляется комплект планово-графической документации, детально характеризующей пространственное размещение полезного ископаемого в качественном и структурном отношении, наличие водных ресурсов, рельеф плотика и др.

На основе этих материалов производится оконтуривание участка россыпи дражного полигона (рис. 119), которое имеет

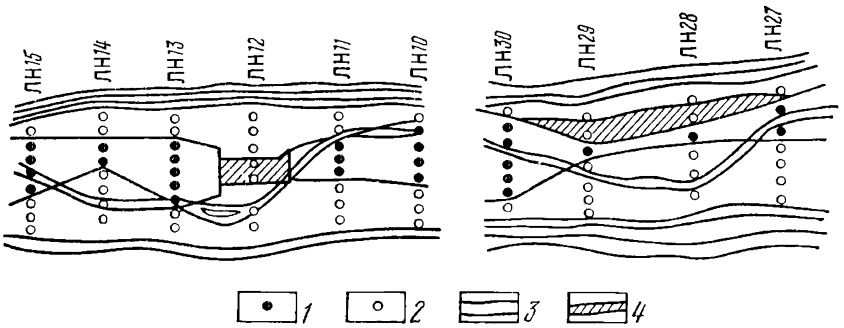


Рис. 119. Схема оконтуривания дражного полигона с прирезкой:
1 и *2* — выработки соответственно с промышленным и непромышленным содержанием; *3* — контур полигона; *4* — прирезка непромышленной части

свою специфику. По условиям работы драги дражный полигон должен быть непрерывным и иметь необходимую ширину. В противном случае в контур полигона следует включать непромышленные участки (пустой породы), что может настолько снизить (разубожить) среднее содержание металла, что эксплуатация россыпи драгой станет экономически невыгодной. Такое же влияние может оказать резкое изменение рельефа плотика, когда глубина черпания драги становится меньше минимальной (повышение плотика), и драга не может продвигаться вперед без подъема уровня воды в разрезе (котлование) или более максимальной (западение плотика), и тогда неизбежны большие потери металла.

При дражных разработках маркшейдер принимает участие в освоении россыпи при разведочно-изыскательских, горноподготовительных, строительно-монтажных и эксплуатационных работах.

Маркшейдерское обеспечение горноподготовительных работ. К горноподготовительным работам относятся: очистка поверх-

ности россыпи от леса, кустарника, пней; сооружение плотин, искусственных водоемов, канав, дамб для водоснабжения дражных работ и др.; предварительная вскрыша торфов; оттайка многолетней мерзлоты в контурах дражного полигона и предохранение талых торфов и песков в тех же контурах от глубокого промерзания; прочие вспомогательные работы для создания нормальных условий по ведению эксплуатационных работ. Все работы по освоению россыпи, в том числе и горноподготовительные, выполняются в соответствии с планово-проектной документацией (генпроект), которой руководствуется маркшейдерская служба.

Маркшейдерская служба в этот период выполняет следующие основные работы: развитие сети пунктов съемочного обоснования на площади дражного полигона; изыскательские работы, связанные с обводнением россыпи; перенос с проекта в натуру всех вскрышных выработок, сооружений водоснабжения и определение границы подтопа; составление маркшейдерского плана дражного полигона (в масштабах 1 : 1000 или 1 : 2000) и пополнение его в процессе выполнения подготовительных работ всеми изменениями ситуации и рельефа.

Сети съемочного обоснования создаются так же, как на карьерах и при разработке россыпей скреперно-бульдозерным и экскаваторным способами. Часто для выполнения съемочных (замерных) работ разбивается эксплуатационная сетка.

Маркшейдерское обеспечение предварительной вскрыши торфов и очистки поверхности полигона от леса, пней, кустарника и валунов производится на талых россыпях один раз в год, а на мерзлых — от одного года до пяти лет до драгирования данного участка полигона.

К основным способам оттаивания мерзлых пород относятся: естественное — солнечной радиацией с послойным удалением оттаянных пород; фильтрационно-дренажное (гидрооттаивание) — обводнение поверхности мерзлоты и фильтрация водного потока через массив в дренажные канавы; гидроигловое — оттаивание напорной водой (естественной, подогретой) паром через иглы в скважинах. При оттаивании мерзлоты выполняются следующие маркшейдерские работы: съемка рельефа полигона до и после оттайки; выноска и съемка шурфов и скважин, по которым установлены граница и мощность оттайки; подготовка основы для проекта гидротехнических сооружений и выработок (канав, отстойников, дренажных колодцев, скважин и т. п.); вынесение в натуру элементов технического проекта оттайки, контроль за соблюдением границ, глубины оттаянного грунта и системы фильтрационно-дренажных сооружений, канав, колодцев и др.; подсчет объема оттаянного грунта и осадки поверхности оттаянного участка полигона за счет растаявшего льда и испарившейся воды; ведение горной графиче-

ской и отчетной маркшейдерской документации по качественным и количественным результатам оттаивания пород, подлежащих в последующем разработке драгой.

Проект оттаивания мерзлых пород на дражном полигоне разрабатывается производственно-техническими службами пред-

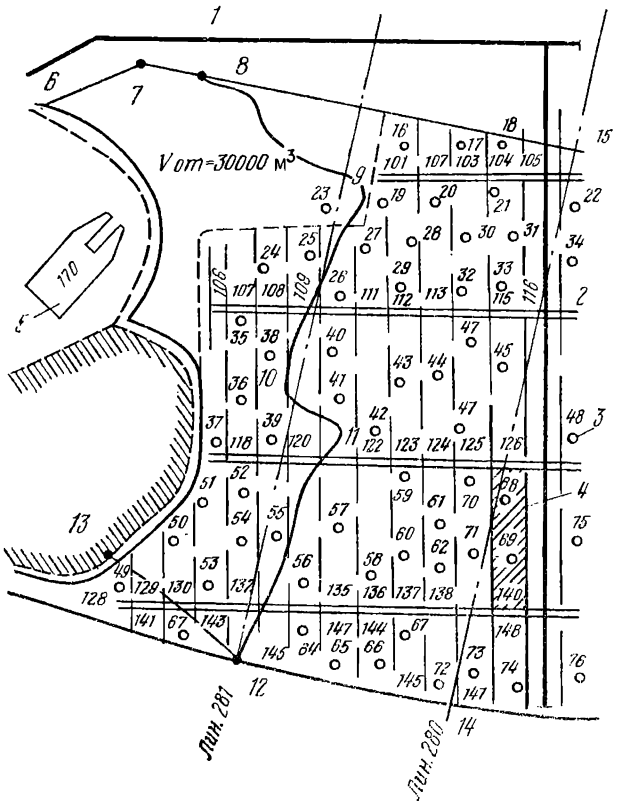


Рис. 120. Участок дражного полигона нгловой гидрооттайки мерзлоты:
1 — магистральный водопровод диаметром 400 мм; *2* — коллекторы водопровода; *3* — контрольные буровые скважины; *4* — блоки оттаянной мерзлоты между смежными коллекторами; *5* — драга; *6* — контурные точки границ участков, оттаянных паром (паровыми пойнатами или иглами); *12—13—14* и *6—7—8—15* — промышленный контур россыпи

приятия с участием гидрогеолога или мерзлотоведа. Графическим документом проекта является выкопировка с маркшейдерского плана данного участка россыпи в масштабе 1 : 1000 (рис. 120), на которой нанесены контур полигона, граница мерзлоты, контуры участков, подлежащих оттайке, с выделением участков для различных способов оттаивания, схема водоводов и канав, местоположение контрольных шурфов и скважин,

с экспликацией о глубине оттаивания, скважины буровые для закачивания в мерзлые породы воды или пара (при весенней оттайке зимнего сезонного промерзания глубиной от 1 до 3 м, называемые пойнтами или иглами), колодцы и очередность подготовки участков оттайкой.

Для контроля границ оттаянного участка на плане указывают контрольные скважины, пройденные по периметру участка. Если они подтверждают отсутствие мерзлоты, то границу талого участка наносят на плане по внешней стороне (от пограничных игл) в зависимости от радиуса их влияния. Средняя мощность оттайки определяется как среднее арифметическое из промеров глубин оттайки в контрольных скважинах или шурфах. Маркшейдер нивелирует поверхность полигона до и после оттайки и перед его разработкой. Составляется акт на подготовку участка полигона оттаиванием, к нему прилагается выкопировка из маркшейдерского плана. Подготовленные участки наносят на планы дражных работ.

Маркшейдерские работы при строительстве и монтаже драги. Строительство (сборка) и монтаж драги производится на основе проектно-технической документации, которой устанавливается порядок и технология строительства и монтажа, а также нормы точности производства работ. Маркшейдерское обеспечение строительства и монтажа драги включает следующие виды работ.

1. Создание маркшейдерской основы на строительно-монтажной площадке (промплощадке). При этом создаются планы в крупном масштабе от 1 : 200 до 1 : 1000 (рис. 121), на которые будут нанесены строительные объекты по исполнительной съемке.

2. Разбивка осей монтажного уступа и котлована и их контуров. Контроль за проходкой уступа и котлована в соответствии с проектными размерами глубины и углов откосов. Определение объемов горной массы, полученной при проходке котлованов.

3. Разбивка (вынос проекта в натуру) на промплощадке вспомогательных сооружений (мастерских, складов, служебных и жилых зданий, портальных и других кранов, подъездных путей, поверхностных и подземных коммуникаций и др.). Все разбивки при выносе стройобъектов в натуру производятся с пунктов маркшейдерской основы, удобным способом (засечками, полярным).

4. Закрепление на бортах котлована и уступах основных осей постоянными центрами и специальными знаками (обносками), удобными для контроля за сооружением стапелей и монтажом драги (рис. 122).

5. Разбивка стапелей и контроль за их сооружением (деревянных или бетонных) на дне котлована высотой 1—1,5 м, на

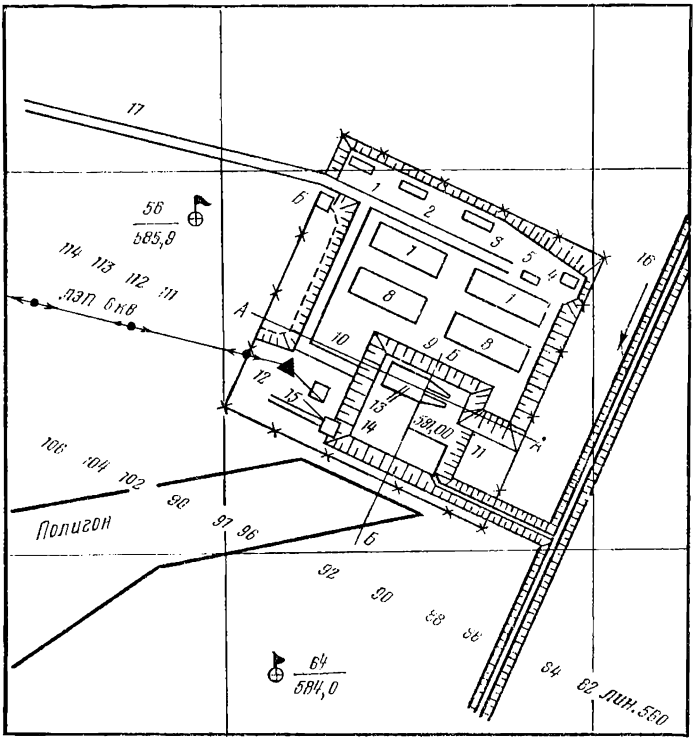


Рис. 121. Строительная площадка драги:

А—А — диаметральная (продольная) плоскость драги; *Б—Б* — поперечная плоскость драги; *1—8* — подсобная площадка, узлы и детали драги; *9—12* — монтажные площадки; *12* — трансформаторная подстанция; *13* — драга; *14* — дражный котлован; *15* — насосная установка; *16* — водозавод; *17* — подъездная дорога

которых будет монтироваться драга. При этом поверхность стапелей должна быть строго горизонтальной, что контролируется геометрическим нивелированием.

6. Контроль за посекционным монтажом (сваркой) понтона драги на стапелях. В этом случае систематическое наблюдение за горизонтальностью днища и палубы понтона и за осадкой элементов стапелей производится с помощью нивелира и гидростатического высотомера НТШ-1 (водяного нивелира) при установке их на специально отмеченных точках. Осадка ликвидируется при помощи домкратов.

7. Разбивка субструктур (каркаса) драги и контроль за его местоположением на понтоне относительно основных осей, накернованных на палубе понтона, вдоль которых натягивается укрепленная на осевых знаках (обносках) проволока (тросик) с перемещающимися отвесами.

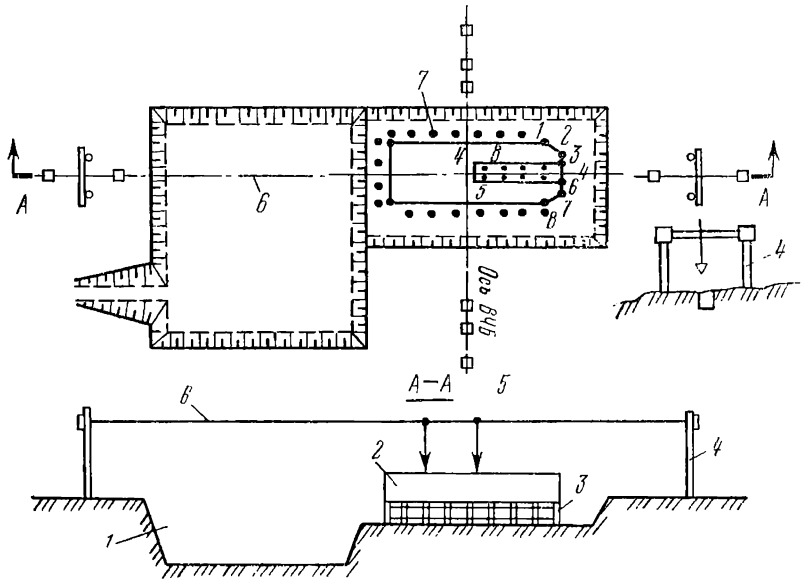


Рис. 122. Схема разбивки и закрепления основных осей при монтаже драги: *1* — котлованы; *2* — понтон; *3* — стапель; *4* — обноски; *5* — подвижный отвес; *6* — продольная ось (трос); *7—10* — точки (реперы) с проектными отметками стапеля и понтона

8. Разбивка и контроль монтажа механизмов (главного привода), обогатительно-промывочных агрегатов, черпаковой рамы производится на плаву понтона, что вызывает необходимость учета крена и дифферента драги.

Вынос в натуру осей главного привода и ВЧБ относительно продольной и поперечной осей драги на горизонтальную площадку, поднятую до проектного горизонта (см. рис. 118) производится с помощью отвесов и теодолита.

Наклон дражной бочки определяется геометрическим нивелированием двух крайних точек, нанесенных на определенном расстоянии, на проекции ее оси. Значение угла наклона бочки предусматривается проектом и находится в пределах 6—8°. Аналогичным способом определяют наклон промывочных шлюзов.

Прямолинейность черпаковой рамы и главного стакера проверяют на береговых стапелях теодолитом и нивелиром с замерами миллиметровой линейкой относительно оси. При навешивании рамы маркшейдер контролирует параллельность осей НЧБ и ВЧБ и их перпендикулярность продольной оси рамы, которая должна с высокой точностью совпадать с центральной осью драги. Для обеспечения нормальной работы (плавучесть)

драги и во избежание крена и дифферента, монтажные грузы на палубе понтона следует располагать симметрично и строго в соответствии с проектом; маркшейдерский контроль монтажа должен выполняться систематическим и тщательным. Разбивочные и контрольно-измерительные съемки при монтаже драги выполняют так, чтобы ошибка измерений не превышала половину допустимых отклонений основных осей, деталей и узлов относительно проектных положений, установленных в технических условиях на сборку драги. Крен и дифферент драги не должны превышать 2°. Контрольную проверку крена и дифферента понтона проводят при максимальной проектной нагрузке; величины их определяют при двух положениях свай — при левой опущенной и правой поднятой и наоборот. Углы крена i и дифферента δ определяют по результатам геометрического нивелирования четырех точек углов палубы, расстояния между которыми вычисляют по формулам:

$$\sin i = 1/2\left(\frac{\Delta H_1}{S_л} + \frac{\Delta H_2}{S_п}\right); \qquad \text{(II.3.1)}$$

$$\sin \delta = 1/2\left(\frac{\Delta H_3}{S_к} + \frac{\Delta H_4}{S_н}\right), \qquad \text{(II.3.2)}$$

где $H_1 = H_{лк} - H_{лн}$; $H_2 = H_{пк} - H_п$; $H_3 = H_{лк} - H_{пк}$; $H_4 = H_{лн} - H_{пн}$; $H_{пк}$, $H_{пн}$, $H_{лн}$ — высоты конечной и начальной точек, отмеченных на левом и правом бортах; $S_л$, $S_п$ — расстояния между точками вдоль левого и правого бортов драги; $S_К$, $S_Н$ — расстояния между кормовыми и носовыми точками поперек драги.

Вывод смонтированной драги на проектный полигон после монтажа сложен тем, что, начиная с первого забоя, производится планомерная углубка дражного разреза для того, чтобы последний забой перед проектным контуром находился на проектной глубине. Высота эфельного отвала систематически увеличивается. При подэфеливании понтона драга садится на мель кормой, прекращается ее маневрирование. Для обеспечения правильного вывода драги на проектную глубину необходим маркшейдерский контроль отработки каждого забоя.

На участок россыпи составляют специальный план в масштабе 1 : 1000 или 1 : 500. На плане наносят координатную сетку (10×10 м), проектные границы полосы вывода драги к контуру, контур полигона, котлована с положением драги, отвалы торфов от котлована, а также имеющиеся на данном участке съемочные пункты положения всех забоев, начиная с первого до прекращения углубки. Затем снимают и наносят на план по шесть точек забоя по дну разреза и по поверхности (правую, левую и среднюю).

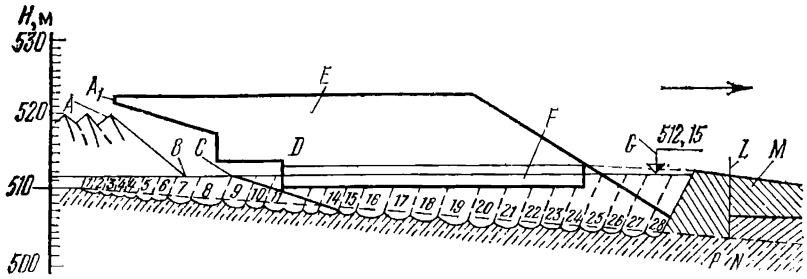


Рис. 123. Вертикальный разрез монтажного котлована:

1—28 — дражные забои, A_1 — верхний срез галечного стаккера драги; *A* — гребень галечного отвала; *B* — эфельный отвал; *C* — эфельные колоды; *D* — свая; *E* — макет драги; *F* — понтон; *G* — урез воды в котловане; *L* — контур полигона; *M* — торф в массиве россыпи; *N* — пески; *P* — плотик россыпи

Для контроля вывода драги на проектный контур полигона на миллиметровой бумаге составляют вертикальный разрез (рис. 123) в едином масштабе (1 : 50 или 1 : 100).

На разрез наносят профиль котлована по оси движения драги, горизонт воды, плотины (перемычки), контур, проектную глубину драгирования, а также начальное положение понтона в плоскости его диаметра.

В течение всего периода вывода драги к контуру полигона перед съемкой каждого забоя маркшейдеру необходимо контролировать геометрическим нивелированием урез воды в котловане и разрезе не менее чем от двух постоянных реперов и корректировать его на вертикальном осевом сечении участка вывода добычного плавсредства до выхода его на полигон.

II.3.2. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ В ПЕРИОД РАЗРАБОТКИ РОССЫПЕЙ ДРАГОЙ

Маркшейдерское обеспечение разработок россыпей драгами заключается в выполнении следующих основных работ: вынос и закрепление на местности проектных контуров полигона, границ ходов драги и съемка поверхности полигона с нанесением ее результатов на планы; составление плана развития горных работ в масштабах 1 : 1000—1 : 2000 на соответствующий календарный период; съемка дражного котлована (надводной и подводной частей); нанесение на план верхней и нижней бровок забойных и бортовых откосов эффельных и галечных отвалов и контроль полноты отработки месторождения в его промышленном контуре; измерение глубин черпания и глубин разреза (котлована), выработанного драгой; пополнение планово-графической документации; определение объемов переработанной драгой горной массы, потерь и разубоживания.

Проектные границы ходов драги выносят полярным способом с пунктов съемочного обоснования и закрепляют вехами с флажками, а при работе на подтопе — вехами-буями. Дражные разрезы и забои могут быть определены с помощью тахеометрической и мензульной съемок, а также аэрофототопографическим и звуколокационным методами. Наиболее распространена тахеометрическая съемка.

Положение верхней бровки бортовых и забойных откосов надводного борта определяется полярным способом с пунктов съемочного обоснования или способом ординат при наличии эксплуатационной сетки. Съемочные пикеты должны находиться в характерных точках бровки, но не реже чем через 15—20 м.

При полном подтопе дражного полигона выполняется тахеометрическая съемка верхней бровки с возвышенных мест, свайных помостов на подтопе или с драги. Расстояние же между реечными точками на подводных контурах уменьшают примерно вдвое. Подводный контур в верхней бровке в этом случае достоверно не прощупывается рейкой с лодки или трапа драги. Так как край верхней бровки забоя обычно закрыт черпаковыми навалами породы, то рейку следует устанавливать на расстоянии 1—2 м от бровки уступа.

Съемка нижней бровки откосов дражного разреза выполняется через каждые 10 м (по мере ухода драги вперед, по возможности одновременно со съемкой верхней бровки). Выбор способа съемки зависит от глубины разреза, устойчивости откосов и положения драги от берега. Известны следующие способы определения положения нижней бровки дражного разреза: непосредственным промером наметкой (лотом) с лодки или берегового трапа драги, с привязкой промерных точек по рейке полярным способом; по центру буруна (всплеска), возникающего на поверхности воды над НЧБ драги от всплытия воздуха (пузырей), занесенного черпаками во время работы; по заложениям забойного и бортового откосов разреза; по шкале заложений наклона черпаковой рамы драги (рис. 124); радиотехническим; электромеханическим, с применением различных дражных комплексных приборов учета работы драги; звуколокационным, с привязкой центра излучателя одним из перечисленных способов.

Наметка (труба) — это рейка с двух- или пятисантиметровыми делениями шкалы и грузом на нижнем конце; применяется для промеров на глубинах до 5, реже до 10 м. Ручной лот представляет собой гибкий трос или рулетку с грузом на конце; трос размечается обычно через 0,1 м.

В процессе промеров наметкой или лотом «нащупывается» от бортового или забойного откоса разреза резкий перепад глубины. Такие точки с максимальной глубиной у борта разреза

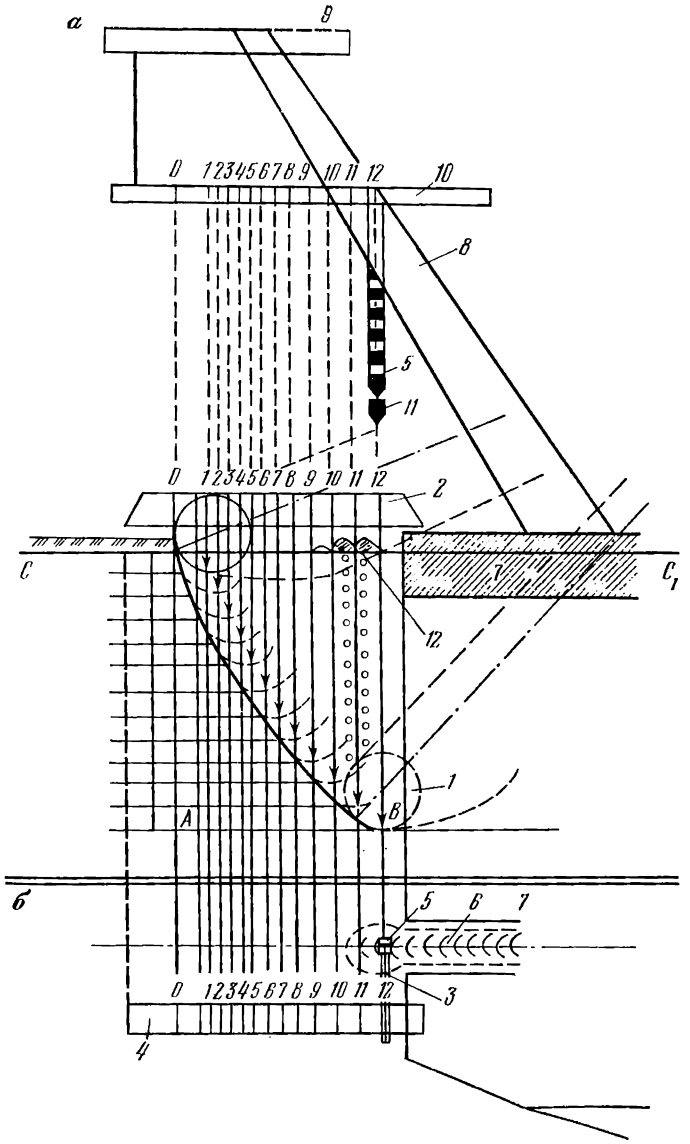


Рис. 124. Схема разметки шкалы заложения забойного откоса по наклону черпаковой рамы драги:

а — в вертикальной плоскости; *б* — на плане; *1* — НЧБ на глубине 12 м; *2* — поручни мостика драги; *3* — рейкодержатель; *4* — береговой мостик; *5* — дальномерная рейка; *6* — черпаковая цепь; *7* — понтон драги; *8* — опора передней мачты; *9* — площадка передней мачты; *10* — осевой рейкодержатель в плоскости диаметра драги; *11* — груз рейки; *С*—*С*$_1$ — урез воды; *А*—*В* — заложение забойного откоса на глубине 10 м; *12* — бурун (всплеск)

принимаются за точки нижней бровки разреза. Способ не всегда обеспечивает достоверное определение линии нижней границы разреза из-за отклонения наметки или лота (рулетки) от вертикального положения течением воды, применяются они обычно при глубинах черпания не более 10 м.

При определении положения нижней бровки забойного откоса по буруну дальномерную рейку ставят на береговом мостике (трапе) против буруна. При наложении на план снятых точек учитывают расстояние между рейкой и центром (серединой) буруна. Разброс всплесков буруна на поверхности воды увеличивается с глубиной черпания, скоростью течения и перемещением НЧБ по забою. Поэтому съемка по буруну допустима в случае, когда драга работает вне русла реки, глубина черпания менее 10 м, а скорость перемещения НЧБ по забою и течения воды в дражном разрезе не превышают 0,5 м/с.

Определение на плане положения нижней бровки откоса по его заложению основано на предположении, что угол откоса забоя не изменяется. По результатам съемки наносят на план верхнюю бровку откосов дражного разреза. Положение нижней бровки на плане определяют точками, отстоящими от контура верхней бровки внутрь разреза на величину заложения откоса a, равную

$$a = \operatorname{ctg} \delta h, \tag{II.3.3}$$

где h — высота уступа; δ — угол откоса, определенный заранее, исходя из горногеологических условий и типа драги. Данный способ можно применять для съемки бровок только устойчивых откосов.

Определение положения бровки забойного откоса при помощи шкалы заложений наклона черпаковой рамы. Дугу забоя, образуемую точками проекций центра НЧБ на горизонтальной плоскости, принимают за нижнюю бровку забойного откоса. Привязку точек этой бровки можно производить непосредственно по проектирующей рейке или при помощи дражной палетки.

Для съемки по проектирующей рейке деления шкалы размечают обычно на поручнях берегового мостика *4* или на осевом рейкодержателе *10*, расположенном над черпаковой рамой (см. рис. 124, *а*). Дальномерную рейку устанавливают на мостике против деления, соответствующего измеренной глубине черпания. Шкалу заложений наклона черпаковой рамы определяют графически или аналитически, исходя из конструктивных размеров драги. Через каждый метр глубины черпания определяют горизонтальное расстояние между центром НЧБ и проекцией центра ВЧБ:

$$l_n = \sqrt{L_p^2 + H^2}, \tag{II.3.4}$$

где l_n — горизонтальное расстояние между центрами НЧБ и проекцией центра ВЧБ на глубине h, м; L_p — паспортное расстояние между центрами НЧБ и ВЧБ, м;

$$H = h_B - r_p + h_u - \quad \text{(II.3.5)}$$

вертикальное расстояние между центром НЧБ и горизонтальной проекцией центра ВЧБ, м; h_B — высота центра ВЧБ над урезом воды в дражном разрезе, м; r_p — радиус резания на НЧБ, м; h_u — глубина черпания, м.

Определение границ дражного разреза на плане с помощью дражной палетки основано также на применении шкалы заложений. Шкалу размечают на прорези палетки, являющейся плоским макетом драги из оргстекла в масштабе 1 : 500 (рис. 125).

Положение нижней бровки забойного откоса по дражной палетке определяют съемкой двух-трех контурных точек самой драги (сваи), затем наносят их на план в масштабе дражной палетки. Совмещая на плане точки контура плана и палетки и учитывая глубину черпания, отмечают по шкале заложений палетки точки нижней бровки забойного откоса. Бортовой нижний контур разреза на плане определяют, соединив справа соответственно все правые, а слева — все левые угловые точки нижних бровок забойных откосов. Крен драги влияет на точность определения угловых точек забоя только на больших глубинах (от 12 м и более). На глубинах до 12—15 м поправку за крен можно не вводить.

Электромеханические способы основаны на использовании маятниковых и сельсинных систем и связаны с вертикальным перемещением черпаковой рамы и горизонтальным драги. Применение дражных комплексных приборов таких, как ДКП-3, ДКП-4, ИШЗ-62 и других, позволяет контролировать основные параметры дражного разреза; глубину черпания h_i, положение нижней бровки уступа b_i, величину зашагивания l_{ni} (рис. 126), которые могут быть зафиксированы на различных индикаторах (стрелочных, шкальных, самопишущих).

При этом необходимо учитывать, что геометрические параметры забоев и откосов на диаграммах самописцев типа ДКП-3 и других изображаются вне связи с системой плановых и высотных координат маркшейдерского обоснования, поэтому использование диаграмм ДКП-3 не исключает проведения съемок одним из перечисленных выше способов. На диаграмме ДКП параметры забоя фиксируются в вертикальной плоскости. Такие диаграммы на каждый забой рекомендуется использовать для уточнения элементов дражного разреза по тем забоям, которые не были сняты маркшейдером.

Радиотехнический или радиодальномерный способ съемки дражных забоев впервые был применен (в качестве экспери-

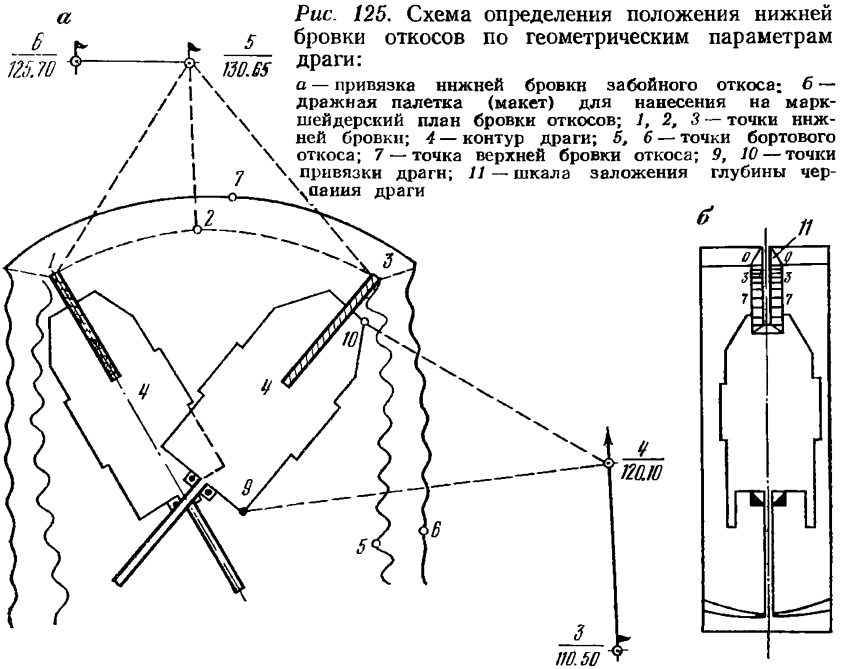


Рис. 125. Схема определения положения нижней бровки откосов по геометрическим параметрам драги:

а — привязка нижней бровки забойного откоса; *б* — дражная палетка (макет) для нанесения на маркшейдерский план бровки откосов; *1, 2, 3* — точки нижней бровки; *4* — контур драги; *5, 6* — точки бортового откоса; *7* — точка верхней бровки откоса; *9, 10* — точки привязки драги; *11* — шкала заложения глубины черпания драги

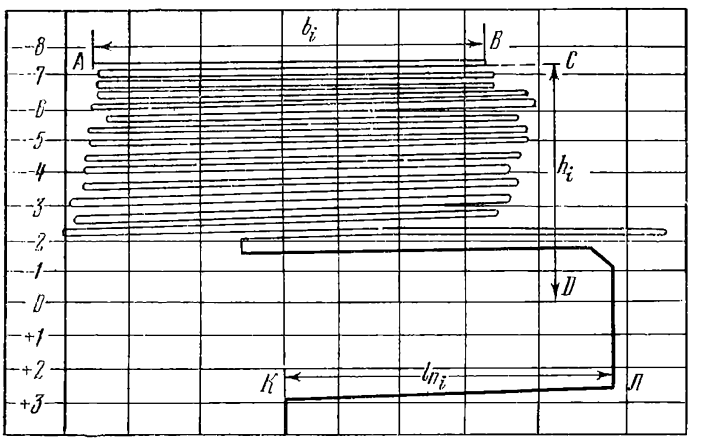


Рис. 126. Диаграмма самописца прибора ДКП-3:

АВ — нижняя бровка забойного откоса; *CD* — глубина черпания; *КЛ* — величина зашагивания

мента) на одной из драг Исовского прииска в 1968 г. сотрудниками ВНИМИ. Радиодальномерное устройство размещалось на драге, а его антенна — в диаметральной плоскости драги

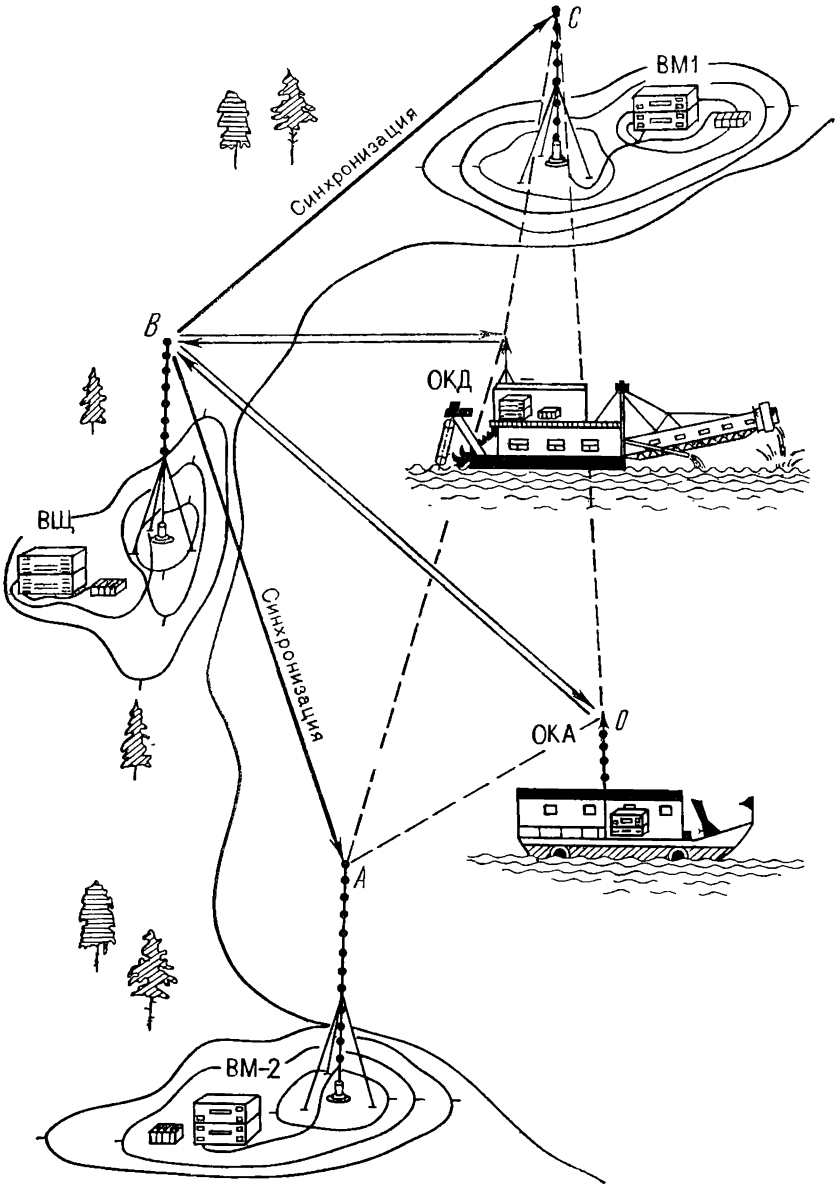


Рис. 127. Схема радиотехнического определения положения забоя:
ВМ-1, ВМ-2 и ВЩ — маяки; ОКД — определитель координат НЧБ драги; ОКА — определитель координат антенн (береговых)

над НЧБ. Станции-ответчики находились в районе дражного полигона на пунктах маркшейдерского обоснования (рис. 127). Измеренные расстояния между антенной на драге и антеннами ведомых станций-ответчиков автоматически передавались на специальный графический прибор, вычерчивающий на плане положение нижних бровок забойных откосов дражного разреза. Радиотехническая аппаратура позволяет снимать каждый отработанный забой, что, в свою очередь, обеспечивает высокое достоверное определение геометрических параметров всей выработки и четкое фиксирование потерь и разубоживания.

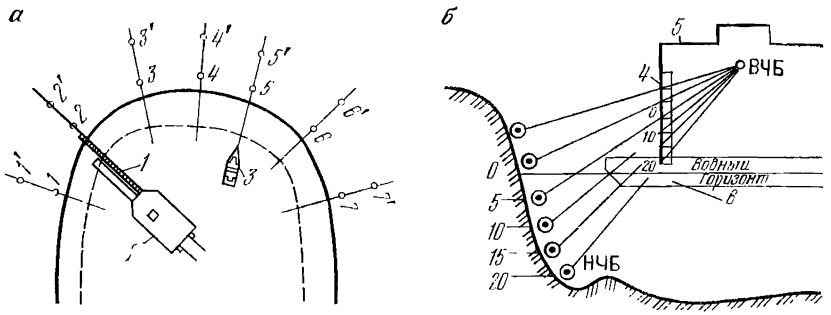


Рис. 128. Схемы измерений глубины черпания прямым (*а*) и косвенным (*б*) способами:
1 — береговой мостик; *2* — драга; *3* — лодка; *4* — рейка; *5* — палубная надстройка; *6* — понтон; *1*; *1'*; *2*; *2'*, . . .; *7*; *7'* — вехи

Определение глубины черпания драги (расстояние от поверхности воды до горизонта черпания) обычно совмещается со съемкой профиля откоса и нижней бровки забоя. Глубина черпания имеет важное значение для точного определения объемов массы драгирования и полноты отработки россыпи. Основными способами измерения глубины черпания являются непосредственный, косвенный и физический (электромеханический, звуколокационный).

Непосредственный способ измерения глубины черпания (метротоком, наметкой, лотом) реализуются так же, как и при определении положения нижней бровки забоя с мостика драги, дважды при движении ее справа налево и обратно или с лодки с точностью до 0,1 м (рис. 128, *а*). Измерения ведут вдоль профильных линий, расположенных через 20—30 м друг от друга; глубину определяют через 10—20 м (в зависимости от мощности выработанного слоя).

Косвенные способы измерения глубины черпания (рис. 128, *б*) получили широкое распространение (особенно на драгах глубокого черпания). В этом случае производят расчет шкалы

глубины черпания и наносят ее на специальной рейке, установленной у угла палубной надстройки (у черпаковой прорези). При расчете шкалы используют зависимость между глубиной черпания, длиной погруженной части черпаковой рамы и изменением угла ее наклона. Каждое деление шкалы соответствует определенной глубине черпания с интервалом в 0,1—0,5 м по глубине. Иногда шкала глубины наносится на боковой стенке рамы, начиная от НЧБ. Отсчет глубины черпания по шкале на раме производится относительно уровня воды, а по рейке у палубной надстройки — по верхней кромке черпаковой рамы. Отсчет относительно уровня воды часто неточен из-за волнения и засоренности поверхности воды. Отметку уровня воды в разрезе определяют по рейке (футштоку) водомерного поста или по результатам нивелирования с точностью до 0,01 м. При этом могут использоваться мореографы или другие приборы, автоматически фиксирующие уровень воды в разрезе.

II.3.3. ПРИМЕНЕНИЕ ЗВУКОЛОКАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОДВОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Методы и условия разработки подводных залежей месторождений полезных ископаемых могут быть различными: разработка россыпных месторождений (с искусственным и естественным обводнением) драгами; разработка залежей донных отложений морей и глубоководных озер специальными механизмами.

Неэффективность и сложность съемки и контроля горных работ обычными маркшейдерскими способами в этих условиях требуют применения новых, наиболее совершенных. К ним относятся: электромеханические, телеметрические, звуколокационные способы.

Звуколокационный способ в этом случае имеет существенные преимущества. При использовании звуколокации для съемки и контроля за разработкой подводных залежей используют звук высокой частоты от ультразвукового диапазона до 5 кГц. Принцип измерения основан на свойствах звука высокой частоты: высокая направленность действия, т. е. распространение острым пучком (с малым телесным углом); распространение в различных средах — твердых, жидких и газообразных; хорошая отражаемость от различных экранов и границ между различными средами.

Известно несколько способов излучения звука высокой частоты: механический, пьезоэлекрический, магнитострикционный, электростатический, электрогидравлический и др. При подводной разработке месторождений чаще всего применяют магнитострикционные излучатели и приемники, основанные на

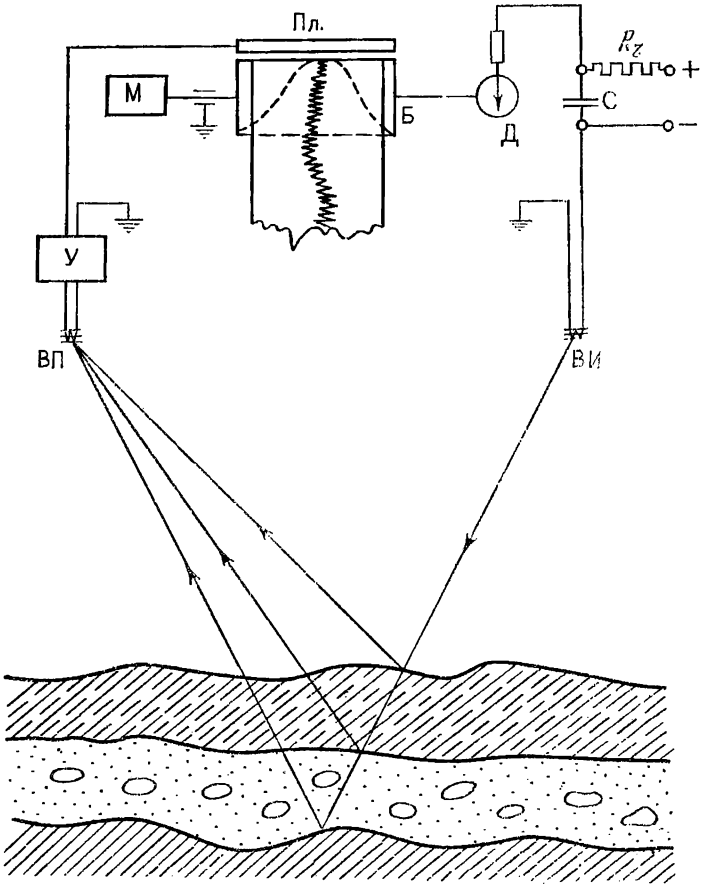


Рис. 129. Принципиальная схема действия звуколокатора

прямом и обратном магнитострикционном эффектах, которые свойственны ряду минералов, металлов и сплавов.

Широкое применение нашли импульсные самозаписывающие звуколокационные установки ударного возбуждения (рис. 129).

В результате периодического замыкания кулачка Д, расположенного на оси барабана Б вращаемого мотором М, конденсатор С, заряженный через сопротивление R_z, разряжается на обмотку вибратора-излучателя ВИ. Периодическая разрядка конденсатора вызывает в излучателе вибрацию его элементов, под действием которой возникают упругие колебания окружающей среды. Эти колебания, распространяясь в воде с средней

скоростью 1500 м/с, достигают дна. На границе вода — дно водоема отражается не вся энергия упругой волны (часть ее при благоприятных условиях проникает в поддонные слои и затем отражается от межслоевых границ).

Все отраженные сигналы возвращаются в водную среду и воздействуют на вибратор-приемник ВП, в обмотке которого индуцируется электродвижущая сила (микротоки). Слабые токи усиливаются усилителем У во много тысяч раз. Поступившие с усилителя электрические импульсы идут на индикатор-самописец (планка Пл), фиксируя на нем расстояние от излучателя до снимаемого объекта. Если акустическая система перемещается, то на эхограмме самописца фиксируется непрерывный профиль объекта локации в заданном масштабе. Измеренное расстояние l, т. е. расстояние от плоскости вибратора до снимаемого объекта, можно выразить в виде $l=Tc/2$, где T — время прохождения звука от излучателя до отражающей поверхности и от поверхности до приемника, т. е. время между генерацией и приемом импульса; c — скорость распространения звука в среде. Точное расстояние l может быть определено по формуле:

$$l=\sqrt{\left(\frac{cT}{2}\right)^2-\left(\frac{s}{2}\right)^2}, \qquad \text{(II.3.6)}$$

где s — расстояние между вибраторами (базис).

Звуколокационная съемка при дражной разработке россыпей. Кафедра маркшейдерского дела ЛГИ разработала дражные звуколокаторы (ДЗЛ), которые были апробированы на ряде горных предприятий. Исследования работы звуколокаторов показали, что звуколокационным методом могут быть выполнены съемка на подтопе дражного полигона с фиксацией рельефа дна подтопа (рис. 130), а при благоприятных условиях и структуры донных отложений, следовательно, и мощности рыхлых отложений и формы плотика; съемка подводной части разреза (котлована); определение глубины черпания драги и слоев донных отложений, не отработанных драгой (потери); фиксация подводной части откосов забоя, бортов, отвалов их формирования; контроль за подыливанием драги, т. е. илонакоплением в призабойной части дражного разреза; контроль за подэфеливанием кормовой части драги.

По результатам съемки можно определять объемы переработанных рыхлых отложений и производить учет потерь песка. Звуколокационная съемка может выполняться как с лодки, так и с драги (рис. 131). В комплект дражного звуколокатора входят (рис. 132): основной прибор *1*, в корпусе которого вмонтированы блок питания, генератор, усилитель, механический коммутатор для последовательного включения акустических си-

Рис. 130. Эхограмма звуколокационной съемки подтопа дражного полигона: *1* — поверхность воды (уровень системы); *2* — поверхность дна; *3* — слои поддонных отложений

стем, световое табло, блоки горизонтального масштабирования для фиксации пути перемещения акустической системы вдоль забортного устройства; самописец *2*; магнитострикционные системы *3* (15—10 кГц); осциллограф; забортное устройство, служащее для закрепления и передвижения акустической системы.

Методика производства звуколокации. Перед съемкой сверяют показания ДЗЛ с замерами рулеткой, т. е. проводят тарировку. По результатам тарировки находят коэффициент тарировки, используемый при обработке эхограмм:

$$K = m/m_1, \qquad (II.3.7)$$

где m_1 — глубина определения по эхограмме; m — глубина, измеренная рулеткой.

Звуколокационную съемку при забойной части котлована при использовании забортного устройства, связанного с трапом, выполняют по радиальным профилям по мере перемещения драги вдоль забоя. Локационные профили можно получить по выставленным вехам на забойном борту котлована и свае, положение которых определено тахеометрической съемкой.

Съемку подводной части откоса забоя и бортов котлована выполняют при перемещении акустической системы над забоем или повороте акустической системы в вертикальной плоскости.

При съемке всего котлована драги, в том числе подводной части галечных и эффельных отвалов и распространения илов, используют звуколокатор, установленный на лодке с заездом по профилям (см. рис. 128, *б*).

Звуколокационная съемка при разработке обводненной залежи в карьере скреперами. Рассмотрим применение звуколокации на примере карьерной разработки одного из обводненных месторождений. Верхняя часть месторождения, лежащая выше водоносного горизонта, отрабатывается обычным карьер-

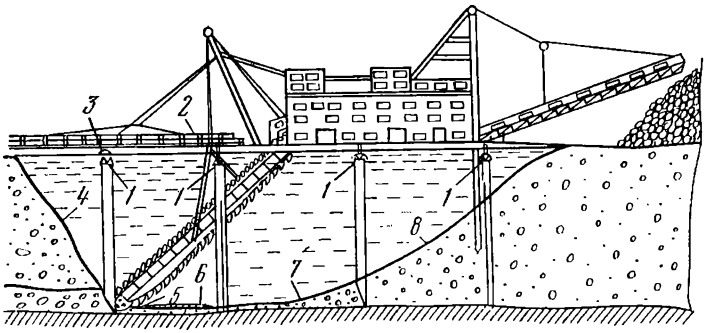


Рис. 131. Схема звуколокации с драги:

1 — акустические системы; *2* — забортное устройство на мостике; *3* — передвижная каретка с системой; *4* — откос забоя; *5* — рыхлые отложения, не отработанные драгой (потери); *6* — нловые отложения; *7* — плотнк; *8* — эффельный отвал

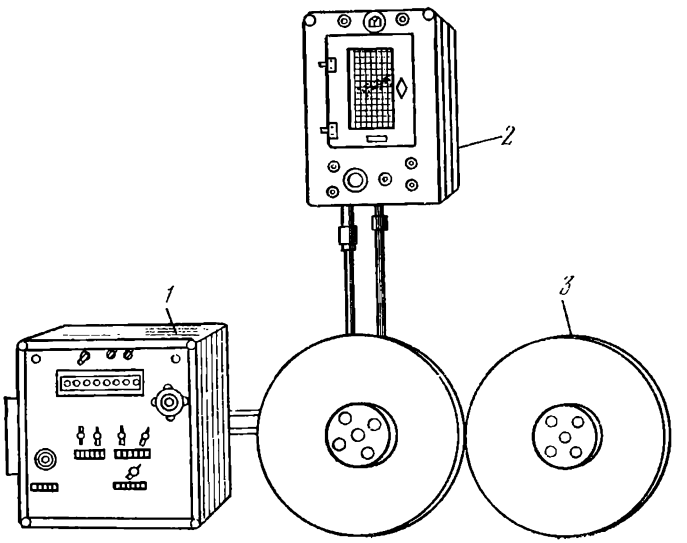


Рис. 132. Комплект дражного звуколокатора

ным способом, а нижняя — подводным. Отработка подводной части залежи на глубине 15 м осуществляется спаренными экскаваторами (рис. 133), расположенными на противоположных бортах карьера (подводное скреперование). Съемка подводной части карьера и контроль за полнотой отработки залежей весьма сложен, а результаты недостоверны. Наиболее эффективным в этом случае является звуколокационный способ. Кафедрой маркшейдерского дела ЛГИ был разработан карьерный звуколокатор КЗЛ, который в настоящее время используется на производстве. В комплект КЗЛ входят основной прибор с генератором, усилителем и самописцем; магнитострикци-

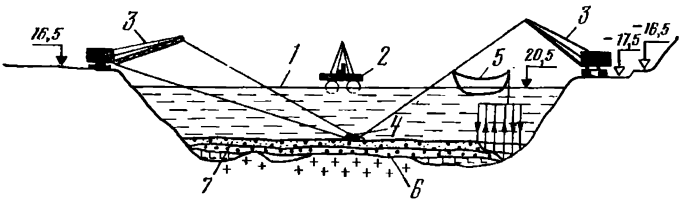


Рис. 133. Схема скреперной разработки и звуколокации подводной части месторождения:

1 — поверхность воды; *2* — буровой станок на понтоне; *3* — экскаваторы; *4* — скрепер; *5* — лодка; *6* — плотик; *7* — слон породных отложений

онные акустические системы; прибор горизонтального масштабирования.

При производстве звуколокационной съемки подводной части карьера комплект аппаратуры устанавливается на весельной или моторной лодке. Заезды на лодке со звуколокатором производятся в намеченных направлениях с обеспечением горизонтального масштабирования эхограмм одним из трех способов: по отмеченным вехам (буйкам) профилям, с помощью тахеометрической съемки и прибором горизонтального масштабирования. На эхограмме, полученной после проведения взрывных работ четко фиксируется два слоя донных отложений. Верхний слой — взорванное полезное ископаемое, второй слой — полезное ископаемое в целике (невзорванное), лежащее на твердом основании (плотике).

Эхограмма характеризует состояние горных работ (положение границ, форму откоса, глубину черпания, структуру донных отложений). Эти данные могут быть использованы для контроля проводимых работ, учета добычи и потерь, а также для составления планово-графической документации.

Камеральная обработка результатов звуколокационной съемки состоит в обработке результатов съемки и эхограмм, а также в оформлении графической документации на основе выполненных работ.

Обработка результатов звуколокационной съемки выполняется обычным способом. Обработка эхограмм заключается в их расшифровке, обусловливающей точность полученных данных, масштабировании и определении расстояний, необходимых для составления планов и профилей.

В призабойном производстве дражного котлована, как правило, фиксируются два-три слоя донных отложений (продуктивных песков), оставшихся на плотике, не отработанных драгой. Верхний слой — слой взвешенного ила, обычно легко определяется, так как его поверхность горизонтальна; два нижних слоя сливаются вследствие незначительной мощности осевшего ила.

Некоторую трудность представляет расшифровка эхограмм, полученных при лоцировании откосов и забоя, бортов и отвалов из-за двойного отражения от ближайшего участка, откоса, вибраторов и участка, расположенного на оси вибраторов под ними. При значительных углах откоса вводят поправки за ошибку аналогии Δh.

Ошибку аналогии можно определить графически или аналитически по формуле Брейни:

$$\Delta h = L \sin \frac{\theta}{2} \operatorname{tg} \delta, \qquad \text{(II.3.8)}$$

где L — расстояние, полученное от первого отражения импульса; θ — угол звукового конуса (направленности); δ — угол наклона откоса.

Глубину в той или иной точке профильной линии относительно поверхности воды определяют из соотношения

$$H = H' + \Delta H, \qquad \text{(II.3.9)}$$

где H' — расстояние между нулевой линией и линией лоцируемой поверхности, записанной на эхограмме с учетом ее вертикального масштаба; ΔH — величина погружения акустической системы относительно поверхности воды. Порядок обработки и вертикального масштабирования эхограмм обычно следующий:

на эхограмму наносят нулевую линию, соответствующую уровню воды в котловане или на полигоне с учетом глубины погружения акустических систем;

определяют глубину и мощность слоев донных отложений по формуле

$$H = KmM_{в}, \qquad \text{(II.3.10)}$$

где m — слой донных отложений в воде (породе), мм; K — коэффициент тарировки; $M_{в}$ — вертикальный масштаб эхограмм;

составляют профиль дна со структурным разрезом донных пород с учетом скорости распространения звука в различных средах.

Отношение зафиксированных горизонтальных расстояний и соответствующих им расстояний в натуре определяет горизонтальный масштаб эхограмм:

$$M = l/L, \qquad \text{(II.3.11)}$$

где l — расстояние между отметками на эхограмме, мм; L — расстояние между соответствующими промежуточными точками в натуре, м.

II.3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ИЗВЛЕЧЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

Объем извлеченной горной массы за отчетный период определяется, как правило, способом среднего арифметического, но применяются также способы вертикальных и горизонтальных сечений.

Площади дражного разреза по верхней и нижней бровкам измеряют на плане планиметром. Среднюю глубину дражного разреза $H_р$ вычисляют методом среднего арифметического по общему числу промеров глубин в пределах площади дражного разреза по формуле:

$$H_{ср} = H_{п_{ср}} - H_{g_{ср}}, \qquad \text{(II.3.12)}$$

где $H_{п_{ср}}$ — средняя высота поверхности полигона в границах дражного разреза, определяемая по результатам нивелирования, м; $H_{g_{ср}}$ — средняя высота дна дражного разреза, м, т. е. $H_{g_{ср}} = H_{в_{ср}} - h_{ср}$, $H_{в_{ср}}$ — средняя отметка уровня воды, $h_{ср}$ — средняя глубина черпания.

Объем вычисляют по калькам подсчета, являющимся копиями плана масштаба 1 : 1000, на которые нанесены контуры дражного разреза (по верхней и нижней бровкам) и высоты отметки по пикетам эксплуатационной сетки 10×10 или 20×20 м по результатам предыдущего и последнего нивелирования с округлением до 0,1 м.

Для подсчета объема добытой массы за отчетный период могут использоваться данные диаграмм дражного комплексного прибора ДКП-3. Так, однозабойный объем горной массы вычисляется по формуле

$$V = BLH_p = 0{,}5\,(B_1 + B_2)\,L\,(h_r + h_{нб}), \qquad \text{(II.3.13)}$$

где B — средняя ширина разреза, м; B_1 и B_2 — ширина разреза по верху и низу забоя, м; L — величина зашагивания драги на забой, м; $H_р$ — средняя высота забоя, м; $h_ч$ — средняя глубина черпания, м; $h_{нб}$ — средняя высота надводного борта забойного откоса, м.

При определении объема дражной добычи в некоторых случаях следует учитывать сферичность забойного и бортового откосов в вертикальной плоскости, в бортовых зубчатых выступах и межзубчатых выемках, межшаговых гребнях и межцеликовых выемках плотика, а также в просорах и осыпях на дне разреза под разгрузочным узлом драги, величины которых в значительной степени зависят от горно-технических условий разработки.

Суммарную поправку объема добычи, определенного в результате маркшейдерских измерений, можно вычислить по формуле

$$\Delta V_g = (V_{рп} + V_{мв} + V_с) - (V_о + V_ш + V_{зв}), \qquad (II.3.14)$$

где $V_{рп}$ — объем межцеликовых выемок плотика; $V_{мв}$ — объем межзубчатых выемок бортов; $V_с$ — объем откосных сегментальных полос; $V_о$ — объем просора из-под разгрузочного узла драги; $V_ш$ — объем межшаговых целиков; $V_{зв}$ — объем зубчатых выступов бортов.

Для каждой драги на основании предварительных исследований и известных горнотехнических условий должны быть составлены специальные таблицы или графики зависимости величин межшаговых целиков, межцеликовых выемок плотика, просоров, а также бортовых зубчатых выступов и выемок от геометрических параметров драг и дражных разрезов.

Учет перечисленных элементов дражного разреза способствует более точному определению объема дражной добычи, а также потерь и разубоживания продуктивной горной массы. В конце промыслового сезона производят контрольный подсчет объемов вынутых на полигоне торфов и песков в течение сезона. При дражной разработке разность между контрольными и отчетными данными не должна превышать следующей величины:

$$V_к = V_{отч} \leqslant 0{,}06 V_к / \sqrt{n}, \qquad (II.3.15)$$

где $V_к$ — объем торфа (песка), вынутого за промывочный сезон, м^3; $V_{отч}$ — то же по данным отчета (число месяцев промывочного сезона).

II.3.5. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СО ДНА ОЗЕР И МОРЕЙ

Интенсивная разработка наиболее доступных континентальных залежей полезных ископаемых приводит к их быстрому истощению, что по данным исследований многих ученых может привести к «минеральному голоданию».

В то же время более 70 % поверхности Земли, богатыми за-

лежами полезных ископаемых, занимают моря и океаны. Наиболее доступные для разработки залежи расположены на континентальном шельфе (глубина до 200 м) и материковом склоне (глубина от 200 до 2400 м). Многие россыпи шельфа начинают разрабатывать как в СССР, так и в других странах (Австралия, Великобритания, Индонезия, ГДР, Польша, США, Япония и др.). Так, например, из шельфных россыпей добывается почти 80 % редкоземельных, более 40 % кассетерита (Индонезия, Таиланд). США добывают со дна моря около 90 % платины. По прогнозам к 2000 г. ожидается увеличение в 5—7 раз потребления основного промышленного сырья, что можно будет удовлетворить только за счет широкого освоения морских залежей.

Ускорение освоения подводных месторождений потребует уже в ближайшее время разработки техники и методики маркшейдерских работ для обеспечения освоения глубоководных залежей на всех его этапах, т. е. создания «морской маркшейдерии».

Для решения большинства морских маркшейдерских задач необходимо применять методы гидрографии, навигации, морской геологии, геофизики и др.

Комплекс работ по освоению подводных озерных и морских месторождений твердых полезных ископаемых включают в себя все стадии (от поисков до полной отработки залежи).

Акваториальные геологоразведочные работы выполняются с плавсредств и платформ буровым и геофизическим (электромагнитным, гидроакустическим и др.) методами. При опробовании донных отложений используют дночерпатели различного типа, гидрожелонки, вибротрубки и др.

Разработку месторождений твердых полезных ископаемых подводным способом производят посредством добычных устройств и добычных установок (рис. 134) различными подводными горными выработками (рис. 135).

Задачи маркшейдерской службы на основных этапах освоения месторождения.

К основным этапам освоения подводного морского или озерного месторождения твердых полезных ископаемых относятся геологоразведочные работы, проектирование и строительство горнодобывающего предприятия (горного портового хозяйства, добычных плавсредств, рудных складов, обогатительных фабрик, бытовых и природоохранных сооружений), разработку месторождения и ликвидацию (консервацию) горных работ или передислокацию добычного плавсредства на другие горные отводы.

При поиске и разведке маркшейдер выполняет в основном те же виды работ, что и на суше (см. разд. II.2.3, II.3.1) с учетом акваториальной специфики, которая обусловлена сложно-

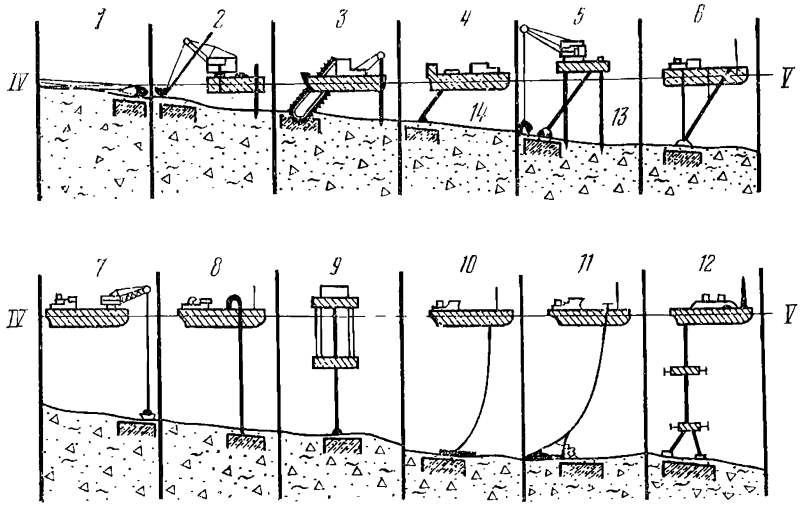


Рис. 134. Технические средства освоения подводных месторождений твердых полезных ископаемых способами:

1 — скреперные установки в зоне пляжа и в зоне осушки; *2* — штанговые одноковшовые земснаряды; *3* — многочерпаковые земснаряды и драги; *4* — рефулерные земснаряды; *5* — плавучие самоподъемные платформы с грейферным или землесосным оборудованием; *6* — самоотвозные землесосные снаряды; *7* — грейферные земснаряды; *8* — эрлифтные земснаряды; *9* — плавучие платформы со специальным землесосным оборудованием; *10* — управляемые с судна подводные аппараты (ПА) или подводные самоходные установки; *11* — драги или земснаряды типа драглайн с ковшами-«волокушами»; *12* — глубоководные средства добычи; *13* — рудный пласт; *14* — дно; IV—V — уровень воды в море

стью получения достоверных данных о рельефе и литологии дна, а также вынесения и привязки разведочных выработок; отклонением забоя скважины от «устья» на поверхности воды; трудностями подводного оконтуривания залежи полезного ископаемого и др.

При проектировании горных морских или озерных предприятий маркшейдерская служба выполняет следующие виды работ: обеспечение проектной организации планово-графической документацией; выполнение маркшейдерских проектно-изыскательных работ при строительстве портовых и акваториальных технических сооружений — причалов, пульповодов, гидротехнических и природоохранных объектов; участие в проектировании горных работ и составлении календарного планаграфика развития этих работ; участие в разработке мер оперативной охраны сооружений и окружающей природной среды от вредного влияния горных подводных разработок; участие в пересчете запасов месторождения и промышленных контурах и в оформлении проекта.

При строительстве морских горных сооружений и монтаже добычных средств осуществляются: перенос геометрических

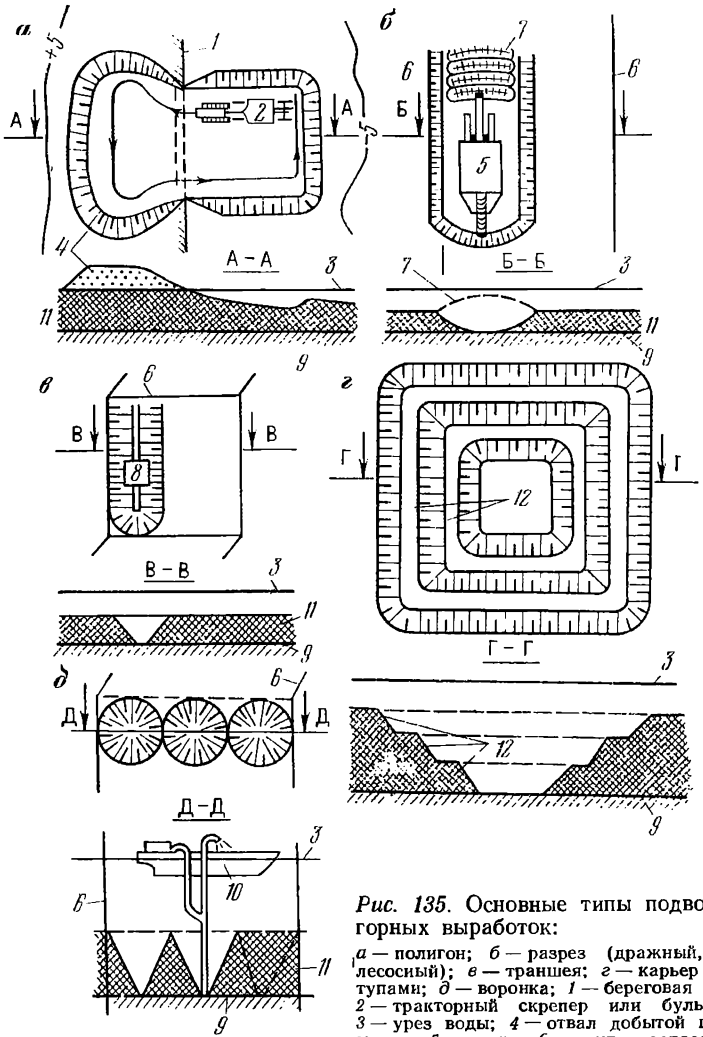


Рис. 135. Основные типы подводных горных выработок:

а — полигон; *б* — разрез (дражный, землесосный); *в* — траншея; *г* — карьер с уступами; *д* — воронка; *1* — береговая черта; *2* — тракторный скрепер или бульдозер; *3* — урез воды; *4* — отвал добытой горной массы; *5* — драга; *6* — контур запасов полезного ископаемого; *7* — галечно-эффельный отвал драги; *8* — земснаряд; *9* — почва залежи (плотик); *10* — эрлифтный земснаряд; *11* — пласт полезного ископаемого; *12* — уступы карьера

элементов сооружений с проекта в натуру; контроль выполнения запроектированных соотношений геометрических элементов при монтаже добычных плавсредств, установок и различных портовых сооружений; задание направлений и контроль за горноподготовительными работами (ГПР) и горнотехническими сооружениями (ГТС), в том числе вскрышным выработкам и природоохранным сооружениям; подготовка маркшейдерской и

геологической графической документации для предстоящей разработки подводного месторождения; организация систематических наблюдений за режимом моря (озера) и сооружение уровневых постов.

При эксплуатации подводного месторождения твердых полезных ископаемых выполняются: съемка вскрышных и добычных горных выработок; пополнение акваториальной планово-графической документации контурами подводных горных выработок и отвалов как на планах, так и на вертикальных разрезах; уточнение условий залегания месторождения, его качества, свойств, вмещающих пород, размещения полезных компонентов и составление горногеометрических графиков; контроль за литодинамическими процессами, происходящими на дне, определение степени заносимости дна и подводных горных выработок; контроль за состоянием защитных преград (пневматических и земляных), подводных забоев от заноса пустыми породами при шторме; учет добычи, потерь и разубоживания полезного ископаемого и движения его подготовленных промышленных, запасов; текущие наблюдения на уровенных постах.

При временной консервации или ликвидации горных работ необходимы определение полноты выемки и погашения полезного ископаемого в границах водного горного отвода; пополнение чертежей горной графической документации всеми изменениями рельефа и ситуации на дату консервации или ликвидации предприятия или месторождения.

Перечисленные задачи маркшейдерской акваториальной морской службы в большинстве своем решаются так же, как и на континентальных месторождениях, но с применением методов морской геодезии, а также гидрографии и навигации, базирующихся на акваториальных съемках и промерах.

II.3.6. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ И ПРОМЕРОВ

Маркшейдерская служба горного морского и озерного предприятия, приступающего к разработке подводных месторождений, должна иметь следующую документацию на район предстоящих работ: схему прибрежных и акваториальных геодезических и маркшейдерских сетей; каталог координат пунктов маркшейдерского обоснования; схему и описание уровенных постов; каталог координат геологоразведочных выработок; основные планы морских (озерных) горных работ в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 с нанесенными разведочными выработками, рельефом дна в горизонталях (на мористых участках — в изо-

батах) и надводной ситуацией с навигационными знаками; проектно-плановую документацию развития горных работ.

Маркшейдерские акваториальные сети (МАС), в зависимости от удаления их пунктов от береговой черты подразделяются на прибрежные и мористые.

Первые создаются в зоне геометрической дальности видимости от береговой черты (рис. 136), вторые — за пределами геометрической дальности видимости их с пунктов прибрежных сетей.

МАС представляют собой сети трилатерации в основном IV класса и 1 и 2 разрядов, реже триангуляции, пункты которых определяются геодезическими засечками с измерением сторон светодальномерами или радиодальномерами. При этом мористые сети развиваются от пунктов опорных морских геодезических сетей.

Высотной основой на прибрежных акваториях служат пункты нивелирования I—IV классов. Средняя квадратическая погрешность определения высот пунктов МАС (прибрежных) относительно исходных реперов не должна превышать $\pm 0{,}02$ м.

Знаки конструктивно могут быть следующих видов (рис. 137): свайные, в мелководной зоне, состоящие из свай или труб; фермовые в виде деревянных сигналов или металлических ферм; плавучие, в виде поплавков или буев с автоматической корректировкой или регистрацией циркуляции относительно центра, донные гидроакустические или сонарные.

При выполнении маркшейдерских акваториальных работ могут применяться следующие приборы: оптические — теодолиты, секстанты, дальномеры, фототеодолиты, фотопанорамные теодолиты, радиомензулы и др.; радиотехнические быстродействующие (в автоматизированном режиме) системы; гидроакустические системы (сонарные).

Плановые координаты акваториальных точек могут определяться: прямыми, обратными и комбинированными угловыми засечками, а также светодальномерными, радиотехническими, фотограмметрическими и гидроакустическими способами.

Прямая и обратная засечки применимы при любых маркшейдерских промерных работах (определение положения скважин, плавсредств, линии забоя и др.). При засечках подвижных визирных целей (ПВЦ) или подвижных маркшейдерских точек (ПМТ) обязательна синхронизация измерительных работ на базисных пунктах (визуально, по радио или телефону). Положение пунктов МАС определяется аналитически, а промерного плавсредства, движущегося по заданному галсу (курсу, направлению) графически непосредственно в процессе съемок. Для этого заранее строится гониометрическая сетка; угол засечки при ПВЦ и ПМТ должен быть не менее 20°.

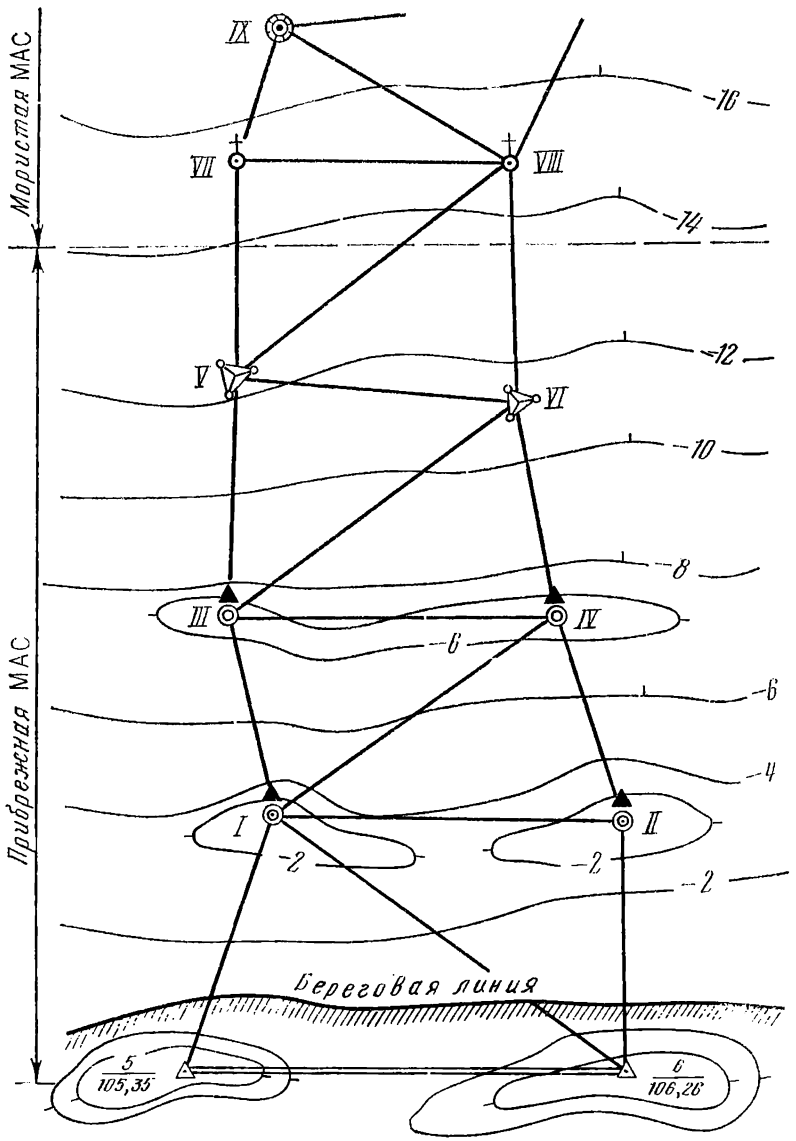


Рис. 136. Принципиальная схема МАС:

I—IV — столбовые и свайные знаки; V—VI — фермовые знаки; VII—VIII — полужесткие или плавучие буйковые знаки, оснащенные аппаратурой самофиксирования циркуляции поплавка понтона; IX — донные пункты с гидроакустическим оборудованием (сонарные маяки)

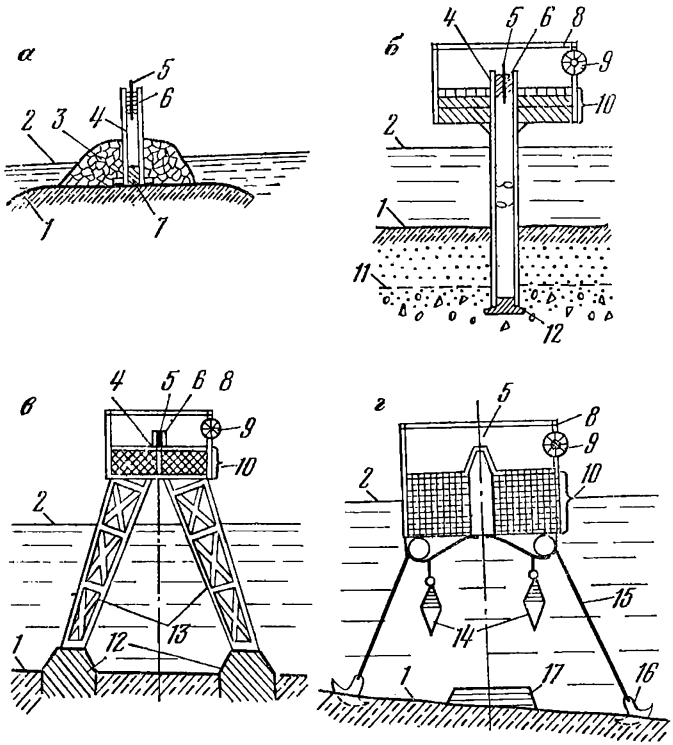


Рис. 137. Принципиальные схемы знаков на пунктах МАС:
а — континентальные; *б* — свайные; *в* — фермовые; *г* — плавучие и полужесткие; *1* — дно; *2* — урез воды; *3* — земляная насыпь; *4* — труба или стержень; *5* — центр пункта; *6* — торцовое крепление пробкой; *7* — бетонный заполнитель; *8* — ограждение площадки; *9* — сигнальное навигационное оборудование; *10* — площадка или понтон знака; *11* — горизонт уплотненного слоя; *12* — бетонный или нефтеозокеритовый заполнитель; *13* — бетонное основание опоры; *14* — регулировочные противовесы; *15* — буйкепы; *16* — якоря; *17* — донный центр знака

Средняя квадратическая погрешность определения ПВЦ вычисляется по формуле

$$m_{\text{пл}} = \frac{b^2}{\rho^2 \sin^4 \gamma}\left[m_{\beta_{\text{пр}}}^2 (\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2)\right] + 0{,}94 v_c^2 \rho^2 \times$$
$$\times \left(\frac{\sin^2 \beta_2 \sin^2 \beta_1}{D_1^2} + \frac{\sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2}{D_2^2}\right), \qquad \text{(II.3.16)}$$

где b — величина базиса, м; γ — угол при ПВЦ, угл. градус; β_1 и β_2 — измеренные углы при базисных пунктах, угл. градус; D_1 и D_2 — расстояния от базисных пунктов до ПВЦ плавсредства, м.

Обратные угловые засечки с ПВЦ производятся обычно секстантом, позволяющим одновременно наблюдать пункты обоих базисов.

Светодальномерный способ определения акваториальных точек по своей сути является способом линейных засечек посредством измерений расстояний от двух-трех базисных точек светодальномерами до определяемой акваториальной точки. При этом для оперативного контроля линейных светодальномерных засечек полезно использовать секторный гониометрический план.

Радиотехнические способы маркшейдерских съемок могут производиться только с помощью высокоточных радионавигационных и радиогеодезических систем (РНС и РГС), к которым относятся системы ближней и средней дальности действия РДГ, РДГВ «Луч», МРЛГ, ГЕТСИ-ФИКС и другие, позволяющие определять положение акваториальных точек с погрешностью порядка ±1—3 м (ввиду нестабильности объектов съемки на море).

Конструктивно радиогеодезические и радионавигационные системы разделяются на фазовые, импульсные и импульсно-фазовые.

Все они рассмотрены в специальной литературе.

Основным преимуществом РГС и РНС является практически непрерывный режим работы, чем обеспечивается постоянная информация о местоположении снимаемого объекта (движущегося судна). Кроме того, можно определять положение акваториальных пунктов и за пределами видимости и при любой погоде.

Опыт ЛГИ применения РДГ на акватории Приморского края показал, что точность определения положения пунктов на расстоянии 5 км и более соответствует 0,5—0,6 м. При этом крен лодки, на которой была установлена ведущая станция, при 3—4 баллах достигал 15—20°, а рыскание судна доходило до 20—30°.

Фотограмметрические прямые и обратные засечки можно применять для определения плановых координат любых акваториальных точек как неподвижных, так и подвижных (например, работающих драг и земснарядов или движущихся по разведочным галсам катеров или автоамфибий). Способы применимы в условиях прямой видимости до 1,5 км от берега или при съемке рельефа дна и подводных контуров горных выработок в масштабах: 1 : 1000—1 : 2000.

Способ обратной фотограмметрической засечки сводится к определению положения центра проекции камеры (ФД, КМК и других) на ПВЦ по изображенным на снимке береговым исходным пунктам маркшейдерской сети. Принято считать, что координата z_s точки фотографирования определяется по сред-

нему уровню моря, а координаты главной точки снимка x_0 и y_0 и фокусное расстояние f — известные параметры фотокамеры. Аналитический метод решения обратной фотограмметрической засечки с использованием ЭВМ ЕС позволяет определять координаты акваториальных точек с погрешностью, допустимой при составлении и ведении морских маркшейдерских планов.

Аналитический метод решения обратной фотограмметрической засечки (рис. 138) с применением ЭВМ основан на ис-

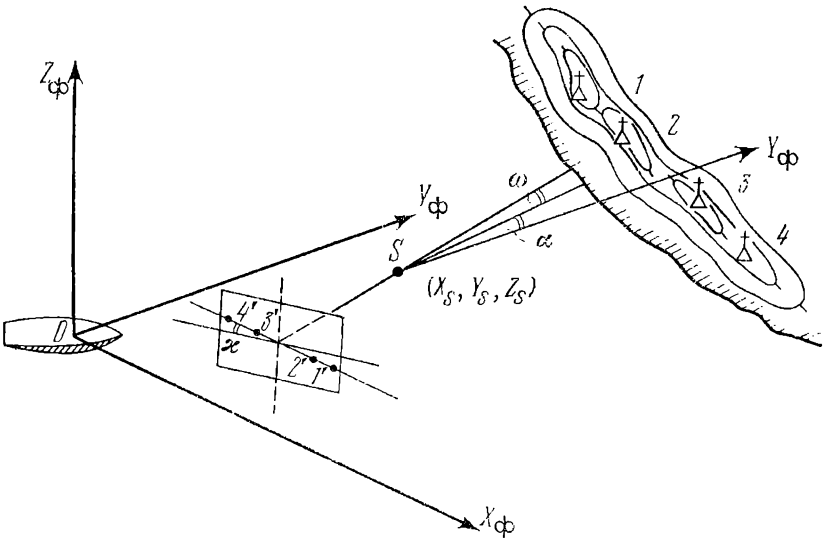


Рис. 138. Элементы ориентирования фотоснимка при обратной фотограмметрической засечке плавсредства от береговых реперов:
1—4 — корректурные точки; *1′—4′* — отображения береговых корректурных точек на снимке

пользовании условия коллинеарности векторов, связывающих точки местности и фотоснимка. Исходными являются уравнения, содержащие девять неизвестных для каждого снимка: координаты точки фотографирования X_s, Y_s и Z_s; угловые элементы внешнего ориентирования α, ω, $\varkappa$; элементы внутреннего ориентирования фотокамеры x_0, z, f. Эти уравнения нелинейны и решаются итерационным способом с определением поправок в приближенные значения искомых величин.

При съемке фотокамера устанавливается на борту промерного плавсредства, по возможности — над точкой антенны, эхолота.

Для случая съемки с акватории уравнения, связывающие координаты точек на местности и на снимке, имеют вид

$$x - x_0 = f \frac{a_1 (X - X_S) + b_1 (Y - Y_S) + c_3 (Z - Z_S)}{b_2 (X - X_S) + b_2 (Y - Y_S) + c_2 (Z - Z_S)}; \qquad \text{(II.3.17)}$$

$$z - z_0 = f \frac{a_3 (X - X_S) + b_3 (Y - Y_S) + c_3 (Z - Z_S)}{a_2 (X - X_S) + b_2 (Y - Y_S) + c_2 (Z - Z_S)}, \qquad \text{(II.3.18)}$$

где x и z — координаты исходного берегового пункта в системе координат снимка; x_0, z_0, f — элементы внутреннего ориентирования камеры; X, Y, Z — координаты исходных береговых пунктов на местности; X_S, Y_S, Z_S — координаты точки фотографирования; a_i, b_i, c_i — направляющие косинусы, являющиеся функциями угловых элементов внешнего ориентирования.

Оценка точности определения координат ПВЦ выполняется с использованием весовых коэффициентов, элементов обратной матрицы последнего приближения

$$m_{X_S} = \mu \sqrt{Q_{X_S}}; \quad m_{Y_S} = \mu \sqrt{Q_{Y_S}}; \quad \mu = \sqrt{\frac{[vv]}{2n - 5}}; \qquad \text{(II.3.19)}$$

где Q_{X_S}, Q_{Y_S} — диагональные элементы обратной матрицы; μ — погрешность единицы веса; v — поправки в последнем приближении; n — число исходных береговых пунктов опорных точек.

Гидроакустические способы определения координат X и Y промерных точек на галсах, а также положения добычного плавсредства, а по его параметрам и положения подводных забоев и самих горных выработок, применяют главным образом при маркшейдерском обеспечении глубоководных разработок (более 500 м).

Гидроакустический принцип измерений состоит в том, что посылаемый от объекта съемки (судна, драги) ультразвуковой сигнал принимается гидромаяком (приемное устройство) и переизлучается на заданной частоте. При этом определяется время прохождения прямого и обратного сигнала (по приборам), по которому затем получают расстояние с точностью от 1 до 10 м. Координаты любого объекта съемки на акватории можно определить обратной линейной засечкой с трех гидроакустических маяков, которые представляют собой координированные автономные устройства.

К разностно-дальномерным системам относят и системы с короткими и сверхкороткими базами. Последние образуют гидроакустические приемники, обычно укрепляемые под днищем плавсредства («короткая база»).

Размеры короткой базы зависят от параметров днища понтона плавсредства и обычно не превышают 50 м. Базы между

приемниками располагаются в плане взаимно перпендикулярно: одна — в продольной плоскости понтона, другая — в поперечной. Бортовая аппаратура фиксирует моменты приема сигналов приемника обеих баз по переднему фронту огибающей импульсных сигналов, излучаемых донным маяком. Интервалы времени пропорциональны разностям расстояний между приемником и маяком, поэтому

$$(t_1 c - t_i c) = \Delta t_{1-i} c = a \cos \alpha, \qquad \text{(II.3.20)}$$

где c — скорость звука, м/с; a — величина базы, м; α — угол между базисной линией и нормалью к фронту волны поступающего сигнала, в угл. градусах.

В общем случае среднюю квадратическую погрешность гидроакустического определения положения акваториальной точки можно вычислить по формуле

$$m_{XY} = \pm \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} = \frac{2}{3}\left(l^2 + \Delta h^2 + \frac{B^2}{3}\right)^{\frac{1}{2}} \times$$

$$\times \left[\left(l^2 + \Delta h^2 + \frac{B^2}{3}\right)\frac{m_c^2}{c^2} + c^2 m_t^2 + m_B^2\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad \text{(II.3.21)}$$

где m_X и m_Y — средние квадратические погрешности определения положения ПВЦ по осям координат, м; m_c, m_t, m_B — средние квадратические погрешности определения скорости звука, измерения времени прохождения сигнала, величины базы B, м; l — расстояние от определяемой ПВЦ до центра базы, м; Δh — превышение приемников над маяками, м.

Измерение глубин (промеры) и съемка подводных объектов (рельеф дна, контуры горных работ, ограждений от заноса горных работ и др.) производятся в основном наметкой, лотом, электронно-механическим звуколокационным, косвенным способами, а также с подводных автоматических устройств. В условиях значительных глубин шельфа и особенно морской зоны, наиболее эффективным, а часто и единственно возможным, является гидроакустический (звуколокационный) способ съемки. При этом используют два диапазона частоты локации — высоких (от 30 до 150 кГц) и низких (от 1 до 10 кГц) частот с высокой направленностью излучения (1—5°).

В первом случае можно зафиксировать поверхность дна $H_д$ с высокой разрешающей способностью (погрешность от 0,7 до 1,5 %). При использовании вибраторов пониженной частоты на эхограмме фиксируется не только поверхность дна, но и структура (слои) донных отложений (рис. 139), что существенно снижает объем буровых работ.

При площадной звуколокационной съемке (рис. 140) на акватории существенно повышается производительность и достоверность изображения объектов локации благодаря примене-

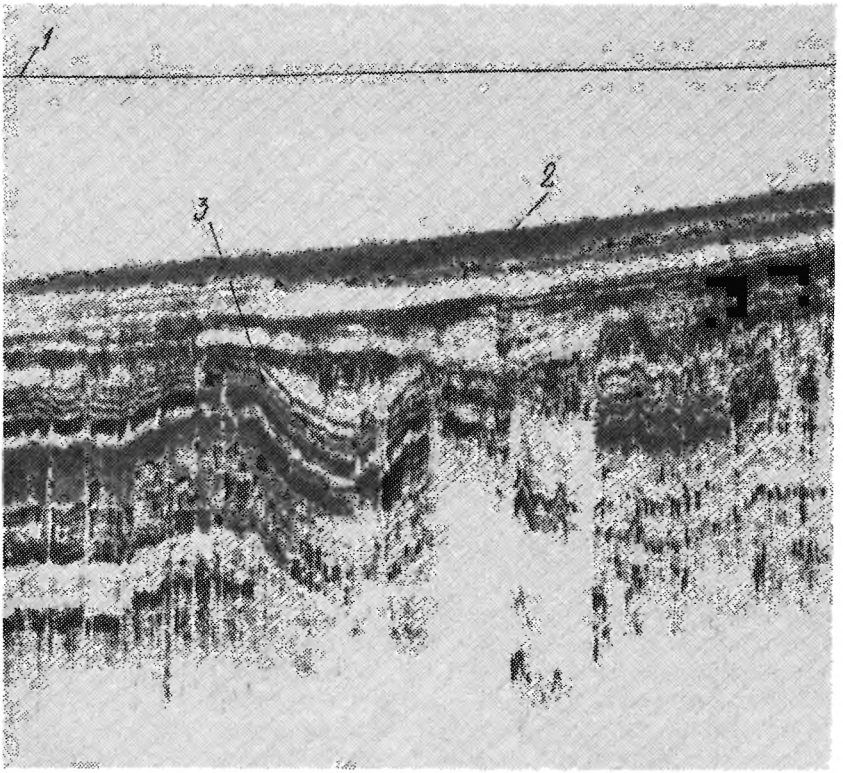


Рис. 139. Эхограмма структуры донных отложений шельфа Финского залива: *1* — поверхность воды; *2* — дно; *3* — слои донных отложений

нию «эхотрала», так как он обеспечивает запись на одну эхограмму одновременно нескольких параллельных профилей симметрично галсу. То же относится и к гидролокатору бокового обзора со сканирующим вибратором на 60° в вертикальной плоскости.

При звуколокационной съемке на акваториях следует учитывать изменения температуры, плотности воды и давления с глубиной, а также наличие подводных (внутренних) течений и «завихрений» волнами, качку судна. Все это влияет на скорость распространения звука в воде, а следовательно, на четкость и точность записи эхограмм. Как уже говорилось, звуколокационная съемка производится с плавсредств при движении по галсам или створам (профилям), которые закрепляются двумя наземными створными знаками. Привязка галсов и движущихся плавсредств чаще всего производится прямыми, бо-

ковыми и обратными засечками или другими способами (оптическими, фотограмметрическими, фотографическими, радиометрическими, акустическими). Контуры горных подводных выработок, определенных съемкой отмечают буями (поплавками).

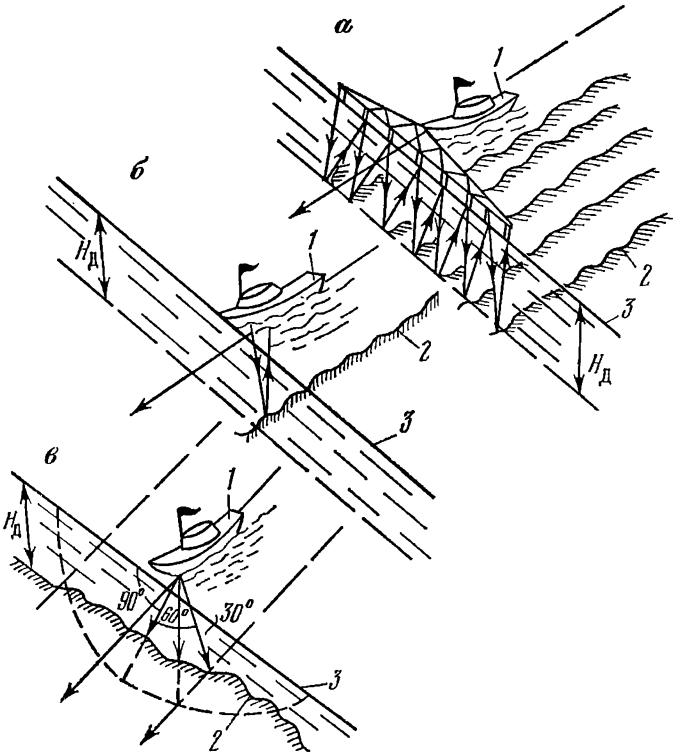


Рис. 140. Схемы звуколокационной съемки дна:
а — звукотралом; *б* — одновибраторным звуколокатором; *в* — сканирующей системой (звуколокация бокового обзора): *1* — суда со звуколокаторами; *2* — профиль дна; *3* — урез воды

Учитывая, что уровень воды морей нестабилен (отливы, приливы), то при измерении глубин и звуколокационной съемке необходимо в начале и конце работ контролировать уровень воды по береговым футштокам, а в процессе работ — по уровенным постам, на акватории.

II.3.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ИЗВЛЕЧЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

При освоении морских и озерных подводных месторождений твердых полезных ископаемых применимы следующие способы[1] определения объемов извлеченной горной массы из-под воды: по результатам маркшейдерских съемок, промеров и измерений геометрических параметров подводных горных выработок; по данным измерений объема извлеченной горной массы в трюмах рудовозов или на промежуточных береговых складах, в отвалах или емкостях; по показаниям автоматических приборов — расходомеров и консистомеров, установленных на пульповодах. Допустимая погрешность суммарных результатов в определении объемов этими способами не должна превышать 6 % извлеченной горной массы.

Способы подсчета объема добытой горной массы при двух первых случаях замера те же, что и при других методах разработки (см. раздел II.1, II.2.4, II.3.6).

При измерении объема извлеченной горной массы, транспортируемой по пульпопроводам маркшейдером выполняются следующие виды работ: определение расхода пульпы по шкалам расходомеров и плотность пульпы и ее консистенции — по шкалам консистомеров за отчетный период времени; определение коэффициентов разрыхления и тарировки для приведения вычисленного объема твердого в пульпе к его значению в плотной массе; акваториальные съемки и промеры подводной горной выработки; нанесение на план в масштабе 1 : 5000 результатов съемок и промеров для оперативного руководства добычными работами, учета движения запасов, потерь и разубоживания.

Потери и разубоживание полезных ископаемых при добыче. При ведении горных работ на морских и озерных акваториях нормативные величины потерь и разубоживания полезного ископаемого рассчитываются по их видам отдельно для каждого технического средства, с учетом горно-геологических условий, технологических схем разработки и типов горных выработок.

При разработке морского месторождения параллельными смежными ходами драги или земснаряда выработки образуются в виде траншей или котлованов. Характерными в этом случае являются потери в межшаговых, межходовых целиках и от штормовых заносов выработок донными пустыми породами.

---

[1] В настоящее время производство морских разработок твердых полезных ископаемых весьма ограничено, поэтому методика определения объема горной массы дается в общем виде.

Площади поперечных сечений нормативных потерь вычисляются по формулам:

межшагового целика

$$S_{\chi_ц} = \mu H_н^2 \operatorname{ctg} \alpha_{\delta_п}, \qquad (II.3.22)$$

где $H_н$ — средняя мощность наносов в смежных выработках, м; $\alpha_{\delta_п}$ — среднее значение угла подводного бортового откоса разреза или траншеи, угл. градус; μ — коэффициент оптимальности;

части наносных пород смежного предыдущего разреза траншеи

$$S_{рн} = \frac{(\sqrt{\mu} - 1)^2}{2(\mu - 1)^2} H_н^2 (\operatorname{ctg} \alpha_{\delta_п} + \operatorname{ctg} \alpha_{\delta_н}), \qquad (II.3.23)$$

где $\alpha_{\delta_н}$ — среднее значение угла подводного бортового откоса траншеи или разреза, заполнивших смежную выработку, угл. градус.

Нормативные потери песков в межходовых целиках и разубоживание наносами определяют следующим образом:

$$V_{\chi_ц} = S_{\chi_ц} L_{\chi_ц}; \qquad (II.3.24)$$

$$V_{рн} = S_{рн} L_{\chi_ц}, \qquad (II.3.25)$$

где $L_{\chi_ц}$ — общая проектная длина смежных участков разрезов или траншей, равная длине межходового целика, м.

Среднюю скорость увеличения средней мощности разубоживающих наносов получают из выражения

$$m_{ри} = V_{рн} / S_{рн} t_н, \qquad (II.3.26)$$

где $V_{рн}$ — объем наносных пород на участке предыдущей смежной выработки за конкретный период времени, м^3; $S_{ри}$ — величина средней площади выработки на участке измеренного объема наносов, м^2; $t_н$ — время заполнения выработки наносами, ч.

Нормативный объем разубоживания породами текущего литодинамического поступления составляет

$$V_{нн} = 2 m_{рн} t_z S_z n_z, \qquad (II.3.27)$$

где t_z — среднее время, затрачиваемое на разработку россыпи на участке одного забоя, ч; S_z — величина средней площади одного забоя, вычисляемая делением площади выработки на число забоев за отчетный период, м^2; n_z — число забоев.

При разубоживании наносами расчеты выполняют для удвоенного числа забоев, поскольку наносы, подступающие к ближнему предыдущему забою также вовлекаются в добычу, особенно если применяется всасывающее добычное оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борщ-Компониец В. И.* Геодезия, основы аэрофотосъемки и маркшейдерского дела. — М.: Недра, 1984.

2. *Инструкция* по производству маркшейдерскнх работ.— М.: Недра, 1987.

3. *Маркшейдерские* работы на карьерах и приисках/М. А. Перегудов, И. И. Пацев, В. И. Борщ-Компониец и др. — М.: Недра, 1980.

4. *Маркшейдерское* дело/Д. Н. Оглоблин, Г. И. Герасименко, А. Г. Акимов и др. — М.: Недра, 1981.

5. *Отечественная* маркшейдерня и горная геомеханика/Г. Л. Фисенко, К. А. Ардашев, В. Н. Зеленов и др. — М.: Недра, 1987.

6. *Пандул И. С., Шабаров С. Н.* Кронштадтский футшток и исходный лункт нивелирной сети СССР.— Земля и Вселенная, 1982, № 5, с. 62—65.

7. *Спиридонов А. И.* Теодолиты. — М.: Недра, 1985.

8. *Спиридонов А. И., Кулагин Ю. И., Крюков Г. С.* Справочник-каталог геодезических приборов. — М.: Недра, 1984.

9. *Справочник* по маркшейдерскому делу/Под ред. А. Н. Омельченко. — М.: Недра, 1979.

10. *Стенин Н. И.* Организация маркшейдерских работ на горных предприятиях. — М.: Недра, 1986.

11. *Терминологический* словарь по маркшейдерскому делу/Под ред. А. Н. Омельченко. — М.: Недра, 1987.

Автоматический проволочный длиномер ДА-2 148
Азимут геодезический 27
— гироскопический 135
— магнитный 127
Алгоритм 34
Алфавитно-цифровое устройство (АЦПУ) 33

Базис фотографирования 232
Балтийская система высот 28
Борт карьера 217
Буровая установка 237

Ватерпас с отвесом 171
Вертикальная проекция горных выработок 174
Висячая буссоль с полукругом 31
Высотная маркшейдерская опорная сеть на земной поверхности 30
— — — — подземная 33

Гирокомпасы МВТ2, МВТ4 135
Горный автомат-профилограф 172
Горный теодолит повышенной точности 43
— — технической точности 48

Дальномер 77
Дамба 254
Деколь 199
Дисковый сигнал 51
Длина волны 73
Драга 266
Дражный полигон 267

Забой встречный 155
— догоняющий 156
— очистной 211
— подготовительных выработок 210
Забортное устройство 286
Задание направлений выработкам 160
Звуколокатор дражный 286
— карьерный 287
Знак маркшейдерский временный 41
— — постоянный 40

Канава 254
Компаратор комнатный 66
— полевой 67
Консоль 42
Контрольный метр 66
Координаторная зона 27
— сетка 177
Координаторы X, Y первого пункта на горизонте горных работ 121
Коробчатая ориентир-буссоль 126

Лава 90
Лазерный указатель направления 163
Лента шахтная 145
Локальная опорная сеть 32

Магнитное склонение 127
Марка постоянного знака 42
Маркшейдерская опорная сеть на карьере 218
Масштаб маркшейдерских чертежей 178
— численный 30
Место нуля 43
Мощность залежи 211

Невязка полигона 81
Нивелир 99
Нивелирная рейка 101
Нивелирование геометрическое 102
— тригонометрическое 108

Осевой меридиан 23
Отвес оптический 53
— шахтный 113
Ошибка измерения угла 60

План горных выработок 173
Плановая маркшейдерская опорная сеть на земной поверхности 32
— — — — подземная 37
Поверки теодолита 49
Подземные высотные реперы и марки 96
Подземный теодолитный ход 35
Приведенная ордината Y' в координаторной зоне 27
Проекция Гаусса 26
Профиль откаточного штрека 107

Разрез 174
Распорная колонка 99
Рейка длиномера ДА-2 148
Рекогносцировка маркшейдерских пунктов 39
Реконструкция маркшейдерских подземных сетей 37

Сближение меридианов 139
Светодальномер 71
Система плоских прямоугольных координат 1942 г. 26
Составляющая земного вращения 127
Способ горизонтальной соединительной съемки геометрический 120
— — — — — гироскопический 14
— — — — — магнитный 126
Стальная рулетка 62
Съемочное обоснованне на карьере 223

Угломер 88
Угломерный тахеометр 232
— теодолит 42
Уравнивание полигонометрии 81
Уровень круглый 42
— цилиндрический 86
Учет добычи и вскрыши 258

Фиксатор, надеваемый на проволоку 148
Фототеодолит 232
Функция распределения 25

Ход подземный буссольный 94
— — нивелирный 105
— — полигонометрический 30
— — теодолитный 35
— — угломерный 89

Чертежные материалы 185

Штатив раздвижной 42

Эллипсоид Красовского 26
Эхограмма звуколокационной съемки 285

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

Раздел I

ОСНОВЫ КУРСА. МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 9

I.1. Краткие исторические сведения 9

I.2. Общие сведения о маркшейдерских съемках 21

I.2.1. Система плоских прямоугольных координат на маркшейдерских планах 26
I.2.2. Система высот 28
I.2.3. Геометрическая основа маркшейдерских съемок 29
I.2.4. Маркшейдерская документация 33

I.3. Подземные горизонтальные теодолитные съемки 34

I.3.1. Рекогносцировка и закрепление пунктов 39
I.3.2. Горные теодолиты 42
I.3.3. Поверки теодолитов 49
I.3.4. Центрирование теодолитов и сигналов 51
I.3.5. Измерение горизонтальных углов теодолитом 55
I.3.6. Измерение вертикальных углов 61
I.3.7. Линейные измерения стальными рулетками 64
I.3.8. Измерение длины сторон теодолитных ходов светодальномерами и оптическими дальномерами 72
I.3.9. Съемка подробностей 78
I.3.10. Камеральная обработка подземной теодолитной съемки 80
I.3.11. Правила безопасности при проведении маркшейдерских съемок 84

I.4. Угломерная и буссольная съемки 87

I.4.1. Угломеры 88
I.4.2. Угломерная съемка 89
I.4.3. Подвесная буссоль с полукругом 91
I.4.4. Буссольная съемка 94

I.5. Вертикальные съемки в горных выработках 96

I.5.1. Приборы, применяемые для пронзводства геометрического нивелирования в горных выработках 96
I.5.2. Производство геометрического нивелирования в горных выработках 102
I.5.3. Обработка результатов геометрического нивелирования 105
I.5.4. Тригонометрическое нивелирование в подземных горных выработках 108

I.6. Горизонтальные соединительные съемки 109

I.6.1. Ориентированне через штольню и наклонный ствол 111
I.6.2. Задача проектирования (центрирование подземной съемки) 113
I.6.3. Задача примыкания (ориентирование подземной съемки) 118

I.6.4. Организация работ при ориентировании через один вертикальный ствол 120
I.6.5. Соединительная съемка с гироскопическим ориентированием через один ствол 121
I.6.6. Ориентирование через два вертикальных ствола 122
I.6.7. Магнитное ориентирование 126

I.7. Гироскопическое ориентирование 127

I.7.1. Свободный гироскоп и маятниковый гирокомпас 127
I.7.2. Гармонические колебания и положение равновесия оси маятникового гирокомпаса 130
I.7.3. Маркшейдерские гирокомпасы 134
I.7.4. Определение дирекционного угла гирокомпасами с торсионным подвесом МВТ2 и МВТ4 136
I.7.5. Производство гироскопического ориентирования 142

I.8. Вертикальные соединительные съемки 144

I.8.1. Передача высоты точки длинной лентой 145
I.8.2. Передача высоты длиномером ДА-2 148

I.9. Маркшейдерские работы при проведении горных выработок 151

I.9.1. Примеры решения задач по заданию направления горным выработкам 151
I.9.2. Задание направления выработкам, проходимым с земной поверхности 154
I.9.3. Задание направления для проведения выработок встречными и догоняющими забоями 155
I.9.4. Работы по заданию направления горным выработкам 159
I.9.5. Контроль за соблюдением проектного направления, профиля и сечения проводимых выработок 171

I.10. Маркшейдерская документация 173

I.10.1. Маркшейдерская графическая документация угольной шахты 178
I.10.2. Маркшейдерская графическая документация рудной шахты 185
I.10.3. Маркшейдерская графическая документация при открытом способе разработки 190
I.10.4. Наглядные маркшейдерские чертежи и модели 194
I.10.5. Материалы для изготовления маркшейдерской графической документации 195
I.10.6. Средства механизации графических работ 198
I.10.7. Размножение маркшейдерских графических документов 200
I.10.8. Учет и хранение маркшейдерских документов 205

I.11. Краткие сведения о маркшейдерских замерах 207

I.11.1. Замеры в подготовительных и очистных выработках 208
I.11.2. Документация замеров 212
I.11.3. Использование замеров при маркшейдерском контроле оперативного учета добычи полезного ископаемого 213

Раздел II
МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 217

II.1. Маркшейдерские работы на карьерах 217

II.1.1. Создание опорной сети на карьерах 218
II.1.2. Создание сети пунктов рабочего (съемочного) обоснования 220
II.1.3. Съемка подробностей карьера 229
II.1.4. Задачи маркшейдерской службы при строительстве карьера и проведении специальных работ 233

II.1.5. Маркшейдерские работы при проведении траншей 233
II.1.6. Маркшейдерские работы при трассировании транспортных путей 235
II.1.7. Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ 236
II.1.8. Маркшейдерские работы при применении на карьерах транспортно-отвальных мостов с роторными и многоковшовыми экскаваторами 238
II.1.9. Маркшейдерский учет объемов вскрыши и добычи 242
II.1.10. Составление плана развития горных работ на карьере 244
II.1.11. Маркшейдерские работы при рекультивации земель 247

II.2. Маркшейдерские работы при гидравлических, бульдозерных, скреперных и экскаваторных разработках россыпных месторождений полезных ископаемых 251

II.2.1. Начальные изыскания и геологоразведочные работы 253
II.2.2. Маркшейдерское обеспечение горно-подготовительных работ 253
II.2.3. Маркшейдерские работы в период разработки россыпи 258
II.2.4. Определение объемов извлеченной горной массы 262
II.2.5. Определение средних расстояний транспортирования горной массы бульдозерами и скреперами 263

II.3. Маркшейдерские работы при подводной разработке месторождений 266

II.3.1. Маркшейдерские работы при разработке россыпных месторождений драгами 266
II.3.2. Маркшейдерские работы в период разработки россыпей драгой 274
II.3.3. Применение звуколокации при разработке подводных залежей полезных ископаемых 282
II.3.4. Определение объема извлеченной горной массы 289
II.3.5. Маркшейдерские работы при добыче полезных ископаемых со дна озер и морей 290
II.3.6. Методы и технические средства для маркшейдерской съемки и промеров 294
II.3.7. Определение объемов извлеченной горной массы 304

Список литературы 306

Предметный указатель 307

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО

В ДВУХ ЧАСТЯХ

Часть 1

Ушаков Иван Николаевич, Казаковский Дмитрий Антонович, Кротов Гавриил Алексеевич и др.

Заведующий редакцией *Л. Г. Иванова*
Редактор издательства *Ю. В. Пронько*
Технический редактор *Л. Г. Лаврентьева*
Корректор *Л. М. Кауфман*
ИБ № 8495

Сдано в набор 16.11.88. Подписано в печать 24.03.89. Т-06464. Формат $60\times90^1/_{16}$. Бумага книжно-журнальная Сыктыв. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 19,5. Усл. кр.-отт. 19,5. Уч.-изд. л. 20,12. Тираж 9350 экз. Заказ 2563/5—8. Цена 1 руб.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра» 125047
Москва, пл. Белорусского вокзала, д. 3

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126 Ленинград, Социалистическая ул., 14.